



# **Weiterbetrieb 20+ ( BPW ) Erfahrungsbericht**

***Dr.- Ing. Dieter Frey***

***Ingenieurbüro Frey  
Bürgermeister Kröger Str. 17  
21244 Buchholz-Sprötze  
Tel. 04186 / 5551 Fax 5044  
[www.ing-buero-frey.de](http://www.ing-buero-frey.de)***

- > **Gegründet Januar 1994**
- > **QM-System nach 17025: 2018**
- > **Messung Leistungskennlinie IEC 61400-12-1**
- > **Last-Messung IEC 61400-13**
- > **Struktur-Messungen Rotorblätter IEC 61400-23**
- > **Messung El. Eigenschaften IEC 61400-21**
- > **Wiederkehrende Prüfung an Windenergieanlagen**

**Der Vortrag gliedert sich in zwei Teile:**

- > Eine kurze Erläuterung was bei der Entwicklung der WEA zu bedenken war. Daraus abgeleitet eine persönliche und nicht vollständige Begründung warum und welche Untersuchungen im Rahmen von 20+ nötig sind.**
- > Das was in 2019 bei den Begutachtungen durch uns vorgefunden wurde.**

- > **DIBT - Richtlinie Fassung März 2015**  
Verweist in Abschnitt 17 auf die GL - Richtlinie aus 2009
  
- > **GL - Richtlinie aus 2009**  
Definiert eine umfängliche Vorgehensweise an Untersuchungen nach einer Betriebszeit von 20 Jahren und ist der Vorläufer der DIBT - Richtlinie.
  
- > **BWE - Grundsätze Stand: Mai 2017**  
Definiert Mindestanforderungen an Untersuchungen nach einer Betriebszeit von 20 Jahren. Wurde erarbeitet von Sachverständigen aus dem Sachverständigen - Beirat des BWE.

## Notwendige Zutaten:

- > **Ersinnen und Beschreiben der WEA und der Betriebsweise \*\*\***
- > **Theoretische Lastannahmen \*\*\***  
Da der Nachweis der Standsicherheit auch Betriebsfestigkeitsbetrachtungen umfasst muss die Lastspielzahl ermittelt werden, indem die beabsichtigte Nutzungsdauer festgelegt wird.
- > **Konstruktion der Bauteile**
  - > **Zeichnung**
  - > **Werkstoffauswahl**
  - > **Fertigungsauswahl**
  - > **Oberflächenbeschaffenheit und Korrosionsschutz der Bauteile**
- > **Wissen und Können der vielfältigen Berechnungen nach dem Stand der Technik**

In der Regel werden die Schritte mehrfach von oben nach unten durchlaufen bis ein befriedigendes Ergebnis vorliegt.

**\*\*\* Betonung: theoretische Annahmen, die Realität kommt später im Betrieb**

Theoretische Lastannahmen bestehen aus:

- > **Extremlasten**
  - > sehr starke Winde ( Schlagworte: Jahrhundert Bö, 50 - Jahres Bö )
  - > Erdbeben
  - > starke Vereisung
  - > sehr hohe Drehzahlen
  - > .....

**Bauteilversagen bei Überschreiten der Extremlast wird akzeptiert !  
Bauwerke für die „Ewigkeit“ sind unwirtschaftlich.**

- > **Ermüdungslasten ( ständige Laständerungen im Betrieb )**
  - > Rotor der WEA dreht mit sehr hoher Anzahl an Umdrehungen
  - > Wind und Leistung steigt an und nimmt ab
  - > WEA läuft an, läuft lange im Dauerbetrieb und geht wieder aus
  - > .....

Einzelne Ermüdungslasten ( einzelne Schwingspiele ) werden zu einem Lastkollektiv zusammengefasst. Um die weitere Berechnung zu vereinfachen, wird das Lastkollektiv häufig in einem schädigungsäquivalenten Einstufen-Kollektiv zusammengefasst.

**Bauteilversagen soll erst eintreten, wenn die beabsichtigte Betriebszeit um ist !**

Der Lastfall mit den „höheren Lasten“ dimensioniert das Bauteil.

## Die Auslegung der Bauteile umfasst:

- > **Skizzen und Zeichnungen, um die Bauteile zu beschreiben**
- > **Transformation der Lasten durch das gesamte Bauwerk**
- > **Betrachtung der Gesamtdynamik**
- > **Dimensionierung der Bauteile, dass die Extremlasten und die dauernd wirkenden Schwinglasten ertragen werden können**
- > **Damit ein Bauteil / eine Baugruppe für die erdachten Betriebslasten ausgelegt werden kann, müssen die Eingangsfaktoren der Lebensdauerberechnung bestmöglich ermittelt werden. Dies sind z.B. Werkstoff, Oberflächenrauigkeit, Kerbradien, Korrosionsschutz .....**

Die Wöhlerlinie beschreibt eine Werkstoffeigenschaft und ist ein Instrument, um Bauteile zu entwerfen, die die Betriebslasten ertragen können. Das Verfahren wird Betriebsfestigkeitsrechnung genannt.

Zu unterscheiden sind Wöhlerlinien aus praktischen Versuchen oder reinen theoretischen Berechnungen ( synthetische Kennlinie ) .

**Das Versagenskriterium** bei praktischen Versuchen **ist** in der Regel **der Anriss der Probe**, wodurch sich das Bauteilverhalten ändert und dann durch die Bruchmechanik beschrieben wird.

In der Regel ist die Zeit, die das Bauteil nach einem ersten Anriss noch funktionsfähig ist, deutlich kürzer als die Zeit bis zum Entstehen des Anrisses. Dies macht Risse gefährlich.

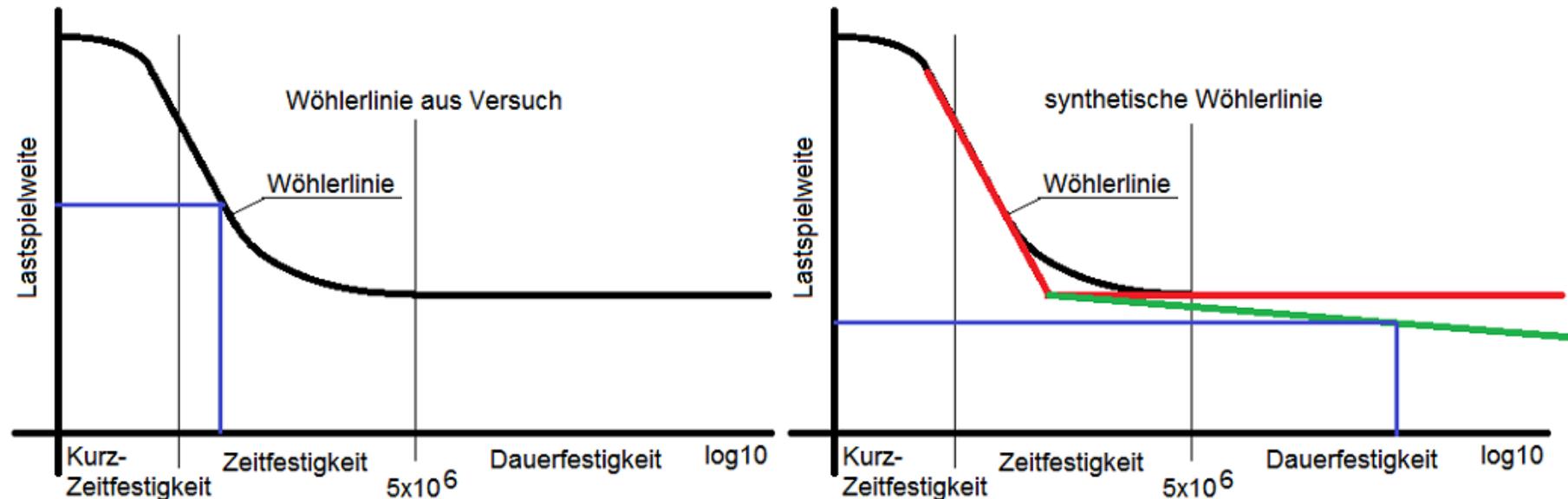
Keine Regel ohne Ausnahmen: Es gibt nach kurzer Betriebszeit entstandene Bauteilrisse, die „zum Stehen“ kommen und das Bauteil versagt nicht. Diese Ausnahmen kommen durchaus oft vor und können an bestimmten Stellen in WEA schon wieder als Regel angesehen werden. Gibt es eine plausible qualitative Begründung für das Rissverhalten, sind diese Risse nicht gefährlich.

# Diagramm der Wöhlerlinie

Durchführung der Versuche für die Wöhlerlinie:

Eine geeignete Probe wird in der Regel mit einer konstant wechselnden Last dynamisch belastet ( meist mehrere Millionen Lastwechsel ). In regelmäßigen zeitlichen Abständen werden die Versuche unterbrochen und geprüft, ob Risse aufgetreten sind. Wenn ja, ist die Probe verbraucht, nächste Probe.

## Diagramm der Wöhlerlinie



Zitat aus Wikipedia:

Die Streuung der Messergebnisse der Wöhlerversuche ist auffallend groß. Sie kommt nur geringfügig aus Unzulänglichkeiten der Versuche, aber hauptsächlich aus divergierenden Werkstoffeigenschaften innerhalb der Bauteile.

## **Extremlasten:**

**Wie oben schon erwähnt werden Extremlastfälle nicht neu untersucht, da der Ausfall bei extremen Bedingungen akzeptiert wird, sprich das Bauteil bzw. auch die ganze WEA versagen darf, wenn die angenommenen Extremlasten überschritten werden.**

**Wesentliche neue Erkenntnisse gibt es seit der ursprünglichen Auslegung der WEA nicht.**

## **Betriebslasten:**

**Da vor allem die ursprünglichen Annahmen der Windbedingungen deutlich höher sind als die tatsächlichen Windbedingungen am Standort der WEA, ergeben die theoretischen Betrachtungen zur Betriebsfestigkeit Weiterbetriebszeiten zwischen fünf und zehn Jahren bis zum theoretischen ersten Versagen einzelner Bauteile.**

- > **Der praktische Teil ist eine gründliche Sichtprüfung der WEA, beginnend am Fundament und endend an der Rotorblattspitze.  
Alle Schränke auf und zu, die Nase in jedes Loch und wieder raus.  
Die Rotorblätter werden vollständig angefasst und nicht nur aus der Ferne geschaut.**
- > **Die Sicherheitseinrichtungen sollen so weit wie möglich geprüft werden.  
Geht nicht immer, vor allem wenn es windstill ist.**
- > **Hauptaufgabe ist die Suche nach Schäden und Rissen.**
- > **Was „am Weg“ noch so auffällt wird ebenfalls vermerkt.**

**Beschilderung, Hubkräne, Aufzüge, Sicherheitsgurte, Verbandskästen, Feuerlöscher und ähnliches sind nicht Gegenstand der Prüfung.**

Die umfangreichsten und immer wieder gleichen „Schäden“ bzw. Prüfbemerkungen stammen von Rotorblättern:

- > Erosionsschäden an der Blattvorderkante
- > gespaltene Blattspitze ( Blitzeinschläge )
- > Hinterkantenrisse im inneren Drittel des Rotorkreises
- > großflächige Stellen ohne Deckfarbe ( blankes GFK )

Schäden an / in Türmen:

- > schadhafter Schutzanstrich des Fundamentes
- > schadhafte Dichtstelle zwischen Turm und Fundament
- > Korrosion im Turmfussbereich ( Einbausektion )
- > Schäden am Steigschutz in der Leiter
- > Risse in Turmöffnungen ( nicht in eigenen Begutachtungen )
- > Risse in Turmkopfflanschschweißnaht ( nicht in eigenen Begutachtungen )

## Schäden im Maschinenbau:

- > Anrisse im Maschinenfundament
- > starke Abnutzung des ständig im Eingriff stehenden Zahnes der Blattverstellung
- > extremer Fettaustritt und Ölaustritt aus Lagern
- > Anrisse in Kabelisolation oder Mantel von Hydraulikleitungen
- > verschmutzte Maschinenhäuser
- > Risse in Rotorblattlagern ( treten derzeit schon nach wenigen Betriebsjahren auf )
- > Zahnradschäden und Lagerschäden im Getriebe

**Einzelne Schadensbilder werden beurteilt und zugeordnet:**

**> Risse in Rotorblattlagern:**

**Die Risse treten deutlich vor der geplanten Betriebsdauer auf.**

**Das Schadensbild zeigt eindeutig die Merkmale eines Dauerschwingbruches.**

**Die geplante Betriebszeit wurde nicht erreicht.**

**Es gibt die Meinung, dass es sich um ein unbedachtes Detail in der Herstellung der Rotorblattlager handelt.**

**Die Risse sind für die WEA gefährlich ( fliegendes Rotorblatt ) .**

**> Risse in Turmöffnungen und stählernem Turmkopfflansch:**

**Die Erkenntnis wird zusammengefasst aus einem Vortrag im BWE**

**Schachverständigen Beirat weitergegeben. Die Risse treten nach genau**

**20 Betriebsjahren auf und werden in dem Vortrag als Punktlandung der**

**Betriebsfestigkeitsrechnung gewertet. Das Schadensbild zeigt einen**

**Dauerschwingbruch. Unterschiedliche Windenergieanlagen und Hersteller sind von derartigen Rissen betroffen.**

**Diese Risse sind keine Einzelfälle und eine Gefahr für die WEA.**

**Es gibt min. einen bekannten Fall mit Rissen in stählernen Turmflanschen, die sehr früh auftreten, mit einer zertifizierten Instandsetzungsmethode.**

**Einzelne Schadensbilder werden beurteilt und zugeordnet:**

**> Anrisse im Maschinenfundament:**

**Der gezeigte Riss im Maschinenfundament ist mit hoher Wahrscheinlichkeit sehr alt und ist zum Stehen gekommen. Der Riss wird die Betriebsdauer der WEA nicht verkürzen. Der Riss ist für die WEA ungefährlich.**

**> Schaden an der Verzahnung der Rotorblattverstellung:**

**Hierbei handelt es sich um Verschleiß eines Bauteiles. Die im Rahmen von Weiterbetrieb 20+ anzustellenden theoretischen Betrachtungen erfassen den Schaden nicht. Das Zahnrad ( der Zahn ) ist noch nicht gebrochen und hat mit großer Wahrscheinlichkeit noch keinen Anriss. Ein gebrochener Zahn kann eine große Gefahr für die WEA werden.**

**Instandsetzung schadhafter Baugruppen muss möglich sein.  
Die Begründung warum, wird an Hand von zwei Beispielen gegeben.**

- > unerwartet früh aufgetretene Risse in stählernen Turmkopfflanschen  
Die Risse wurden eindeutig als zu früh eingetretenes Betriebsfestigkeitsereignis eingestuft, das nicht das Ende der WEA sein kann.  
Es muss zulässig, sein die WEA instand zu setzen.  
Für einen derartigen Schaden gibt es ein zertifiziertes Sanierungskonzept.**

**Gleiches muss für eine WEA nach 20 Betriebsjahren mit Rissen im Turmkopfflansch möglich sein.**

- > Schadhafte Verzahnung der Rotorblattverstellung  
Das Risiko eines Totalschadens durch eine schadhafte Rotorblattverstellung ist mit dem Riss im Turmkopfflansch gleichzusetzen.  
Ein katastrophaler Schadensablauf des Ereignisses ( Zahnbruch ) lässt sich leicht erdenken.**

**Eine Instandsetzung ist möglich, wenn auch mit hohen Kosten verbunden.  
Danach geht es mit einem neuen Ritzel auf einem anderen „Zahn“ des Rotorblattlagers für viele Jahre weiter, wenn sonst keine Gründe dagegen sprechen.**

- > **Unsere Begutachtungen an nahezu 100 WEA haben keine auf Bauteilermüdung zurück zu führende Anrisse gezeigt. Gleiches ist aus sachkundigen anderen Quellen bekannt.**
- > **Die Betrachtungen zur Bauteilermüdung ergeben eine theoretische Weiterbetriebsdauer von fünf bis zehn Jahren.**
- > **Auch neue Betriebsfestigkeitsberechnungen basieren auf Annahmen für wesentliche Eingangsparameter des Rechenverfahrens mit den damit verbundenen Sicherheiten.**
- > **Auf Bauteilermüdung zurück zuführende erkannte Schäden und Verschleiß können instandgesetzt werden.**
- > **Bekannte rissgefährdete Stellen können durch Sensoren überwacht und so das vollständige und unerwartete Bauteilversagen ausgeschlossen werden.**
- > **Die Ergebnisse der praktischen Untersuchung sind bei der Beurteilung des Weiterbetriebes 20+ höher zu werten als die erneute Berechnung.**
- > **Ein „vorsorglicher“ Austausch von Bauteilen, der nur durch theoretische Betrachtungen begründet wird, erscheint sinnlos.**

**Eine WEA, die 20 Jahre Betrieb und mehr hinter sich hat und gut in Schuss ist sollte / darf nicht auf Grund theoretischer Betrachtungen abgerissen werden ! Sie hat praktisch und real bewiesen, dass die angenommenen Extremlasten wahrscheinlich noch nicht aufgetreten sind und sie den Betriebslasten standgehalten kann.**

**Bezahlen wir auch zukünftig einen fairen Strompreis, damit die Windenergieanlagen auch weiterhin instandgehalten und sicher betrieben werden können !**

**Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit !**