Reallabor 70 GW Offshore Wind

FACT SHEET

Zustandsüberwachung von Offshore-Windenergieanlagen:

Lebensdauervorhersage und prädiktive Wartung

Wenn Windparks ihre Auslegungslebensdauer erreichen, sind Erkenntnisse zur tatsächlichen Lebensdauer entscheidend für die Planung der zukünftigen Nutzung. Verschiedene Unsicherheiten, etwa wechselndes Wetter, unregelmäßige Lasten und ungeplante Betriebsvorgänge, können dazu führen, dass die tatsächliche Lebensdauer von der Lebensdauer aus dem Entwurf abweicht. Die Zustandsüberwachung ermöglicht Einblicke in die Faktoren, die die Lebensdauer beeinflussen. Sie ermöglicht eine präzise Überwachung des Strukturzustands, wodurch prädiktive Wartung, genauere Lebensdauerabschätzung sowie Strategien zur Minimierung von Ausfallzeiten und zur Maximierung der Betriebsdauer möglich sind.

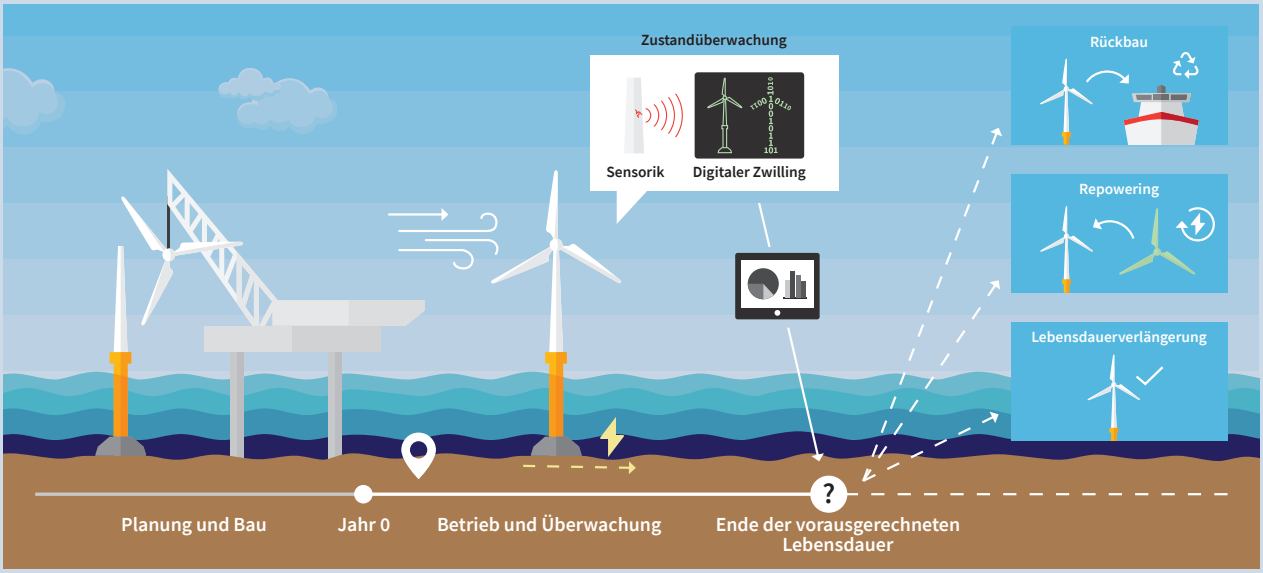
- **Die Lebensdauerabschätzung der Tragstruktur (Turm und Gründungsstruktur) soll durch Überwachungsstrategien optimiert werden, was eine Lebensdauerverlängerung ermöglicht.**
- **Für die Rotorblätter werden mit Hilfe von Messdaten die tatsächlichen Beanspruchungen ermittelt, Finite-Elemente-Modelle werden dann zur Abschätzung der Ermüdung und der Lebensdauer entwickelt.**

▸ Warum ist ein Ausbau der Offshore Windenergie in der Deutschen Bucht notwendig?: Um bis 2045 das Ziel von 70 GW Offshore-Wind zu erreichen, braucht es innovative Lösungen entlang der gesamten Wertschöpfungskette. Im Reallabor wird erforscht wie bestehende und zukünftige Windparks effizienter geplant und betrieben werden können und wie der maritime Raum sinnvoll und nachhaltig geschützt genutzt werden kann – unter Berücksichtigung konkurrierender Interessen wie z.B. Fischerei, Schifffahrt und Naturschutz.

▸ Ziel dieses Projektes ist es, einen wartungsarmen Betrieb zu ermöglichen sowie die Lebensdauer von Offshore-Windenergieanlagen mithilfe von Zustandsüberwachung zu bewerten, vorherzusagen und ggf. zu verlängern. Außerdem wird untersucht, welche Sensoranordnungen und Datenzeiträume für eine zuverlässige Überwachung notwendig sind und wie sich Erkenntnisse von einer Anlage auf weitere Anlagen übertragen lassen.

Lebenszyklus der Offshore-Windenergieanlagen

Die Zustandsüberwachung liefert während der Betriebsphase eine präzise Überwachung des Strukturzustands, um beispielsweise in Echtzeit Schäden zu detektieren. Die gewonnenen Erkenntnisse können zum Ende der vorausberechneten Lebensdauer genutzt werden, um fundierte Entscheidungen über die zukünftige Nutzung zu treffen – sei es Rückbau (Abbau und Stilllegung der Anlage), Repowering (Erneuerung oder Austausch der Anlage) oder Lebensdauerverlängerung (Fortsetzung des Betriebs durch Instandhaltung).



- **Der strukturelle Zustand der Windenergieanlagenkomponenten (Tragstrukturen und Rotorblätter) wird kontinuierlich mithilfe von Sensoren überwacht.**
- **Prädiktive Wartung zur Lokalisierung möglicher Schäden und Minimierung von Wartungskosten und Betriebsausfallzeiten.**

▸ Die Zustandsüberwachung bildet eine Brücke zwischen den Annahmen, die bei der Auslegung getroffen wurden, und den tatsächlichen Umwelt- und Betriebsbedingungen, unter denen die Anlagen betrieben werden. Sie ermöglicht die frühzeitige Erkennung von Schäden, unterstützt prädiktive Instandhaltungsstrategien und liefert Einblicke, wie reale Lasten und Umwelteinflüsse die Beanspruchung der Anlagen beeinflussen. Dadurch lassen sich beeinflussende Faktoren identifizieren sowie ungeplante Ausfallzeiten reduzieren, was letztlich zur verbesserten Abschätzung der Lebensdauer von Windenergieanlagen führen kann.

▸ Unsicherheiten treten bei Offshore-Windenergieanlagen in vielfältiger Form auf – sowohl extern, etwa durch Kolkbildung oder variierende Umweltbedingungen, als auch strukturell, beispielsweise durch Abweichungen der tatsächlichen Geometrie und des Materials der Tragstruktur und Rotorblätter von den im Entwurf angenommenen Werten. Um die Einflussfaktoren auf die Lebensdauer zu verstehen, müssen diese Herausforderungen adressiert werden.

- **Digitale Zwillinge und virtuelle Sensorik liefern Einblicke in reale Lasten und unterstützen die Abschätzung der Lebensdauer.**
- **Ermüdungsbedingte Schäden an Rotorblättern können mit numerischen Simulationen unter standortspezifischen Belastungen untersucht werden.**

▸ Digitale Zwillinge von Windenergieanlagen integrieren die Daten aus der Zustandsüberwachung, um Einblicke in reale Lastbedingungen in Echtzeit zu ermöglichen. Durch virtuelle Sensorik können außerdem Bereiche ohne direkte Sensorabdeckung überwacht werden. Zeitliche Extrapolation kann die Lebensdauerabschätzung unterstützen, wenn nur begrenzte Messzeiträume vorliegen. Basierend auf SCADA-Daten können die Lasten auf dem Rotorblatt mittels Blade-Element-Momentum-Theorie ermittelt werden. Ermüdungsschäden werden mithilfe von progressiven energiebasierten Ermüdungsschädigungsmodellen simuliert.

- **Was sind die optimalen Strategien für die Zustandsüberwachung von Windenergieanlagen?**
- **Können Regelungsstrategien optimiert werden, um ermüdungsbedingte Schäden zu verringern und die Lebensdauer zu maximieren?**

▸ Die folgenden offenen Forschungsfragen sollen im Projektverlauf adressiert werden: Wie können Messdaten im Lebenszyklusmanagement von Windenergieanlagen genutzt werden? Welche Sensoranordnung und Datenlaufzeit sind optimal? Darüber hinaus: Wie können Zustandsbewertungen von einer Windenergieanlage auf andere übertragen werden? Und schließlich: Welche Strategien lassen sich anwenden, um den Schädigungsprozess von Tragstruktur und Rotorblättern zu verlangsamen und die maximale Lebensdauer der Anlage zu erreichen?

- **Verbesserte Lebensdauerabschätzung und Schadensprognose unterstützen gezielte Wartung und reduzieren Ausfallzeiten.**
- **Minimale Sensorik und Modelle zur Übertragung der Überwachungsergebnisse einer Anlage auf ähnliche Anlagen ermöglichen eine kosteneffiziente Überwachung ganzer Windparks.**

▸ Betreiber von Offshore-Windparks profitieren von präziseren Lebensdauerabschätzungen, geringeren Ausfallzeiten und besser fundierter Wartungsplanung. Durch die Identifikation ermüdungsrelevanter Bereiche und die Analyse des Schadensfortschritts unter standortspezifischen Bedingungen soll das Projekt einen optimierten Betrieb mit gezielten Eingriffen ermöglichen. Minimale Sensoranforderungen und übertragbare Modelle verringern den langfristigen Überwachungsaufwand und unterstützen eine kosteneffiziente Skalierung auf Flottenebene. Dies kann direkt zu Lebensdauerverlängerung, Effizienzsteigerung und erhöhter wirtschaftlicher Rentabilität von Offshore-Windenergie beitragen.

zukunft.
niedersachsen

Impressum: Diese Veröffentlichung ist im Rahmen des Forschungsprogramms „Transformation des Energiesystems Niedersachsen" (TEN.efzn) am Energie-Forschungszentrum Niedersachsen (efzn) entstanden. Gefördert mit Mitteln aus zukunft.niedersachsen, dem gemeinsamen Wissenschaftsförderprogramm des Niedersächsischen Ministeriums für Wissenschaft und Kultur und der VolkswagenStiftung.
Verantwortlich für Inhalt und Texte: Leibniz Universität Hannover // Institut für Statik und Dynamik // Appelstraße 9A // 30167 Hannover // Gestaltung und Redaktion: Manuel Siebert // ForWind // manuel.siebert@forwind.de Stand: Oktober 2025

This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC BY 4.0). © 2025 Reallabor 70 GW Offshore Wind – CC BY 4.0