

Weiterbetrieb analytischer Teil – Was geht?

Gutachterliche Nachweisführung für den Weiterbetrieb von Windenergieanlagen (Analytischer Teil)



Weiterbetrieb analytischer Teil – Was geht?

Begutachtung der Weiterbetriebsdauer von WEA

durch

„Kooperation Weiterbetrieb“:



Analytischer Teil

Gesamtgutachten
+ Praktischer Teil

Kurzvorstellung Axel Andreä

Axel Andreä, Jahrgang 1962.

- Dipl.-Ing. Maschinenbau (Hamburg, HAW)
- Tätig in der Windenergie seit 1989
- Seit 2012: ANDREÄ Consultoria e Serviços de Engenharia Ltda.
Salvador, Brasilien



- Seit 2016: AXEL ANDREÄ Consulting and Engineering, Köln



- *Mitglied im Sachverständigenbeirat des BWE*
- *Mitglied im Arbeitskreis 20+ des BWE*

Kurzvorstellung Axel Andreä

Berufliche Laufbahn:

- SGS Germany GmbH
- Germanischer Lloyd (GL) *(heute: DNVGL)*
- REpower Systems AG *(heute: SENVION SE)*
- aerodyn Energiesysteme GmbH
- Windtest Kaiser-Wilhelm-Koog GmbH *(heute: DNVGL)*



Inhalt

Inhalt

1. Einleitung

2. Randbedingungen für den Weiterbetrieb

3. Verfahren der Analytik

4. Fallbeispiel generisches Verfahren

5. Zusammenfassung

1. Einleitung

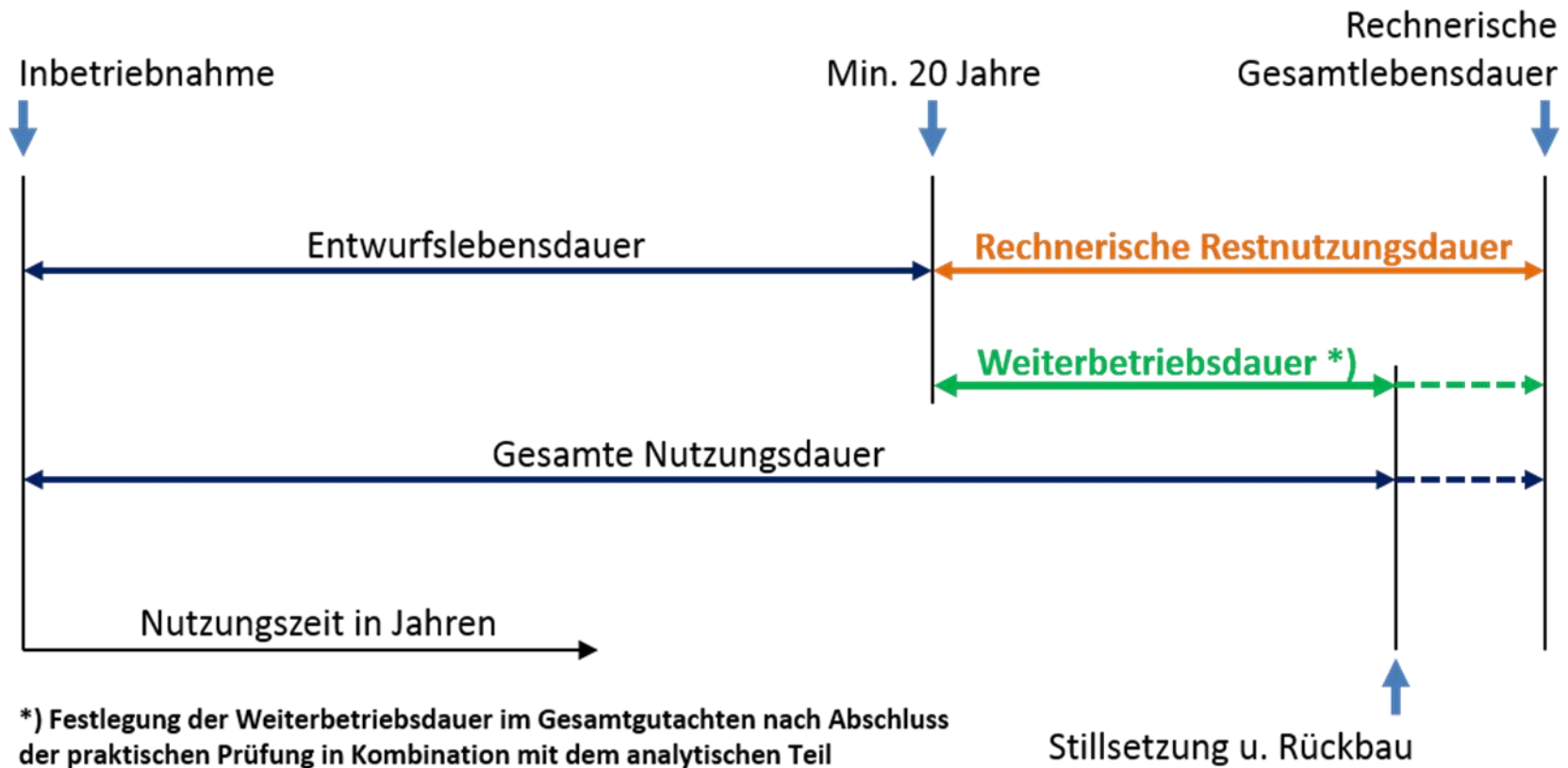
Ausgangslage:

- **Ende der Bemessungs-Lebensdauer** vieler WEA erreicht
- **Nach Typenprüfung:**
 - Auslegungslebensdauer: 20a
 - “Fiktive” Umgebungsbedingungen nach Richtlinie “Windzone” (DIBt)
 - Bemessungskriterium: **Materialermüdung** (Betriebsfestigkeit)

Reale Situation vieler dieser WEA:

- Umgebungsbedingungen **schwächer** als Bemessungsbedingungen
 - Mittlere WG, Häufigkeitsverteilung
 - Turbulenzintensitäten
 - Luftdichte, Höhenwindgradient

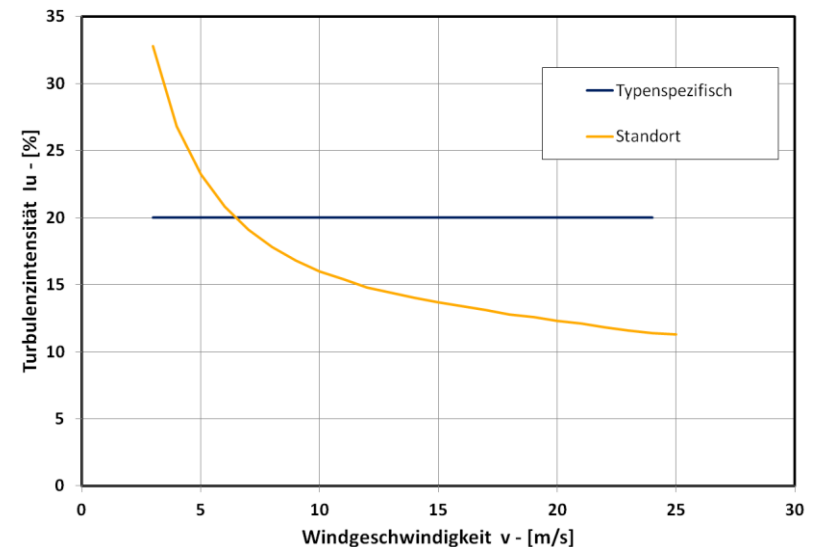
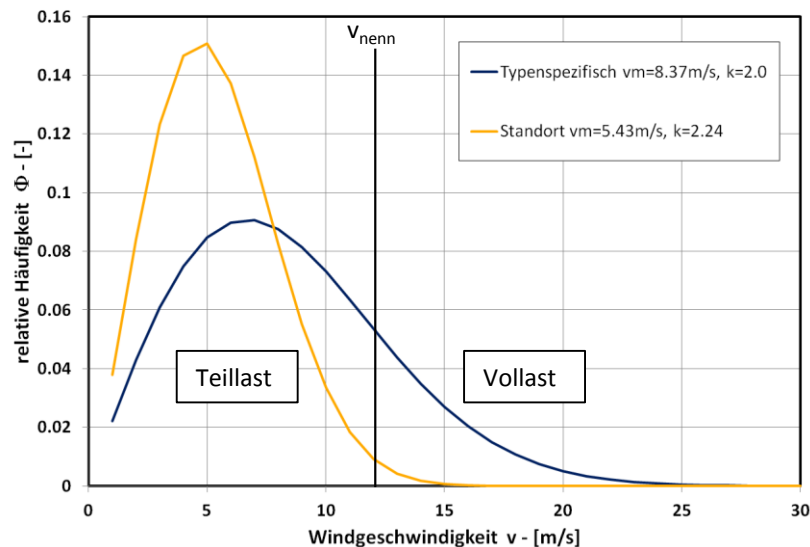
1. Einleitung



1. Einleitung

Vergleich: Umgebungsbedingungen nach Typenprüfung und Real-Standort

- Standortbedingungen aus separatem [Wind-/Turbulenzgutachten](#)



Inhalt

Inhalt

1. Einleitung
2. Randbedingungen für den Weiterbetrieb
3. Verfahren der Analytik
4. Fallbeispiel generisches Verfahren
5. Zusammenfassung

2. Randbedingungen für den Weiterbetrieb

- **Bemessungslebensdauer:**
 - **Standicherheit** (bezüglich Ermüdung) wurde für diesen Zeitraum nachgewiesen (Gesamtstruktur)
- **Standicherheit:**
 - rechnerisch „**technischer Anriss**“ des Materials, kein Bruch(!) [D=1]
 - Oft **Restpotential** im Material (dynamik, extremlast, etc.) [D<1]

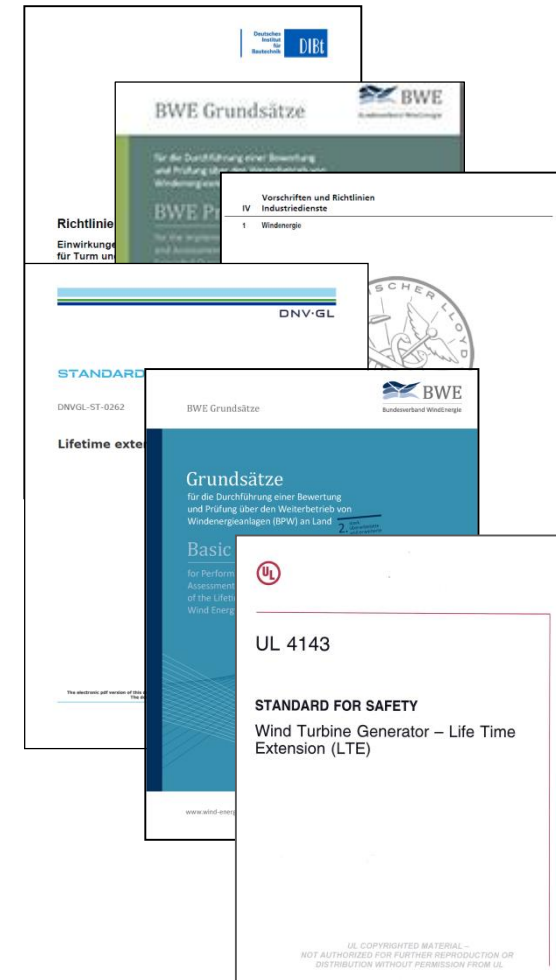


Foto: GL

2. Randbedingungen für den Weiterbetrieb

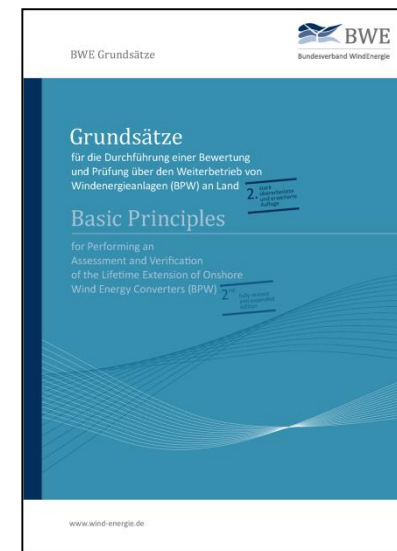
Richtlinien:

- **Germanischer Lloyd:** „Richtlinie für den Weiterbetrieb von Windenergieanlagen“ (2009)
- **DIBt-Richtlinie** für Windenergieanlagen (2012, korr. 2015)
- **BWE:** „Grundsätze für die Durchführung einer Bewertung und Prüfung über den Weiterbetrieb von Windenergieanlagen (BPW)“, (2014)
- **DNV GL:** „Lifetime extension of wind turbines“, (2016)
- **BWE:** „Grundsätze für die Durchführung einer Bewertung und Prüfung über den Weiterbetrieb von Windenergieanlagen (BPW)“, (Mai 2017)
- **UL:** „Wind Turbine Generator – Life Time Extension (LTE)“, Februar 2018



2. Randbedingungen für den Weiterbetrieb

- **BWE 2017**
 - Bezug auf DIBt 2012
 - Zwei Vorgehensweisen:
 - Analytische Methode
 - Neuberechnung komplett **oder**
 - Ergänzungsberechnung
 - Praktische Methode (Inspektion)
 - **Schwerpunktbetrachtung** analytische Methode
 - Detaillierung der Vorgehensweise
 - Anforderungen Wind-/Turbulenzgutachten
 - Forderung:
 - **Immer Kombination** aus analytischem Teil und praktischer Prüfung



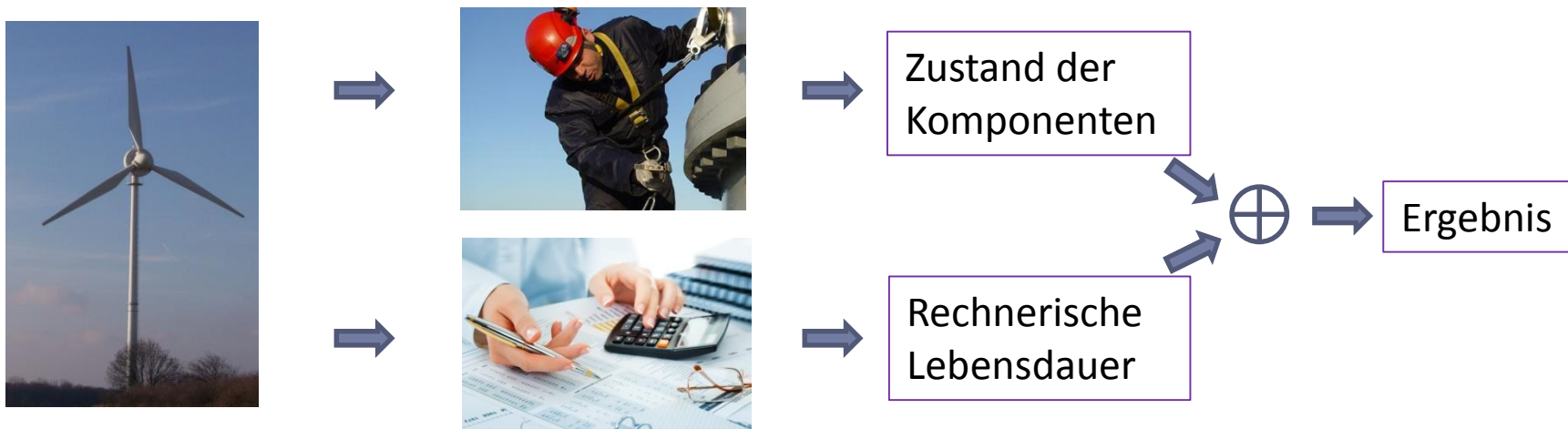
Inhalt

Inhalt

1. Einleitung
2. Randbedingungen für den Weiterbetrieb
3. Verfahren der Analytik
4. Fallbeispiel generisches Verfahren
5. Zusammenfassung

3. Verfahren der Analytik

Gliederung in praktischer Teil und analytischer Teil



3. Verfahren der Analytik

- **Praktischer Teil: Inspektion, Tests**
- **Analytischer Teil: Berechnung der rechnerischen Restnutzungsdauer (z.B. nach BWE 2017, DNVGL):**
 - Vereinfachte Herangehensweise (Anlagendaten nicht bekannt)
 - **Generisches Modell** für aeroelastische Simulation
 - **Annahme:** Ähnliche WEA verhalten sich ähnlich (P-v, D, n)
 - (Neu-)Simulation der **Typenprüfungslasten** nach **Stand der Technik** („type specific“)
 - Simulation der **Standortlasten** („site specific“), Basis: **Wind-/Turbulenzgutachten**
 - Vergleich und Berechnung der **Restnutzungsdauer**
 - Nachweis nur über die **Lasten** (kein Materialspannungsnachweis)
 - Unsicherheitsbetrachtung

Inhalt

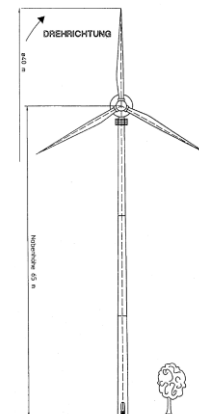
Inhalt

1. Einleitung
2. Randbedingungen für den Weiterbetrieb
3. Verfahren der Analytik
4. Fallbeispiel generisches Verfahren
5. Zusammenfassung

4. Fallbeispiel generisches Verfahren

Generisches Verfahren:

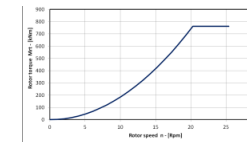
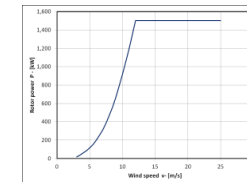
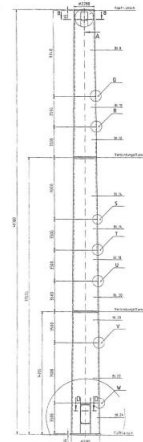
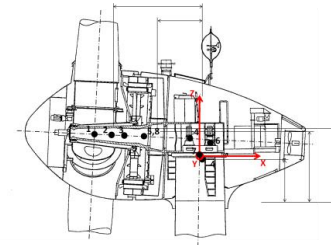
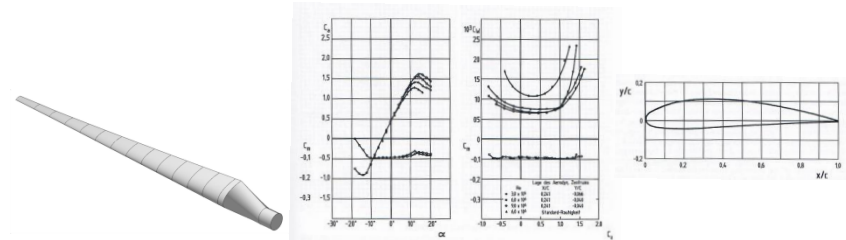
- Berechnung der Lasten (Typenpr. und Standort)
- **Situation:** Für die zu untersuchenden WEA stehen **keine/wenig Originaldaten** zur Verfügung (Regel!)
- Neuerstellung Simulationsmodell
 - möglichst getreu der Betreff-WEA
 - gleiche/ ähnliche Betriebsführung (Regelalgorithmus)
- Bedarf an Geometrie-, Massen-, Steifigkeits- und Controllerdaten
 - Quelle Turm-/Fundamentdaten: aus Typenprüfungsunterlage/ Einzelstatik
 - Quelle Blatt und Maschine: ?



4. Fallbeispiel generisches Verfahren

Benötigte Daten (Grobübersicht):

- **Blatt:**
 - Geometriedaten (Tiefe, Dicke, Verwindung)
 - Steifigkeitsverteilung (Dynamik)
 - Massenverteilung (statisches Moment, Schwerpunkt, Trägheitsmoment)
 - aerodynamische Profile und Profildaten (C_l , C_d , C_m)
- **Maschine:**
 - Massen und Massenträgheiten der Einzelkomponenten
 - Schwerpunktlage der Einzelkomponenten
 - Steifigkeiten und Dämpfungen, insbesondere Antriebsstrang
 - Generatordaten (u.a. Kennlinie, Schlupf, Nennmoment, Kippmoment, etc.)
- **Turm**
 - Geometriedaten (Wanddicken, Durchmesser)
 - Steifigkeitsverteilung (Dynamik)
 - Massenverteilung
- **Betriebsführung**
 - Drehzahl-Drehmoment Kennlinie
 - Leistungskennlinie
 - Controller (Start-/Stopverhalten, Pitchgeschwindigkeiten, P-I-D-Parameter, Verstärkungsfaktoren, ...)
 - Sicherheitssystem



4. Fallbeispiel generisches Verfahren

Übersicht (Auswahl) generischer Modelle (1):

E40
E40-E1
E40-E2



N43



E66



N54 Mk2



TW600
TW600e



N54 Mk3



M1500



N60



4. Fallbeispiel generisches Verfahren

Übersicht (Auswahl) generischer Modelle (2):



4. Fallbeispiel generisches Verfahren

Übersicht (Auswahl) generischer Modelle (3):

NM48



NM60



D4



LW50/750



WW4200

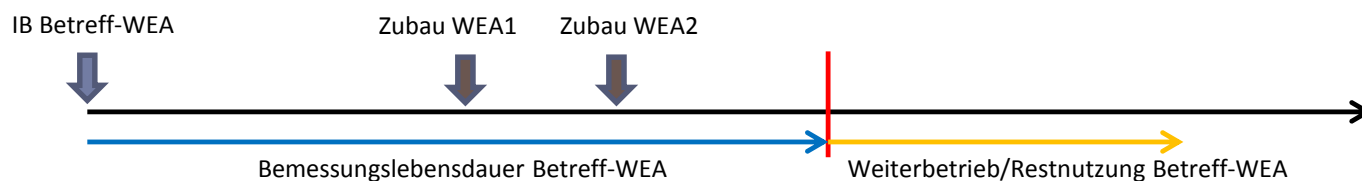


TW1.5s/sl

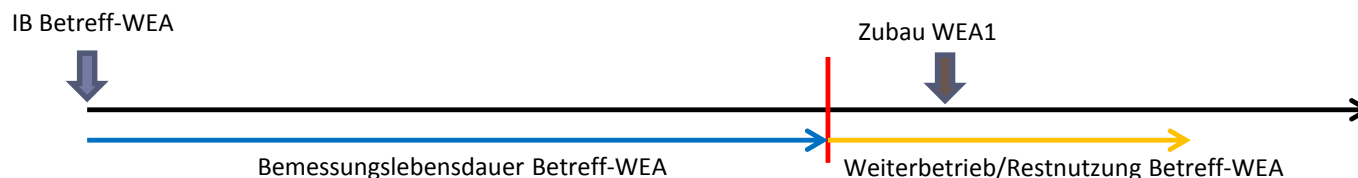


4. Fallbeispiel generisches Verfahren

- Turbulenzgutachten (*Zubau von WEA*)
- Ausweisung der effektiven Turbulenzintensität für die Betreff-WEA unter Berücksichtigung von:
 - **Zubau** von WEA während der **regulären Betriebsdauer** (*alternativ: Situation nach Zubau wird für die gesamte reguläre Betriebsdauer angesetzt („worst case“)*)

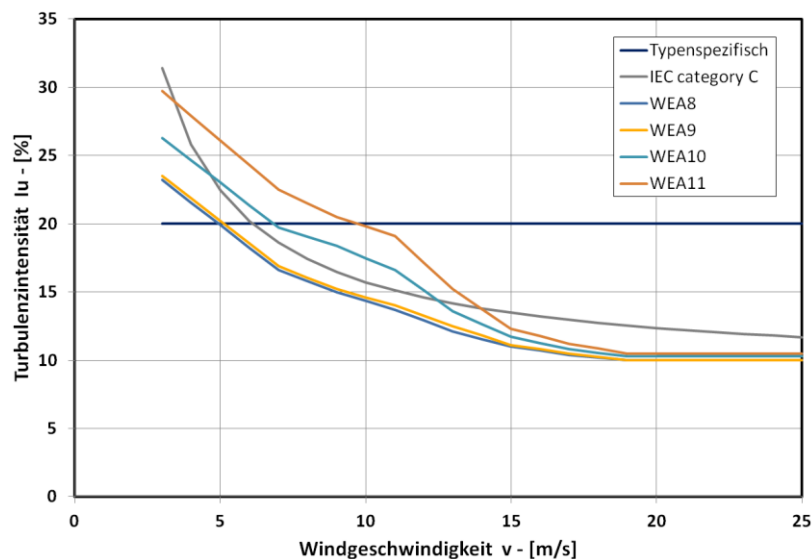


- **Zubau** von WEA während der **Weiterbetriebsphase** (*Neubewertung der rechnerischen Restnutzungsdauer unter Berücksichtigung des Zubaus!*)



4. Fallbeispiel generisches Verfahren

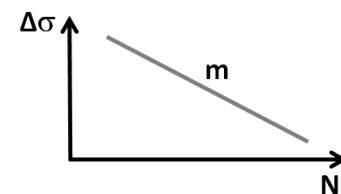
- Turbulenzgutachten (*Windpark, gleicher Typ WEA*)
- Ausweisung der effektiven Turbulenzintensität für aller WEA des gleichen Typs:
 - Möglichkeit A: Berechnung der individuellen rechn. Restnutzungsdauer für jede WEA
 - Möglichkeit B: Berechnung der rechn. Restnutzungsdauer für die am stärksten belastete WEA; Ergebnis steht stellvertretend für alle WEA (gleichen Typs).



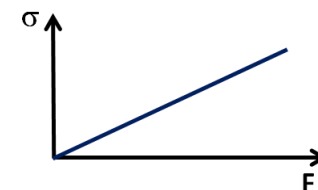
Spreewindtage 2019 - Forum 8: Windexperts Netzwerk 06.11.2019

4. Fallbeispiel generisches Verfahren

- Berücksichtigung der Materialermüdungseigenschaften durch Steigung der Material-Wöhlerlinien („m“)
- Vergleich auf Basis der äquivalenten **Lasten**
- **Annahmen:**
 - jedes Bauteil der WEA wurde mit den TP-Lasten exakt auf **20 Jahre** LD bemessen
 - **lineares Verhältnis** zwischen Last und Materialspannung

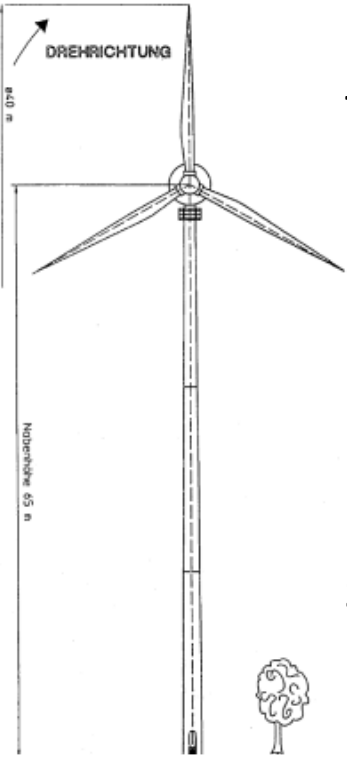


D=1 (20a)



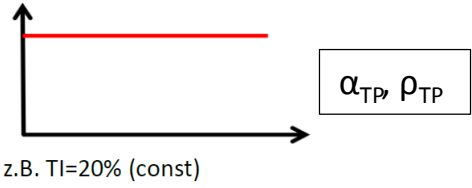
4. Fallbeispiel generisches Verfahren

Generisches Modell

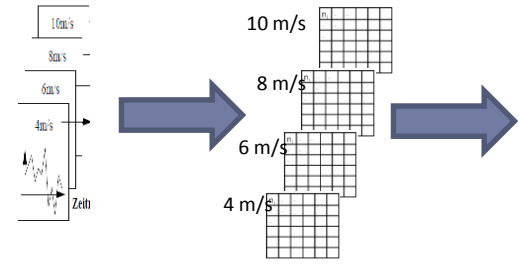


Externe Bedingungen

TP:

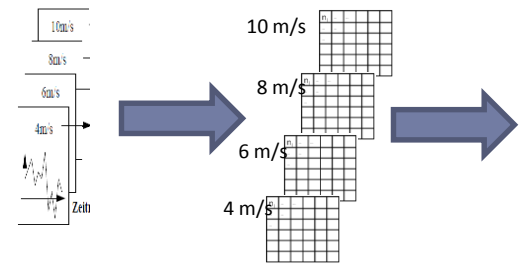
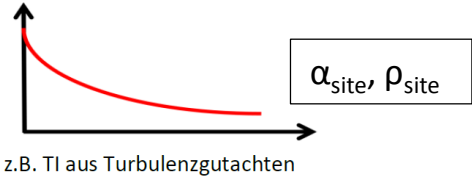


Rainflow Analyse



Simulierte Zeitreihen

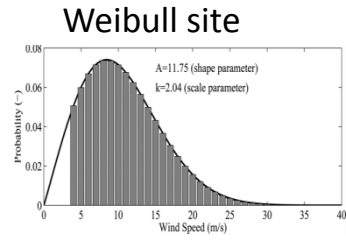
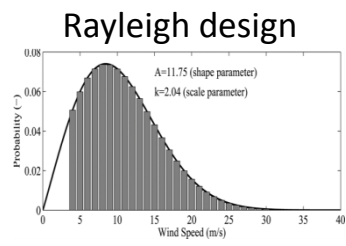
Site:



Simulierte Zeitreihen

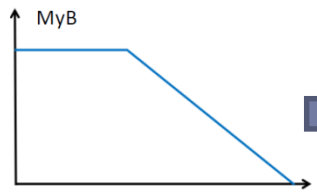
4. Fallbeispiel generisches Verfahren

Windhäufigkeitsverteilung

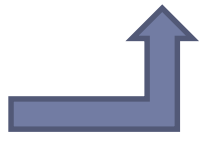
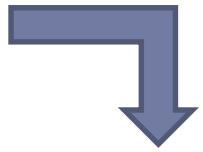
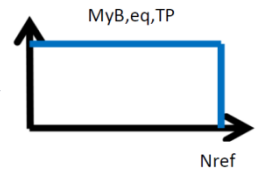


z.B. aus Windgutachten,
ggf durch Energieerträge
plausibilisiert

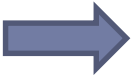
Lastkollektive



Äquivalente Lasten
(berücks. v. Wöhlere exponent)



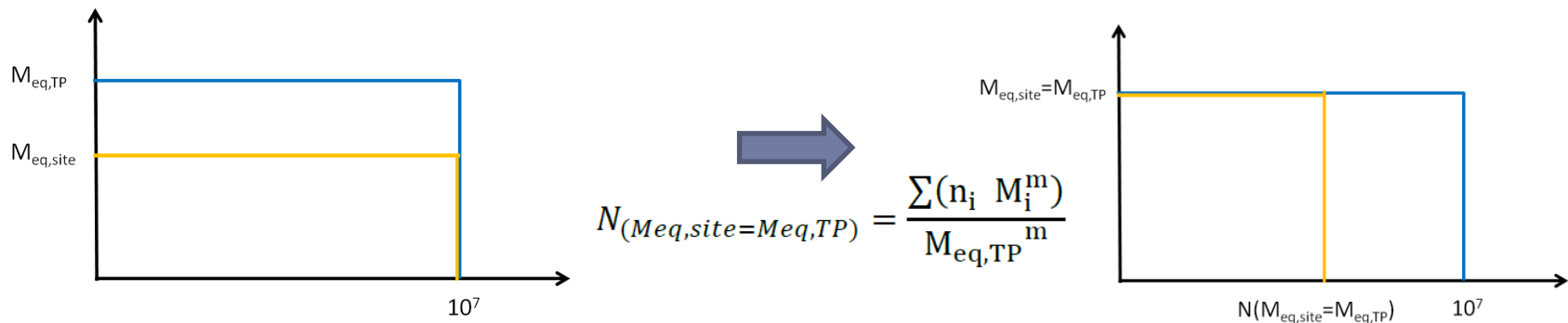
Vergleich



4. Fallbeispiel generisches Verfahren

- Berechnung der rechnerischen Restnutzungsdauer

$$RND = LD \left(\frac{N_{ref} (M_{eq, TP})}{N(M_{eq, site} = M_{eq, TP})} - 1 \right)$$



$$N_{(M_{eq,site} = M_{eq,TP})} = \frac{\sum (n_i M_i^m)}{M_{eq,TP}^m}$$

$M_{eq,TP}$ – äquiv. Last typenspezifisch

$M_{eq,site}$ – äquiv. Last Standortspezifisch

N_{ref} – Referenzlastspielzahl (gewählt 10^7)

$N_{(M_{eq,site} = M_{eq,TP})}$ – Lastspielzahl bei der die

äquivalente Last für den Standort = äquivalente Last der TP

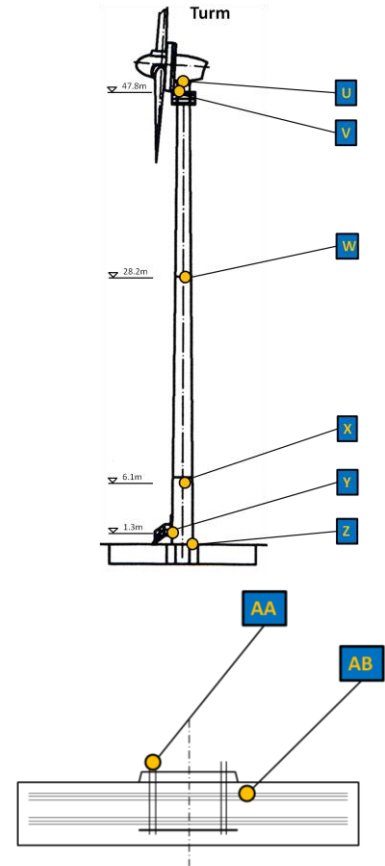
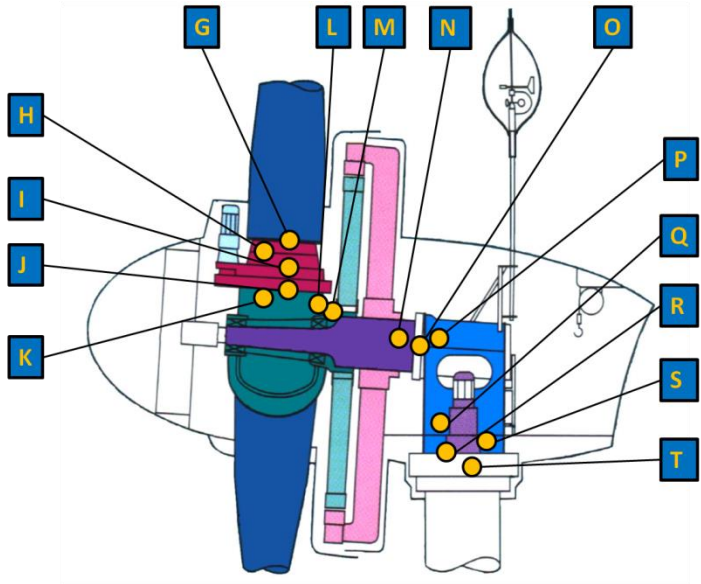
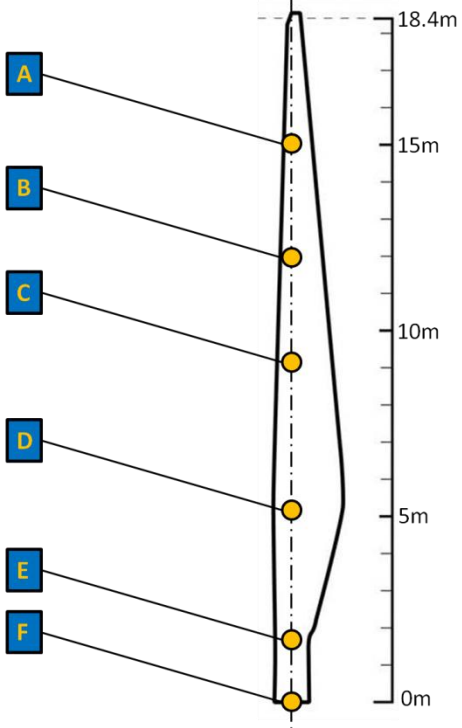
m – Wöhlerexponent

LD – Lebensdauer (20a)

RND – rechnerische Restnutzungsdauer

4. Fallbeispiel generisches Verfahren

- Betrachtung ausgewählter Komponenten im Kraftfluss der WEA



4. Fallbeispiel generisches Verfahren

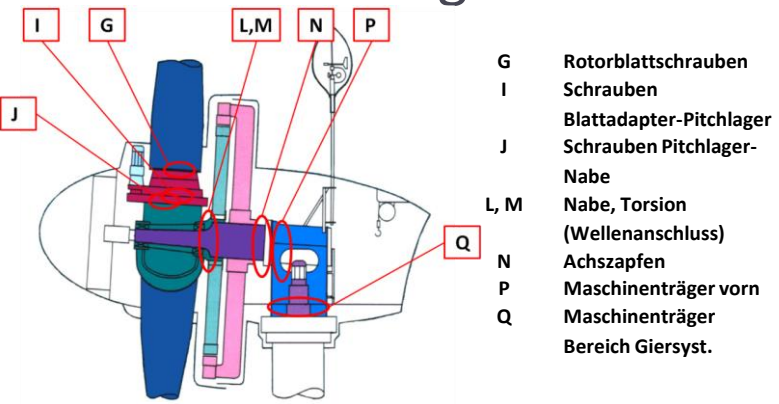
- Bewertung der rechnerischen Restnutzungsdauer nach dem Prinzip des schwächsten Gliedes in der Kette
- Möglichkeiten des Komponententausches werden klar



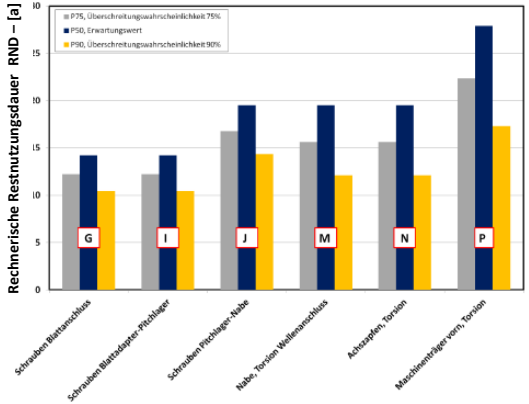
4. Fallbeispiel generisches Verfahren

- Analytikbericht Inhalt:

- Kurzfassung



- G Rotorblattschrauben
- I Schrauben
- J Blattadapter-Pitchlager
- J Schrauben Pitchlager-Nabe
- L, M Nabe, Torsion (Wellenanschluss)
- N Achszapfen
- P Maschinenträger vorn
- Q Maschinenträger Bereich Giersyst.



ID	Komponente	m [-]	Restnutzungsdauer [a]
A	Rotorblatt, Radius r=16.38m	10	>30
B	Rotorblatt, Radius r=13.48m	10	>30
C	Rotorblatt, Radius r=10.0m	10	>30
D	Rotorblatt, Radius r=6.52m	10	>30
E	Rotorblatt, Radius r=3.04m	10	>30
F	Rotorblatt, Wurzel (GFK)	10	>30
G	Rotorblattschrauben	4	14.7
H	Blattadapter	7	>30
I	Schrauben Blattadapter-Pitchlager	4	14.7
J	Schrauben Pitchlager-Nabe	4	19.5
K	Nabe, Bereich Pitchlager	7	>30
L	Nabe, Bereich Welle, Torsion	7	7.5
L	Nabe, Bereich Welle, Biegung	7	>30
M	Welle, Torsion	7	7.5
M	Welle, Biegung	7	>30
M	Schrauben Welle-Nabe	4	>30
N	Achszapfen, Torsion	7	7.5
N	Achszapfen, Biegung	7	>30
O	Schrauben Achszapfen-Maschinenträger	4	>30
P	Maschinenträger vorn, Torsion	4	13.2
P	Maschinenträger vorn, Biegung	4	>30
Q	Maschinenträger Bereich Giersystem, Torsion	4	>30
Q	Maschinenträger Bereich Giersystem, Biegung	4	18.5
R	Schrauben Maschinenträger-Giersystem	4	>30
R	Schrauben Giersystem-Turm	4	>30
S	Königszapfen	7	>30
T	Turmkopf (Machine)	4	>30
U	Turmkopf (Turm WZ-spez., Blech, Flansch)	4	>30
V	Turm, Bereich Türausschnitt oben	4	>30
W	Turm Montagestoß h=42m (Blech, Flansch, inkl. Schrauben)	4	>30
X	Turm Montagestoß h=21m (Blech, Flansch, inkl. Schrauben)	4	>30
Y	Turm, Türausschnitt unten	4	>30
Z	Turmfuß, (Blech, Flansch)	4	>30
AA	Fundament Ankerschrauben	4	>30
AB	Fundamentkörper	4	>30
AB	Fundamentkörper	7	>30
AB	Fundamentkörper	10	>30

Tabelle B: Übersicht der berechneten Restnutzungsdauer für die untersuchten Strukturelemente

Technischer Bericht

Berechnung der theoretischen Weiterbetriebdauer der Windenergieanlage TW600e, Seriennummer GES02029 am Standort Hartha Analytischer Teil der Bewertung und Prüfung über den Weiterbetrieb (RPW)

Dokument Nr.: TR-15/RS-2018-An

Inhalt

Inhalt

1. Einleitung
2. Randbedingungen für den Weiterbetrieb
3. Verfahren der Analytik
4. Fallbeispiel generisches Verfahren
5. Zusammenfassung

5. Zusammenfassung

- Weiterbetrieb/Restnutzung ist möglich, wenn Windbedingungen am Standort **schwächer** als in Typenprüfung
- Bewertung Weiterbetrieb auf Basis von **Inspektion in Kombination mit Analytik**
- **Letzten BWE Grundsätze im Mai 2017 erschienen**
- Berechnung der Restnutzungsdauer mittels **generischem WEA-Modell und Simulation** möglich und zulässig (analytischer Teil, Bewertung auf **Lasten-Basis**)
- **Datenbasis:** Turm/Fundament gut, Blatt u. Maschine: Recherche erforderlich
- **Komponentenindividuelle** Analyse der Restnutzungsdauer (Prinzip schwächstes Glied der Kette)
- Festsetzung der **endgültigen WBD** durch Sachverständigen im Gesamtgutachten (Analytik+praktische Prüfung)

Weiterbetrieb analytischer Teil – Was geht?

Keep them alive!



www.andrea-consult.com