

Grundsätze

für die Durchführung einer Bewertung
und Prüfung über den Weiterbetrieb von
Windenergieanlagen (BPW) an Land

2. stark
überarbeitete
und erweiterte
Auflage

Basic Principles

for Performing an
Assessment and Verification
of the Lifetime Extension of Onshore
Wind Energy Converters (BPW)

2nd fully revised
and expanded
edition

Inhaltsverzeichnis

1. Allgemeines	04
2. Ziel und Zweck der Bewertung und Prüfung über den Weiterbetrieb	07
3. Anforderungen an den Sachverständigen	08
4. Bewertungsgrundlagen	11
5. Erforderliche Unterlagen für die Überprüfung	12
6. Prüfumfang	13
6.1 Der analytische Teil	15
6.2 Der praktische Teil	25
6.3 Messungen	27
7. Prüfergebnis und Prüfbericht	29
8. Auflagen zum Weiterbetrieb	30
Anhang	

Table of contents

1. General information	38
2. Purpose and objective of the assessment and verification for lifetime extension	41
3. Requirements on the technical expert	42
4. Basic references for the assessment	45
5. Documents required for the verification	46
6. Extent of verification	47
6.1 The analytical part	49
6.2 The practical part	58
6.3 Measurements	59
7. Assessment result and survey report	62
8. Requirements/stipulations for the lifetime extension period	63
APPENDIX	

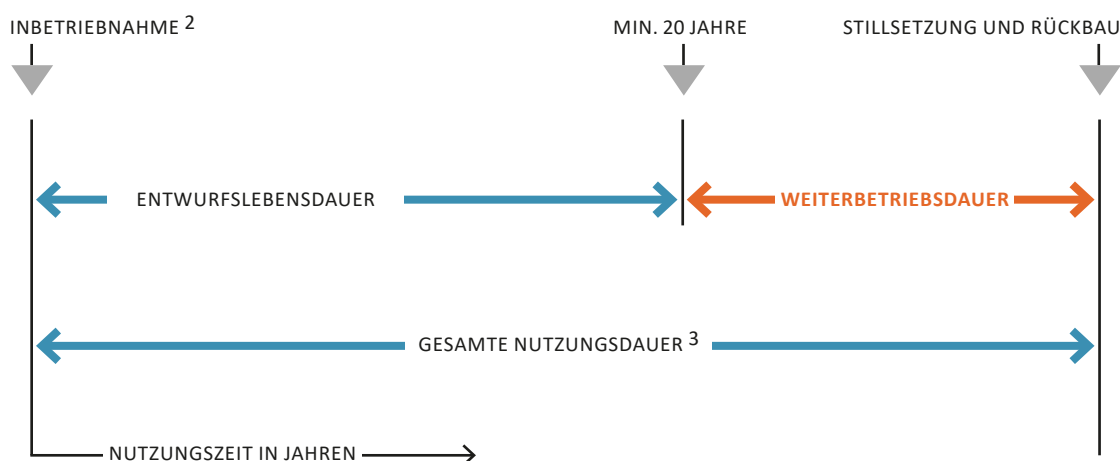
1. Allgemeines

Im Sinne einer nachhaltigen Nutzung erneuerbarer Energien und vor dem Hintergrund der Wirtschaftlichkeit streben die Betreiber als Mitinitiatoren der Energiewende in Deutschland eine möglichst lange Nutzungsdauer von Windenergieanlagen an.

Für die Konstruktion einer Windenergieanlage (fortan WEA) ist es aus betriebswirtschaftlichen Gründen sinnvoll, die WEA auf eine zeitlich begrenzte, endliche Nutzung auszulegen. Die Gesamtnutzungsdauer umschreibt dabei die Zeitspanne vom Zeitpunkt der Inbetriebnahme bis zur planmäßigen Stilllegung.

Theoretisch kann jede Konstruktion bei einer entsprechenden Instandhaltung auf unbestimmte Zeit betrieben werden; insbesondere können gealterte, abgenutzte oder geschädigte Bauteile ersetzt werden.

Praktisch wird die Bemessung einer WEA in der theoretischen Berechnung auf eine endliche Nutzungsdauer die sogenannte Entwurfslebensdauer¹, basierend auf den dazugehörigen Lastannahmen, ausgelegt. Daher wird für die Typen-/Einzelprüfung von Windenergieanlagen ein bestimmter Betriebszeitraum zugrunde gelegt, für den alle lastabtragenden Komponenten mindestens dimensioniert werden.



Mit der Typen-/Einzelprüfung erfolgt der rechnerische Nachweis, dass die in diesem Betriebszeitraum vom Hersteller zugrunde gelegten Lasten nicht zu einem Ermüden eines Bauteils führen und damit nicht die Standsicherheit der WEA einschränken. Die Bezugsgrößen hierfür variieren; in der Regel erfolgt die Annahme der aktuell in Betrieb befindlichen WEA an Land auf eine Betriebszeit von mindestens 20 Jahren teilweise bis zu 25 Jahren (Anmerkung: mindestens 20 Jahre

1) Gemäß Richtlinie für Windenergieanlagen Einwirkungen und Standsicherheitsnachweise für Turm und Gründung, DIBt 1993, DIBt 2004, DIBt 2012 (aktuelle Fassung Oktober 2012) Schriften des Deutschen Instituts für Bautechnik (DIBt): Die Entwurfslebensdauer ist die der Auslegung der Windenergieanlage zugrunde gelegte rechnerische Zeitdauer. Die geplante Nutzungsdauer: Begriff nach DIN EN 1990:2010-12 als angenommene Zeitdauer, innerhalb der ein Tragwerk unter Berücksichtigung vorgesehener Instandhaltungsmaßnahmen für seinen vorgesehenen Zweck genutzt werden soll, ohne dass jedoch eine wesentliche Instandsetzung erforderlich ist.

2) Inbetriebnahme ist die erstmalige Inbetriebsetzung der WEA nach Herstellung der Betriebsbereitschaft. Sofern sich der Zeitraum zwischen der abgeschlossenen Errichtung und der Inbetriebnahme verzögert, ist der Zeitraum dieser Vorphase ggf. zu berücksichtigen.

3) Nutzungsdauer in Anlehnung an Begriff nach DIN EN 1993-1-9:2010-12 als Zeitraum in dem das Tragwerk einer WEA mit ausreichender Zuverlässigkeit ohne ein Versagen durch Ermüdungsrisse genutzt werden kann.

entspricht der Entwurfslebensdauer gemäß Richtlinie für Windenergieanlagen Einwirkungen und Standsicherheitsnachweise für Turm und Gründung, fortan DIBt-Richtlinie).

Aufgrund der Tatsache, dass die WEA aus dem Blickwinkel der Standsicherheit mit einer Entwurfslebensdauer versehen wurden, stellt sich die Frage nach der tatsächlichen und maximalen Lebensdauer einer WEA und damit auch die Frage nach einem zulässigen weiteren Betrieb der WEA (fortan Weiterbetrieb) bis zum Erreichen der Annahmen, die bei Festlegung der Entwurfslebensdauer zugrunde gelegt wurden. Dabei wird die Versagenswahrscheinlichkeit nach DIN EN 1990 zugrunde gelegt.

Mit der Zielrichtung, rechtliche und technische Fragen im Zusammenhang mit dem Thema Weiterbetrieb zu klären, wurde im Juli 2011 der Arbeitskreis Weiterbetrieb im Bundesverband WindEnergie e. V. gegründet. Die Mitglieder des Arbeitskreises sind technische Sachverständige, Betreiber, Hersteller, Betriebsführer und Juristen. Somit konnten mit den verschiedenen Blickwinkeln die technischen Erfahrungswerte, die Probleme aus der Praxis und sämtliche Fragestellungen zusammengetragen und bearbeitet werden. Ziel des Arbeitskreises ist die Schaffung der Voraussetzungen für einen sicheren und erfolgreichen Weiterbetrieb im Sinne der nachhaltigen Nutzung von Windenergie. Die Ergebnisse aus dieser Zusammenarbeit zum Thema Weiterbetrieb sind in der vorliegenden Veröffentlichung der Grundsätze für die Durchführung einer Bewertung und Prüfung über den Weiterbetrieb von Windenergieanlagen (BPW) zusammengefasst. Die Grundsätze für die BPW erläutern die Anforderungen, geben Hilfestellungen bei der Umsetzung und liefern für alle Beteiligten Informationen schon im Vorfeld, um das Thema auch zukünftig optimal vorbereiten zu können.

Zu den Grundlagen: Die Entwurfslebensdauer einer WEA richtet sich nach ihrer jeweiligen und maßgeblichen Typen-/Einzelprüfung mit den dazugehörigen Lastannahmen. Als Entwurfslebensdauer versteht man dabei die der Auslegung der WEA zugrunde gelegte rechnerische Zeitdauer für den Nachweis der Standsicherheit des Turms, der Gründung und der übrigen lastabtragenden Bauteile.

Im Rahmen der jeweiligen Typen-/Einzelprüfung wird damit für die Auslegung der WEA eine rechnerische Mindest-Zeitdauer mit den dazugehörigen Lastannahmen zugrunde gelegt. Mit der Betriebsdauer lässt sich lediglich der zeitliche Aspekt der Entwurfsdauer „auf den ersten Blick“ feststellen; nicht hingegen die der Entwurfslebensdauer zugeordneten Lasten, die im Betrieb der individuellen WEA erheblich variieren können. Die tatsächliche Lebensdauer/Gesamtnutzungsdauer wird in der Regel größer sein als die Entwurfslebensdauer. Oftmals werden im Betrieb die der Entwurfslebensdauer zugrundeliegenden Annahmen nicht erreicht.

Damit trifft die zeitliche Bemessung der Entwurfslebensdauer (mindestens 20 Jahre) allein noch keine Aussage über die mögliche Gesamtnutzungsdauer einer WEA. Vielmehr liegen den Berechnungen nur begrenzte Zeiträume (oftmals 20 Jahre) zugrunde, die rechnerisch von der Typenprüfung abgedeckt sind, ohne dass es in dieser Betriebszeit weiterer Nachweise bedarf. Damit ist für diesen Zeitraum die Standsicherheit der WEA belegt.

Ein Weiterbetrieb der WEA über den Zeitraum der Entwurfslebensdauer hinaus ist möglich, erfordert aber eine Bewertung anhand von nachfolgend beschriebenen Prüfmethode(n) hinsichtlich des Weiterbetriebes für die Gesamtanlage. Maßgeblich für die Frage des Weiterbetriebes sind damit alle standsicherheitsrelevanten Bauteile der WEA, insbesondere lastabtragenden Komponenten, Funktionsfähigkeit der Sicherheitseinrichtungen, Anlagensteuerung, Bremssysteme usw.

Regelungen zur Ausgestaltung der Bewertung und der Prüfmethode(n) über den Weiterbetrieb trifft die Richtlinie für Windenergieanlagen, Einwirkungen und Standsicherheitsnachweise für Turm und Gründung des DIBt in der Fassung Oktober 2012 (fortan DIBt-Richtlinie 2012), welche zwischenzeitlich in allen Bundesländern bauaufsichtsrechtlich eingeführt wurde.

Die BPW liegt in der Verantwortung des Betreibers und ist durch diesen rechtzeitig – d.h. vor dem Erreichen der zeitlich definierten Entwurfslebensdauer – zu veranlassen. Der Betreiber hat die notwendigen Voraussetzungen zur Durchführung dieser Prüfung zu schaffen.

2. Ziel und Zweck der Bewertung und Prüfung über den Weiterbetrieb

Ziel der BPW ist es, Voraussetzungen für einen sicheren Weiterbetrieb der WEA unter den gegenwärtigen und zukünftigen Randbedingungen zu schaffen. Im Rahmen der vorgegebenen Umfänge ist eine technische Aussage darüber zu treffen, ob die WEA als Gesamtanlage unter den gegenwärtigen und zukünftigen Einflüssen des Betriebes noch die Aspekte der Standsicherheit und Betriebsfestigkeit erfüllt und/oder ob Inspektionen oder konkrete Maßnahme abgeleitet werden müssen, um einen sicheren Weiterbetrieb der WEA zu gewährleisten.

Mit Ablauf der jeweiligen Entwurfslebensdauer können die rechnerischen Annahmen für die Standsicherheit nach den Grundlagen der DIBt-Richtlinie erreicht sein.

Um die Weiterbetriebsdauer bestimmen zu können, muss die WEA und insbesondere die Tragstruktur analysiert werden. Dies erfolgt indem der aktuelle Zustand und die weiteren potentiellen Einwirkungen (siehe Abschnitt 6.1) im festzulegenden Zeitrahmen bewertet werden. Als Ergebnis ist damit ein Konzept zu erwarten, mit dem die Sicherheit für ein zu bestimmendes Intervall der Weiterbetriebsdauer gegeben ist.

Die BPW beachtet und deckt das für den Betrieb von WEA geforderte Sicherheitsniveau (DIBt 2012, DIN EN 1990) ab. Die BPW schließt keine zulässige und akzeptable Restgefahr von Schädigungsereignissen im Einwirkungsbereich der WEA aus, die auch im Rahmen der Entwurfslebensdauer bestehen und mit anderen gesellschaftlich akzeptierten Risiken durch natürliche und technische Einwirkungen verglichen werden kann. Ein Restrisiko ist im Hinblick auf das in der Betriebspraxis vorherrschendes hohes Sicherheitsniveau eine Gefahr, die trotz inhärent sicherer Konstruktion und technischer Schutzeinrichtungen ein unvermeidbares, durch die Verwendung des Produkts gegebenes, nicht offensichtliches Risiko bedeutet. Nicht erkennbare Fertigungs- und Montagemängel, Vorschädigungen, höhere Gewalt, besondere Betriebsituationen durch Störungen der Steuerung und menschliches Versagen können als die Hauptursachen für Schadensfälle angesehen werden, wobei häufig erst eine Verkettung mehrerer dieser Umstände zu einem relevanten Schadensereignis führt.

Die BPW hat die Zielsetzung, auf Grundlage der vorhandenen Unterlagen und dem tatsächlichen Zustand der Gesamtanlage eine Weiterbetriebsdauer quantitativ ggf. mit Auflagen zu ermitteln. Die BPW trifft im nachfolgend beschriebenen Verfahren Aussagen darüber, ob

- sich auf Grundlage der vorhandenen Unterlagen eine Weiterbetriebsdauer der Gesamtanlage ermitteln lässt (analytischer Teil) und
- die Prüfung des technischen Zustandes der Gesamtanlage den Weiterbetrieb ermöglicht (praktischer Teil)

Die BPW soll das Ergebnis und den Inhalt des Weiterbetriebes dokumentieren. Sofern Nachweise von Seiten Dritter, z.B. der Genehmigungsbehörde, vom Anlagenbetreiber gefordert werden, kann der Prüfbericht zur Vorlage und als Nachweis gegenüber der Genehmigungsbehörde dienen. Die Unterlagen sind vorzuhalten und bei Anforderung durch die Genehmigungsbehörde vorzulegen.

3. Anforderungen an den Sachverständigen

Die BPW ist nach 17.2 der DIBt-Richtlinie von geeigneten, unabhängigen Sachverständigen für Windenergieanlagen durchzuführen. Die eingeschalteten Sachverständigen müssen über eine entsprechende Ausbildung verfügen und die fachlichen Anforderungen für die Beurteilung der Gesamtanlage erfüllen.

Daneben ist eine Akkreditierung nach DIN EN ISO/IEC 17020 oder DIN EN ISO/IEC 17065 oder eine gleichwertige Qualifikation erforderlich in Anlehnung an die Vorgaben einer unparteiischen Stelle. Es sind damit durch den Sachverständigen Kriterien einzuhalten, die Gewähr dafür bieten, dass die Anforderungen und Kriterien aus der Akkreditierung in Bezug auf Unabhängigkeit, Unparteilichkeit, Integrität, Organisation und Bearbeitungsqualität beachtet werden.

Im Detail gilt zu den Kriterien und Anforderungen an den Sachverständigen Folgendes:

a) Fachliche Qualifikation

Bei der BPW liegt der Schwerpunkt auf der Überprüfung der Standsicherheit der Gesamtanlage. Maßgeblich kommt es bei der BPW auf eine Analyse und Bewertung der Ermüdungssicherheit sowie auf das Beurteilen von erkennbaren Schäden an. Alle Beurteilungen im Rahmen der Fragestellungen werden allein von dem Sachverständigen getroffen. Diese Aufgabe erfordert vom Sachverständigen daher neben statischen und konstruktiven Kenntnissen im Besonderen Erfahrungen und Fachwissen in der Ermüdungsbewertung. Für die BPW sind Sachverständige als besonders fachkundige Personen erforderlich.

Als besonders fachkundige Personen gelten Sachverständige, die im Rahmen einer mehrjährigen Tätigkeit im Bereich Windenergie einschlägige Kenntnisse in den Bereichen Festigkeits- und Betriebsfestigkeitsberechnung nachweisen können und Wiederkehrende Prüfungen (WKP gemäß Grundsätze für die Wiederkehrende Prüfung von Windenergieanlagen des technischen Sachverständigenbeirat des BWE e.V. 2012) an WEA durchgeführt haben.

Die besonders fachkundigen Personen müssen die Voraussetzungen zur Beurteilung der Gesamtanlage erfüllen. Erfüllt ein Sachverständiger allein nicht die Anforderungen zur BPW für die gesamte WEA, so hat er für Bereiche, deren Qualifikation nicht abgedeckt sind, geeignete besondere fachkundige Personen, mithin entsprechend qualifizierte Sachverständige, die ihrerseits die obigen Voraussetzungen für diesen Bereich erfüllen, hinzuzuziehen.

b) Arbeitsorganisation und Qualitätssicherung

Der Sachverständige bzw. die Sachverständigengesellschaft (fortan der Sachverständige) haben die für ihre Tätigkeit spezifischen Kriterien der DIN EN ISO/IEC 17020 und der DIN EN ISO/IEC 17065 zu beachten und zu gewährleisten.

Die Regelungen sind im Wesentlichen darauf ausgerichtet, in Übereinstimmung mit Verordnungen, Normen oder Spezifikationen für den Auftraggeber entsprechende Informationen zu liefern. Die Informationen, Ergebnisse, Berichte oder Bescheinigungen werden vom Sachverständigen in Unabhängigkeit, Unparteilichkeit und Integrität, d. h. außerhalb kommerzieller, finanzieller oder sonstiger Beeinflussung erstellt.

Hinsichtlich der Unabhängigkeit gilt, dass der Sachverständige von den durch die Tätigkeit betroffenen Parteien unabhängig sein muss. Dementsprechend darf der Sachverständige weder Konstrukteur, Hersteller, Lieferer, Errichter, Käufer, Eigentümer, Benutzer oder Instandhalter der von ihm inspizierten und zu bewertenden WEA, noch deren bevollmächtigte Vertreter sein. Der Sachverständige darf sich insgesamt nicht mit Tätigkeiten befassen, die die Unabhängigkeit seines Urteils und die Integrität bei der Aufgabenstellung verletzen können. Er darf damit auch nicht unmittelbar mit der Konstruktion, der Herstellung, dem Vertrieb, der Errichtung, der Benutzung bzw. dem Betrieb oder der Instandhaltung von WEAs befasst sein, die er bewerten, oder aber von Bauteilen, die den von ihm bewerteten ähnlich sind und mit diesem am Markt konkurrieren.

Der Sachverständige muss durch organisatorische Maßnahmen und/oder durch schriftliche Verfahrensanweisungen Vorkehrungen treffen, um innerhalb seiner Organisation eine angemessene Trennung von Zuständigkeiten und Verantwortlichkeiten im Zusammenhang mit den Aufgabenstellungen und Bewertungen sicherzustellen.

In Erfüllung seiner Aufgabenstellung hat der Sachverständige ein wirksames Qualitätsmanagementsystem zu betreiben und dafür zu sorgen, dass bei Bestehen verschiedener Organisationsebenen dieses umgesetzt und beibehalten wird. Im Falle von Sachverständigengesellschaften sind ausreichende Zahlen von Personen zu beschäftigen, die über alle Sachkenntnisse zur Erfüllung der regelmäßig anfallenden Aufgaben verfügen.

Der Sachverständige muss angemessen gegen Haftpflichtschäden versichert sein.

Der Sachverständige wie auch der verantwortlich Beschäftigte müssen über angemessene Qualifikationen, Schulungen, Erfahrung und über eine ausreichende Kenntnis der Anforderungen verfügen, die den Sachverständigen in seiner Aufgabenstellung und in seiner Entscheidung über den Weiterbetrieb der WEA betreffen.

Auf der Grundlage der ermittelten Untersuchungsergebnisse, muss der Sachverständige in der Lage sein, Beurteilungen im Hinblick auf die Übereinstimmung mit den allgemeinen technischen Anforderungen und dem Stand der Technik vorzunehmen.

Erforderlich sind insoweit sachdienliche Kenntnisse, die sich beziehen auf Aspekte wie die zur Herstellung der inspizierten WEA verwandte Technik, die Art, in der die Inspektionen unterworfenen WEA benutzt werden, sowie diejenigen Mängel, die sich während der Benutzung oder während des Betriebs der WEA einstellen können. Der Sachverständige muss ferner beurteilen können, was festgestellte Mängel für den Betrieb der WEA bedeuten.

Der Sachverständige hat in dokumentierter Form sicherzustellen, dass eine berufliche Bildung und damit ständige Fortbildung erfolgt, die gewährleistet, dass der Wissenstand auf einem entsprechend erforderlichen Stand gehalten und erweitert wird. Damit verbunden ist für den Sachverständigen eine ständige Weiterbildungsverpflichtung entsprechend der fortschreitenden Entwicklung der Technik während der Tätigkeit als Sachverständiger.

Der Sachverständige muss für die Erledigung der Aufgabenstellung über geeignete und ausreichende Einrichtungen und Geräte verfügen, die es ihm gestatten, alle Handlungen vorzunehmen, die mit der Durchführung der Aufgabenstellung verbunden sind. Soweit Dienstleistungen durch Dritte in Anspruch genommen werden, gelten die Anforderungen auch für diesen.

Verwendete Geräte sind ordnungsgemäß zu kennzeichnen und nach dokumentierten Verfahrensanweisungen und Anleitungen ordnungsgemäß zu warten. Etwaige Kalibrierungen sind nach einem festgelegten Ablaufschema und Intervall, bestenfalls unter Beachtung internationaler Vorgaben, durchzuführen. Der Sachverständige hat wichtige Angaben über die Geräte aufzuzeichnen und zu dokumentieren (Lebensakte).

Über die Tätigkeiten des Sachverständigen sind entsprechende Berichte und Bescheinigungen auszufertigen, deren Angaben nachprüfbar sein müssen. Die Dokumentation muss alle Ergebnisse der Untersuchungen und die aufgrund dieser Ergebnisse getroffenen Feststellungen enthalten, um diese nachzuvollziehen. Die Angaben hierzu müssen richtig, genau und eindeutig wiedergegeben werden.

4. Bewertungsgrundlagen

Maßgeblich für die BPW der WEA sind diejenigen Richtlinien und Regelwerke in ihrer aktuellen Fassung, welche Grundlage der Genehmigung für die Errichtung und den Betrieb der WEA waren. Daneben sind der aktuelle Stand der Technik sowie die Liste der technischen Baubestimmungen zu berücksichtigen.

Ausgenommen hiervon sind Regelwerke und Richtlinien, die ihre Gültigkeit verloren haben bzw. nach dem heutigen Stand der Technik ergänzungsbedürftig sind. Die BPW muss dem Umstand Rechnung tragen, dass eine Vielzahl der aktuell gültigen technischen Vorschriften in Bezug auf die Fertigung, Errichtung und den Betrieb einer WEA erst nach der Errichtung und Inbetriebnahme der zu untersuchenden WEA Geltung erlangt haben.

Die BPW erfordert daher in besonderem Maße eine individuelle Analyse und Bewertung möglicher Risiken, die sich aus dem Betrieb der Gesamtanlage unter besonderer Berücksichtigung der Entwurfslebensdauer und den spezifischen Standortbedingungen ergeben können. Dabei ist sowohl die Einwirkungsseite (Lasten) als auch die Widerstandsseite (Bauteilwiderstand) zu betrachten.

5. Erforderliche Unterlagen für die Überprüfung

Der Sachverständige benötigt für die BPW spezifische Informationen im Zusammenhang mit dem Standort, der Errichtung, dem Betrieb, der Wartung und der Instandhaltung der WEA. Vom Betreiber sind daher mindestens die folgende Informationen, Daten und Unterlagen beizubringen und zur Einsicht bzw. zur Verfügung zu stellen:

- Genehmigung inkl. Nebenbestimmungen
- Prüfbericht zur Typenprüfung
- Typen-/Einzelprüfung
- Unterlagen/Nachweis zur Inbetriebnahme
- Änderungen am Standort
- Erweiterung im Windparkgebiet durch errichtete oder bereits genehmigte WEA
- Betriebsdaten
- Ertragsdaten (kWh) und absolvierte Betriebsstunden
- Logbuch
- Bedienungsanleitung
- Wartungspflichtenheft
- Wartungsberichte
- Lebenslaufakte mit einer Übersicht standsicherheitsrelevanter Instandhaltungsmaßnahmen, d.h. also Reparaturen, Ertüchtigungen, Verbesserungen, etc.
- Schalt- und Hydraulikpläne
- Parametrierung
- Berichte aller vorausgegangenen technischer Überprüfungen
- Berichte zu den Wiederkehrenden Prüfungen

In besonderen Fällen fehlender Unterlagen und Dokumentationen kann der Nachweis auch durch anderweitige geeignete Unterlagen, Dokumente oder Daten erbracht werden.

Für einige WEA zeigt sich in der Praxis, dass Betreiber bereits in der damaligen Errichtungs- und Inbetriebnahmephase wenig technische Unterlagen seitens des Herstellers erhalten haben. Damit sind die Hersteller oder deren Rechtsnachfolger heute gefragt, erforderliche Informationen, Dokumente oder Daten unterstützend zu liefern. Die Hersteller sind also auch gefordert, aktiv an einer erfolgreichen Umsetzung des Weiterbetriebs von Bestandsanlagen mitzuwirken. Anderenfalls wird eine effektive Umsetzung dieser Thematik erheblich erschwert. Im Sinne der Nachhaltigkeit von Windenergie und der Gestaltung eines sicheren Betriebs von WEA dürften auf beiden Seiten die Interessen gleichgerichtet und eine Zusammenarbeit beim Thema Weiterbetrieb angestrebt sein.

6. Prüfumfang

Mit den Grundsätzen werden die Mindestanforderungen an die Prüfung und Bewertung festgelegt und erläutert. Ziel ist es, mit angemessenem Umfang den aktuellen Zustand der WEA und eine Weiterbetriebsdauer zu ermitteln. Das Vorgehen ist an den Anforderungen der aktuell gültigen Normung orientiert und beachtet diese.

Die BPW besteht aus zwei Teilen und setzt sich aus einem analytischen Teil und einem praktischen Teil zusammen. Der Weiterbetrieb einer WEA nach Ablauf der Entwurfslebensdauer ist nur möglich, wenn die Ergebnisse beider Methoden in der BPW einen sicheren Weiterbetrieb der WEA bestätigen.

Die Bearbeitung der BPW ist hinsichtlich der Reihenfolge des analytischen oder des praktischen Teils nicht festgelegt und orientiert sich an dem vom Sachverständigen festgelegten Vorgehen.

Beide Methoden beziehen sich auf die technischen Grundlagen in aktueller Fassung, d. h. den allgemein anerkannten Regeln der Technik unter Beachtung des Standes der Technik.

Die in den Grundzügen dargestellte Vorgehensweise beachtet die Anforderungen und Vorgaben im Geltungsbereich der DIBt-Richtlinie (Abschnitt 17.). Danach gilt:

Die praktische Methode (ist) durch zusätzliche statische Berechnungen unter Einbeziehung des derzeit geltenden Regelwerks zu belegen.

Die analytische Methode muss durch zusätzliche repräsentative Probennahmen am Turm und eine Begutachtung der Gründung unterstützt werden.

Die Betrachtung beider Prüfmethode(n) bezieht sich dabei auf alle standsicherheitsrelevanten Komponenten und relevanten lastabtragenden Bauteile:

- Tragstruktur (Turm und Gründung)
- Verbindungselemente (Schrauben, Ankerbolzen, Spannglieder, etc.)
- Tragende Elemente der Gondel (Grundrahmen, Maschinenträger, Achszapfen, etc.)
- Triebstrang (Welle, Wellenverbindungselemente, etc.)
- Nabe
- Rotorblatt
- Brems- bzw. Anlagensicherheitssysteme

Die vorstehende Auflistung unterliegt keiner abschließlichen Anwendung. Die Erfahrungen aus den bisherigen Betriebsphasen verschiedener WEA zeigen konstruktionsspezifische Besonderheiten und individuelle Schädigungsereignisse an einzelnen WEA, so dass ggfs. auch weitere Einzelkomponenten der WEA zu betrachten sind.

Ziel der BWP ist es daher, mit maßgeblichem Blick auf die Standsicherheit, ermüdungsrelevante Bauteile im Sinne einer Gesamtbetrachtung der WEA zu ermitteln.

Der Sachverständige prüft und legt für die Bewertung fest, inwieweit die Annahmen und Ergebnisse der Typenprüfung bzw. Bestandsstatik für die BPW zugrunde gelegt werden können. Abweichungen müssen bei der Bewertung berücksichtigt werden. Daneben können auch technische Erfahrungen aus der Betriebszeit des WEA-Typs relevant werden. Die wesentlichen bzw. für die Lebensdauer maßgebenden Bauteile, werden basierend auf den aktuellen Normen nachgewiesen. Hinsichtlich der Standsicherheit des Tragwerks relevante Bauteile werden unter Beachtung der aktuellen bauaufsichtsrechtlich eingeführten Normen (Liste der technischen Baubestimmungen) geprüft. Die BPW zum Weiterbetrieb hat das für den Betrieb von WEA geforderte Sicherheitsniveau abzudecken.

Die tatsächliche Weiterbetriebsdauer kann von vielen unterschiedlichen Faktoren abhängen. Diese müssen in die Berechnung, Inspektion und Bewertung einfließen.

Wesentliche Faktoren sind u.a.:

- Standortbedingungen
- Konfiguration von WEA im Windparkgebiet
- Auslegung, Entwurf und Konstruktion der WEA
- Material-, Fertigungs-, und Errichtungsqualität der WEA
- Besonderheiten im Zusammenhang mit der Inbetriebnahme
- Veränderungen an der WEA
- Zustand der WEA
- Besonderheiten in den Betriebszuständen der WEA
- Instandhaltung (Inspektion, Wartung, Instandsetzung, Verbesserungen)
- Zwischenzeitliche Veränderungen der Umgebung der WEA
- Standortspezifische Beanspruchungen
- Turbulenzen und Windparkeffekte
- Klimateffekte
- Betriebszeiten
- Stillstandzeiten
- Leistungsreduzierter/-erhöhter Betrieb
- Produktionswerte

Diese Faktoren haben maßgeblichen Einfluss auf die Weiterbetriebsdauer. Sofern sich also nach der BPW bzw. während der ermittelten Weiterbetriebsdauer aus den aufgeführten Bereichen Veränderungen ergeben, kann die zuvor ermittelte Weiterbetriebsreserve beeinflusst werden. Der Anlagenbetreiber ist bei derartigen Veränderungen gehalten, den Sachverständigen hierüber unverzüglich zu informieren. In einem solchen Fall sind mindestens die Ergebnisse des analytischen Teils durch eine aktualisierte Bewertung und Berechnung den veränderten Gegebenheiten anzupassen und eine erneute Bewertung und Prüfung durch den Sachverständigen vorzunehmen.

6.1 Der analytische Teil

Der Gegenstand des analytischen Teils der BPW ist die Ermittlung der Weiterbetriebsdauer mithilfe eines rechnerischen Nachweises. Der rechnerische Nachweis kann sowohl durch eine vollständige Neuberechnung, als auch durch eine Ergänzungsberechnung erfolgen, solange eine gesicherte Aussage zum Weiterbetrieb unter Berücksichtigung der aktuell gültigen Normen und Regelwerke getroffen werden kann.

Hierdurch ist die normative Lücke zu schließen, die sich aus dem Betrieb und dem Erreichen der rechnerischen Entwurfslebensdauer in der jeweiligen Typen-/Einzelprüfung ergibt.

Eine über die Entwurfslebensdauer bestehende Weiterbetriebsdauer kann sich ergeben, sofern die Gesamtanlage innerhalb des bisherigen Betriebes während der Entwurfslebensdauer nachweisbar geringere Betriebsbeanspruchungen erfahren hat, als jene, die in den ursprünglichen Lastannahmen der maßgeblichen Berechnungen der Entwurfslebensdauer (Typen-/Einzelprüfung) zugrunde gelegt wurden. Bei der BPW und der Ermittlung der Weiterbetriebsdauer sind damit auch Faktoren zu berücksichtigen, die ggf. zu höheren Beanspruchungen während der zurückliegenden Nutzungsdauer führen bzw. führten oder diese für die Zukunft vermuten lassen.

Neben den zu bewertenden Betriebsbeanspruchungen können auch Reserven Berücksichtigung finden, die sich aus dem Material selbst, der Materialeigenschaft und -ausstattung ergeben. Gleiches gilt auch für den Fall von Erweiterungen der Weiterbetriebsdauer durch Instandsetzungsmaßnahmen wie Reparatur, Austausch oder Ertüchtigung.

Die Einflussgrößen sind im Rahmen der BPW zu bewerten und können zu einer Erweiterung der Weiterbetriebsdauer oder ggf. zu einer Reduzierung führen.

Der im Abschnitt 6.1 dargestellte Prüfumfang skizziert die notwendigen Eingangsparameter und Vorgehensweisen im Zusammenhang mit dem analytischen Teil und stellt die Mindestanforderungen hierzu dar.

Der analytische Teil dient zur Bestimmung der standortspezifischen Potentiale (Weiterbetriebsdauer) im Vergleich zur ursprünglichen Auslegung. Der prüfende Sachverständige bringt hierbei erforderliche Kenntnisse im Bereich der statischen und dynamischen Bauwerksberechnung sowie Erfahrungen zum Themenkomplex Lebensdaueranalyse (Materialermüdungsverhalten und -bewertung) mit ein.

Der analytische Teil reicht je nach Grundlage von einer Neuberechnung der Windenergieanlage bis zu einer Ergänzungsberechnung auf Basis der ursprünglichen Typenprüfung bzw. Bestandsstatik unter Berücksichtigung der aktuell gültigen Normen und Regelwerke.

Im Rahmen der Neuberechnung werden Strukturmodelle der entsprechenden WEA herangezogen und unter Zugrundelegung der aktuell geltenden Normen und Richtlinien einer erneuten Analyse unterzogen. Dabei sind die tatsächlichen, bisherigen, heute vorherrschenden Bedingungen am Standort und die zukünftigen am Standort zu erwartende Bedingungen zu berücksichtigen.

Über die Betriebszeit der WEA können relevante Änderungen eintreten, die sowohl auf die externen (Umwelt-)Bedingungen wie auch auf die individuelle Betriebsform der WEA (Konfiguration, Parametrierung, Leistungsverhalten, schalloptimierte Betriebsweisen, etc.) Einfluss haben und in der BPW zu beachten sind. Von Seiten des Sachverständigen sind dabei auch erkennbare oder bekannte geometrische Abweichungen zu berücksichtigen und gesondert zu betrachten.

Eventuelle Lastreserven gegenüber der ursprünglichen Bemessung und/oder weiterentwickelte Berechnungsverfahren können ggf. eine verringerte Schädigungsrate für die Entwurfslebensdauer ergeben.

Unter Zuhilfenahme einer geeigneten Simulationssoftware sind die Belastungen an repräsentativen Schnittstellen (Turmfuß, Turmkopf, Turmschnitte, Schnittpunkt Drehachse zu Turmhochachse, Nabenmittelpunkt, Blattwurzel, etc.) zu berechnen. Eingang finden dabei die tatsächlichen Umgebungsverhältnisse des Standortes. Zur Vereinfachung können die so ermittelten Belastungen entsprechend ihrer Signifikanz als Lastkollektive zusammengefasst werden.

Für die ausgewählten Bauteile wird im Rahmen der Typenprüfung/Bestandsstatik in diesem Umfang nachgewiesen, dass die Entwurfslebensdauer aller Bauteile von in der Regel 20 Jahren für den „Entwurfsstandort“ gemäß Typenprüfung erreicht wird (Betriebsfestigkeitsnachweis). Bei der Ermittlung der Dauer des technisch zulässigen Weiterbetriebs hat der Sachverständige zu berücksichtigen, dass unter Anwendung der normierten Sicherheitsbeiwerte und ausreichender individueller Sicherheitszuschläge ein Erreichen des Grenzzustandes der Ermüdung vermieden wird und ein sicherer Weiterbetrieb ermöglicht wird. In geeigneten Fällen können nach der BPW ermittelte, ermüdungsrelevante Bauteile ertüchtigt oder ausgetauscht werden um die Betriebsfestigkeit zeitlich zu erweitern. Bei der BPW limitiert damit das ermittelte, schwächste Bauteil die Weiterbetriebsdauer der WEA, sofern es nicht ersetzt bzw. ertüchtigt wird.

Ein besonderer Anspruch liegt darin, die oftmals nur in vereinfachter Form erfassten Winddaten (z.B. Daten aus dem Betriebsführungssystem der WEA) im Vorfeld ihrer Verwendung sorgfältig zu prüfen und zu verifizieren.

Die Neuberechnung erfordert das Vorhandensein auch von Konstruktionsdaten und weitergehenden Informationen.

Ist eine Bewertung auf Basis der bestehenden Nachweise im Rahmen der Typenprüfung/ Bestandsstatik unter Beachtung der geänderten Eingangsbedingungen möglich, so kann eine Ergänzungsberechnung ausreichend sein. In diesem Rahmen werden Ermüdungsbetrachtungen an definierten Windenergieanlagenkomponenten bzw. werkstoffabhängige Teilberechnungen unter Einbezug der tatsächlichen Standortverhältnisse durchgeführt. In die Prüfung fließen ermüdungsrelevante Betriebszustände ein, die mit den Annahmen der ursprünglichen Bemessung der WEA verglichen werden. Dabei können unterschiedliche Verfahren angesetzt werden, wie beispielsweise simulationsgestützte Berechnungen oder numerische Verfahren. Dabei sind die aktuell gültigen Normen und Regelwerke zu berücksichtigen und nachzuweisen, dass die Auslegung der Typenprüfung zutreffend ist.

Im Rahmen der Ergänzungsberechnung wird die individuelle Gesamtschädigung der WEA ermittelt, mit der ursprünglich angesetzten Entwurfslebensdauer verglichen und so die Weiterbetriebsdauer bestimmt. Ebenso wie bei der Neuberechnung werden alle standsicherheitsrelevanten Komponenten und relevanten lastabtragenden Bauteile betrachtet und rechnerisch nachgewiesen.

Eine Reihe verschiedener Verfahren können im analytischen Teil zur Anwendung kommen, wie z. B.:

- Neu- bzw. Ergänzungsberechnung auf Basis eines generischen WEA-Modells mit vergleichbaren technischen Daten und Eigenschaften wie die zu bewertende WEA aus der Typenprüfung/Bestandsstatik unter Berücksichtigung der Umgebungsverhältnisse des Realstandortes.
- Neu bzw. Ergänzungsberechnung spezifischer Komponenten für Realstandort und Vergleich mit der originären Bemessungsanlage.

Für beide Verfahren schließt sich eine individuelle Lebensdauerabschätzung mit den wie vorstehend ermittelten Eingangsparametern bei Vergleich der Auslegungsbedingungen mit den tatsächlichen Standortbedingungen und der Bewertung der individuell erfahrenen Ermüdungsbelastung der WEA an. Auf Basis der Beanspruchung und der Materialkennwerte errechnet sich der Grad der Ermüdung.

Den Verfahren ist insgesamt gemein, dass unter Beachtung der aktuellen Normung, die realen Standortbedingungen, die tatsächliche auch bisherige Betriebsweise der WEA und damit die tatsächlich am individuellen Standort vorherrschenden Belastungsverhältnisse in die analytische Methode einfließen. Damit wird eine Reihe von Eingangsdaten erforderlich, die im konkreten Fall vom Betreiber oder vom Hersteller bereit zu stellen sind.

Um eine belastbare Grundlage und damit ein umsetzbares Konzept zu schaffen, aber auch um Mindestanforderungen für einen technisch sicheren Weiterbetrieb festzulegen, wurde im Arbeitskreis Weiterbetrieb im Bundesverband Wind-Energie e.V. ein Musterprojekt (Ringversuch) durchgeführt. Hierbei wurden von Sachverständigen gemäß der Qualifikation und Anforderungen an den Sachverständigen aus acht Sachverständigenorganisationen die Berechnung und Bewertung einer ausgewählten, existenten WEA vorgenommen. Ziel des Ringversuches ist es mit den Ergebnissen die erforderlichen und technisch sinnvollen Mindestanforderungen zu definieren, um sich dem analytischen Teil auf technisch sicherer Basis zu nähern.

Ausgangssituation des Ringversuches:

- Windenergieanlage
 - 600 kW Nennleistung,
 - Stahlrohturm mit 65 m Nabenhöhe
 - 44 m Rotordurchmesser
- Standort in Sachsen, Leipzig
- Errichtung auf Basis einer Typenprüfung inklusive Anlagenbeschreibung, Geltungsbereich Windzone 3 DIBt, Massen, Systemfrequenzen, Nachweis von Turm und Gründung
- SCADA-Daten der bisherigen Betriebsjahre
- Standorteignungsgutachten nach DIBt 2012 inklusive Windparkkonfiguration, Angaben zur Windverteilung und effektiven Turbulenzintensität
- Standort Windzone 2
- Ermittelte Windgeschwindigkeit auf Nabenhöhe auf Basis der SCADA-Daten
- Inbetriebnahme im Jahr 2000 mit benachbarter, baugleicher WEA,
- Windparkerweiterung 2006 um weitere 2 WEA mit 800 kW Nennleistung, 65 m Nabenhöhe, 48 m Rotordurchmesser

Der Ringversuch zeigt, dass sich die Berechnungsverfahren bei identischen Eingangsparametern hinsichtlich Tiefe und Aufwand unterscheiden können. Dabei konnte ebenfalls festgestellt werden, dass bei Vereinfachungen bei der Bewertung entsprechend höhere Sicherheitsabschläge berücksichtigt werden sollten. Aufwändigere Ermittlungen der Eingangsparameter und Berechnungen können zu genaueren Ergebnissen und damit zu geringeren Sicherheitsabschlägen und im Ergebnis zu einer rechnerisch höheren Weiterbetriebsdauer führen.

Der Ringversuch zeigt weiterhin, dass die Datenlage einen gewissen Mindeststandard aufweisen muss, um möglichst alle relevanten Effekte auf die Gesamtnutzungsdauer berücksichtigen zu können.

Der Ringversuch zeigt im Ergebnis, dass mit der analytischen Methode unter Beachtung der Anwendung der hier dargestellten Mindestanforderungen eine zuverlässige Bewertung zum Weiterbetrieb möglich ist und die WEA ausgehend von ihrer Entwurfslebensdauer nach einer Betriebszeit von 20 Jahren über relevante Potentiale für eine weitere Nutzungsdauer im Sinne eines sicheren Weiterbetriebs verfügt.

Notwendige Eingangsparameter:

Die notwendigen Eingangsparameter im Zusammenhang mit dem analytischen Teil sind differenziert und werden daher anhand spezifischer Aspekte dargestellt.

a) Anlagenkonfiguration theoretisch gemäß des WEA-Entwurfs (Typenprüfung, Einzelstatik)

Dieser Abschnitt beschreibt die erforderlichen Daten, auf deren Basis die WEA theoretisch abgebildet und die Auslegungslasten wenn nötig rekonstruiert werden können. Diese bilden die Vergleichsbasis für die Konfiguration WEA am Standort (vgl. Abschnitt b)), unter deren Zuhilfenahme die Weiterbetriebsdauer ermittelt wird.

Der Detailgrad der hier vorliegenden Informationen hat entscheidenden Einfluss auf die Höhe der Sicherheitsabschläge, die in der Unsicherheitsbetrachtung bestimmt werden. Je besser das Modell der Auslegung hierbei abgebildet werden kann, desto niedriger können die Sicherheitsabschläge aufgrund dieser möglichen Fehlerquelle gewählt werden.

Informationen und Daten aus dem Prüfbericht, der Typenprüfung oder Einzelstatik dienen der Rekonstruktion der Anlagenkonfiguration des zu bewertenden WEA-Modells, so wie sie in der Auslegung und somit in der Typenprüfung berücksichtigt wurden. Der Soll-Zustand der WEA laut Typenprüfung wird dargelegt.

- Auslegungsbedingungen (Windklasse bzw. Windzone, Windgeschwindigkeitsverteilung, Geländekategorie, Turbulenzverteilung, verwendete Normen und Richtlinien)
- WEA-Geometrie basierend auf der Typenprüfung oder Einzelstatik (Turmgeometrie, Fundamentgeometrie, Nabenhöhe, Rotorblattgeometrie und Rotorblattaerodynamik, Massen, Massenschwerpunkte, Materialkennwerte)
- Bauwerksdynamik (statische und dynamische Eigenwerte, Dämpfungseigenschaften)
- Technische Auflagen

Die Daten dienen dazu als Eingangsdaten die relevanten Eigenschaften der zu bewertenden WEA in einem Berechnungs-Modell abzubilden, mit dem die Auslegungslasten der WEA nach den allgemein anerkannten Regeln der Technik unter Beachtung des Standes der Technik rekonstruiert werden können.

Bei der Bearbeitung und Auswertung des Ringversuches hat sich gezeigt, dass die Typenprüfung wesentliche Informationen für die Bewertung enthält und damit das zentrale Dokument des Abschnitts ist. Zusammen mit einigen weiteren Datenblättern und technischen Beschreibungen kann das erforderliche Modell hierauf basierend erstellt werden.

b) Konfiguration Windenergieanlage am Standort

Im Rahmen der BWP für einen möglichen Weiterbetrieb der WEA gilt es die individuellen Eigenschaften der zu betrachtenden WEA an dem Standort in ihrer Auswirkung auf das Ermüdungsverhalten realitätsnah abzubilden.

Dazu gehören neben etwaigen Abweichungen zur Typenprüfung, resultierend aus WEA-Geometrie oder Komponententausch, auch Abweichungen von der planmäßigen Betriebsweise wie Drehzahlverhalten, Leistungsverhalten, modifizierte Parametrisierung, Stillstandzeiten, Windparkeinflüsse oder außerplanmäßige Betriebssituationen (z.B. ständige Schräganströmung, übermäßige Anhäufung von Notabschaltungen, etc.). Sollte aufgrund einer unzureichenden Datenbasis der zu betrachtenden WEA nicht alle Konfigurationen und Einflüsse hinreichend genau nachvollziehbar sein, können ggf. konservative Annahmen getroffen werden.

Die Daten im Zusammenhang mit der Konfiguration der WEA am Standort beschreiben die zu bewertende individuelle WEA mit ihren Bedingungen am Standort.

Dabei werden etwaig vorhandene Abweichungen, ggfs. auch von den Inhalten der Typenprüfung erfasst, um deren Auswirkungen auf die tatsächlich erfahrenen Lasten der WEA berücksichtigen zu können.

- Tatsächliche WEA-Geometrie (Abweichungen von Sollgeometrie, Kerbfallklassenänderungen, Sanierungen, Ertüchtigungen, Vorschäden)
- Austauschdaten von Komponenten (Komponententausch, vormalige Nutzung von Tauschkomponenten)
- Bewertung der Schwingungsanfälligkeit (Resonanzanfälligkeit) in Abhängigkeit der Rotordrehzahlen
- Standortspezifische Anlagenparameter, z.B. Leistungskennlinie einschließlich deren Änderungen
- Technische und behördliche Auflagen

Mit diesen Informationen soll sichergestellt werden, dass lastrelevante Abweichungen vom Soll-Zustand der WEA bewertet werden können. Insbesondere sind Effekte und Abweichungen, die die Lastermittlung negativ beeinflussen, sorgfältig zu betrachten.

Für die Durchführung des Ringversuches standen für die zu bewertende WEA die SCADA-Daten zur Analyse der WEA-Betriebsweise zur Verfügung. Der Ringversuch bezog sich auf zwei benachbarte WEA bei denen es durch den Zubau zwei weiterer WEA nach sechs Betriebsjahren zu einer Änderung der bisherigen Windparkkonfiguration kam. Durch die separate Ausweisung der Turbulenzintensitäten vor und nach dem Zubau konnte das Ermüdungsverhalten für die zu bewertende WEA im erforderlichen Maße berücksichtigt werden.

Hierbei zeigte sich, dass durch eine differenzierte Betrachtungsweise, d.h. vor und nach dem Zubau, gegenüber einem konservativen Ansatz (Betrachtung der Situation ausschließlich nach Zubau für die gesamte Betriebszeit der WEA) ein erhöhtes Weiterbetriebspotential ermittelbar wird.

c) Tatsächliche Windbedingungen bzw. Einwirkungen am Standort

Im Rahmen der Durchführung des Ringversuches konnte festgestellt werden, dass die zugrundeliegenden Eingangsdaten hinsichtlich der tatsächlich am Standort aufgetretenen Windbedingungen als einwirkende Größe von erheblicher Relevanz sind. Die Windeinwirkungen bilden die größte Einwirkungsgruppe für die WEA, da sie die komplette Konstruktion entweder direkt oder indirekt belasten.

Es ist daher relevant, die tatsächlich vorherrschenden Windverhältnisse zu kennen, um die Lasten auch aus dem bisherigen Betrieb bewerten zu können. Windgeschwindigkeiten hängen sowohl stark vom Standort als auch von den vorliegenden Geländestrukturen, den sogenannten Rauigkeitklassen ab. Um sich ein Bild von der Häufigkeitsverteilung einzelner auftretender Windgeschwindigkeiten zu machen, wird ein statistisches Modell für die Wahrscheinlichkeitsverteilung herangezogen. Für Windgeschwindigkeiten greift man hierbei auf das sogenannte WEIBULL-Verfahren zurück. Dieses Verfahren simuliert ausgehend von zwei Parametern verschiedene Verteilungssituationen (Summenhäufigkeit und relative Häufigkeit). Dadurch kann eine stetige Wahrscheinlichkeitsverteilung abgebildet und damit auch eine Standortbewertung vorgenommen werden. Die tatsächlichen bisherigen Windbedingungen erlauben überdies eine Prognose auch für die Weiterbetriebsdauer und damit verbundenen möglichen Lasten.

Damit sind die tatsächlichen Windbedingungen bzw. Einwirkungen am Standort von wesentlicher Bedeutung, da diese Informationen eine Bewertung dazu ermöglichen, welche Lasten die WEA im Gegensatz zu den theoretischen Annahmen bei der Auslegung am Standort tatsächlich ausgesetzt war bzw. ist.

Um die tatsächlichen Windbedingungen und Einwirkungen am Standort hinreichend genau abbilden zu können, sind mindestens folgende Daten erforderlich:

- Windbedingungen bzw. Einwirkungen am Standort (Windverteilung, Windrichtungsverteilung, Umgebungsturbulenzintensität, effektive Turbulenzintensität)
- Alternative 1: Windbedingungen auf Nabenhöhe am Standort (anzugeben sind die Parameter entsprechend DIBt 2012 Abschnitt 16.2), ermittelt aus Windgutachten, aus standortbezogenen Messdaten der näheren Umgebung, SCADA-Daten oder Energieerträgen, methodisch in Anlehnung an die Technische Richtlinien für Windenergieanlagen, Teil 6 der FGW (TR 6 FGW); Umgebungsturbulenz ermittelt entsprechend den gültigen Mindeststandards zur Dokumentation von Gutachten zur Ermittlung der Umgebungsturbulenz des BWE-Windgutachterbeirates; effektive Turbulenzintensität gemäß DIBt 2012
- Alternative 2: Messtechnisch erfasste Windverhältnisse und statistische Auswertung. Hinweise zum Umgang mit Messdaten und zur Extrapolation der Turbulenzintensität des Windgutachterbeirates des BWE e.V. in der aktuellen Fassung sind zu beachten. Bei der Messung der Windverhältnisse ist das einschlägige Regelwerk (MEASNET, IEC 61400-12, etc.) zu berücksichtigen.
- Geländerauigkeit und Topographie
- Nachbaranlagen nach DIBt 2012 Abschnitt 16, Parkänderungen in Vergangenheit und Zukunft.

Hinweise:

Der Ermittlung der Windbedingungen sind die einschlägigen Richtlinien und Regelwerke zugrunde zu legen (DIBt-Richtlinie 2012, aktuelle Fassung Oktober 2012, DIN-EN 61400-1:2005 + A1:2010, Technische Richtlinie für Windenergieanlagen, Teil 6 Bestimmung von Windpotenzial und Energieerträgen, Revision 9 (TR6) vom 22.09.2014).

In der Regel werden die Windbedingungen in Standorteignungsgutachten beschrieben. Dabei ist es sinnvoll, das Verfahren zur Ermittlung der Standorteignung aus Abschnitt 16.2 der DIBt-Richtlinie 2012 anzuwenden. Es ist darauf zu achten, dass es sich inhaltlich um eine gutachterliche Stellungnahme zur Standorteignung für den Weiterbetrieb von WEA handelt. Diese gutachterliche Stellungnahme kann auch in die Bewertung der BPW selbst integriert werden.

In manchen Fällen kann es sinnvoll sein, dass der Sachverständige weitere Eingangsgrößen zur Ermittlung der Lasten einbezieht (optionale Ausweisung weiterer Standortbedingungen gemäß Abschnitt 16.2 der DIBt 2012 bzw. DIN EN 61400-1:2005 + A1:2010). Hierbei handelt es sich z.B. um den Höhenexponenten α , den Anströmwinkel β und die mittlere Standortluftdichte ρ .

Für die Ermittlung der Betriebslasten an einer WEA sind die Turbulenzintensitäten relevant, diese können durch die effektive Turbulenzintensität dargestellt werden. Die effektive Turbulenzintensität kann durch Anwendung verschiedener materialspezifischer Exponenten der Wöhlerlinie materialabhängig ermittelt werden. Sofern nur ein Wöhler-Koeffizient verwendet wird, ist der konservativste und damit höchste Wert anzuwenden.

Die effektive Turbulenzintensität I_{eff} muss nach dem Stand der Technik ermittelt werden (aktuell aufgeführtes Modell nach Sten Frandsen/ DIN EN 61400-1:2005 + A1:2010, Anhang D, DIBt-Richtlinie 2012). Für die Berechnung der effektiven Turbulenzintensität müssen folgende Informationen bzw. Eingangsgrößen vorliegen:

- (i.) Die tatsächlichen Windbedingungen in Form einer Weibullverteilung auf Nabenhöhe der zu betrachtenden WEA. Die Weibullverteilung muss mindestens die Größen A (Skalenparameter), k (Formparameter) und p (Häufigkeit) ausweisen.

Messdaten, SCADA-Daten (10 Minuten-Mittelwert) und/oder Energieerträge dienen dabei als Grundlage der Ermittlung der tatsächlichen Windverhältnisse. Die Daten des SCADA Systems als auch die monatlichen Energieerträge sind dabei auf ihre Plausibilität hin zu überprüfen. Ausreißer, offensichtliche Fehlerwerte und Offsets sind entsprechend zu korrigieren. Die Notwendigkeit einer Langzeitkorrektur in Anlehnung an die TR6 ist zu überprüfen, sofern nur unzureichende zeitliche Ausschnitte der Betriebsdaten vorliegen. Nach erfolgter Auswertung der SCADA- bzw. Ertragsdaten können diese genutzt werden um das ursprüngliche Windgutachten für den Standort, bzw. die dort ermittelten Windverhältnisse zu plausibilisieren. Die Annahmen aus den Windgutachten der Planungsphase entsprechen häufig nicht mehr den heutigen genormten Anforderungen, so dass eine Nutzung dieser Informationen ohne eine Plausibilisierung anhand von bereinigten Messdaten, SCADA-Daten und/oder Energieerträge allein mit großen Unsicherheiten behaftet ist.

- (ii.) Die Umgebungsturbulenzintensität I_{amb} auf Nabenhöhe der zu betrachtenden WEA. I_{amb} ist entsprechend den Mindeststandards zur Dokumentation von Gutachten zur Ermittlung der Umgebungsturbulenz (vom BWE-Windgutachterbeirat am 11.02.2015 beschlossene Fassung) und den Hinweisen zum Umgang mit Messdaten und zur Extrapolation der Turbulenzintensität (vom BWE-Windgutachterbeirat im September 2015 beschlossene Fassung) zu ermitteln. I_{amb} muss für mindestens 12 Sektoren bzw. mindestens ausreichend für die Ermittlung der effektiven Turbulenzintensität für Einzel- sowie mehrere WEA ausgewiesen werden.
- (iii.) Die aktuellen und historischen Umgebungsverhältnisse am Standort bezogen auf das Windparklayout der umliegenden WEA. Es muss ersichtlich sein, welche WEA im Umfeld Einfluss auf die zu betrachtende WEA haben oder hatten. Dies betrifft alle WEA, deren Abstand zur untersuchenden Anlage geringer ist als das 10fache des Rotordurchmessers der zu berücksichtigenden WEA (DIN EN 61400-1:2005 +

A1:2010). Des Weiteren sollte auf Basis der Betreiberangaben berücksichtigt werden, ob weitere WEA im relevanten Umfeld genehmigt sind oder sich aktuell im Genehmigungsverfahren befinden. Für jede Anlage die zu berücksichtigen ist, sind Typ, Rotordurchmesser, Nabenhöhe und die Position in gängigem Koordinatenformat anzugeben.

Aus den in (i.) – (iii.) aufgeführten Eingangsparametern ist die effektive Turbulenzintensität I_{eff} unter Berücksichtigung der topografischen Komplexität des Windenergieanlagenstandortes zu ermitteln und nach den Anforderung aus der DIBt Richtlinie zu bestimmen (Mindestanforderung).

Mit Blick auf aktuelle Entwicklungen und auf Basis der aktuellen Normung kann es zudem empfehlenswert sein bzgl. des Windgeschwindigkeitsbereiches mit den Anforderungen der DIN EN 61400-1:2009 + A1:2010 auch eine Ausweisung in 1 m/s Schritten von der Einschaltgeschwindigkeit V_{in} bis zur Ausschaltgeschwindigkeit V_{out} vorzunehmen.

Es sollte das worst case-Szenario über die Lebensdauer und die Dauer des geplanten Weiterbetriebs dargestellt werden. Bei Bedarf sind mehrere Windparklayouts mit den jeweiligen Ergebnissen zu I_{eff} darzustellen. Die Ausweisung der effektiven Turbulenzintensität hat mindestens für den Wöhlerlinienkoeffizient von $m = 10$ zu erfolgen und ist bei Bedarf und in Absprache mit dem Sachverständigen zur BPW um weitere Wöhlerlinienkoeffizienten zu erweitern.

Die tatsächlichen Windbedingungen bzw. Einwirkungen am Standort zeigen mit ihren einzelnen Ausgestaltungen auch im Ringversuch unterschiedlichste Auswirkungen. Die Effekte hieraus können sowohl Reserven als auch zusätzliche Lasten aufzeigen, die für die zeitliche Länge der ermittelten Weiterbetriebsdauer relevant sind.

d) Verfahren zur Lastermittlung

Im Rahmen der Lastermittlung werden die Strukturmodelle der entsprechenden WEA herangezogen und unter Zuhilfenahme einer geeigneten Simulationssoftware die Belastungen an repräsentativen Schnittstellen (Turmfuß, Turmkopf, Turmschnitte, Schnittpunkt Drehachse zu Turmhochachse, Nabenmittelpunkt, Blattwurzel, etc.) berechnet. Die ermittelten Beanspruchungen werden entsprechend ihrer Signifikanz als Lastkollektive zusammengefasst.

Für die analytische Bewertung haben sich folgende Berechnungsverfahren zur Lastermittlung als technisch sinnvoll herausgestellt:

- Simulation mit exaktem Strukturmodell der gesamten WEA (u. a. Rotorblätter, Blattanschlüsse, Nabe, Welle, Maschinenträger, Grundrahmen, Königszapfen, Achszapfen, Turm, Gründung, Verbindungselemente). Das Strukturmodell muss die Anforderungen heutiger Modelle erfüllen und den Stand der Technik (siehe z.B. DIBt-Richtlinie) berücksichtigen.
- Simulation mit generischem Modell. Bei Verwendung eines generischen Anlagenmodells ist sicherzustellen, dass das Anlagenverhalten hinreichend genau und die heutigen Berechnungsmethoden entsprechend abgebildet werden.

Hinweise:

- Falls Zweifel an der Verlässlichkeit der Ergebnisse nicht auszuschließen sind, kann das rechnerische Modell anhand von exemplarischen oder standortbezogenen Messungen (IEC TS 61400-13: Messung mechanischer Lasten) (siehe Abschnitt 6.3) validiert werden.
- Erweiterte Verfahren zur Berechnung der Lebensdauer können angewendet werden, z.B. bruchmechanische Verfahren.
- Der Ringversuch hat gezeigt, dass unabhängig vom gewählten Verfahren für die Lastermittlung folgende Mindestanforderungen gelten müssen, um zuverlässige Ergebnisse zu erzielen:
- Berücksichtigung aller relevanten Lastfälle in Anlehnung an DIBt-Richtlinie in aktueller Version. Es ist zu beachten, dass nach DIBt auch der Produktionsbetrieb mit Auftreten eines Fehlers zu untersuchen ist.
- Berücksichtigung von effektiver Turbulenzintensität (Vorgaben der DIBt-Richtlinie in aktueller Version sind zu berücksichtigen, wobei Vereinfachungen möglich sind).
- Berücksichtigung der Materialermüdung nach dem Wöhlerkonzept
 - a) Wöhlerkonzept mit linearer Schadensakkumulation nach Palmgren-Miner
 - Stahl: Wöhlerlinie und Kerbfälle nach DIN EN 1993-1-9
 - Beton: Mittelspannungsabhängige Wöhlerlinie nach DIN18088-i, DIN EN 1992-2 bzw. FIB Model Code 1990, 2010
 - b) Bereich der Wöhlerkoeffizienten von $m = 3-10$
- Berücksichtigung der Bauwerksdynamik (Trägheitsmomente, Eigenfrequenzen, Dämpfung)
- Es ist das für die jeweiligen Bauteile gültige Sicherheitskonzept anzuwenden (Turm und Gründung z.B. DIN EN 1990, DIN EN 1991, DIN EN 1992, DIN EN 1993, DIBt 2012)
- Durchführung einer Unsicherheitsbetrachtung mit Angabe des Sicherheitsniveaus; mindestens DIN EN 1990

Sofern im Ausnahmefall von einzelnen Mindestanforderungen der analytischen Methode abgewichen wurde, sind alternative Lösungsansätze zulässig, soweit sie im Hinblick auf das Sicherheitsniveau zu einem gleichwertigen und belastbaren Ergebnis führen. Der Anlass und die Auswirkung sind zwingend darzustellen.

Die Ergebnisse der Lastberechnung sollen in folgender Form dargestellt werden:

- Schadensäquivalentes Einstufen- oder Mehrstufenkollektiv mit gewichtetem Mittelwert
- Markov-Matrix (Berücksichtigung von Schwingbreite und Mittelwert)

Dokumentationsumfang:

Die Ergebnisse der analytischen Methode sind nachvollziehbar und prüffähig in der BPW und dem Prüfbericht aufzuführen. Hierzu gehört:

-
- die Beschreibung der Eingangsdaten,
 - die Erläuterung und Beschreibung des Berechnungsmodells, des Berechnungsweges und die Zusammenstellung der jeweiligen Berechnungsergebnisse.

Darüber hinaus ist eine Bewertung der Berechnungsergebnisse auch unter Berücksichtigung der Ergebnisse der praktischen Methode darzulegen. Dem Ergebnis sind ebenfalls Erklärungen zum Sicherheitskonzept beizufügen. Im Ergebnis steht eine Aussage zur möglichen Gesamtnutzungsdauer in Jahren unter Beachtung des für das jeweilige Bauteil gültigen Sicherheitskonzeptes und der im Berechnungsergebnis enthaltenen Unsicherheit. Etwaige Auflagen, die sich aus den Ergebnissen ergeben, sind aufzuführen.

Im Rahmen des Prüfberichtes zum Weiterbetrieb sind auch aus der analytischen Methode heraus entstehende Hinweise für den weiteren Betrieb mit aufzuführen.

Es ist auf einen verantwortungsvollen Umgang mit dem Prüfergebnis zu achten. Der Bericht sollte den ausdrücklichen Hinweis enthalten, dass die Ergebnisse der analytischen Methode nicht auf andere typengleiche WEA zu übertragen sind und im Falle von Änderungen der relevanten Bedingungen für den Weiterbetrieb die BPW ergänzend oder neu erstellt werden muss.

Soweit möglich sollte mit dem Betreiber oder involvierten Behörde abgestimmt werden, welcher Umfang der Darstellung der Berechnungsergebnisse als technisch sinnvoll und erforderlich angesehen wird.

6.2 Der praktische Teil

Der praktische Teil der BPW erfolgt durch eine Inspektion der WEA vor Ort.

Der Schwerpunkt dieser Inspektionen liegt darin, Ergebnisse der Berechnungen und Nachweise anhand der tatsächlichen Gegebenheiten der WEA zu überprüfen (Schwachstellenanalyse). Sie ergänzt damit auch das Prüfergebnis des analytischen Teils und ermöglicht es, die Eingangsparameter zu verifizieren.

Darüber hinaus kann ein sicherer Weiterbetrieb schwerpunktmäßig über regelmäßig stattfindende Inspektionen gewährleistet werden. Die Inspektionsintervalle sind entsprechend den Ergebnissen aus dem analytischen und praktischen Teil durch den Sachverständigen so festzulegen, dass mögliche Schäden und Risiken, die zum Versagen von Bauteilen führen können, bei der Inspektion erkannt werden.

Ausgestaltung, Umfang und Qualität dieser Inspektion deckt mindestens den Umfang einer Wiederkehrenden Prüfung im Sinne des Abschnitts 15 der DIBt-Richtlinie bzw. der Grundsätze für die Wiederkehrende Prüfung von Windenergieanlagen (Sachverständigenbeirat BWE e.V. Stand 2012) ab.

In Anlehnung hierzu sind daher auch folgende Bereiche besonders zu inspizieren bzw. zu überprüfen:

- Fundament durch Sichtprüfung aus unmittelbarer Nähe
- Fundament hinsichtlich erforderlicher Erdauflast, Beschaffenheit der Oberflächen im sichtbaren Bereich, Betonabplatzungen und -überdeckung, Zustand des Vergußbetons und der Dichtungsfuge, unzureichendem Wasserablauf, etc.
- Turmkonstruktion hinsichtlich etwaiger Schäden (z.B. Turmeinspannung, Korrosion, Risse, Abplatzungen in den tragenden Stahl/- Betonkonstruktionen, Verformungen, Klaffungen, schadhafte Schweißverbindungen)
- Turmkonstruktion hinsichtlich (unzulässiger) Veränderungen gegenüber der genehmigten Ausführung
- Standsicherheitsrelevante Verbindungselemente
- Einhaltung der für Turm und Gründung in der Typenprüfung genannten Grenzwerte und Auflagen
- Rotorblätter durch Sichtprüfung aus unmittelbarer Nähe (außen wie innen soweit begehbar hinsichtlich relevanter Beschädigungen der Oberfläche und struktureller Mängel, wie z.B. Risse an Stegverklebungen, Delamination, etc.)
- Einrichtungen für Blitzschutz inklusive Anbindung zum Fundamentender
- Sichtprüfung Anlagensteuerung und elektrotechnische Einrichtungen hinsichtlich Anschlüsse, Befestigung, Beschaffenheit der Isolation, fachgerechter Installation, Verfärbung oder Verschmutzung, etc.
- Mindestens Sicht- und Lockerheitskontrolle von Schraubverbindungen

Darüberhinausgehend ist die Gesamtanlage durch den Sachverständigen hinsichtlich ihrer Ermüdung zu beurteilen.

Die BPW misst insoweit folgenden Themenfeldern besondere Bedeutung zu:

- Mängel und Gefahren durch Alterung, Verschleiß und Ermüdung
- Typen-/serienspezifische Risiken (Schwachstellenanalyse)
- Individueller Belastungsgrad der WEA

Zusätzlich zum oben definierten Prüfumfang können vertiefende oder ergänzende Untersuchungen durchgeführt werden wie z.B.:

- Bestimmung der tatsächlichen Geometrie- und Materialeigenschaften
- Messungen der Betriebslasten
- Ermittlung der standortbezogenen Einwirkungen
- Begleitende Zustandsüberwachung

6.3 Messungen

In Ergänzung zur analytischen und/oder praktischen Methode können messtechnische Untersuchungen sinnvoll und erforderlich sein. Messtechnische Untersuchungen ersetzen weder die analytische noch die praktische Methode.

Beispielsweise werden im DNVGL- Standard DNVGL-ST-0262 zum Thema WEA-Weiterbetrieb Windmessungen und Lastmessungen genannt. Messungen können sich auf folgende Bereiche beziehen:

- Ermittlung der standortspezifischen Einwirkungen
- Bestimmung der tatsächlichen Parametrierung und Struktureigenschaften
- Bestimmung der tatsächlichen Geometrie- und Materialeigenschaften
- Begleitende Zustandsüberwachung
- Messung der Betriebslasten

Zu beachtende Normen und Richtlinien sind die DIN EN 61400-1, -12, -13, IEC 61400-22, DIBt-Richtlinie 2012, sowie die GL-Richtlinie für den Weiterbetrieb von Windenergieanlagen (Ausgabe 2009), GL-Richtlinie für Windenergieanlagen (Ausgabe 2010), DNVGL-ST-0262 Weiterbetrieb von Windenergieanlagen, DNV GL-SE-0263 Zertifizierung für den Weiterbetrieb von Windenergieanlagen, VDI 3834-1.

Messlabore/ Firmen, die diese Messungen durchführen, müssen die Belastbarkeit und Nachvollziehbarkeit der durchgeführten Messung sowie Auswertung durch ein geeignetes QM-System (z.B. in Anlehnung an DIN EN 17025) nachweisen (siehe Anforderungen an Sachverständige Abschnitt 3).

Die verschiedenen Messungen lassen sich gemäß ihrer Ziele wie folgt gliedern:

a) Messung der Windrichtungs-, Windgeschwindigkeitsverteilung sowie der Umgebungsturbulenzintensität

Ziel ist es, die an dem jeweiligen Standort herrschenden Windbedingungen zu erfassen, um diese in der analytischen Berechnung zu berücksichtigen.

b) Messungen, um den Betrieb entsprechend den bei der Auslegung und Nachberechnung getroffenen Annahmen zu prüfen

Ziel ist es, zu prüfen, ob die für die ursprüngliche Auslegungsberechnung und den analytischen Nachweis getroffenen Annahmen zutreffend sind. Anlagen- und Betriebsparameter der WEA sind wesentliche Eingangsdaten, um die Reaktion der WEA auf die Standorteinwirkungen korrekt in der Analytik abzubilden. Daher kann es auch insbesondere bei der Verwendung von generischen Modellen für die analytische Neuberechnung sinnvoll oder erforderlich sein, die Gültigkeit des Modells mittels Messungen zu belegen, bzw. dieses zu kalibrieren. Bei WEA ohne permanente Betriebsdatenerfassung ist es möglich und sinnvoll, die realen WEA-Kennlinien messtechnisch zu ermitteln. Beispielhaft werden genannt:

- Systemeigenfrequenzen, ggf. Dämpfung von Hauptkomponenten
- Einstellparameter, z.B. auszublenkende Drehzahlbereiche
- Drehzahl-Leistungskennlinie, u.a.
- Rotorblattwinkel, Rotorunwucht, Gierfehler, u.a.

c) Kontrollmessungen im Rahmen des Weiterbetriebs

Ziel ist es sicherzustellen, dass die bei der analytischen Methode getroffenen Annahmen für Anlagen- und Betriebsparameter eingehalten werden und dass Bauteilmüdung und/oder eventuelle Bauteilschäden in ihrem Fortschritt überwacht werden. Weiterhin kann der durch Maßnahmen erstrebte lastärmere Betrieb in seinen tatsächlichen Auswirkungen validiert werden. Wird bei einer Kontrollmessung eine deutliche Abweichung von den Annahmen der analytischen Berechnung festgestellt, ist ggf. eine erneute Berechnung erforderlich, insbesondere, wenn das Ermüdungsverhalten der WEA in einem relevant geringeren Maße berechnet wurde. Beispielhaft werden genannt:

- unter b) genannte Punkte
- Rissüberwachung an Fundament, Maschinenträger, Türzargen, Rotorwelle u.a.
- Neigung (Abweichung von Turm oder Fundament aus der Vertikalen)
- Anlagen- und Turmschwingungen, Fundamenteinbauteil-Bewegungen

d) Direkte Lastmessung

Ziel ist es, die im Messzeitraum erfassten Lasten in einem Lastkollektiv zusammenzufassen und daraus das Lastkollektiv auf die bisherigen und zukünftigen Betriebsjahre zu extrapolieren und als Eingangswerte für analytische Berechnungen zu verwenden. Die Lastmessungen stellen gleichzeitig eine Probenahme für die praktische Methode dar. Eine kontinuierliche Lastmessung hat den Vorteil, dass Abweichungen zu den erwarteten Betriebslasten zeitnah erkannt werden.

Die Lasten sind mit geeigneten Verfahren an geeigneten Stellen direkt zu messen.

Zu unterscheiden sind:

- Mehrwöchige bis mehrmonatige Lastmessungen, vorrangig um Eingangs- oder Validierungsdaten für die analytische Methode zu liefern oder mittels statistischer Extrapolation den Weiterbetrieb zu beurteilen.
- Dauerhafte Lastmessung in der Betriebsphase der WEA, um daraus mit analytischen Berechnungen die Lastkollektive auf die bisherigen/ zukünftigen Betriebsjahre hochzurechnen und die mögliche Weiterbetriebsdauer abzuleiten. Auf diese Weise werden auch zukünftige Änderungen der Einwirkungen auf die WEA vollständig miterfasst.

7. Prüfergebnis und Prüfbericht

Mit der analytischen und der praktischen Prüfung können Aussagen bezüglich einer möglichen Weiterbetriebsdauer und/oder über ein einzuhaltendes Inspektionsintervall gemacht werden.

In diesem Zusammenhang obliegt es dem Sachverständigen mit der BPW auch Maßnahmen und Auflagen zu benennen, die einen weiteren Betrieb der WEA ermöglichen und die Weiterbetriebsdauer absichern.

Das Ergebnis der BPW ist in einem schriftlichen Bericht festzuhalten, der mindestens die folgenden Informationen enthalten muss:

- Hersteller, Typ und Seriennummer der WEA
- Standortkoordinaten
- Betreiber
- Datum der Inbetriebnahme
- Betriebsstunden und Energieertrag
- Standortbeschreibung
- Besonderheiten aus der Genehmigung
- Datum und Bedingungen am Tag der Prüfung
- Beschreibung des Prüfumfanges (analytisch und praktisch)
- Prüfergebnis zur Weiterbetriebsdauer
- Prüfbemerkung und festgestellte Auffälligkeiten
- Zusammenfassung des Prüfergebnisses (analytisch und praktisch)
- Angaben zu den Auflagen
- Einmalig vergebene Prüfnummer
- Prüfende(r) Sachverständige(r)

Der Prüfbericht enthält im Ergebnis Angaben darüber,

- ob eine Feststellung über eine Weiterbetriebsdauer getroffen werden kann und/ oder der Weiterbetrieb über regelmäßige Inspektionen sichergestellt werden kann

und/ oder

- welche Maßnahmen und Auflagen (Instandsetzung, Verbesserungen, Monitoring, etc.) ergriffen werden müssen, um einen sicheren Weiterbetrieb zu ermöglichen

oder

- ob eine Weiterbetriebsdauer nicht ermittelbar ist und damit eine Fortsetzung des Betriebs der WEA nicht empfohlen wird.

8. Auflagen zum Weiterbetrieb

Der Sachverständige kann den Weiterbetrieb von der Erfüllung festzulegender Auflagen abhängig machen. Die Auflagen können ein Ergebnis des analytischen oder praktischen Teils sein und dienen in der Regel der Schaffung und Absicherung einer ermittelten Weiterbetriebsdauer.

Sofern Maßnahmen und Auflagen des Sachverständigen an den weiteren Betrieb der WEA geknüpft werden, können diese insbesondere folgende Ansätze betreffen, wobei die Aufzählung nicht abschließend ist:

- Maßnahmen zur weiteren Analyse
- Maßnahmen zur Risikobewertung
- Maßnahmen zur Risikobeseitigung
- Maßnahmen zur Risikovermeidung
- Maßnahmen zur Bauteilinstandsetzung
- Nutzungseinschränkungen der Gesamtanlage
- Einsatz spezifischer Messsysteme
- Festlegung der Inspektionsintervalle
- Installation und Auswertung spezifischer Monitoring Systeme

Bei den Maßnahmen und Auflagen sollten vom Sachverständigen im Sinne einer einheitlichen und sinnvollen Bewertung der Weiterbetriebsdauer auch Wirtschaftlichkeitsgesichtspunkte berücksichtigt werden. Die Kosten-/Nutzenanalyse darf jedoch nicht zu Lasten der standsicherheitsrelevanten Aspekte vollzogen werden.

Nach der BPW ist der Weiterbetrieb neben der Wiederkehrenden Prüfung auch zukünftig zumindest mit regelmäßigen Inspektionen zu begleiten. Beide Maßnahmen können dabei kombiniert werden. Die Länge des Inspektionsintervalls ist vom Sachverständigen so zu bemessen und als Auflage zu formulieren, dass ein zum Versagen führender Schaden mit hohem Sicherheitsgrad rechtzeitig erkannt und dadurch vermieden werden kann. Sie darf einen Zeitraum von zwei Jahren in der Regel nicht überschreiten.

Besonderheiten wie weiterbetriebsorientierte Instandsetzungs- und qualifizierte Wartungskonzepte können Einfluss auf die Länge der Intervallabschnitte haben. Die Intervalle sind zu verkürzen, wenn es der Zustand der Gesamtanlage oder ihrer einzelnen Bauteile erfordert.

Da sich die BPW auf den Zeitpunkt der Begutachtung durch den Sachverständigen bezieht, obliegt es dem Betreiber den Sachverständigen bei relevanten Veränderungen innerhalb des Inspektionsintervalls unverzüglich zu informieren und etwaige Auswirkungen auf die BPW prüfen zu lassen.

Arbeitskreis Weiterbetrieb nach 20 Jahren im BWE e.V:

Sprechergremium bestehend aus Dieter Fries (Sprecher Betreiberbeirat), Martina Beese (Engemann und Partner, verantwortliche Verfasserin), Jürgen Holzmüller (8.2 Ingenieurbüro Holzmüller), Claus Goralski (H + P Ingenieure GmbH)

Wir bedanken uns recht herzlich bei den ständigen Teilnehmern des Arbeitskreises und den Teilnehmern des Ringversuches für ihre engagierte Mitarbeit:

Andreä, Axel/Consulting and Engineering
Andresen, Sven/Ing. Büro Andresen
Baulig, Peter u. Przewdzink, Karl-Heinz/ TÜV NORD SysTec GmbH & Co.KG
(Teilnehmer des Ringversuches)
Beese, Martina/Kanzlei Engemann und Partner, Rechtsanwälte mbB
und Notare
Braschwitz, Georg u. Schumacher, Christian/TÜV SÜD Industrie Service GmbH
(Teilnehmer des Ringversuches)
Büttner, Sarita/WSB Service GmbH
Dassler, Dirk/Terrawatt Planungsgesellschaft
Folkerts, Bernhard u. Menzel, Stephan/ENERCON Service Deutschland GmbH
Frey, Dieter/Ing. Büro Frey
Fries, Dieter/Ingenieurbüro (Vorsitzender Betreiberbeirat BWE e.V.)
Geiss, Christian/IABG mbH
Glocker, Stephan u. Klawitter, Heiko/Windexperts Prüfgesellschaft
(Teilnehmer des Ringversuches)
Goralski, Claus/H+P Ingenieure GmbH (Teilnehmer des Ringversuches)
Haas, Maik u. Kirsch, Lea /Nordex Energy GmbH
Hansen, Klaus/DNV GL Energy (Teilnehmer des Ringversuches)
Heilmann, Christoph/BerlinWind GmbH
Holzmüller, Jürgen/8.2 Ingenieurbüro Holzmüller u. Kleinhansel,
Stefan/Aero Dynamik Consult GmbH (Teilnehmer des Ringversuches)
Kasubek, Christian/ Idaswind GmbH (Teilnehmer des Ringversuches)
Kebbel, Christian/I17-Wind GmbH & Co. KG
Krüger, Benjamin/gepa-mbh
Lieckfeldt, Robert/Wind-consult GmbH
Lutz, Otto/ Sachverständigenbüro Otto Lutz
Müller, Ulf/GE Wind Energy GmbH
Petzke, Maik/Vestas Deutschland GmbH
Schwarz, Christof/Ingenieurbüro Christof Schwarz
(Teilnehmer des Ringversuches)
Terpelle, Simon/ Availon GmbH
Weissenborn, Marc/Deutsche Windtechnik Offshore & Consulting GmbH

Der Dank der Mitglieder des Arbeitskreises gilt der versierten Betreuung durch den BWE e.V. in der Person von Stefan Grothe.

Notwendige Eingangsparameter

A: Anlagenkonfiguration theoretisch (Typenprüfung, Einzelstatik)

- Auslegungsbedingungen (Windklasse bzw. Windzone, Windgeschwindigkeitsverteilung, Geländekategorie, Turbulenzverteilung, verwendete Normen und Richtlinien)
- WEA-Geometrie basierend auf der Typenprüfung oder Einzelstatik (Turmgeometrie, Fundamentgeometrie, Nabenhöhe, Rotorblattgeometrie und Rotorblattaerodynamik, Massen, Massenschwerpunkte, Materialkennwerte)
- Bauwerksdynamik (statische und dynamische Eigenwerte, Dämpfungseigenschaften)
- Technische und behördliche Auflagen

B: Konfiguration Windenergieanlage am Standort

- Tatsächliche WEA-Geometrie (Abweichungen von Sollgeometrie, Kerbfallklassenänderungen, Sanierungen, Ertüchtigungen, Vorschäden)
- Austauschdaten von Komponenten (Komponententausch, vormalige Nutzung von Tauschkomponenten)
- Bewertung der Schwingungsanfälligkeit (Resonanzanfälligkeit) in Abhängigkeit der Rotordrehzahlen
- Standortsspezifische Anlagenparameter
- Technische und behördliche Auflagen

C: Tatsächliche Windbedingungen bzw. Einwirkungen am Standort

- Windbedingungen bzw. Einwirkungen am Standort (Windverteilung, Windrichtungsverteilung, Umgebungsturbulenzintensität, effektive Turbulenzintensität)
 - Alternative 1: Windbedingungen auf Nabenhöhe am Standort, ermittelt aus Windgutachten, aus standortbezogenen Messdaten der näheren Umgebung, SCADA-Daten oder Energieerträgen
 - Alternative 2: Messtechnisch erfasste Windverhältnisse und statistische Auswertung
- Geländerauigkeit und Topographie
- Nachbaranlagen nach DIBt 2012 Abschnitt 16, Parkänderungen in Vergangenheit, Gegenwart und Zukunft

D: Verfahren zur Lastermittlung

- Berechnungsverfahren
 - Alternative 1: Exaktes Strukturmodell der gesamten Anlage
 - Alternative 2: generisches Modell
- Berücksichtigung aller relevanter Lastfälle
- Berücksichtigung von effektiver Turbulenzintensität
- Berücksichtigung der Materialermüdung
 - a) Wöhlerkonzept mit linearer Schadensakkumulation nach Palmgren-Miner
 - b) Bereich der Wöhlerkennlinien von 3-10
- Berücksichtigung der Bauwerksdynamik
- Anwendung des gültigen Sicherheitskonzepts für die jeweiligen Bauteile
- Durchführung einer Unsicherheitsbetrachtung

Basic Principles

for Performing an
Assessment and Verification
of the Lifetime Extension of Onshore
Wind Energy Converters (BPW)

Table of contents

- 1. General information** **38**
- 2. Purpose and objective of the assessment and verification for lifetime extension** **41**
- 3. Requirements on the technical expert** **42**
- 4. Basic references for the assessment** **45**
- 5. Documents required for the verification** **46**
- 6. Extent of verification** **47**
 - 6.1 The analytical part 49
 - 6.2 The practical part 58
 - 6.3 Measurements 59
- 7. Assessment result and survey report** **62**
- 8. Requirements/stipulations for the lifetime extension period** **63**

APPENDIX

1. General information

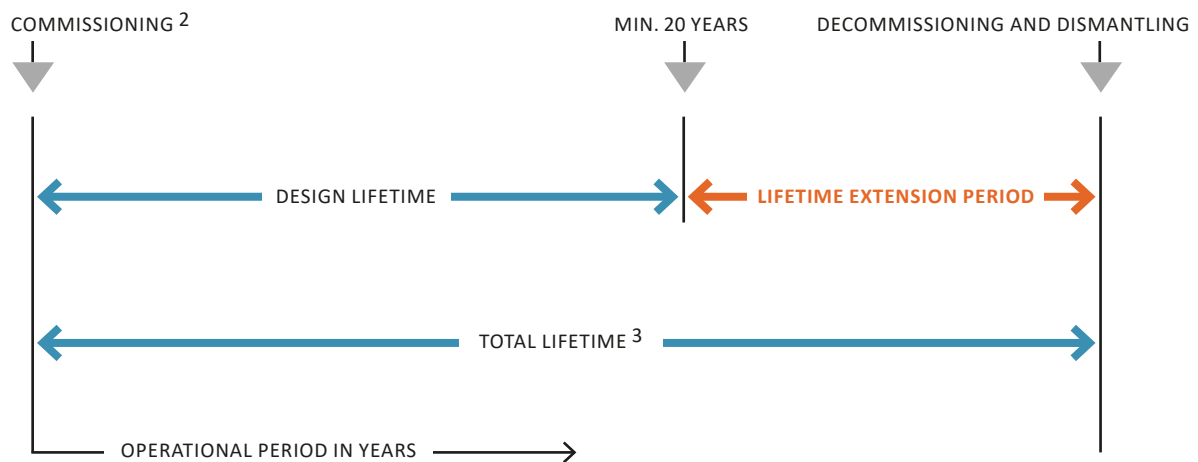
Note: The German edition of this document is to be taken as authoritative.

In Germany, the operator/owners of wind energy converters (WEC), as co-initiators of the energy transition, aim on the longest possible service life to ensure sustainable use of renewable energies and project profitability.

For economic reasons it makes sense to design WEC for a time-limited use. Its total operating life (or service life) describes the period of time from the date of commissioning to the scheduled decommissioning.

In theory, in the event of appropriate maintenance, every construction can be operated for an indefinite period; in particular, aged, worn or damaged components can be replaced.

In practice, a WEC is designed in the theoretical design analysis based on the related load assumptions and for a finite operating life, the so-called design lifetime¹. The type or individual approval of WEC is, therefore, related to a certain operating period for which all load-bearing components must be at least designed.



The type/individual approval is the design calculation proofing that in the design lifetime the manufacturer's load assumptions do not lead to fatigue of a component and thus do not limit the WEC's stability. The reference values for this vary; as a general rule, the assumption for the WECs currently in operation onshore is based on an operating period of at least 20 years and partly up to 25 years (at

1) In accordance with the "Guideline for wind energy converters. External conditions and proof of structural stability for tower and foundation", DIBt (German Institute for Construction Technology) 1993, DIBt 2004, 2012 (October 2012 version), DIBt documents: The design lifetime is the theoretical period of time on which the WEC design is based. According to DIN EN 1990: 2010-12 the term **design lifetime** describes an assumed period of time within which a structure should be used for its intended purpose taking into account the scheduled maintenance measures to be implemented without essential maintenance being required.

2) **Commissioning** is the WEC's initial start-up after the turbine has been prepared for operation. If there is a significant delay between completed installation and commissioning, the period of this preliminary phase shall be taken into account.

3) **Operational period** Term based on DIN EN 1993-1-9:2010-12 meaning a period of time in which a WEC's structure can be used with sufficient reliability without failure due to fatigue cracks.

least 20 years corresponds to the design lifetime in accordance with the “guideline for wind energy converter external conditions and proof of structural stability for tower and foundation, abbreviated DIBt guideline from now on).

Due to the fact that the WECs have been given a design lifetime from a stability perspective, the question arises about the actual and maximum service life of the individual WEC’s and thus also the question about the admissible lifetime extension of WECs (lifetime extension from now on) until the load assumptions, based on which the design lifetime was determined, are achieved. The failure probability according to DIN EN 1990 is taken as a basis.

In July 2011 the Lifetime extension working group was founded within the Bundesverband WindEnergie e.V. (German Wind Energy Association - BWE) with the aim of clarifying legal and technical questions in relation to the subject of lifetime extension. The working group members are technical experts, owners, manufacturers, operators and lawyers. The technical experience, practical problems and all questions were thus be compiled and dealt with from different viewing angles. The working group’s aim is to state the principles for safe and successful lifetime extension in order to ensure sustainable use of wind energy. The results of this cooperation on the subject of lifetime extension are summarised in this publication on the principles of performing an assessment and verification of lifetime extension of wind energy converters (BPW from now on). The principles for the BPW explain the requirements, provide assistance with implementation and provide all participants with information in advance, also in order for them to be able to prepare the subject optimally in the future.

A WEC’s design lifetime is defined in its respective and applicable type/individual approval with the associated load assumptions. The design lifetime is understood as the theoretical period of time on which the WEC design is based for verifying the stability of the tower, foundation and the other load-transferring components.

A theoretical minimum period of time with the associated load assumptions is thus taken as the basis for the WEC design in the respective type/individual approval. With the operating life, the temporal aspect of the planned duration is determined but not the loads endured in the design lifetime. These may vary significantly during operation of the individual WEC. It can be assumed that in general, the actual service life / total operating life is longer than the design lifetime. The assumptions on which the design lifetime is based are often not achieved during operation.

Hence, the temporal scale of the design lifetime (at least 20 years) alone does not provide any information on a WEC’s possible total operating life. Rather, the calculations are only based on limited periods of time that is covered by the type approval’s design analysis without further verifications being required during that operating period. The WEC stability is thus verified for that period.

Lifetime extension of the WEC beyond the design lifetime period is possible but requires an assessment using the methods described below with regard to lifetime extension of the entire WEC as a system.

All of the WEC's stability-relevant components, especially load-transferring components as well as functionality of the safety system, control system, brake systems, etc. are thus decisive for the topic of lifetime extension.

Rules for the assessment and the methods for lifetime extension are stipulated in the October 2012 version of the DIBt guideline for wind energy converters, external conditions and proof of structural stability for the tower and foundation (DIBt 2012 guideline). In the meantime, this guideline has been introduced by the building authorities in all German Federal states.

The BPW lies in the responsibility of the operator and should be initiated by him in due time - i.e. before the time-defined design lifetime is reached. The operator has to lay the necessary foundations for performing this verification.

2. Purpose and objective of the assessment and verification for lifetime extension

The purpose of the BPW is to lay the foundations for safe operation during the lifetime extension period of WEC for current and future frame conditions. Within the specified scope, a technical statement has to be made regarding whether the WEC as an entire system still meets the requirements for stability and operational material strength when subjected to current and future operational influences and/or whether inspections or distinct measures must be derived in order to guarantee safe lifetime extension of the WEC.

When the respective design lifetime is reached, the theoretical assumptions for stability, according to the fundamentals of the DIBt guideline, may have been achieved.

In order to be able to determine the lifetime extension period, the WEC and in particular its structure has to be investigated by assessing its current state and any potential further impacts (see Section 6.1) within the lifetime extension period to be determined. A concept ensuring safety during this period should be expected as result.

The BPW complies with and meets the safety performance levels required for WEC operation (DIBt 2012 guideline, DIN EN 1990). The BPW does not rule out any permitted and acceptable residual hazards from damage events within the WEC's sphere of influence that also exist within the scope of its design lifetime and are comparable to other socially accepted risks due to natural and technical impacts. With regard to the high safety performance level prevalent in operational practice, a residual risk is a danger that means an unavoidable and non-obvious risk due to product use despite an inherently safe design and technical protection measures. Undetectable manufacturing and assembly defects, pre-damage, force majeure, extraordinary operating situations due to control system faults and human error can be regarded as the main causes of damage incidents in which mostly only a combination of several of these circumstances results in a relevant damage event.

The objective of the BPW is to determine a lifetime extension period quantitatively, possibly including particular requirements (or stipulations), based on the available documents and the entire system's actual condition. In the procedure described below, the BPW makes statements on whether

- a lifetime extension period for the entire system can be determined based on the available documents (analytical part) and
- the inspection of the entire system's technical condition allows lifetime extension (practical part)

The BPW shall document the result and the content of lifetime extension. If third parties, e.g. civil building authority, requires a respective proof by the WEC operator, the survey report can be handed in as proof to the authority. The documents have to be stored and submitted to the approval authority upon request.

3. Requirements on the technical expert

According to section 17.2 of the DIBt 2012 guideline, the BPW shall be conducted by appropriate independent technical experts for WEC. The technical experts called in must have the appropriate professional training and meet the specific technical requirements for assessing the entire system.

In addition, an accreditation according to DIN EN ISO / IEC 17020 or DIN EN ISO/ IEC 17065 or an equivalent qualification is required following the specifications of an impartial body. The technical expert thus shall comply with criteria that ensure that the accreditation requirements and criteria are respected, regarding independence, impartiality, integrity, organization and quality of the works carried out.

In detail, the following applies to the technical expert criteria and requirements:

a) Professional qualifications

The BPW focuses on inspecting the entire WEC system's stability. A fatigue resistance analysis and assessment as well as an assessment of discernible damage are decisive for the BPW. All assessments within the scope of these considerations are made solely by the technical expert. In addition to knowledge on structural engineering and design, this task therefore requires the technical expert to have, in particular, experience and specialist knowledge in fatigue assessment. As highly competent persons (German term: "besonders fachkundige Person"), technical experts are required for the BPW.

Technical experts who can demonstrate profound experience in the fields of stability and fatigue strength analysis in several years of work in the field of wind energy and have conducted periodic inspections (WKP, German Term: "Wiederkehrende Prüfung", according to the principles for periodic inspections at wind energy converters stated by the BWE's Technical Experts Forum 2012) are considered as highly competent persons.

The highly competent persons must meet the prerequisites for assessing the entire system. If a technical expert does not meet the BPW requirements for the entire system alone, he therefore has to request the assistance of qualified highly competent persons for fields not covered by his qualification, i.e. appropriately qualified technical experts, who meet the above prerequisites for that field.

b) Work organisation and quality control

The technical expert or the related expert company (the technical expert from now on) shall observe and guarantee for their activity the specific criteria following DIN EN ISO/IEC 17020 and DIN EN ISO/IEC 17065.

The regulations are essentially aimed at supplying appropriate information to the client in accordance with ordinances, standards or specifications. The information, results, reports or certificates are compiled by the technical expert independently, impartially and with integrity, i.e. without any commercial, financial or other influences.

As regards independence, the technical expert must be independent from the parties concerned by the activity. Accordingly, the technical expert may be neither a design engineer, manufacturer, supplier, installer, buyer, owner, user nor maintenance specialist of the WEC to be investigated and assessed by him nor

their authorised representative. All in all, the technical expert shall not engage in any activity that can undermine the independence of his judgement or his integrity when performing his tasks. He thus shall also not engage directly in designing, manufacturing, selling, installing, using, operating or maintaining neither WECs that he assesses nor components similar to those assessed by him or in competition with them on the market.

The technical expert must take precautions in the form of organisational measures and/or written procedure instructions in order to ensure adequate separation of roles and responsibilities in connection with the tasks and assessments within his organisation.

When performing his tasks, the technical expert shall operate an effective quality management system and ensure that it is implemented and maintained within the various existing organisational levels. In the case of expert companies, sufficient numbers of persons with all expertise for performing the frequently occurring tasks shall be employed.

The technical expert shall be adequately insured against liability claims.

The technical expert as well as the employee in charge shall have appropriate qualifications, training, experience and sufficient knowledge of the requirements concerning the technical expert in his tasks and his decision regarding lifetime extension of the WEC.

Based on the survey results obtained, the technical expert has to be capable to carry out assessments regarding compliance with the general technical requirements and the state of the art.

Relevant knowledge relating to aspects such as the technology applied to manufacture the investigated WEC, the way it in which the WEC, subjected to the inspections, is used as well as any defects that may appear during use or during operation of the WEC is required in this respect. Furthermore, the technical expert has to also assess the consequences of identified defects for WEC operation.

The technical expert shall ensure in a documented form that vocational training and thus continuing education is provided guaranteeing that knowledge is maintained at the necessary level and expanded. Relating to this, continuing education is provided for the technical expert in line with technological progress during their activity as technical expert.

The technical expert shall possess appropriate and sufficient equipment and devices for completing his tasks in order to allow him to perform all activities associated with performing his tasks. If third party services are included, the requirements also apply to them.

Devices used shall be marked and maintained properly according to documented procedure instructions. Any calibration shall be performed according to a specified procedure and interval, ideally taking into consideration international specifications. The technical expert shall record and document important information regarding the devices (lifetime documentation).

Appropriate reports or certificates on the technical expert's activities that contain verifiable information shall be issued. The documentation must contain all the results of the investigations and findings made based on the results in order to understand them. The information on this shall be reproduced correctly, exactly and clearly.

4. Basic references for the assessment

The latest edition of the guidelines, rules and standards that are the basis for approving WEC installation and operation are decisive for the BPW. In addition, the technological state of art as well as the list of technical design and construction regulations shall be taken into consideration.

An exception is made for regulations and guidelines that have lost their validity or must be supplemented according to the present state of the art.

The BPW has to take into account the fact that a large number of currently valid technical regulations regarding the manufacture, installation and operation of a WEC only took effect after the installation and commissioning of the WEC to be examined.

The BPW therefore requires in particular an individual analysis and assessment of possible risks that may occur from operating the entire system, taking particular into account of the design lifetime and the site specific conditions. Both the load side (loads) and the resistance side (component resistance) shall be considered.

5. Documents required for the verification

For the BPW, the technical expert requires specific information on the site, installation, operation, maintenance and repair of the WEC. Therefore, at least the following information, data and documents shall be submitted and provided for inspection, or made available:

Approval incl. collateral clauses

- Type approval survey report
- Type/Individual approval
- Documents and proof of Commissioning
- Changes to the site
- Extension in the wind farm area with installed or WECs already approved for installation
- Operational data
- Energy production data (KWh) and completed operating hours
- Logbook
- Operating manual
- Maintenance manual
- Maintenance reports
- Service life logbook with an overview of repair measures related to structural safety (maintenance, i.e. repairs, upgrades, improvements, etc.)
- Circuit and hydraulic diagrams
- Parameterization
- Reports on all previous technical inspections
- Reports on the periodic inspections

In special cases for missing documents and documentation, evidence can also be provided by other appropriate documentation, documents or data.

For some WECs, practice has shown that operators received little technical documentation from the manufacturer during the installation and commissioning phase. Thus, the manufacturers or their legal successors are requested today to assist by providing the necessary information, documents or data. Hence, the manufacturers are requested to contribute actively to the successful implementation of lifetime extension of installed WEC. Otherwise, an effective implementation of lifetime extension will be considerably more difficult. The interests of both sides should be similar and cooperative, as for the topic of lifetime extension the common aims are ensuring wind energy sustainability and safe WEC operation.

6. Extent of verification

The principles described in here define and explain the minimum requirements for the verification and assessment. The aim is to determine the current condition of the investigated WEC and its potential lifetime extension period with a reasonable extent of work. The procedure follows the requirements of the currently valid standards and guidelines, and complies with them.

The BPW consists of two parts: an analytical part and a practical part. Lifetime extension of the individual WEC beyond the design lifetime is only possible if the results for both parts of the BPW confirm the safety of the WEC's lifetime extension.

The order in which the analytical and practical parts of the BPW are processed is not defined in general but follows the procedure defined by the technical expert.

Both methods relate to the latest edition of the technical principles, i.e. the generally accepted standards and codes of practice considering the state of the art.

The general procedure shown here complies with the requirements and specifications for the scope of the DIBt 2012 guideline (Section 17). According to this:

The practical method (shall be) verified by additional structural analysis taking account of the currently applicable standards and guidelines.

The analytical method shall be supported by additional representative tests at the tower and an inspection of the foundation.

With both methods, all safety-relevant components and relevant load-transferring components are considered:

- Structure (tower and foundation)
- Fasteners (bolts, anchor bolts, pre-stressing tendons, etc.)
- Load-bearing nacelle elements (main or base frame, axle pin, etc.)
- Drive train (shaft, connecting elements of the shaft, etc.)
- Hub
- Rotor blade
- Brake and WEC safety systems

The above list is not subject to any exclusive application. Additional WEC components should be considered if necessary since operational experience for the different WEC types shows design specific characteristics and damage events on individual WECs.

The aim of the BPW is therefore to determine the components susceptible to fatigue by considering the WEC as total system, mainly with respect to structural safety.

For the assessment, the technical expert has to verify and determine to what extent the assumptions and results of the type approval or existing structural analysis can be used as a basic reference for the BPW. Deviations therefrom need to be taken into account in the assessment. In addition, technical experience from the WEC type's operating period can also be relevant.

The components that are essential or decisive for determination of WEC total lifetime are verified based on the current standards. With regard to the structure's stability, relevant components are verified in compliance with the standards currently introduced by the building authorities (List of technical construction regulations). The lifetime extension determined through the BPW shall meet the safety level requirement for operating WECs.

The actual lifetime extension period can depend on many different factors. They must be included in the analysis, inspection and assessment.

Essential factors include among others:

- Site conditions
- WEC configuration in the wind farm area
- Design, dimensioning and construction of the WEC
- Material, manufacturing and installation quality of the WEC
- Specificities and issues during commissioning
- Modifications to the WEC
- Technical condition of the WEC
- Specificities in the WEC operating states
- Maintenance (inspection, maintenance, repair, improvements)
- Modifications to the WEC environment during the operating phase
- Stress due to site-specific conditions
- Turbulence and wind farm effects
- Climate effects
- Operating times
- Downtimes
- Specificities in the operation, e.g. production with reduced or increased power
- Production figures

These factors have a decisive influence on the lifetime extension period. If based on the BPW, or during the determined lifetime extension period, changes occur to the listed areas, this may affect the previously determined lifetime extension period. In the event of such changes, the WEC operator is obliged to inform immediately the technical expert of this. In such a case, at least the results of the analytical part should be adapted to the changed conditions with an updated assessment and analysis and a new assessment and verification performed by the technical expert.

6.1 The analytical part

The purpose of the analytical part of the BPW is to determine the lifetime extension period with the help of an analytic proof. This can be either a complete recalculation or a supplementary calculation as long as a reliable statement on lifetime extension can be made, taking the currently valid standards and guidelines into account.

This fills the gap in standards and guidelines arising between continuation of the operation and attaining the analytic design lifetime of the relevant type/individual approval.

A lifetime extension period exceeding the design lifetime can be stated if the proof is possible that the entire WEC system will have experienced lower operating stresses during the operational period equal to the design lifetime, than the design loads determined during the relevant design lifetime analysis (for type/individual approval), based on the original load assumptions. When determining the lifetime extension period during the BPW, also those factors shall be considered that may lead or had led to higher stresses during the prevailed operating life, or indicate that case for the future.

In addition to the operating stresses to be assessed, reserves can also be taken into account, e.g. those which may arise from the material itself or the material properties. The same also applies in the case of increasing the lifetime extension period by repair measures such as repairs, component replacement or retrofitting.

As part of the BPW, these influencing factors shall be assessed in their impact and may lead to an increase or, if as well a reduction of the lifetime extension period.

The extent of verification presented in Section 6.1 outlines the necessary input parameters and the procedures in connection with the analytical part and presents the related minimum requirements for this.

The analytical part is used for determining the WEC's site-specific potential (lifetime extension period) compared to the original design. The examining technical expert contributes necessary knowledge in the field of static and dynamic structural design analysis as well as experience in the area of service life analysis (fatigue behaviour and assessment).

Depending on the available basis, the analytical part ranges from a recalculation of the WEC to a supplementary calculation based on the original type approval or existing structural design analysis, taking the currently valid standards and guidelines into account.

Structural models of the relevant WEC form the basis of the analysis and have to be analysed again based on the currently valid standards and guidelines. The real, previous and currently prevailing, site conditions and the expected future site conditions shall be taken into account. During the WEC's operating lifetime, relevant changes that influence both the external (environmental) conditions and the WEC's individual operating mode (configuration, parameterization, power performance, noise-optimised operating modes) may occur. These shall be noted in the BPW. Identifiable or known geometrical non-conformities shall also be taken into account by the technical expert, and considered separately.

Any eventual load reserves compared to the original design analysis and/or improved analytical methods may result in a reduced damage rate for the design lifetime.

Using an suitable simulation software, the stresses for representative sections (tower base, tower head, tower sections, intersection between rotational axis and tower's vertical axis, centre of hub, rotor blade root, etc.) shall be calculated. The actual ambient conditions at the site are the relevant input parameters. For simplification, the stresses thus determined can be summarised as a load spectrum according to their significance.

In the course of the type approval / existing structural proof it had been determined for the conditions of the "design site" that all the investigated components reach at least the design lifetime of generally 20 years (fatigue load analysis). When determining the duration of the technically admissible lifetime extension, the technical expert shall take into account that, reaching the fatigue limit state is avoided and safe lifetime extension ensured by applying the standardised safety factors and sufficient individual safety margins. If applicable, components determined as susceptible to fatigue during the BPW, can be retrofitted or replaced in order to increase the period of operational safety. In the BPW, the component determined as the weakest thus limits the WEC lifetime extension period if it is not replaced.

A special requirement is that the recorded wind data shall be investigated and verified carefully before use, as often it is available only in a simplified form (e.g. operational data of the WEC).

The re-calculation also requires the existence of design data and further information.

If an assessment is possible based on existing proofs from the type/individual approval, and considering the changed input conditions, a supplementary calculation may then be sufficient. In this framework, fatigue analysis of specific WEC components or material-dependent partial calculations are performed, taking account of the actual site conditions. Operating states susceptible to be fatigue-relevant are included in the analysis and are compared with the assumptions for the original WEC design analysis. Various methods can be applied, such as for example simulation-based calculations or numerical methods. The currently valid standards and guidelines shall be taken into account and it shall be verified that the type approval design is valid.

The overall damage of the individual WEC is determined as part of the supplementary calculation and compared with the original design lifetime, and the admissible lifetime extension period thus determined. Just as in the case of the re-calculation, all stability-relevant components and relevant load-bearing components are considered and verified by the analysis.

A number of different methods can be used in the analytical part, such as for example:

- Re-calculation or supplementary calculation based on a generic WEC model with technical data and properties comparable to the WEC to be assessed from the type approval / existing structural calculation, taking the actual

-
- site's ambient conditions into account.
- Re-calculation or supplementary calculation of specific components for the actual site and comparison with the original WEC design.

For both methods, an estimation of the individual lifetime with the input parameters determined above comprises a comparison of the design requirements with the actual site conditions and an assessment of the individual fatigue loads endured by the WEC. The degree of fatigue is calculated based on the stress and the material characteristic values.

A common feature for the application of these analytical methods is that, in compliance with the current standards, the actual site conditions and the actual implemented operating modes of the WEC are incorporated to include the actual load cases prevailing at the individual site and WEC. This approach requires for each individual case a specific set of input data, which has to be provided by the operator/owner or the manufacturer.

A sample project (round robin test) was carried out in Lifetime Extension Working Group of the BWE in order to lay reliable foundations and therefore establish a feasible concept - and furthermore define minimum requirements for technically safe lifetime extension. The analysis and assessment of a selected existing WEC was performed by technical experts from eight expert organisations which comply with the technical expert qualifications and requirements. The aim of the round robin test is to define, based on the obtained results and findings, the required and technically reasonable minimum requirements in order to approach the analytical part on a technically safe basis.

Initial situation for the round robin test:

- Wind energy converter
 - 600 kW nominal power
 - Tubular steel tower with 65 m hub height
 - 44 m rotor diameter
- Site in Saxony, close to Leipzig
- Installation based on a type approval for application in wind zone 3 according to DIBt guideline, WEC description, masses, system frequencies, structural stability proof for tower and foundation
- SCADA data for all operating years
- Site assessment report according to the DIBt 2012 guideline including wind farm configuration, data on wind distribution and effective turbulence intensity
- Site class wind zone 2 according to DIBt guideline
- Wind speed determined at hub height based on the SCADA data
- Commissioned in the year 2000 together with one adjacent identical WEC,
- Wind farm extended in 2006 with an additional 2 WEC of 800 kW nominal power, 65 m hub height, 48 m rotor diameter

The round robin test shows that for identical input parameters the applied analytical methods may differ significantly in depth of analysis and effort. It was also observed that simplifications in the assessment need to be compensated by correspondingly higher safety margins. More effort invested in the determination of input parameters and the analysis can lead to more accurate results and thus lowered safety margins, resulting in a longer lifetime extension period.

Furthermore, the round robin test shows that for the input data set a certain minimum standard is required in order to be able to consider as best as possible all relevant effects impacting on the total operating life.

The round robin test shows in the result that with the analytical part a reliable assessment for WEC lifetime extension is possible if the minimum requirements described here are considered. The investigated WEC shows, based on its design lifetime of 20 years, a relevant potential for several years of safe lifetime extension.

Required input parameters:

The required input parameters for the analytical part are differentiated and are therefore described in relation to their specific aspects.

a) Theoretical WEC configuration according to the WEC design (type approval, individual structural stability proof)

This sub-section describes the required data based on which the WEC can be theoretically modelled and the design loads reconstructed, if necessary. This forms the basis of comparison for the configuration of the WEC at the site (see Section B) with the help of which the lifetime extension period is determined.

The degree of detail of the available information has a decisive influence on the level of the safety margins determined in the uncertainty analysis. The better the design model can be reconstructed here, the lower may the safety margins be selected related to this possible cause for errors.

Information and data from the survey report, the type approval or individual structural stability proof are used for reconstructing the base configuration of the WEC type as it had been considered in the design, and therefore in the type approval. The state of the WEC expected according to type approval is described.

- Design requirements (wind class or wind zone, wind speed distribution, terrain category, turbulence distribution, applied standards and guidelines)
- WEC geometry based on the type approval or individual structural stability proof (tower geometry, foundation geometry, hub height, rotor blade geometry and rotor blade aerodynamics, masses, centres of gravity, material characteristic values)
- Structural dynamics (static and dynamic characteristic values and frequencies, damping)
- Technical requirements and stipulations

The data is used as input data to generate a simulation model for the relevant properties of the WEC to be assessed with which the WEC's design loads can be reconstructed according to the general accepted standards and codes of practices considering the state of the art.

The round robin test showed during processing and evaluation that the type approval contains relevant information for the assessment and is thus the essential document in the section. The required simulation model can be created based on this document together with some further data sheets and technical descriptions.

B) Configuration of wind energy converter at the site

During the BPW for assessment and verification of the WEC for a potential of lifetime extension it is required to model the individual properties of the considered WEC at the site with regard to their effect on fatigue behaviour as realistically as possible.

In addition to any deviations from the type approval, resulting from the WEC geometry or component replacement, this also includes deviations from the planned operating mode such as rotor speed curve, power curve, modified parameterization, downtimes, wind farm effects or unscheduled operating states (e.g. constant yaw error, high frequency of emergency shutdowns, etc.). If, due to an insufficient data set for the WEC to be assessed, it turns out that it is not possible to trace appropriately all configurations and influences with sufficient precision, it may be necessary to apply conservative assumptions.

The data set for the configuration of the WEC at the site describes the individual WEC to be assessed with its operating conditions at the site. Any existing deviations, e.g. with respect to the content of the type approval, are compiled in order to be able to take into consideration their effects on the WEC's actually endured loads.

- Actual WEC geometry (deviations from the design geometry, change of notch class, repair work, retrofits, upgrades, pre-damage)
- Data on component replacement (component replacement, data on the former use of replacement components)
- Assessment of susceptibility to vibrational issues in relation to the rotor speedrange (resonance effects)
- Site-specific WEC parameters, e.g. power curve including its modifications
- Technical and regulatory requirements and stipulations

This information shall ensure that deviations from the design state of the WEC that are relevant for the loads can be assessed. In particular, effects and non-conformities that have a negative impact on the loads determined should be considered carefully.

For the WEC to be assessed in the round robin test, the SCADA data was available for analysing its operating mode. Initially, the wind farm configuration at the site consisted of two adjacent WECs and changed after six years of operation through the extension by two WECs. By considering separately the turbulence intensity distributions before and after the wind farm extension, it was possible to consider in an appropriate manner the related fatigue of the WEC.

This showed that using the more differentiated approach, i.e. before and after the extension determines a higher lifetime extension potential than a conservative approach (consideration of the situation after extension as valid for the entire operating life of the WEC).

C) Actual wind conditions or external conditions at the site

While performing the round robin test, it turned out that the input data for the wind conditions actually occurring at the site is of considerable relevance for the site-specific impact. The wind-related effects form the largest impact group for WEC as they affect the entire structure either directly or indirectly.

It is therefore relevant to know the actual prevailing wind conditions, in order to also be able to assess the hitherto endured operational loads. The wind speed depends strongly on both the site and the local terrain structures, the so-called roughness classes. A statistical model is used for describing with a steady function the probability distribution of the local wind speed (, i.e. its frequency distribution). . Typically, the so-called WEIBULL probability distribution function is applied which requires only two parameters (scale and shape factor) to map the wind's cumulative or relative frequency, which facilitates the procedure of site assessment. Furthermore, the actual wind conditions to date also allow a forecast for the lifetime extension period and associated possible loads.

As a result, the actual wind conditions or impacts at the site play a significant role as this information allows an assessment of which loads the WEC has endured and compare this to the theoretical assumptions during the initial site-specific assessment.

At least the following data is required in order to be able to model the actual wind conditions and impacts at the site with sufficient precision:

- Wind conditions or impacts at the site (wind distribution, wind direction distribution, ambient turbulence intensity, effective turbulence intensity)
- Alternative 1: Wind conditions at hub height on the site (the parameters shall be indicated in accordance with Section 16.2 of the DIBt 2012 guideline) determined by a wind assessment report, site-specific wind measurement data from a nearby spot, SCADA data or energy production data, using a method based on the Technical Guidelines for Wind Energy Converters, Part 6 by the Federation of German Windpower (TG 6 FGW); ambient turbulence determined according to the applicable minimum standards for documentation of expert reports for determining ambient turbulence by the BWE's Advisory Board for Wind Resource, effective turbulence intensity according to the DIBt 2012 guideline)
- Alternative 2: Measurement of wind conditions and statistical evaluation. The current edition of notes on handling measurement data and extrapolating the turbulence intensity by the BWE's Advisory Board for Wind Resource shall be observed. The relevant standards (MEASNET, IEC 61400-12, etc.) shall be taken into consideration when measuring the wind conditions.
- Terrain roughness and topography
- Neighbouring WECs according to the DIBt 2012 guideline, Sect. 16, Farm modifications in the past and the future.

Notes:

The wind conditions shall be determined based on the relevant standards, guidelines and rulebooks (DIBt 2012 guideline, October 2012 edition, DIN-EN 61400-1:2005 + A1:2010, Technical Guideline for Wind Energy Converters, Part 6 Determination of wind potential and energy yield, Revision 9 (TG6) dated 22.09.2014).

In general, the wind conditions are described in site-specific assessment reports. It is recommended to apply the method for determining suitability of the WEC for the site from Section 16.2 of the DIBt 2012 guideline. It is important to ensure that the content is an expert opinion on site suitability for lifetime extension of WEC. This expert opinion can also be integrated into the BPW assessment.

In some cases, it may make sense for the technical experts to include further input parameters for determining the loads (optional identification of further site conditions in accordance with Section 16.2 of the DIBt 2012 guideline or DIN EN 61400-1:2005 + A1:2010). These are, for example, the wind shear exponent α , the inflow angle β and the site's average atmospheric density ρ .

The turbulence intensities are relevant for determining the operational loads of WEC. They can be described through the effective turbulence intensity. The effective turbulence intensity can be determined by applying various material-specific S-N curve exponents depending on the material. If only one Wöhler coefficient is used, the most conservative and thus highest value shall be applied.

The effective turbulence intensity I_{eff} shall be determined according to the state of the art (currently listed model according to Sten Frandsen / DIN EN 61400-1:2005 + A1:2010, Appendix D, DIBt 2012 guideline). The following information or input variables must be available for calculating the effective turbulence intensity:

- (i.) The actual wind conditions at the hub height of the WEC to be assessed described by a WEIBULL distribution function. The Weibull distribution must provide at least the parameters A (scale parameter), k (form parameter) and p (frequency).

Measurement data, SCADA data (10-minute average value) and/or energy yields are used as a basis for determining the actual wind conditions. The SCADA system data as well as the monthly energy yields shall be checked for plausibility. Outliers, obvious faulty values and offsets shall be corrected accordingly. If only insufficient temporal sections of the operating data are available, the need for a long-term correction based on the TG6 shall be verified. After the SCADA or yield data evaluation is complete, it is available to validate the original site-specific wind assessment or the wind conditions determined there. The assumptions from the planning phases' wind analysis frequently no longer correspond to today's standardised requirements, meaning that the sole use of this information, without any plausibility checks using checked measurement data, SCADA data and/or energy yield data, is subject to large uncertainties.

- (ii.) The ambient turbulence intensity I_{amb} at the hub height of the WEC to be assessed shall be determined in accordance with the minimum standards for documentation of expert reports for determining the ambient turbulence (edition adopted by the German Wind Energy Association's Advisory Board for Wind Resource on 11.05.2015) and the notes on handling measurement data and extrapolating the turbulence intensity (edition adopted by the German Wind Energy Association's Advisory Board for Wind Resource in September 2015). I_{amb} must be indicated for at least 12 wind direction sectors or at least in a sufficient manner for determining the effective turbulence intensity of individual or multiple WEC.

-
- (iii.) The current and historical ambient conditions at the site based on the wind farm layout with the surrounding WEC. It has to be indicated which neighbouring WEC in the vicinity influence or have influenced the WEC to be assessed. This concerns all WEC whose distance from the WEC to be assessed is less than 10 times the rotor diameter of the WEC to be considered (DIN EN 61400-1:2005 + A1:2010). Furthermore, based on the information provided by the operator, account should be taken of whether further WECs in the relevant surroundings are approved or currently in the process of being approved. The type, rotor diameter, hub height and position of each WEC to be considered shall be indicated in a typical coordinate system format.

The effective turbulence intensity I_{eff} shall be determined from the input parameters listed in (i.) – (iii.) taking account of the site's topographical complexity and according to the requirements stated in the DIBt 2012 guideline (minimum requirement).

With regard to current developments and based on the current standards, it may also be advisable to describe the wind speed range in 1 m/s bins from the cut-in wind speed V_{in} to the cut-out wind speed V_{out} in accordance with the DIN EN 61400-1:2009 + A1:2010 requirements.

The worst-case scenario for the lifetime and the period of planned lifetime extension shall be investigated. Several wind farm layouts with their respective impacts on I_{eff} shall be shown if necessary. The effective turbulence intensity shall be designated at least for a S-N curve coefficient of $m = 10$ and, after consulting with the technical expert responsible for the BPW, shall be extended by further S-N curve coefficients if necessary.

In the round robin test, the actual wind conditions or impacts at the site and the chosen way and depth to describe them show the significantly varying effects. Depending on the chosen approach, this may cause both: increased reserves or additional loads that impact on the obtained duration for the lifetime extension period.

d) Method for determination of loads

The structural models of the investigated WEC form the basis of the load determination. The loads at representative sections (tower base, tower head, tower sections, intersection of rotational axis and vertical tower axis, centre of hub, rotor blade root, etc.) are calculated using a suitable simulation software. The determined stresses are summarised as a load spectrum according to their significance.

The following numerical methods for determining the loads have been proven as technically feasible for the analytical assessment:

- Simulation with exact structural model of the entire WEC system (including rotor blades, blade connections, hub, shaft, main or base frame, king pin, axle pin, tower, foundation, fasteners). The structural model must meet the requirements for current models and take account of the state of the art (see for example the DIBt guideline).

-
- Simulation with a generic model. When using a generic WEC model, it shall be ensured that the WEC behaviour is modelled with sufficient precision and according to today's numerical methods.

Notes:

- If doubt on the reliability of the results cannot be excluded, the numerical model can be validated using exemplary or site-specific measurements (IEC TS 61400-13: measurement of mechanical loads, see Section 6.3).
- Advanced methods for lifetime determination may be applied, e.g. fracture-mechanical method.

The round robin test has shown that the following minimum requirements must apply irrespective of the method chosen for load determination in order to achieve reliable results:

- Consideration of all relevant load cases based on the current edition of the DIBt 2012 guideline. It is important to note that even normal operation with the occurrence of an error shall be investigated according to the DIBt 2012 guideline.
- Consideration of effective turbulence intensity (specifications in the current edition of the DIBt 2012 guideline shall be taken into consideration with simplifications possible).
- Consideration of fatigue according to the Wöhler concept
 - a) Wöhler concept with linear cumulative damage according to Palmgren-Miner
 - Steel: S-N curve and notch classes acc. to DIN EN DIN EN 1993-1-9
 - Concrete: S-N curve dependent on mean stress acc. to DIN18088-i, DIN EN 1992-2 or FIB model code 1990, 2010
 - b) Wöhler coefficient range of $m = 3$ to 10
- Consideration of structural dynamics (moments of inertia, natural frequencies, damping),
- The safety concept valid for the respective components should be applied (tower and foundation, e.g. DIN EN 1990, DIN EN 1991, DIN EN 1992, DIN EN 1993, DIBt 2012)
- Performance of an uncertainty analysis indicating the safety level; at least acc. DIN EN 1990

If in a particular case, there have been deviations from some of the minimum requirements for the analytical method, alternative approaches are permitted, if they result in an equivalent and reliable result with regard to the safety level. The reason for the deviation and the effect shall be described.

The load calculation results shall be displayed in the following format:

- Damage-equivalent single-stage or multi-stage load spectrum with weighted average value
- Markov matrix (consideration of range and mean value)

Extent of documentation:

The results for the analytical method shall be listed in a traceable and verifiable way in the BPW and survey report. This includes

- input data description,
- explanation and description of the numerical model, the method of calculation and compilation of the respective calculation results.

In addition, an assessment of the calculation results considering the results for the practical method shall be presented as well. Explanations of the safety concept shall also be included. The result is a statement on the possible total operating life in years based on the safety concept valid for the respective component and the uncertainty included in the calculation result. Any requirements or stipulations arising from the results shall be listed.

Additional hints and notes for the continued operation resulting from the analytical method shall also be listed as part of the lifetime extension survey report.

Care must be taken to handle the survey result responsibly. The report shall contain the explicit indication that the results of the analytical method shall not be transferred to other WECs of the same type and that the BPW must be supplemented or renewed in the event of changes to the relevant conditions for lifetime extension.

As far as possible, the extent to which presentation of the calculation results is considered as technically feasible and required shall be agreed with the operator or the authority involved.

6.2 The practical part

The practical part of the BPW is an on-site WEC inspection.

The focus of the inspection is to assess the turbine with regard to the results from the analytical part based on the actual condition (identification of weak points). It therefore supplements the outcome of the analytical part and input parameter for the analytical part can be verified.

In addition, safe operation beyond the design lifetime can be ensured by periodic inspections. The inspection intervals shall be defined by the technical expert according to the results from the analytical and practical part, so that possible damage and risks that may lead to component failure are detected at the time of inspection.

The scope, procedure and quality of this inspection covers at least the scope of a periodic inspection as defined in Chapter 15 of the DIBt 2012 guideline or the principles for periodic inspections of wind energy converters by the BWE's Technical Experts Forum, 2012 edition). Based on this, the following areas shall therefore be inspected or verified in particular:

- Foundation by a close-up visual inspection
- Foundation with regard to the required soil load, the surface condition in the

-
- visible area, concrete spalling and concrete cover, condition of the grouted joint and the sealing, insufficient water drain, etc.
- Tower structure with regard to any damage (e.g. tower rotational spring, corrosion, cracks, spalling in the load-bearing steel/concrete structures, deformations, gaps, defects in welded connections)
 - Tower structure with regard to (non-permissible) modifications compared to the approved design
 - Stability relevant connections (e.g. welds, bolted joints)
 - Compliance with the limit values and requirements/stipulations listed in the type approval for the tower and foundation
 - Rotor blades by a close-up visual inspection (exterior as well as interior, as far as accessible, with regard to relevant surface damage and structural defects such as, for example, cracks on web bonding, delamination, etc.)
 - Lightning protection equipment including connection to the foundation earthing system
 - Visual inspection of the control system and electro-technical equipment with regard to connections, mounting, insulation quality, professional installation, discolouration or dirt, etc.
 - For bolted connections at least visual inspection and looseness check

Furthermore, the entire system shall be assessed with respect to fatigue by the technical expert.

The BPW attaches particular importance to the following topics:

- Defects and hazard due to ageing, wear and fatigue
- Type/Series-specific risks (analysis of weak points)
- Individual load level of the WEC

In addition to the extent of inspection defined above, detailed or supplementary investigations may be performed, such as for example:

- Determination of the actual geometry and material properties
- Operating loads measurement
- Determination of the site-specific impacts
- Accompanying condition monitoring

6.3 Measurements

In addition to analytical and/or practical method measurements may be feasible and required. Metrological investigations do not replace neither the analytical nor the practical method.

For example, wind measurements and load measurements are mentioned in the DNVGL standard DNVGL-ST-0262 on WEC lifetime extension. Measurements can relate to the following areas:

- Determination of the site-specific impacts
- Determination of the actual parameterization and structural properties
- Determination of the actual geometry and material properties
- Accompanying condition monitoring
- Operating loads measurement

The standards and guidelines to be observed are DIN EN 61400-1, -12, -13, IEC 61400-22, the DIBt 2012 guideline as well as the GL guideline for the continued operation of WEC (2009 edition), GL guideline for wind energy converters (2010 edition), DNVGL-ST-0262 Lifetime extension of wind energy converters, DNV GL-SE-0263 Certification for lifetime extension of wind energy converters, VDI 3834-1 (edition 2015).

Measurement laboratories or companies that perform these measurements shall ensure the reliability and traceability of the performed measurement and evaluation by a suitable QM system (e.g. based on DIN EN 17025) (see technical expert requirements, Section 3).

The measurements can be grouped according to their objectives as follows:

a) Measurement of the wind direction and wind speed distribution as well as the ambient turbulence intensity

The aim is to record the wind conditions prevailing at the respective site in order to take them into consideration in the analytical calculation.

b) Measurements in order to check that operation complies with the assumptions made during design and re-calculation

The aim is to check the validity of the assumptions made for the original design calculation and the analytical verification. The WEC's structural and operational parameters are essential input data for the analysis to be able to correctly model the response of the WEC to the site's external conditions and impacts. Therefore, using measurements for model calibration and validation may be recommendable or required, particularly when using generic models for the analytical re-calculation. For WEC without permanent operating data acquisition, it is possible and reasonable to determine the real WEC characteristic curves by measurement. Examples include:

- System's natural frequencies, damping of main components if necessary
- Set parameters, e.g. rotational speed ranges to be blocked to prevent resonance
- Curve of power versus rotor speed, etc.
- Rotor blade angle, rotor imbalance, yaw misalignment, etc.

c) Validation measurements as part of lifetime extension

The aim is to ensure that the assumptions for the WEC's structural and operating parameters made for the analytical method are respected and that the progress of component fatigue and/or any component damage is monitored. Furthermore, it can be validated that measures taken for operational load reduction show the desired effects. If a significant deviation from the analytical calculation assumptions is found during a validation measurement, a new calculation may be required, particularly if the WEC fatigue has been calculated to be significantly lower. Examples include:

- Points named under b)
- Crack monitoring on the foundation, main frame, door frames, rotor shaft, etc.
- Inclination (tower or foundation's deviation from the vertical axis)
- WEC and tower vibration, movements of the foundation steel section

d) Direct load measurement

The aim is to compile the loads recorded during the measurement period in a load spectrum and then extrapolate the load collective for the past and future operating years, and to use it as input values for analytical method. The load measurements are a test procedure for the practical method. A continuous load measurement has the advantage that deviations from the expected operating loads are detected at early stage.

The loads shall be measured directly at suitable points using suitable methods. A distinction shall be made between:

- Load measurements lasting several weeks to several months, mainly in order to supply input or validation data for the analytical method or assess lifetime extension using statistical extrapolation.
- Permanent operational load measurement at the WEC in order to extrapolate the load collective for past/future operating years from it using analytical calculations and derive the possible lifetime extension period. In this way, future changes in the external impacts on the WEC are also completely included.

7. Assessment result and survey report

With the analytical and the practical part, statements can be made regarding a possible lifetime extension period and/or an inspection interval to be respected.

In this context, it is the technical expert's responsibility to also state in the BPW measures and requirements/stipulations that allow WEC lifetime extension of the WECs and make it safe.

The result of the BPW shall be recorded in a written report that must contain at least the following information:

- WEC manufacturer, type and serial number
- Site coordinates
- Operator/Owner
- Date of commissioning
- Operating hours and energy yield
- Site description
- Special requirements and stipulations from the approval
- Date and conditions at the day of inspection
- Description of the extent of verification (analytical and practical)
- Result regarding the lifetime extension period
- Inspection remark and identified irregularities
- Test result summary (analytical and practical)
- Details on requirements/stipulations
- Unique inspection number
- Examining technical expert

The test report result contains information on

- whether an assessment of the lifetime extension period can be made and/or lifetime extension can be assured by periodic inspections

and/or

- which measures and requirements (repair, improvements, retrofit, monitoring, etc.) must be taken in order to allow
- safe lifetime extension

or

- whether a lifetime extension period may not be determined,
- and the continuation of the WEC operation is not recommended.

8. Requirements/stipulations for the lifetime extension period

The technical expert can make lifetime extension dependent on the fulfilment of defined requirements. The requirements can be a result of the analytical or practical part and generally serve for creating and ensure safety for the determined lifetime extension period.

If the technical expert links the WEC lifetime extension to measures and requirements, they may concern in particular the following approaches, the list of which is not exhaustive:

- Measures for further analysis
- Risk evaluation measures
- Risk elimination measures
- Risk avoidance measures
- Component repair measures
- Usage restrictions for the entire system
- Use of specific measurement systems
- Definition of inspection intervals
- Installation and evaluation of specific monitoring systems

Economic aspects should also be taken into consideration by the technical expert for the measures and requirements when performing a standardized and reasonable assessment of the lifetime extension period. However, the cost/benefit analysis may not be performed to the detriment of the stability-relevant aspects.

After the BPW, in addition to the periodic inspection, lifetime extension shall also be accompanied at least by periodic inspections in the future. Both measures may be combined. The length of the inspection interval shall be defined by the technical experts, and formulated as a requirement, so that with a high level of safety is ensured that damage that leads to failure is detected in due time and can thus be avoided. In general, the inspection interval may not exceed a period of two years.

Specificities such as repair and qualified maintenance concepts which are oriented towards lifetime extension may have an influence on the length of the interval periods. The intervals shall be reduced if required due to the condition of the entire system or its individual components.

Since the BPW refers to the time of the inspection by the technical expert, it is the operator/owner's responsibility to immediately inform the technical expert of relevant changes/modifications during the inspection interval and to allow verification of any potential effects on the BPW.

The BWE e.V.'s working group for WEC lifetime extension after 20 years:

Panel of speakers consisting of Dieter Fries (spokesman for the operator advisory council), Martina Beese (Engemann und Partner, author in charge), Jürgen Holzmüller (8.2 Holzmüller engineering firm), Claus Goralski (H + P Ingenieure GmbH)

We would like to thank the working group's permanent participants and the round robin test participants for their commitment and contributions.

Andreä, Axel/Consulting and Engineering
Andresen, Sven/Ing. Büro Andresen
Baulig, Peter u. Przewdzink, Karl-Heinz/TÜV NORD SysTec GmbH & Co.KG
(Teilnehmer des Ringversuches)
Beese, Martina/Kanzlei Engemann und Partner, Rechtsanwälte mbB und Notare
Braschwitz, Georg u. Schumacher, Christian/TÜV SÜD Industrie Service GmbH
(Teilnehmer des Ringversuches)
Büttner, Sarita/WSB Service GmbH
Dassler, Dirk/ Terrawatt Planungsgesellschaft
Folkerts, Bernhard u. Menzel, Stephan/ENERCON Service Deutschland GmbH
Frey, Dieter/Ing. Büro Frey
Fries, Dieter/Ingenieurbüro (Vorsitzender Betreiberbeirat BWE e.V.)
Geiss, Christian/IABG mbH
Glocker, Stephan u. Klawitter, Heiko/Windexperts Prüfgesellschaft (Teilnehmer
des Ringversuches)
Goralski, Claus/H+P Ingenieure GmbH (Teilnehmer des Ringversuches)
Haas, Maik u. Kirsch, Lea/Nordex Energy GmbH
Hansen, Klaus/DNV GL Energy (Teilnehmer des Ringversuches)
Heilmann, Christoph/BerlinWind GmbH
Holzmüller, Jürgen/8.2 Ingenieurbüro Holzmüller u. Kleinhansel, Stefan/Aero
Dynamik Consult GmbH
(Teilnehmer des Ringversuches)
Kasubek, Christian/Idaswind GmbH (Teilnehmer des Ringversuches)
Kebbel, Christian/I17-Wind GmbH & Co. KG
Krüger, Benjamin/gepa-mbh
Lieckfeldt, Robert/Wind-consult GmbH
Lutz, Otto/Sachverständigenbüro Otto Lutz
Müller, Ulf/GE Wind Energy GmbH
Petzke, Maik/Vestas Deutschland GmbH
Schwarz, Christof/Ingenieurbüro Christof Schwarz
(Teilnehmer des Ringversuches)
Terpelle, Simon/Availon GmbH
Weissenborn, Marc/Deutsche Windtechnik Offshore & Consulting GmbH

The working group members thank Mr. Stefan Grothe of BWE e.V.
for his professional support.

Required input parameters

A: Theoretical base WEC configuration

(type approval, individual structural proof)

- Design requirements (wind class or wind zone, wind speed distribution, terrain category, turbulence distribution, applied standards and guidelines)
- WEC geometry based on the type approval or individual structural proof (tower geometry, foundation geometry, hub height, rotor blade geometry and rotor blade aerodynamics, masses, centres of gravity, material characteristic values)
- Structural dynamics (static and dynamic Eigen values, damping properties)
- Technical and regulatory requirements and stipulations

B: Wind energy converter configuration at the site

- Actual WEC geometry (deviations from the target geometry, notch class modifications, repair work, upgrades, retrofit, pre-damage)
- Component exchange data (component replacement, former use of replacement components)
- Assessment of susceptibility to vibrational issues in relation to the rotor speed range (resonance effects)
- Site-specific WEC parameters
- Technical and regulatory requirements and stipulations

C: Actual wind conditions or external impacts at the site

- Wind conditions or impacts at the site (wind distribution, wind direction distribution, ambient turbulence intensity, effective turbulence intensity)
 - Alternative 1: Wind conditions at hub height on the site, determined from wind analyses, site-specific measurement data from the surrounding area, SCADA data or energy yields
 - Alternative 2: Measured wind conditions and statistical evaluation
- Terrain roughness and topography
- Neighbouring WECs according to the DIBt 2012 guideline, Sect. 16, Farm modifications in the past, present and future

D: Load determination method

- Numerical method
 - Alternative 1: Exact structural model for the entire system
 - Alternative 2: generic model
- Consideration of all relevant load cases
- Consideration of effective turbulence intensity
- Consideration of fatigue
 - a) Wöhler concept with linear cumulative damage according to Palmgren-Miner
 - b) S-N curve range of 3-10
- Consideration of the structural dynamics
- Application of the valid safety concept for the respective components
- Performance of an uncertainty analysis

Impressum

Herausgeber: Bundesverband WindEnergie e.V.
Neustädtische Kirchstraße 6
10117 Berlin
E-Mail: info@wind-energie.de
Internet: www.wind-energie.de

Bearbeitung: BWE Arbeitskreis Weiterbetrieb
Sprecherkreis: Dieter Fries, Martina Beese, Jürgen Holzmüller, Claus Goralski

Stand: Mai 2017

Gestaltung: andrzejewski.de

Imprint

Principles for the implementation of an Evaluation and Assessment
with Regard to the Extended Operation of Wind Energy Plants (EAW)

Publisher:
German Wind Energy Association
Neustädtische Kirchstraße 6
10117 Berlin/Germany

Editorial Team:
BWE working group WEC lifetime extension after 20 Years
Speakers: Dieter Fries, Martina Beese, Jürgen Holzmüller, Claus Goralski

Layout: andrzejewski.de

May 2017

2. Auflage, Mai 2017
2nd Edition, May 2017
Preis 39,- Euro
Normal charge 39,- Euro

