

UL RENEWABLES

LIFETIME EXTENSION: HOW TO CALCULATE WIND FARM REMAINING USEFUL LIFETIME



Holger Söker

Head of Service Area Wind Products and
Components

Wind Products and Certification

RENEWABLES - EPT

holger.soeker@ul.com

AWES, Wien, 15. März 2018

LTE / Restlebensdauernutzung geht alle an !



- Schadensfälle
- Prämien, Deckung



- Verbesserte Bewertung des Anlagevermögens
- Herausforderungen im Betrieb
- M&A



- Kredit-Verhandlung
- Risiko Management



- Verändertes Szenario (korrektive / vorsorgliche Wartung)
- Inspektionen

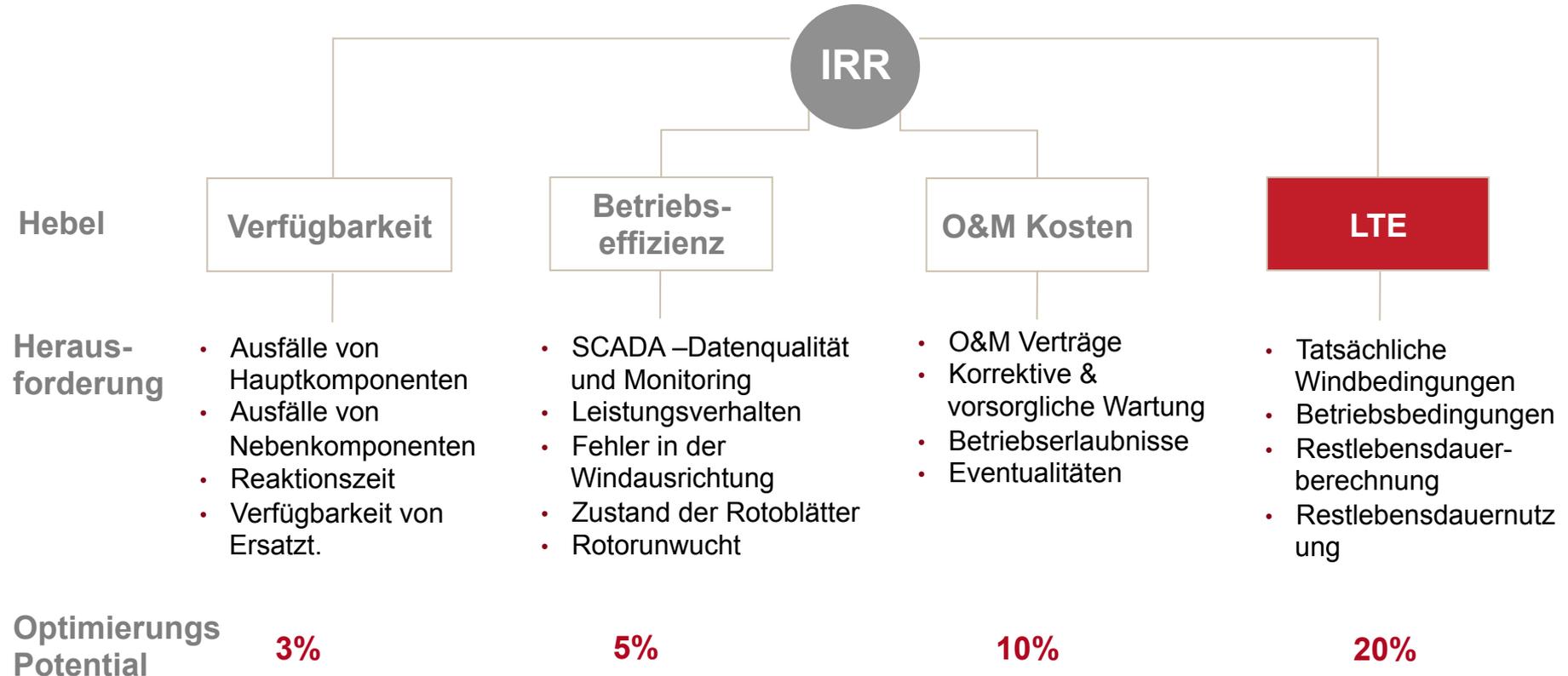


- Sicherheit
- Genehmigung
- Energie-Mix
- Regulierung
- Industrie



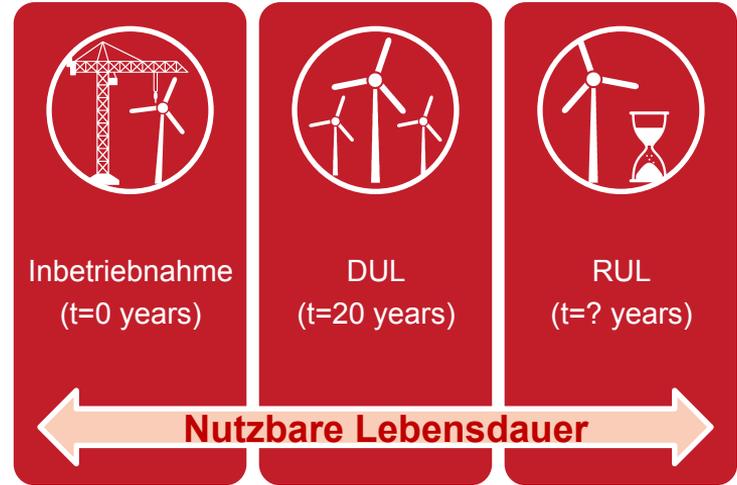
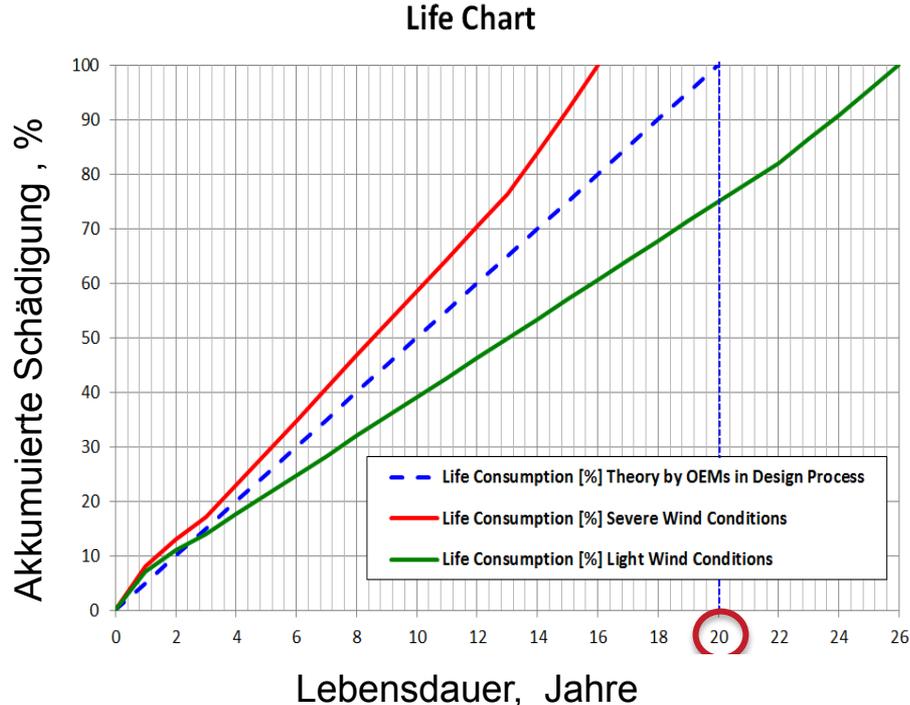
- Neue Produkte
- Engineering
- Neue Anforderungen für Ausschreibungen

LTE – Life Time Extension



Life Time Extension (LTE)

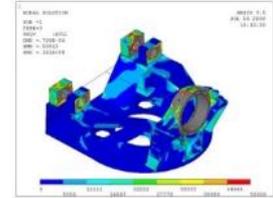
Bei der **Restlebensdauerermittlung (RUL)** wird der Unterschied zwischen der **realistisch nutzbaren Lebensdauer** und der **Entwurfslebensdauer (Design Useful Life = DUL)** eines Windparks ermittelt.



Zweifacher Ansatz

Analytisch

- Technologie & Komponenten, Ermüdungsberechnung
- Tatsächliche Standortbedingungen: Windgeschwindigkeitsverteilung, Windrichtungsverteilung, Turbulenz, Scherung usw. ,tatsächliche Betriebsbedingungen
- Schädigungswahrscheinlichkeiten (Gauss-Verteilung) für die verschiedenen Strukturkomponenten



Die tatsächlichen Bedingungen sind nicht identisch mit den Entwurfsbedingungen.

Praktisch

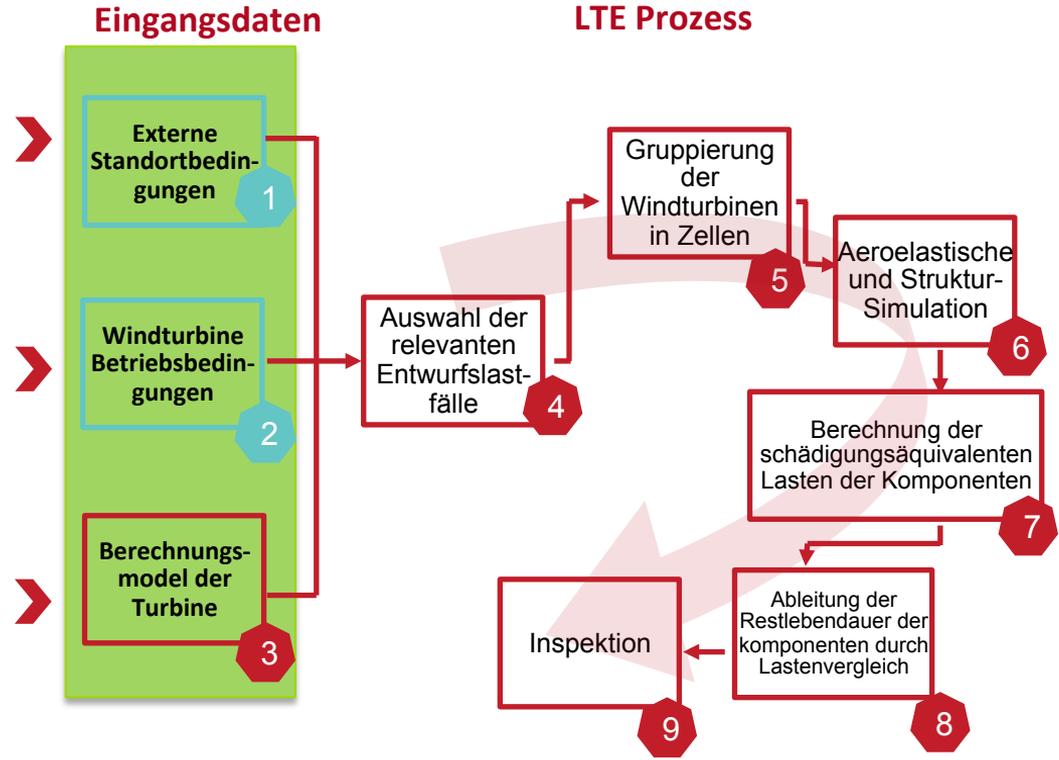
- Inspektionen der Windturbinen und deren Hauptkomponenten (von akkreditierten Anbietern)

Erlauben nicht in die Zukunft zu blicken, helfen aber, den gegenwärtigen Zustand der Turbinen zu bewerten.



UL 4143 Prozess

UL 4143, Standard for wind farms Life Time Extension



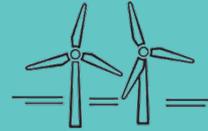
Life Time Extension

ENTWURFSBEDINGUNGEN

IEC Windklasse
Betrieb
Wartung



WINDPARKBEDINGUNGEN am Standort



Standortwindbedingungen
Tatsächl. Windparkbetrieb
Tatsächl. Windparkwartung

LEBENSDAUERBERECHNUNG

IAM* - **Betriebslasten**
Materialeigenschaften - **Betriebsfestigkeit**
Kumulative Schädigung – **Lebensdauer**



Eingangsdaten

ENTWURFSBEDINGUNGEN

IEC Windklasse

Betrieb

Wartung



IEC Wind(turbinen)klassen

Betrieb

- Anzahl der Starts, Stops, ... entspr. gültiger Typenzertifizierung

Wartung

- wie im Wartungshandbuch angegeben

Table 4.2.1 Basic parameters for wind turbine classes

Wind turbine class	I	II	III	S
- V_{ref} [m/s]	50	42.5	37.5	Values to be specified by the manufacturer
- V_{ave} [m/s]	10	8.5	7.5	
- A I_{15} (-)	0.18	0.18	0.18	
- a (-)	2	2	2	
- B I_{15} (-)	0.16	0.16	0.16	
- a (-)	3	3	3	

Input data

WINDPARKBEDINGUNGEN am Standort

Standortwindbedingungen

Tatsächl. Windparkbetrieb

Tatsächl. Windparkwartung



Auswertung der Windbedingungen

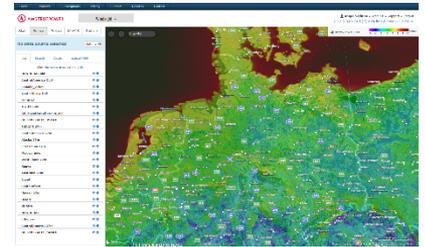
- Metmast-Daten – wenn vorh.
- Mesoskale Daten
- SCADA DATA / Produktion

Tatsächl. Betrieb

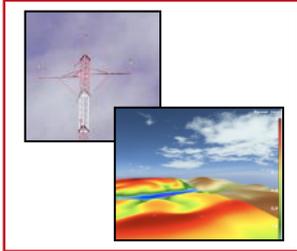
- Anzahl der Starts, Stops, ... gem. SCADA-Daten und Alarmberichte.
- Sektormanagement, ...

Tatsächl. Wartung

- Durchsicht der O&M-Berichte
- Akkreditierte Inspektionen



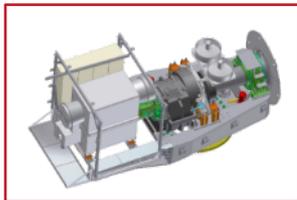
UL 4143 Prozess – Eingangsdaten



- Topographie und Hindernisse
- Qualitätsmesssysteme
- Windgeschwindigkeit und -richtung,
- Turbulenz, Scherung, Anströmungsrichtung, Luftdichte



- Stops / Starts
- Verfügbarkeit
- Schräganströmung /Ausrichtung
- Produktionsbetrieb / Leerlauf
- Wartungsaufzeichnungen
- Anderes wie Blitzschlag, Vereisung, Erdbeben
- Komponentenaustausch

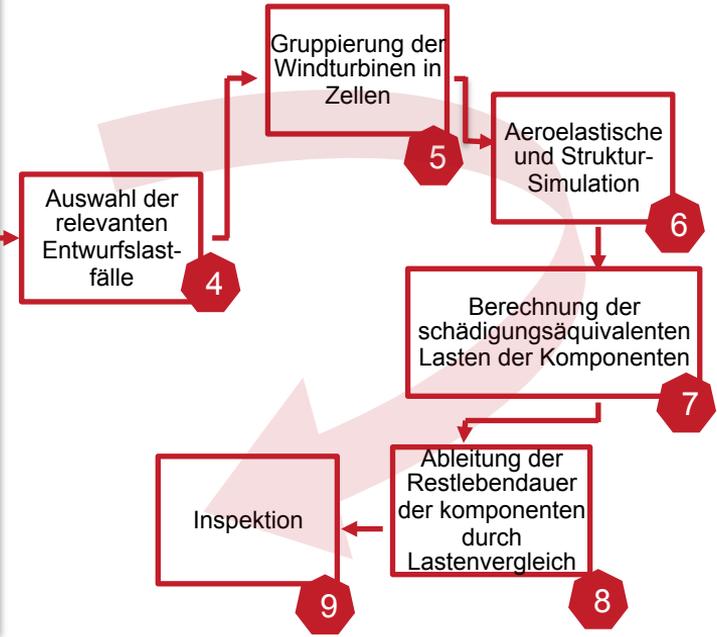


- Allgemeine techn. Dokumentation
- Validierung des aerolastischen Modells
- Validierung des Strukturmodells (Modalfrequenzen, Lasten)

Eingangsdaten



LTE Prozess



UL 4143 Prozess – Berechnungsmodell der Turbine

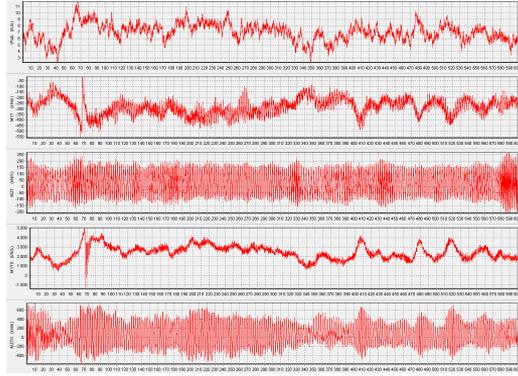


Figure: Time series from IAM

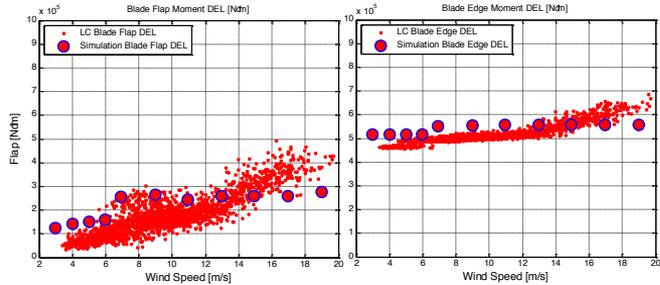


Figure: DEL IAM vs DEL ML

Eingangsdaten

Externe Standortbedingungen 1

Windturbine Betriebsbedingungen 2

Berechnungsmodell der Turbine 3

Auswahl der relevanten Entwurfslastfälle 4

LTE Prozess

Gruppierung der Windturbinen in Zellen 5

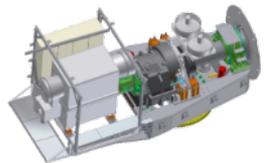
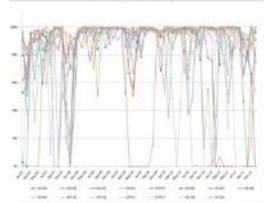
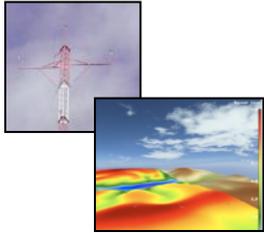
Aeroelastische und Struktur-Simulation 6

Berechnung der schädigungsäquivalenten Lasten der Komponenten 7

Inspektion 9

Ableitung der Restlebensdauer der Komponenten durch Lastenvergleich 8

UL 4143 Prozess – Entwurfslastfälle (DLC)



- Topographie und Hindernisse
- Qualitätsmesssysteme
- Windgeschwindigkeit und -richtung,
- Turbulenz, Scherung, Anströmungsrichtung, Luftdichte

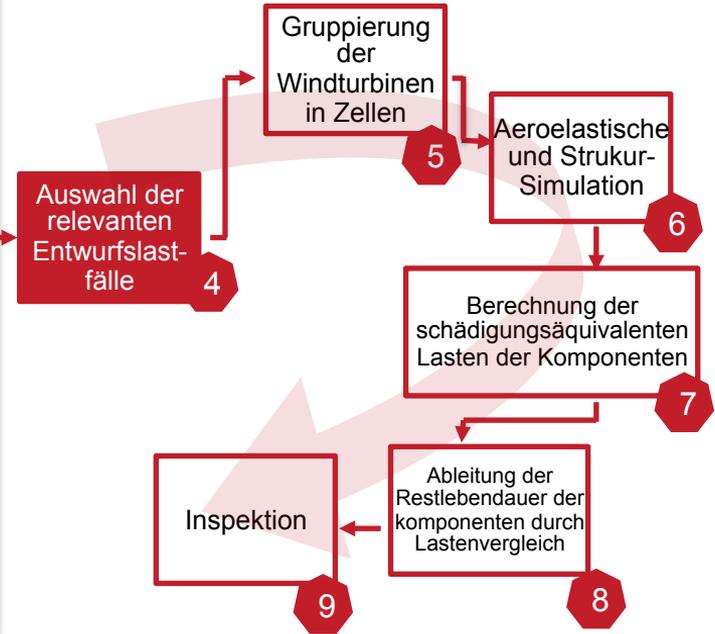
- Stops / Starts
- Verfügbarkeit
- Schräganströmung /Ausrichtung
- Produktionsbetrieb / Leerlauf
- Wartungsaufzeichnungen
- Anderes wie Blitzschlag, Vereisung Erdbeben
- Komponentenaustausch

- Allgemeine techn. Dokumentation
- Validierung des aerolastischen Modells
- Validierung des Strukturmodells (Modalfrequenzen, Lasten)

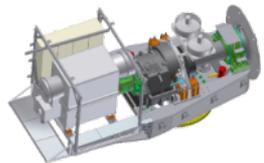
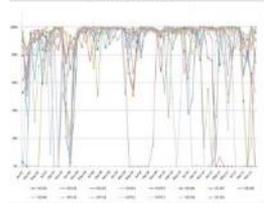
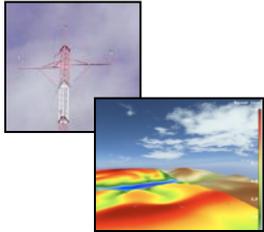
Eingangsdaten



LTE Prozess



UL 4143 Prozess – Gruppierung der Windturbinen



- Topographie und Hindernisse
- Qualitätsmesssysteme
- Windgeschwindigkeit und -richtung,
- Turbulenz, Scherung, Anströmungsrichtung, Luftdichte

- Stops / Starts
- Verfügbarkeit
- Schräganströmung /Ausrichtung
- Produktionsbetrieb / Leerlauf
- Wartungsaufzeichnungen
- Anderes wie Blitzschlag, Vereisung Erdbeben
- Komponentenaustausch

- Allgemeine techn. Dokumentation
- Validierung des aerolastischen Modells
- Validierung des Strukturmodells (Modalfrequenzen, Lasten)

Eingangsdaten

Externe Standortbedingungen 1

Windturbine Betriebsbedingungen 2

Berechnungsmodell der Turbine 3

LTE Prozess

Auswahl der relevanten Entwurfslastfälle 4

Gruppierung der Windturbinen in Zellen 5

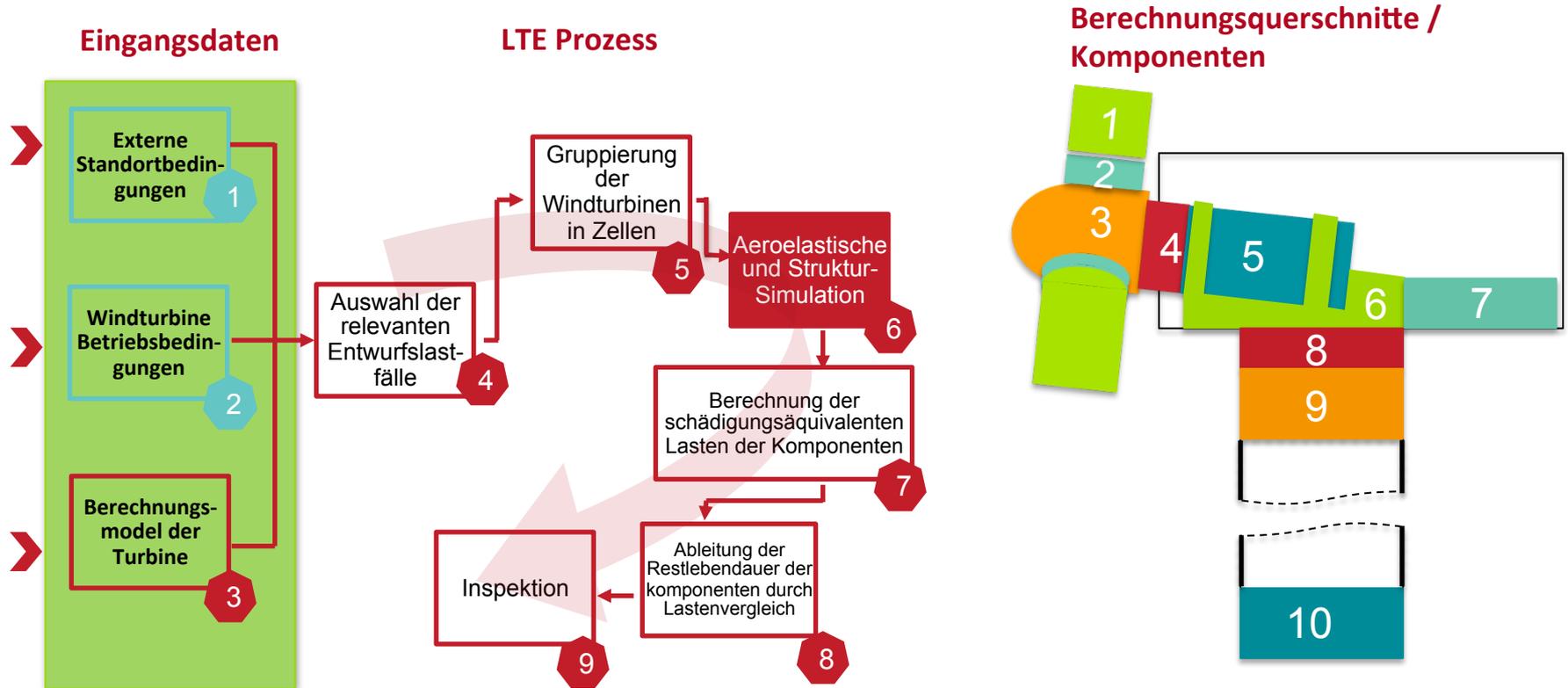
aeroelastische Simulation 6

Berechnung der schädigungsäquivalenten Lasten der Komponenten 7

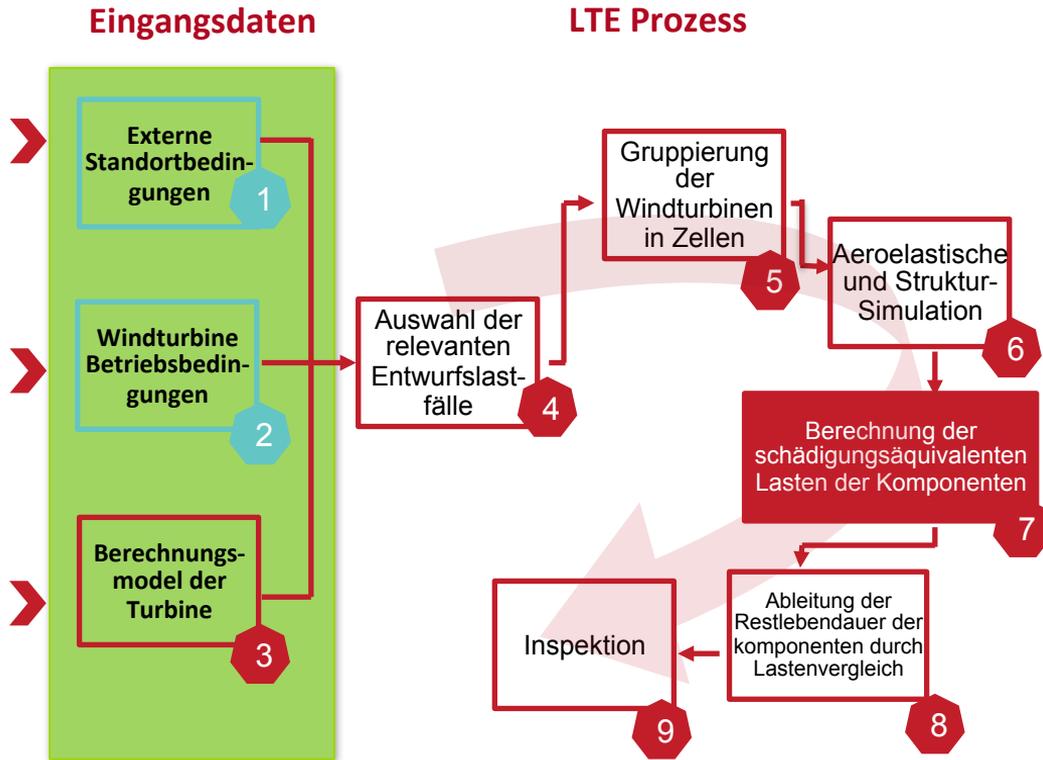
Inspektion 9

Ableitung der Restlebensdauer der Komponenten durch Lastenvergleich 8

UL 4143 Prozess – Aero elastic simulation

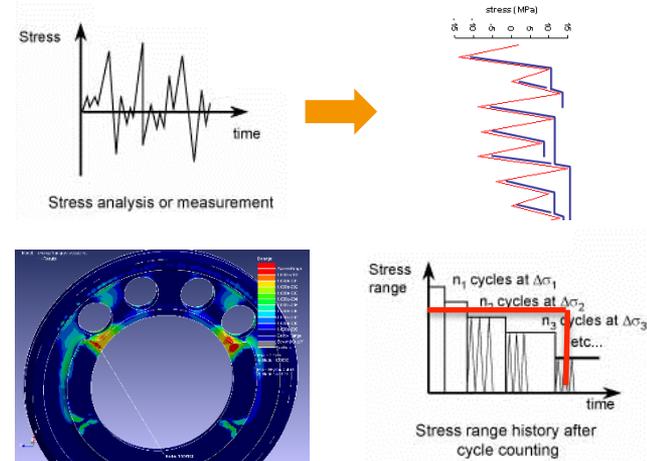


UL 4143 Prozess - DEL



Berechnete Lasten / Beanspruchungen

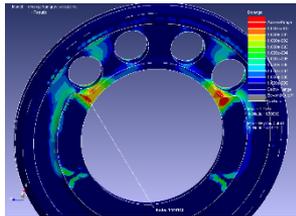
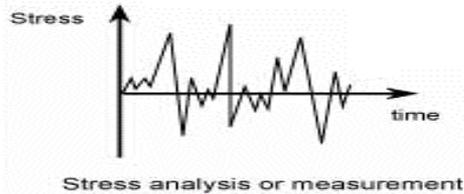
schädigungs-
äquivalente Last
(DEL)



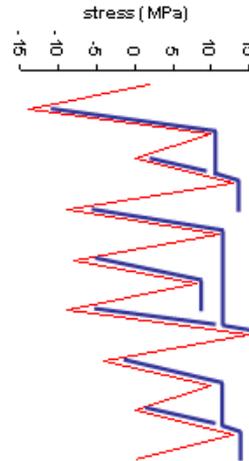
schädigungsäquivalente Last = DEL =
die Beanspruchungsamplitude, die mit einer
festgelegten Anzahl von Lastzyklen (z.B. 1Hz) die
gleiche Schädigung erzeugt wie das
Betriebslastkollektiv

UL 4143 Prozess - DEL

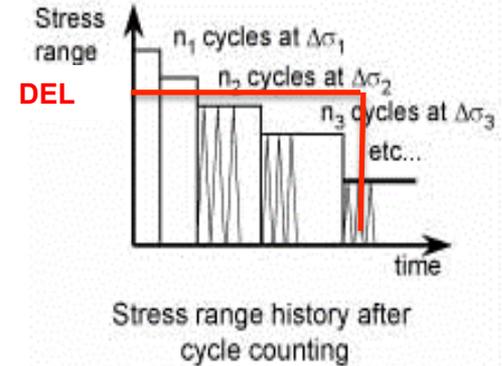
Berechnete Lasten /
Beanspruchungen



Lastzyklenextraktion
durch Rainflow-
Zählung

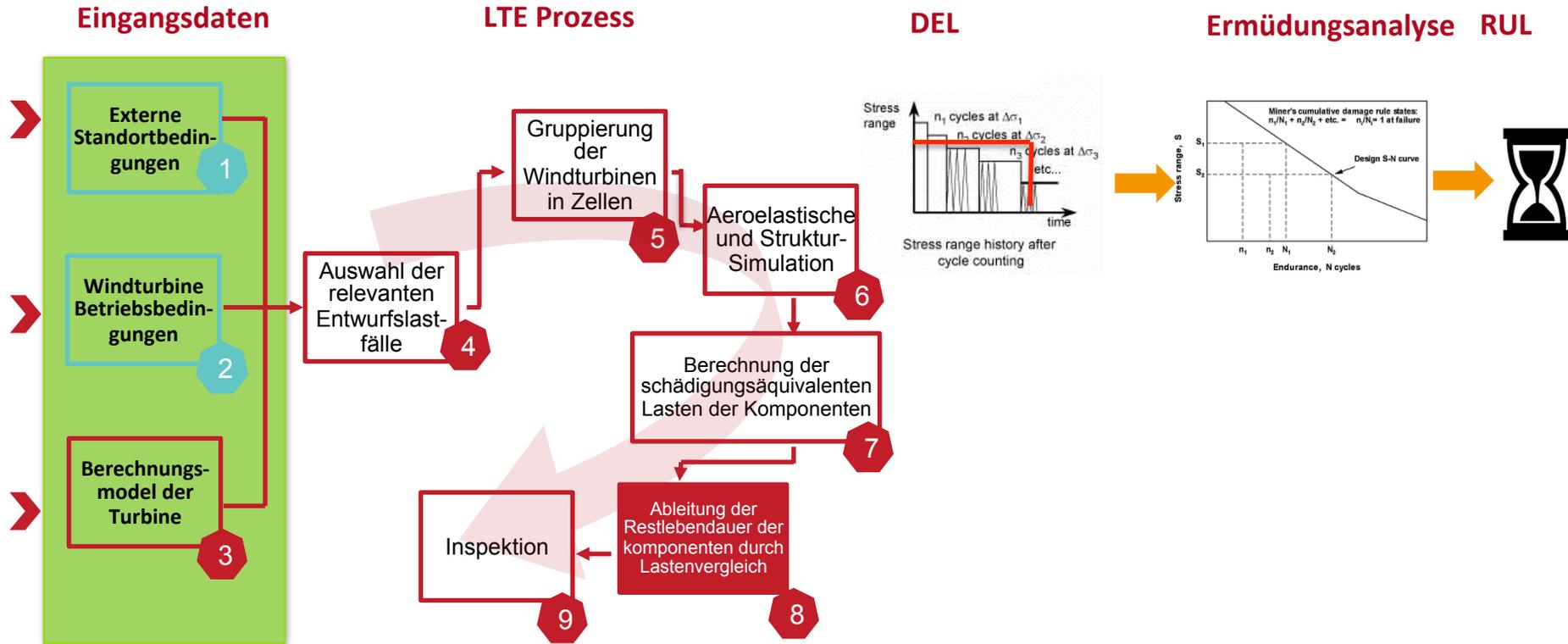


schädigungs-
äquivalente Last
(DEL)



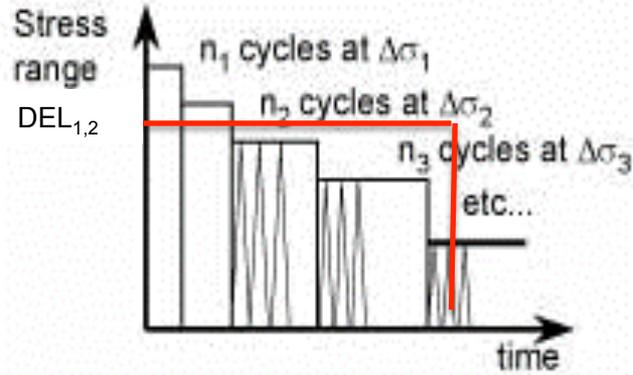
schädigungsäquivalente Last = DEL =
die Beanspruchungsamplitude, die mit einer
festgelegten Anzahl von Lastzyklen (z.B. 1Hz) die
gleiche Schädigung erzeugt wie das Betriebs-
lastkollektiv

UL 4143 Prozess – Restlebensdauer (RUL)



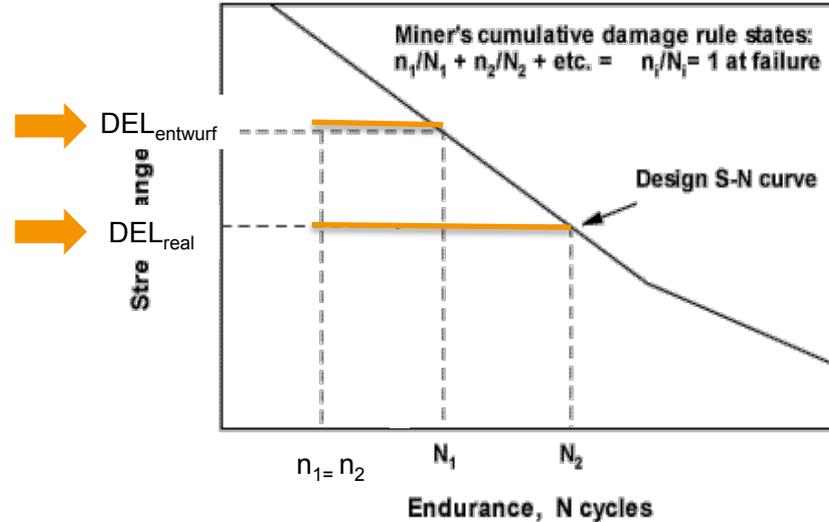
UL 4143 Prozess – Restlebensdauer (RUL)

DEL



Stress range history after cycle counting

Ermüdungsanalyse

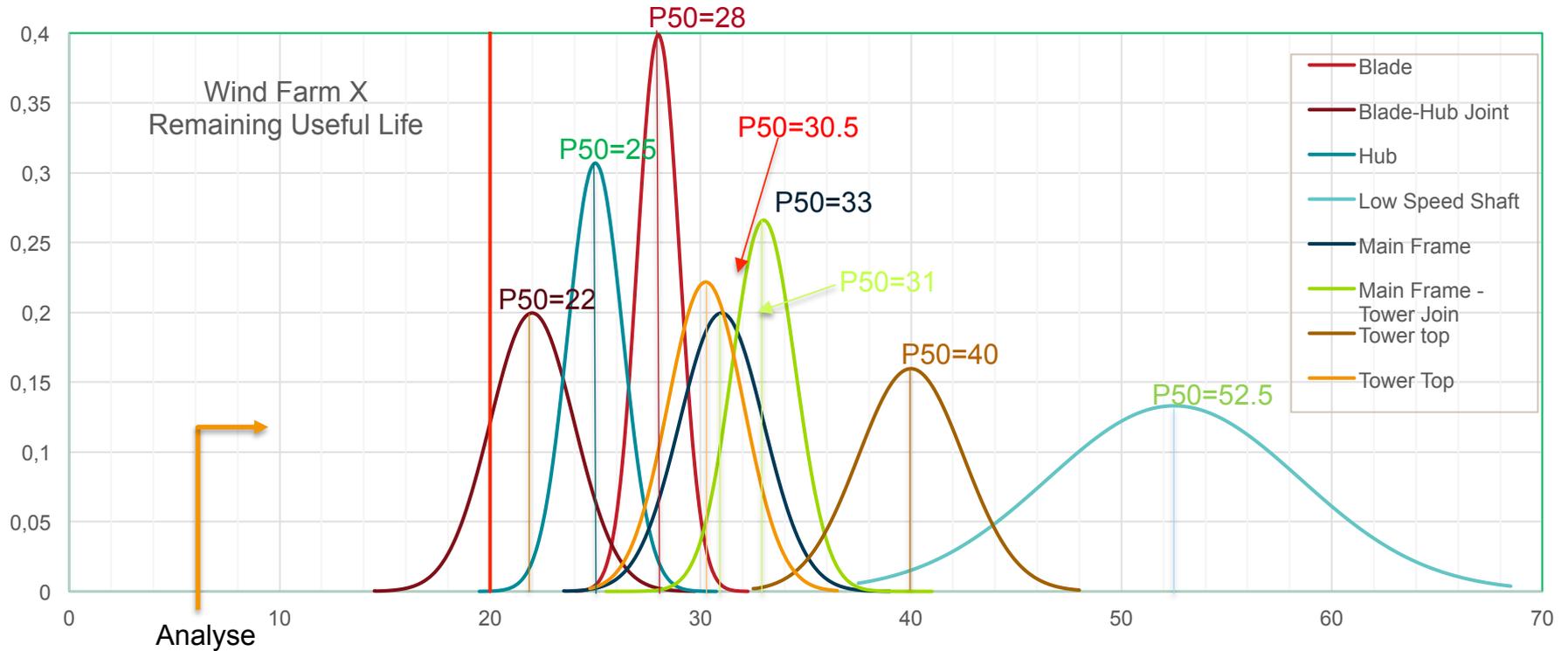


RUL



DEL = schädigungsäquivalente Last = die Beanspruchungsamplitude, die mit einer festgelegten Anzahl von Lastzyklen (z.B. 1Hz) die gleiche Schädigung erzeugt wie das Betriebslastkollektiv

Restlebensdauerermittlung – Unsicherheiten

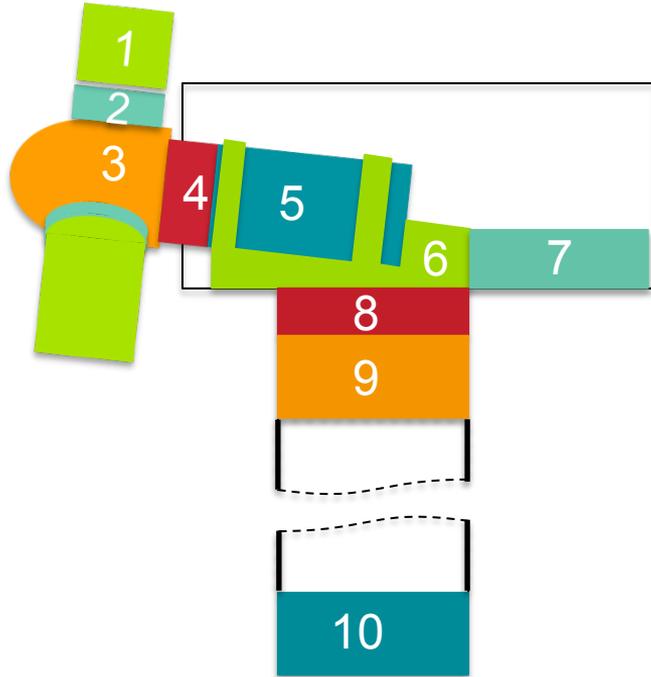


Haupteinflüsse auf die Unsicherheitsberechnung:

Windgeschwindigkeit, Turbulenz, Windgradient, Luftdichte, aerodynamisches und Strukturmodell der Turbine etc.

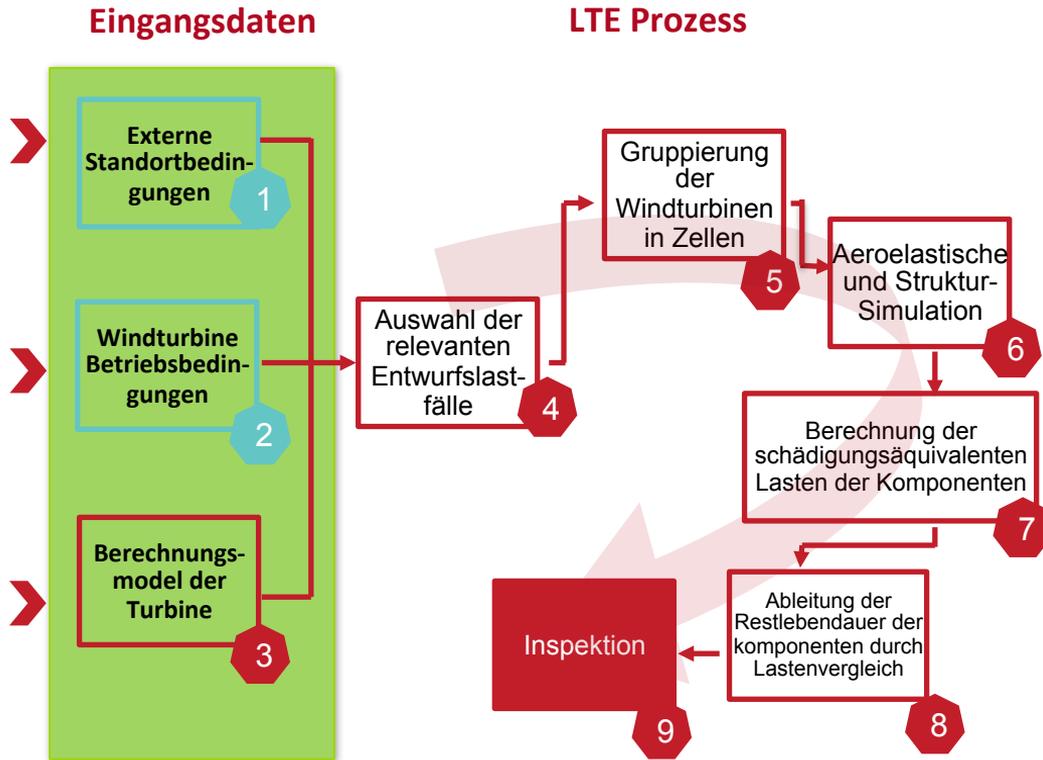


Restlebensdauerermittlung - Beispiel



#	Component	P50	P10	O&M proposal
1	Blattwurzel Komposite.	>30	19.5	VI/Jahr + Thermography if required
2	Blattwurzel Metallisch	23.9	18	VI /Jahr + NDT/ 2 Jahre
3	Nabe (Guß)	28.2	18	NDT / 4Jahre
4	Naben/Wellen –Verbdg.	>30	>30	gem. OEM Wartungsplan
5	Hauptwelle	>30	>30	gem. OEM Wartungsplan
6	Hauptrahmen (Guß)	>30	>30	gem. OEM Wartungsplan
7	Rahmen (geschweißt)	>30	>30	gem. OEM Wartungsplan
8	Hauptrahmen/Turm Verbdg.	>30	>30	gem. OEM Wartungsplan
9	Turmkopf	>30	>30	gem. OEM Wartungsplan
10	Turmfuß	>30	>30	Instandsetzung gem OEM + VI/ Jahr
				VI = visuelle Inspektion NDT = non destructive testing

UL 4143 Prozess



Windturbineninspektionen

LTE Windturbineinspektionen werden zielgerichtet an Komponenten mit hohem Lebensdauer verbrauchs durchgeführt:

- Visuelle Inspektion des Turms und der Verbindung zum Fundament
- Visuelle Inspektion der mechanischen Hauptkomponenten (Maschinenrahmen, Triebstrang, Nabe, Getriebe, Lager)
- Visuelle Inspektion der Rotorblätter und des Blattwinkelverstellungssystems
- Genereller Status der Windturbine (Verkabelung, Schutzvorrichtungen, Korrosion, Verschleiß, Dichtigkeit, etc.)

Weitere Inspektionen: Schweißungen (Ultraschalluntersuchung),
 Schraubverbindungen: Blatt-Nabe, Nabe-Welle, Turmflansche,
 Fundament (falls inkludiert in LTE): relative Verlagerung, Beprobung
 Getriebe: Videoendoskopie, Oil Analyse.



Inspektionen sind notwendig, um die theoretischen Ergebnisse zu bestätigen.

UL Prozess sieht Abschläge von der ermittelten Restlebensdauer in Abhängigkeit des Prozentsatzes der inspizierten Turbinen eines Windparks vor.



UL turbine inspections are accredited according to ISO / IEC 17020: 2012 (Inspection Agency AA-759)



ULs Erfahrung in der Ermittlung der Restlebensdauer (Remaining Useful Life = RUL)

UL hat 77 Projekte zur Restlebensdauerermittlungen durchgeführt mit mehr als 3.8 GW installierter Leistung:

Land	untersuchte Windparks	installierte MWs
Spanien	34	712
UK	16	273
Italien	10	335
USA	11	1632
Mexico	2	529
Brazilien	4	334

Schlussfolgerungen

- Analytische und unabhängige Restlebensdauerermittlung ist unabdingbar. Die Ermittlung und Bewertung der Unsicherheiten sind der Schlüssel zu einer realistischen Einschätzung des Risikos, dass mit dem Plan zum verlängerten Betrieb eines Windparks verbunden ist.
- Das analytische Modell wird durch Analyse der externen Eingangsparameter hinsichtlich der Unsicherheit ihrer Ermittlung sowie hinsichtlich der Empfindlichkeit der RUL-Analyse gegenüber diesen Parametern gestützt. Einige Parameter haben großen Einfluß weshalb deren Unsicherheiten durch spezifische Messungen/Massnahmen verringert werden sollten.
 - Adäquates Datenprozessing
 - Wind Modelling
 - Validierung des aerolastischen und Struktur-Modells
 - Inspektionsplan
- UL bietet diese und andere Dienstleistungen basierend auf 30 Jahre Erfahrung aus zwei der größten Häusern (DEWI und AWS Truepower) an..

A photograph of a wind farm at sunset. The sky is a mix of orange, red, and blue. A dirt road leads through a grassy field towards a line of wind turbines in the distance. The turbines are silhouetted against the bright sky.

THANK YOU!

—



WIND



SOLAR



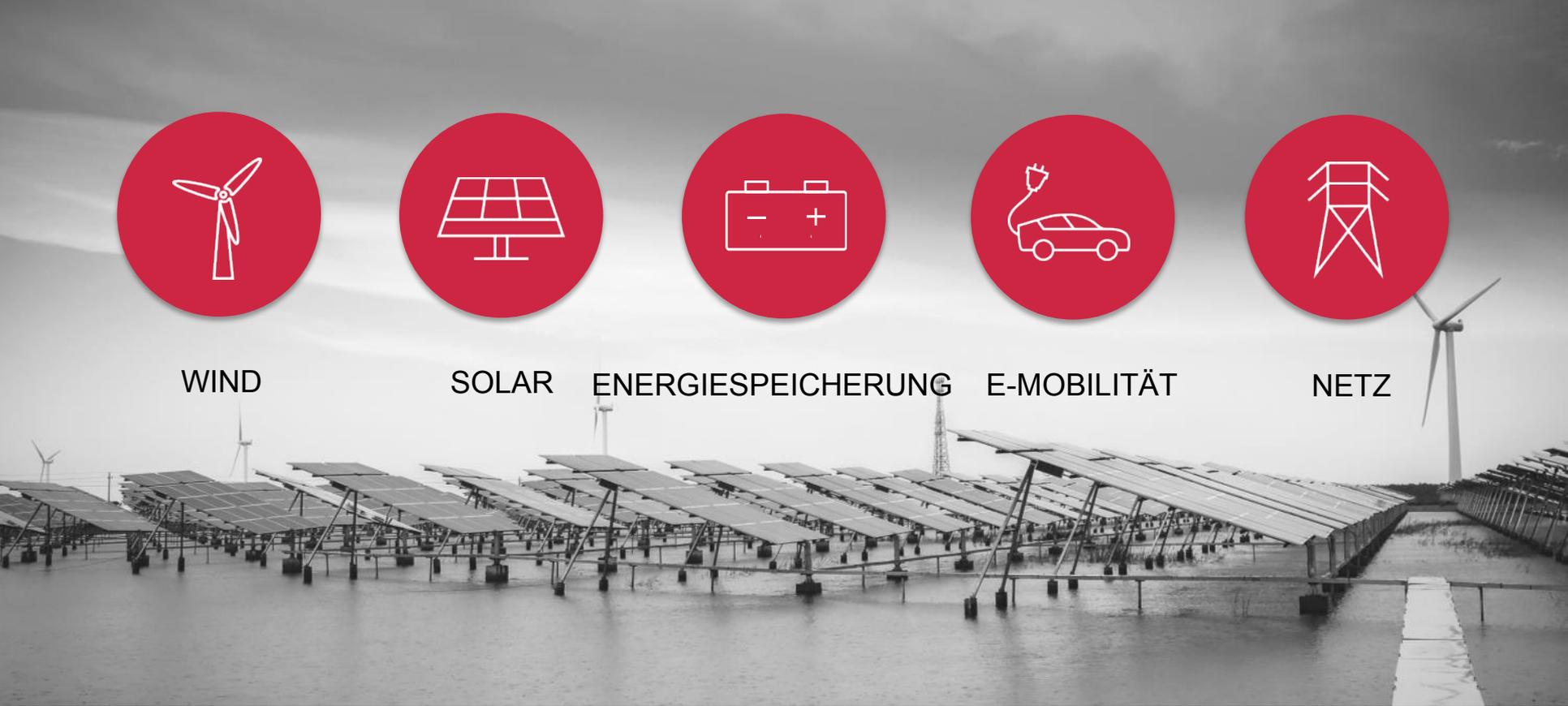
ENERGIESPEICHERUNG



E-MOBILITÄT



NETZ



UL hilft Vertrauen in die Erneuerbare Energien
aufzubauen





OEMS

WIR ARBEITEN MIT 95% DER
GLOBALEN OEMS



ENTWICKLER / BESITZER

200,000+ MW AUSGEWERTET/ BEARBEITET
+2000 KUNDEN WELTWEIT



BANKS / INVESTOREN

MEHR ALS 400 TECHNISCHE
SORGFALTSPRÜFUNGEN FÜR BANKEN /
INVESTOREN IM WIND UND SOLAR BEREICH SEIT
2012



VERSORGER

ENERGIEVORHERSAGE
AUSSAGESICHERHEIT 97%



REGIERUNGEN

MEHR ALS 44.000 GW
NETZEINBINDUNGSSTUDIEN



2012

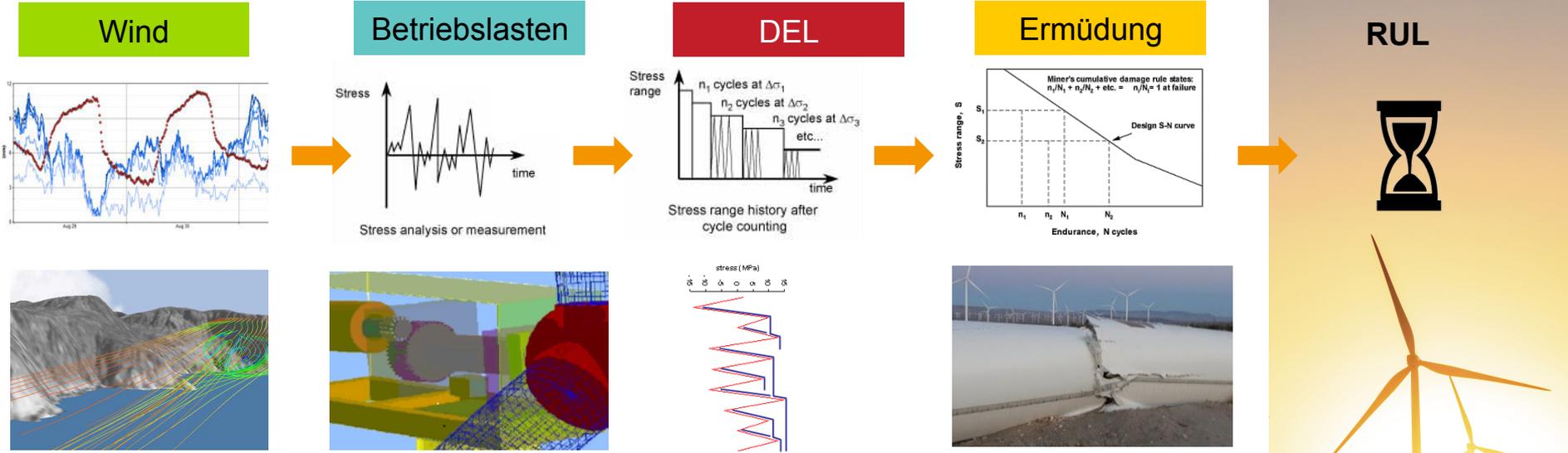
2016



UL RENEWABLES

Globaler Lieferant für Dienstleistungen in den Erneuerbaren Energien
Testing, Inspectionen, Zertifizierungen, Beratungsdienstleistungen

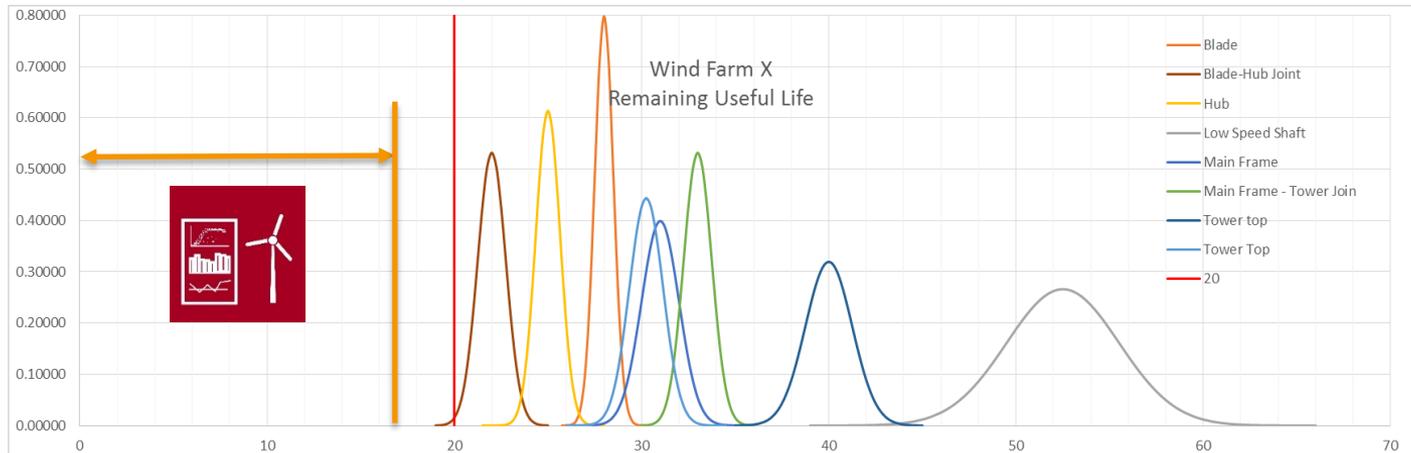
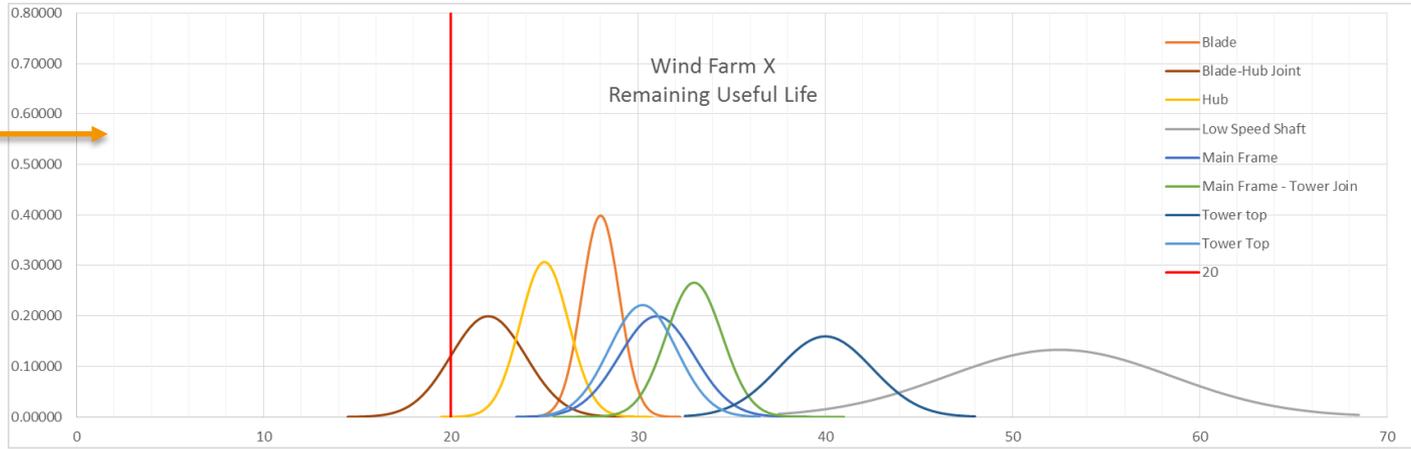
Restlebensdauerermittlung – Unsicherheiten



Ursachen der Unsicherheiten:

- **Windbedingungen** (Windverteilung, Turbulenz, Windscherung, Schräganströmung etc.).
- **O&M Bedingungen** (Verfügbarkeit, Notstopps, korrektive Massnahmen, etc.)
- **Windturbinenkonstruktion und Eigenschaften** (Geometrien, Werkstoffeigenschaften, Regelung, Maschinendynamik etc.)

Analysis RUL Pre-construction / Operation

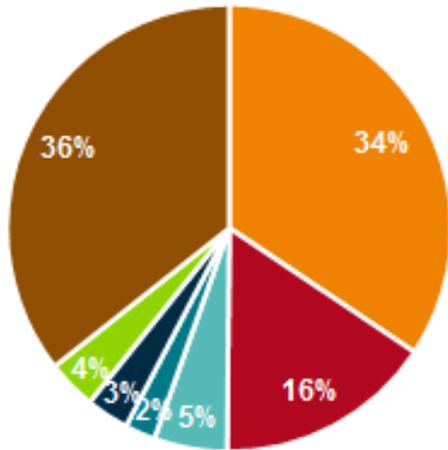


Main Uncertainties:
 Wind Speed
 Turbulence
 Wind Shear
 Air Density
 Upflow
 Model

Restlebensdauerermittlung – Unsicherheiten

Uncertainties Share (%)

Blatt/Naben-
Verbindung



- Wind Speed
- Turbulence Intensity
- Shear
- Density
- Inflow
- Inspections
- Model

Unsicherheiten variieren von Projekt zu Projekt, von Komponente zu Komponente auch in Abhängigkeit von der Qualität der eingearbeiteten Daten, vom Turbinenverhalten sowie von der Empfindlichkeit bezogen auf die Eingangsparameter.

UL Renewables hat bisher >10.000 Lastsimulationen mit verschiedenen Windturbinenmodellen durchgeführt, in denen die jeweiligen Eingangsparameter variiert wurden, um die Empfindlichkeit der Ergebnisse in Bezug auf diese Parameter zu ermitteln.

Die ermittelten Empfindlichkeiten sind eher hoch, weshalb einer ebenfalls hoher Aufwand für diese Unsicherheitsermittlung notwendig ist.

Scenario projections - example

	Bucket 1					Bucket 2									Bucket 3											Bucket 4												
	P50	P10	P50	P10		P50	P10	P50	P10	P50	P10	P50	P10		P50	P10	P50	P10	P50	P10	P50	P10	P50	P10		P50	P10	P50	P10	P50	P10							
Blade root, Composite	20	14	27.3	19.2	Blade root, Composite	>30	29.6	>30	>30	21.3	14.9	24.9	17.5	Blade root, Composite	20.1	14	23.3	16.4	22.1	15.4	>30	22.3	>30	22.6	>30	18.7	21.2	14.9	Blade root, Composite	28.8	20.6	22.8	16.1	22.8	16.4	20	14.3	
Blade root, Joint	20.6	15.9	24.5	18.9	Blade root, Joint	29.9	23.1	>30	>30	21.6	16.6	22.1	17	Blade root, Joint	22	16.9	22.6	17.4	23.3	17.8	25.9	20.2	26.4	20.6	26.3	19.3	21.4	16.5	Blade root, Joint	24	18.6	21.5	16.7	21.1	16.4	19.4	15.1	
Hub	20.7	15.2	29.3	21.4	Hub	>30	>30	>30	>30	24.6	17.8	25.2	18.3	Hub	22.9	16.6	26.1	19	25.5	18.4	>30	23.3	>30	24	>30	21	21.8	15.9	Hub	29.4	21.4	22.1	16.2	20.7	15.3	19.4	14.3	
Hub-Shaft joint	>30	24.7	>30	>30	Hub-Shaft joint	>30	>30	>30	>30	>30	>30	>30	>30	Hub-Shaft joint	>30	27.7	>30	>30	>30	>30	>30	>30	>30	>30	>30	>30	>30	17.5	Hub-Shaft joint	>30	>30	>30	23.8	>30	27.3	22.7	17.9	
Low speed shaft	>30	>30	>30	>30	Low speed shaft	>30	>30	>30	>30	>30	>30	>30	>30	Low speed shaft	>30	>30	>30	>30	>30	>30	>30	>30	>30	>30	>30	>30	>30	20.7	Low speed shaft	>30	>30	>30	>30	>30	>30	>30	24.4	
Main Frame, Casting	>30	27.1	>30	>30	Main Frame, Casting	>30	>30	>30	>30	>30	>30	>30	>30	Main Frame, Casting	>30	23.1	>30	>30	>30	>30	>30	>30	>30	>30	>30	>30	>30	19.9	Main Frame, Casting	>30	>30	>30	28.2	>30	>30	26.8	19.7	
Main Frame, Welded	>30	24.8	>30	>30	Main Frame, Welded	>30	>30	>30	>30	>30	>30	>30	>30	Main Frame, Welded	>30	27.3	>30	>30	>30	>30	>30	>30	>30	>30	>30	>30	>30	17.5	Main Frame, Welded	>30	>30	>30	24.1	>30	26.7	22.1	17.5	
Main frame, Tower joint	>30	24.8	>30	>30	Main frame, Tower joint	>30	>30	>30	>30	>30	>30	>30	>30	Main frame, Tower joint	>30	27.3	>30	>30	>30	>30	>30	>30	>30	>30	>30	>30	>30	17.5	Main frame, Tower joint	>30	>30	>30	24.1	>30	26.7	22.1	17.5	
Tower top	>30	24.8	>30	>30	Tower top	>30	>30	>30	>30	>30	>30	>30	>30	Tower top	>30	27.3	>30	>30	>30	>30	>30	>30	>30	>30	>30	>30	>30	17.5	Tower top	>30	>30	>30	24.1	>30	26.7	22.1	17.5	
Tower bottom	>30	24.9	>30	>30	Tower bottom	>30	>30	>30	>30	>30	>30	29.5		Tower bottom	20.8	15	>30	>30	>30	>30	>30	>30	>30	>30	>30	>30	>30	20.1	11.4	Tower bottom	>30	>30	>30	22.9	>30	25.2	23.7	18.4
Year 1-5 Cost [k€/year]	0	0	0	0	Year 1-5 Cost [k€/year]	0	0	0	0	0	0	0	0	Year 1-5 Cost [k€/year]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.5	0	0	Year 1-5 Cost [k€/year]	0	0	0	0	0	0	0	0
Year 6-10 Cost [k€/year]	0	0	0	0	Year 6-10 Cost [k€/year]	0	0	0	0	0	0	0	0	Year 6-10 Cost [k€/year]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2.8	0	0	Year 6-10 Cost [k€/year]	0	0	0	0	0	0	0	0
Year 11-15 Cost [k€/year]	0	0.7	0	0	Year 11-15 Cost [k€/year]	0	0	0	0	0	0	0	0	Year 11-15 Cost [k€/year]	0	2.6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2.6	Year 11-15 Cost [k€/year]	0	0	0	0	0	0	0	2.9	
Year 16-20 Cost [k€/year]	16.8	17.6	0	2.3	Year 16-20 Cost [k€/year]	0	0	0	0	0	10.2	0	6.4	Year 16-20 Cost [k€/year]	0	36.5	0	14.8	0	16.3	0	0	0	0	0	0.5	0	17.3	Year 16-20 Cost [k€/year]	0	1.4	0	29.2	0	23.4	6.4	89.1	
Year 21-25 Cost [k€/year]	16.8	20.2	0	13.8	Year 21-25 Cost [k€/year]	0	3.6	0	0	8.3	16.3	4.3	11.5	Year 21-25 Cost [k€/year]	32.1	52.4	8.5	26.9	11.4	32.6	0	25.6	0	15.8	0	2.8	8.4	29	Year 21-25 Cost [k€/year]	1.4	10.7	29.9	69.6	20.4	27.8	85.3	156.3	
Year 26-30 Cost [k€/year]	20.2	77	11	14.4	Year 26-30 Cost [k€/year]	0	9	0	0	16.3	16.3	11.5	11.5	Year 26-30 Cost [k€/year]	47.1	96	25.8	26.9	32.6	32.6	15.8	31.7	13	26	1.4	2.9	10	29.6	Year 26-30 Cost [k€/year]	8.1	11.5	43.2	161.4	27.8	76.2	146.7	169.1	

