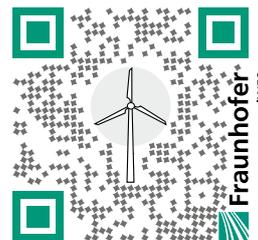


# WINDENERGIE REPORT DEUTSCHLAND 2012



**Herausgeber:**

Dr. Kurt Rohrig  
Fraunhofer-Institut für Windenergie und Energiesystemtechnik (IWES)  
Bereich Energiewirtschaft & Netzbetrieb  
Königstor 59  
34119 Kassel  
E-Mail: windmonitor@iwes.fraunhofer.de  
www.iwes.fraunhofer.de

**Redaktion:**

Volker Berkhout, Stefan Faulstich, Philip Görg, Paul Kühn,  
Katrin Linke, Philipp Lyding, Sebastian Pfaffel, Khalid Rafik,  
Dr. Kurt Rohrig, Renate Rothkegel, Elisabeth Stark  
Beratung Dr. Jutta Witte (Journalistenbüro Surpress)

Foto Titelseite: © Siemens Pressebild

Druck und Weiterverarbeitung:  
Strube Druck & Medien oHG, Felsberg

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek  
Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der  
Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im  
Internet über <http://dnb.de> abrufbar.  
ISBN 978-3-8396-0536-3

© by FRAUNHOFER VERLAG, 2013  
Fraunhofer-Informationszentrum Raum und Bau IRB  
Postfach 800469, 70504 Stuttgart  
Nobelstraße 12, 70569 Stuttgart  
Telefon 0711 970-2500  
Telefax 0711 970-2508  
E-Mail [verlag@fraunhofer.de](mailto:verlag@fraunhofer.de)  
URL <http://verlag.fraunhofer.de>

Alle Rechte vorbehalten

Dieses Werk ist einschließlich aller seiner Teile urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung, die über die engen Grenzen des Urheberrechtsgesetzes hinausgeht, ist ohne schriftliche Zustimmung des Verlages unzulässig und strafbar. Dies gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen sowie die Speicherung in elektronischen Systemen.  
Die Wiedergabe von Warenbezeichnungen und Handelsnamen in diesem Buch berechtigt nicht zu der Annahme, dass solche Bezeichnungen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und deshalb von jedermann benutzt werden dürften. Soweit in diesem Werk direkt oder indirekt auf Gesetze, Vorschriften oder Richtlinien (z.B. DIN, VDI) Bezug genommen oder aus ihnen zitiert worden ist, kann der Verlag keine Gewähr für Richtigkeit, Vollständigkeit oder Aktualität übernehmen.

Fraunhofer-Institut  
für Windenergie und Energiesystemtechnik (IWES)  
Bereich Energiewirtschaft & Netzbetrieb

# WINDENERGIE REPORT DEUTSCHLAND 2012

Volker Berkhout, Stefan Faulstich, Philip Görg, Paul Kühn,  
Katrin Linke, Philipp Lyding, Sebastian Pfaffel, Khalid Rafik,  
Dr. Kurt Rohrig, Renate Rothkegel, Elisabeth Stark

Fraunhofer Verlag





# WEITERBETRIEB VON WINDENERGIEANLAGEN

Jürgen Holzmüller

## Einleitung

In den einschlägigen Richtlinien (DiBT-Richtlinie / DIN EN 61400-1) werden an den Entwickler einer Windenergieanlage folgende Forderungen gestellt: „Die Entwurfslebensdauer der Anlage ist mit mindestens 20 Jahren anzunehmen“. In der Regel werden Windenergieanlagen im Onshore-Bereich für eine Betriebsdauer von exakt 20 Jahren bemessen, denn jede Entwurfslebensdauer größer als 20 Jahre würde die Herstellungskosten und damit die Verkaufspreise erhöhen.

Die Entwurfslebensdauer ist eine theoretische Annahme und wird auch als geplante Nutzungsdauer bezeichnet. Für diese Dauer wurden die Nachweise der Tragfähigkeit und Gebrauchstauglichkeit durchgeführt. Nach Ablauf der geplanten Nutzungsdauer besteht in der Regel ein Interesse daran, diese Windenergieanlage auch über die geplante Nutzungsdauer hinaus weiter zu betreiben und zu nutzen. Rückbau und Verschrottung nach Erreichen der geplanten Nutzungsdauer steht im Widerspruch zu einer nachhaltigen Nutzung.

Ein Weiterbetrieb ist aber einerseits nur dann zu tolerieren, wenn ein sicherer Betrieb auch innerhalb der Restnutzungsdauer gewährleistet ist und kann andererseits auch nur dann gewünscht sein, wenn die erzielten Erträge die Kosten für Betrieb und Instandhaltung übersteigen. Die Abbildung 1 beschreibt anschaulich die Zeiträume, die nach Eurocode 1 in diesem Zusammenhang eine Rolle spielen.

## Aspekte innerhalb der Restnutzungsdauer

Für den Betrieb einer Anlage in der Zeitperiode der Restnutzungsdauer sind verschiedene Aspekte zu bedenken:

**Behördliche und juristische Aspekte.** Schon heute enthalten Baugenehmigungen in der Regel eine Auflage, wonach ein Weiterbetrieb nach Ablauf der geplanten Nutzungsdauer durch ergänzende Nachweise zur Standsicherheit und Gebrauchstauglichkeit der jeweiligen Anlage abgesichert werden muss. Es muss für die Zukunft davon ausgegangen werden, dass ein Nachweis in jedem Fall zu führen ist. Es besteht der behördliche Grundsatz der Gefahrenabwehr. Aus heutiger Sicht nicht auszuschließen sind daher mögliche derzeit noch unbekannt

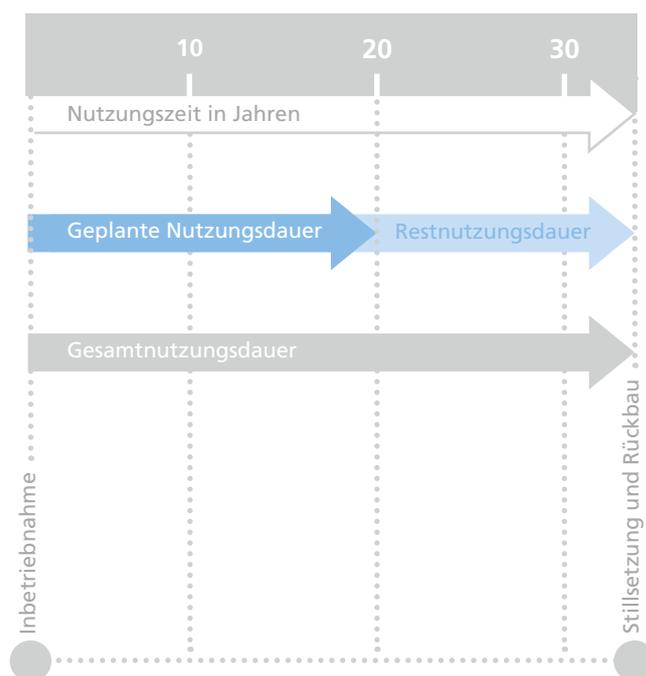


Abbildung 1: Schematische Darstellung der Gesamtnutzungsdauer einer WEA

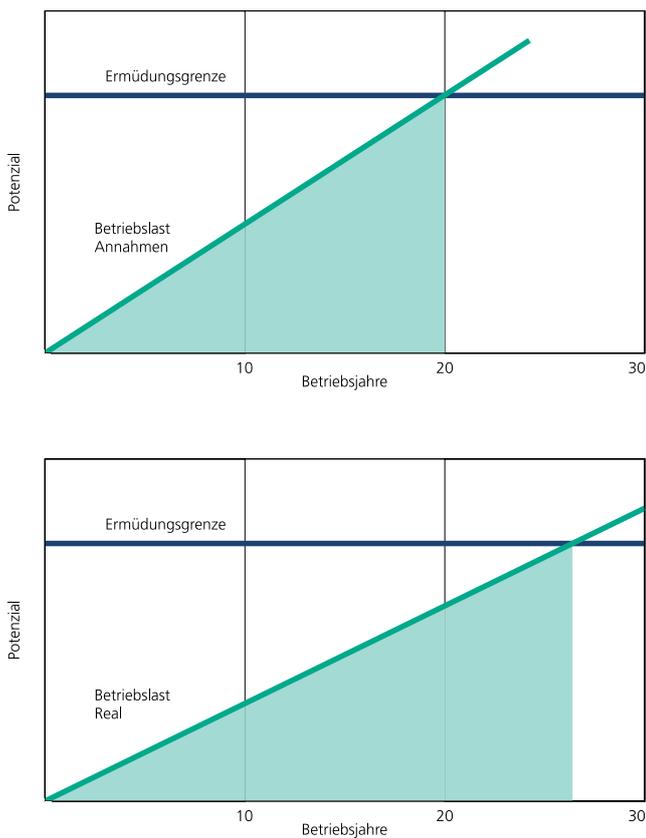


Abbildung 2: Prinzip der Ermüdung

Forderungen der zuständigen Genehmigungsbehörden zur Absicherung der Restnutzungsdauer, die dann natürlich auch mit Kosten verbunden sein werden. Pacht- und Nutzungsverträge sind zuweilen nur für die Periode der geplanten Nutzungsdauer abgeschlossen. Es ist in jedem Einzelfall zu klären, ob die relevanten Verträge unbeschränkt für die Gesamtnutzungsdauer gelten.

**Technische Aspekte.** Ein Weiterbetrieb ist nur dann zu tolerieren, wenn ein sicherer Weiterbetrieb auch innerhalb der Restnutzungsdauer gewährleistet ist. Derzeit werden entsprechende Verfahren und Richtlinien entwickelt, um einen Weiterbetrieb für die Anlagen zu ermöglichen, die bereits das 20. Betriebsjahr erreicht haben bzw. in Kürze erreichen werden. Langfristig werden diese Verfahren natürlich auch für Anlagen zur Verfügung stehen, die das Ende der geplanten Nutzungsdauer erst in einigen Jahren bzw. in ferner Zukunft erreichen werden.

**Wirtschaftliche Aspekte.** Zu Beginn und innerhalb der Restnutzungsdauer werden zusätzliche Kosten für Nachweisverfahren, engmaschige Überwachung, ggf. Installation von Monitoringsystemen und möglicherweise auch für Ertüchtigungsmaßnahmen einzelner Bauteile entstehen. Die Einnahmesicherheit wird sich mit Beginn der Restnutzungsdauer für die Anlagen verringern, die heute in Betrieb genommen werden, da diese Anlagen nach EEG die Mindestvergütung lediglich für 20 Jahre garantiert erhalten.

**Potenziale für eine Laufzeitverlängerung**

Mit sehr hoher Wahrscheinlichkeit wird die Periode der Gesamtnutzungsdauer einer Windenergieanlage länger sein als die Entwurfslebensdauer. Erste Erfahrungen zeigen, dass eine Verlängerung durchaus möglich ist.

Der theoretische Ermüdungsnachweis für die Windenergieanlagen basiert auf folgenden allgemeinen Randbedingungen:

- Technische Verfügbarkeit der Anlagen von 100 %
- Mittlere Windgeschwindigkeit entsprechend Windklasse nach DIN IEC 61400 bzw. Windlastzone nach DiBt-Richtlinie.
- Turbulenzklasse nach DIN IEC 61400
- 20 Jahre lang gleich bleibende Lasteinwirkung

Bei Berechnung angenommene mittlere Windgeschwindigkeit über 20 Jahre	Tatsächliche mittlere Windgeschwindigkeit am Standort über 20 Jahre	Verlängerungspotenzial nach 20 Betriebsjahren in Monaten bzw. Jahren
Windlastzone 3	Windlastzone 3	Kein Verlängerungspotenzial
Windlastzone 3	Windlastzone 2	ca. 3 bis 6 Jahre
Windlastzone 3	Windlastzone 1	wahrscheinlich > 10 Jahre

Tabelle 1: Einfluss der mittleren Windgeschwindigkeit auf Nutzungsdauer

Mit der theoretischen Berechnung ist quasi eine Einhüllende oder ein maximales Lastkollektiv definiert. Wird eine Anlage tatsächlich an einem Standort mit geringeren mittleren Windgeschwindigkeiten oder geringeren Turbulenzen betrieben oder weist eine Anlage eine geringere Verfügbarkeit auf, wirken entsprechend geringere Betriebslasten auf die Bauteile ein. Wenn Bauteile innerhalb der ersten 20 Jahre in der Realität geringer belastet werden als bei der theoretischen Berechnung angenommen, sind diese nach den ersten 20 Jahren eben noch nicht ermüdet, ein Weiterbetrieb ist dann aus technischer Sicht möglich. Der Weiterbetrieb kann so lange ausgedehnt werden, bis die Bauteile schließlich und tatsächlich ihre Ermüdungsgrenze erreichen. Die Abbildung 2 soll dies verdeutlichen.

Im Folgenden einige überschlägige Abschätzungen, mit welchen Zeithorizonten für einen Weiterbetrieb im Allgemeinen gerechnet werden kann:

Sofern eine Anlage eine geringere technische Verfügbarkeit als 100 % aufweist, entstehen Stillstandzeiten mit sehr geringen bzw. vernachlässigbaren Ermüdungslasten. Wäre eine Anlage über 20 Jahre zu 100 % verfügbar, würde diese Anlage nach 20 Jahren 175 200 Betriebsstunden aufweisen. Ist eine Anlage tatsächlich aber nur 95 % verfügbar, weist diese Anlage nach 20 Jahren nur 166 440 Betriebsstunden auf. Es besteht somit ein Verlängerungspotenzial bei der Betriebszeit im Umfang von ca. 12 Monaten.

Sofern am tatsächlichen Standort geringere mittlere Windgeschwindigkeiten vorherrschen als die bei der Berechnung des Anlagentyps angenommen, dann werden die Bauteile insgesamt weniger Lasten ausgesetzt. Somit reduziert sich auch die Ermüdung dieser Bauteile. Eine überschlägige Abschätzung ergibt die in Tabelle 1 dargestellten Potenziale für eine Verlängerung der Betriebszeit.

Wenn also Anlagen jeweils für Standorte in Windlastzone 3 nachgewiesen sind, steht für alle Standorte in Windlastzone 2 oder in Windlastzone 1 grundsätzlich ein nennenswertes Potenzial zur Verfügung für eine Verlängerung der Betriebszeit.



Windlastzone	Windgeschwindigkeit
1	22,5 m/s
2	25,0 m/s
3	27,5 m/s
4	30,0 m/s

Quelle: DIN 1055-4:2005-03

Abbildung 3: Windlastzonen in Deutschland IDIN1055-4:2005-03/

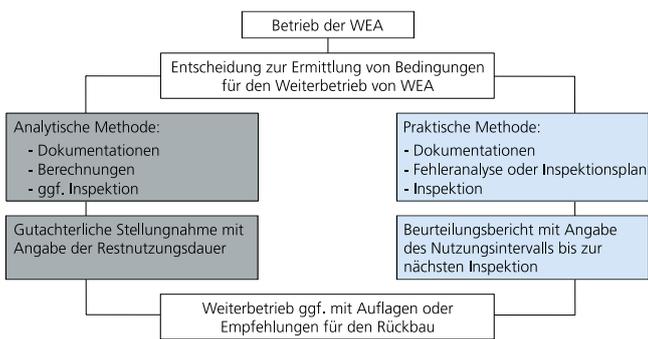


Abbildung 4: Auszug aus der Richtlinie des Germanischen Lloyd zum Weiterbetrieb von Windenergieanlagen, Ausgabe 2009

Turbulenzen haben einen Einfluss auf die Ermüdung der Windenergieanlagen: Je höher die Turbulenzen, umso höher die Ermüdung. In der Regel sind Windenergieanlagen für das höchste Turbulenzniveau nachgewiesen, denn nur dadurch ist gesichert, dass die Anlagen an jedem beliebigen Standort in der BRD errichtet werden können. Mit Sicherheit werden nicht alle Anlagen mit dem höchsten Turbulenzgrad belastet, insofern gibt es bei sehr vielen Anlagen eine Reduzierung der Ermüdung. Im Falle der Turbulenz spielt die Nabenhöhe und die Windparkkonfiguration eine Rolle, insbesondere die Erhöhungen von Turbulenzen durch vorgelagerte Windenergieanlagen müssen berücksichtigt werden.

Eine quantitative Berechnung von Potenzialen kann nur individuell für jeden Standort unter Berücksichtigung der örtlichen Turbulenz und Situation erfolgen. Da die zuvor dargestellten Verlängerungspotenziale auf verschiedenen Wirkprinzipien beruhen, können die jeweils ermittelten Verlängerungsperioden kumuliert werden. Drei Fallbeispiele zeigen die Möglichkeiten auf:

Fallbeispiel 1:

Eine WEA – nachgewiesen für Windlastzone 3 – ist an einem Standort in Windlastzone 2 zusammen mit zwei anderen Anlagen errichtet worden. Die drei Anlagen stehen in einer Reihe und sind quer zur Hauptwindrichtung ausgerichtet, die Standort-Turbulenz liegt im mittleren Bereich. Die Anlage erreicht nach 20 Jahren eine durchschnittliche Verfügbarkeit von 97 %. Eine überschlägige Kalkulation ergibt eine Zeitspanne von ca. 4 bis 7 Jahre für eine Betriebszeitverlängerung.

Fallbeispiel 2:

Eine WEA – nachgewiesen für Windlastzone 3 – ist an einem Standort in Windlastzone 1 als Einzelanlage errichtet worden. Die Umgebung ist relativ eben, die Standort-Turbulenz ist gering. Die Anlage erreicht nach 20 Jahren eine durchschnittliche Verfügbarkeit von 95 %. Insgesamt kann eine Betriebszeitverlängerung von mehr als 10 Jahren in Betracht gezogen werden.

Fallbeispiel 3:

Eine WEA – nachgewiesen für Windlastzone 3 – ist an einem Standort in Windlastzone 3 in Hauptwindrichtung in der vier-

ten Reihe eines Windparks errichtet worden. Die Umgebung ist komplex, es handelt sich um einen Standort mit relativ hoher Turbulenz. Die Anlage erreicht nach 20 Jahren eine durchschnittliche Verfügbarkeit von 98 %. Insgesamt wäre eine Betriebszeitverlängerung von einigen Monaten realistisch.

### Maßnahmen zur Absicherung der Restnutzungsdauer

Da die Windenergieanlagen in der Regel auf 20 Jahre Betrieb ausgelegt und berechnet sind, muss bei einem Weiterbetrieb der Anlage nach 20 Jahren eine Absicherung erfolgen, um Gefährdungen für die Umwelt auszuschließen. Dabei ist zu berücksichtigen, dass eine Verlängerung der Betriebsdauer für das Serienprodukt nicht möglich ist, jeder Nachweis muss individuell für jede einzelne Anlage geführt werden. Dies gilt selbst für Anlagen, die zusammen in einem Windpark stehen. Abbildung 4 zeigt, welche Aktivitäten nach dem aktuellen Stand der Technik erforderlich sind.

Unter analytischen Methoden werden Berechnungsverfahren verstanden, mit denen zunächst die vorhandene Schädigung ermittelt wird und daraufhin die Restnutzungsdauer abgeschätzt werden kann, wenn die vorhandene Schädigung die nachgewiesene Schädigung noch nicht erreicht hat. Dazu zählen Methoden, wie sie zuvor beschrieben wurden.

Bei der praktischen Methode werden die Ist-Zustände der Bauteile durch Inspektionen erfasst und eventuelle Gefährdungen durch eine Fehleranalyse bewertet. Ein Weiterbetrieb der Anlage ist nur dann möglich, wenn durch die Fehleranalyse und die Inspektionen Gefährdungen ausgeschlossen werden können.

Da sowohl die analytische Berechnung als auch die praktische Methode wertvolle Informationen für einen Weiterbetrieb der Windenergieanlage über die geplante Nutzungsdauer hinaus liefern, wird in der überarbeiteten DiBT-Richtlinie (zukünftig maßgebend für Tragwerke) die Anwendung beider Methoden vorgeschrieben.

Neben den analytischen Nachweisen von bestehenden Verhältnissen können ersatzweise auch Maßnahmen zur Ertüchtigung

von Komponenten bzw. ergänzende Maßnahmen zur Online-Erfassung von Anlagenzuständen durchgeführt werden:

- Unter Ertüchtigung sind bauliche Maßnahmen zu verstehen, die eine Tragfähigkeitsverbesserung und damit eine Verlängerung der Nutzungsdauer beinhalten.
- Durch eine kontinuierliche Zustandserfassung von Bauteilen über Sensoren (Monitoring) schon innerhalb der geplanten Nutzungsdauer kann bei gegebener Tragfähigkeit eine genauere Vorhersage des tatsächlichen Versagenszeitpunktes erfolgen als bei der rein theoretischen Betrachtungsweise.

### Ausblick

Die Frage der Betriebszeitverlängerung über die geplante Nutzungsdauer hinaus wird im Bereich der Windenergie erst seit wenigen Jahren diskutiert und bearbeitet, und insofern sind die zur Verfügung stehenden Richtlinien, Informationen und Prozeduren mit Sicherheit noch nicht ausgereift. Es wird in der Zukunft hier weitere Forschungsergebnisse geben, die zu bedeutsamen Prozess-Änderungen führen können.

Mit dem heutigen Wissensstand ist es noch nicht möglich, die Gesamtnutzungsdauer von Windenergieanlagen mit einer hohen Eintrittswahrscheinlichkeit vorherzusagen, insofern handelt es sich bei den vorgestellten Ergebnissen um grobe Abschätzungen. Hier werden sich erst in den kommenden Jahren Erfahrungen ansammeln, die eine Verbesserung der Vorhersagemodelle nach sich ziehen werden.

Im technischen Bereich wird derzeit das Lebensdauer-Monitoring für Windenergieanlagen entwickelt. Dieses System wird zur exakten Erfassung von realen Lastwechseln und den daraus resultierenden Schädigungen eingesetzt. Damit steht in naher Zukunft ein Prognoseinstrument für die Dauer der Restnutzungsdauer zur Verfügung. Aus heutiger Sicht wird dies bei vielen Anlagen zu einer deutlichen Verlängerung der Betriebsdauer bei gleichzeitiger Vermeidung von Ertüchtigungskosten führen.

**Fraunhofer IWES** | Kassel

Königstor 59  
34119 Kassel / Germany  
Tel.: 05 61 72 94-0  
Fax: 05 61 72 94-100

**Fraunhofer IWES** | Bremerhaven

Am Seedeich 45  
27572 Bremerhaven / Germany  
Tel.: 04 71 90 26 29-0  
Fax: 04 71 90 26 29-19

[info@iwes.fraunhofer.de](mailto:info@iwes.fraunhofer.de)  
[www.iwes.fraunhofer.de](http://www.iwes.fraunhofer.de)

Gefördert durch:



Bundesministerium  
für Umwelt, Naturschutz  
und Reaktorsicherheit

Projekträger:



aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages

ISBN 978-3-8396-0536-3

