



STRUCTURAL INTELLIGENCE –
WAS WÄRE, WENN SIE SICH DEN GANZEN
AUFWAND SPAREN KÖNNTEN?



Monitoring beschreibt häufig

- Installation von Sensorik
- Speichern von Messdaten
- Visualisierung von Messdaten und Zeitverläufen

Eingeschränkter Nutzen!



Structural Intelligence geht wesentlich weiter als das Speichern von Schwingungsdaten...

WAS IST "STRUCTURAL INTELLIGENCE"?

Eine detaillierte Kenntnis des Zustands einer Struktur, gewonnen aus der langzeitigen Beobachtung von:
Strukturmechanischen Kenngrößen (**Structural Analytics**) und zugehörigen Betriebs- und Umgebungsbedingungen (**EOC Analytics**), die als zuverlässige Grundlage für verschiedene Diagnosen bzw. Prognosen genutzt werden können.



Structural Analytics

EOC Analytics



Structural Analytics

Die Ermittlung des Zustands einer Tragstruktur auf Basis von strukturmechanischen Kenngrößen.

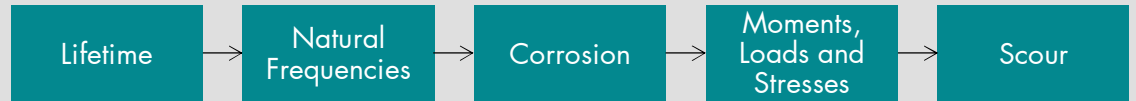
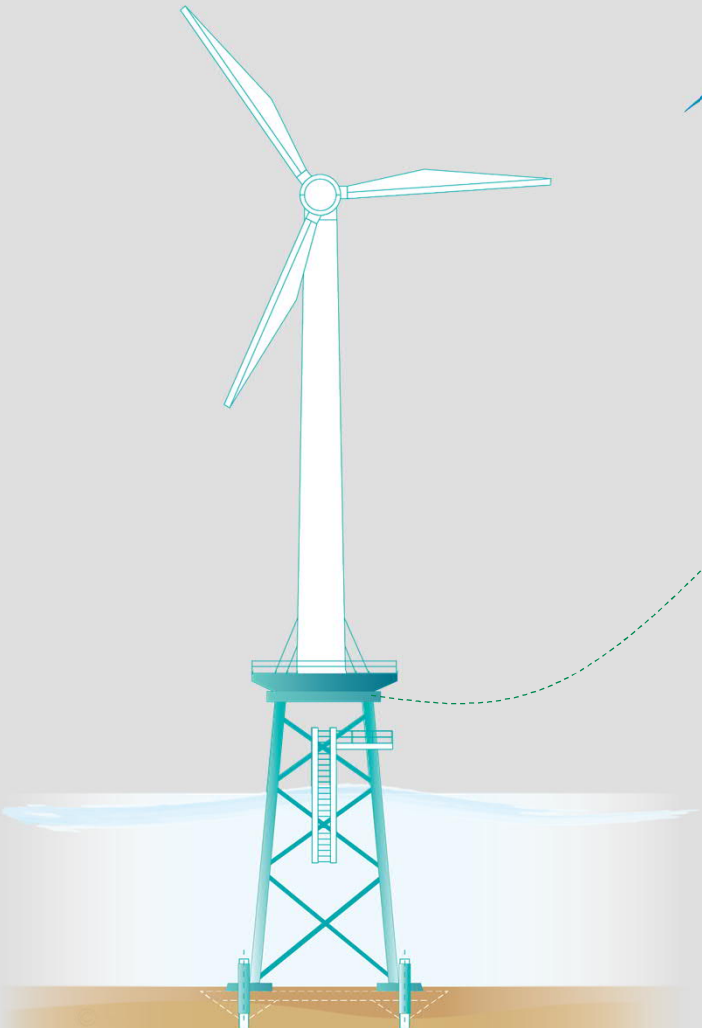
- **Übliche Messgrößen:**
Beschleunigung, Dehnung, Neigung
- **Methoden:**
Statistik, Strukturdynamik, FEM
- **Übliche Kenngrößen:**
Vibration RMS, Modale Größen,
Ermüdungslasten, Max. Lasten, Restlebensdauer



WOHER BEKOMMEN WIR DIE MESSGRÖßEN?

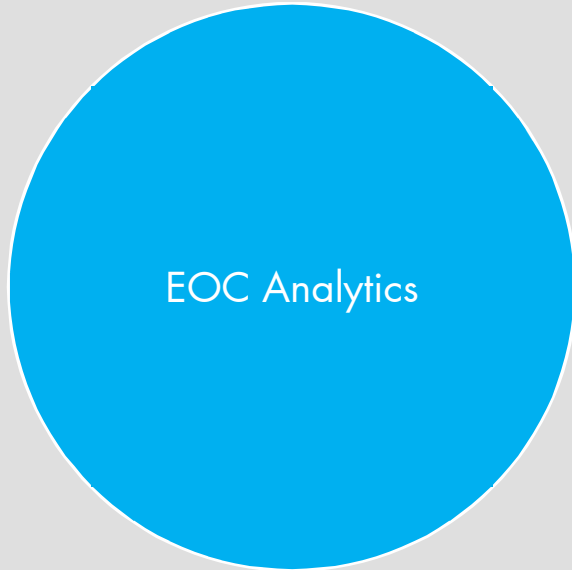


- Seit 47 Jahren Experten für Strukturdynamik in verschiedensten Industrien
- Spezialisiert auf die Überwachung der Strukturbauteile einer WEA
- Referenzen in der gesamten Branche Windenergie
- Serienlieferant für verschiedene OEMs
- Installierte Systeme weltweit: 1.800





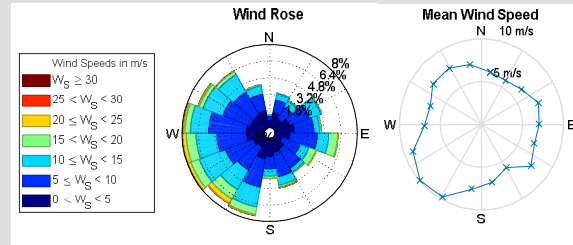




Die Ermittlung von sinnvollen Clustern aus Betriebsbedingungen für die richtige Interpretation von strukturmechanischen Kenngrößen.

- **Methode:**
Statistik

- **Übliche Klassierungsgrößen:**
RPM, Leistung, Betriebsmodus, Windgeschwindigkeit, Windrichtung, Wellen





LIFETIME MANAGEMENT - TOWER



Structural Analytics

VDI 3834

f, δ, ψ

...

Fatigue

Max. loads

EOC Analytics

Power

Pitch

RPM

Waves

Temp

Yaw

Wind

...

VDI 3834

f, δ, ψ

Fatigue

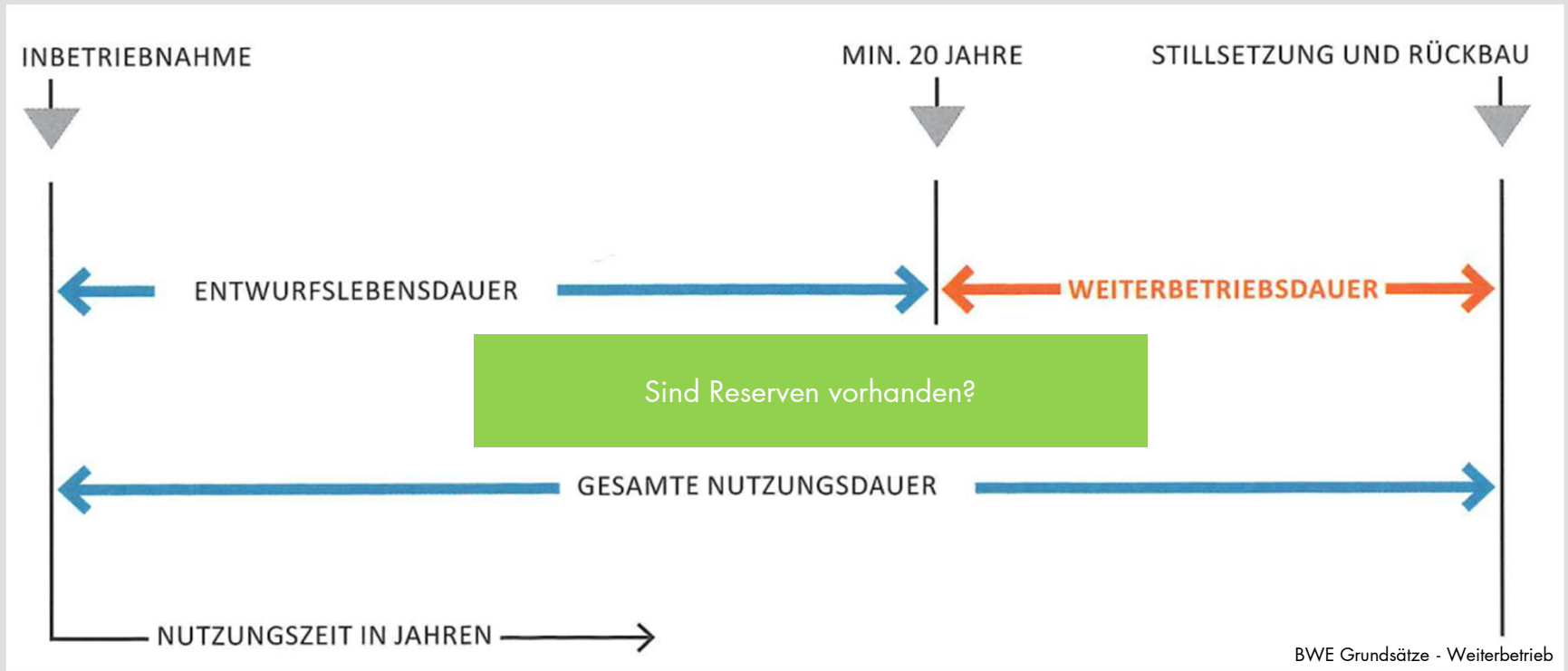
Max. loads

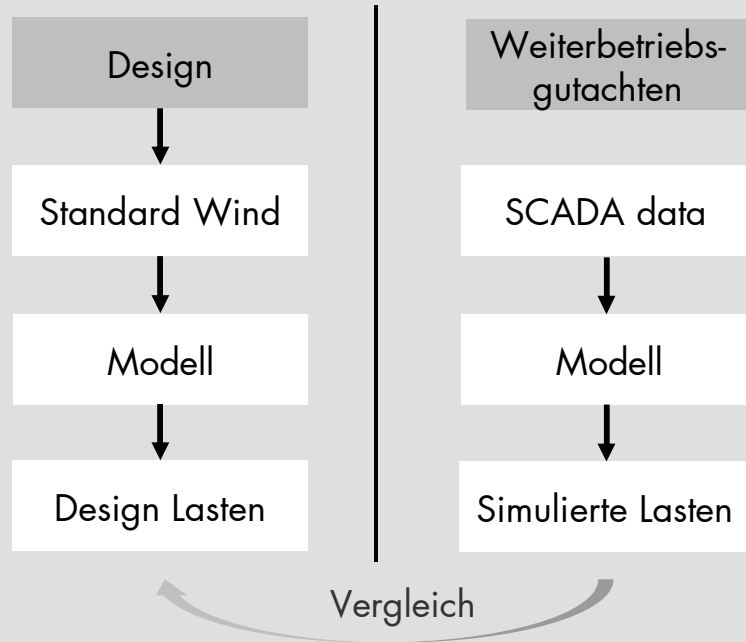
Wind

Yaw



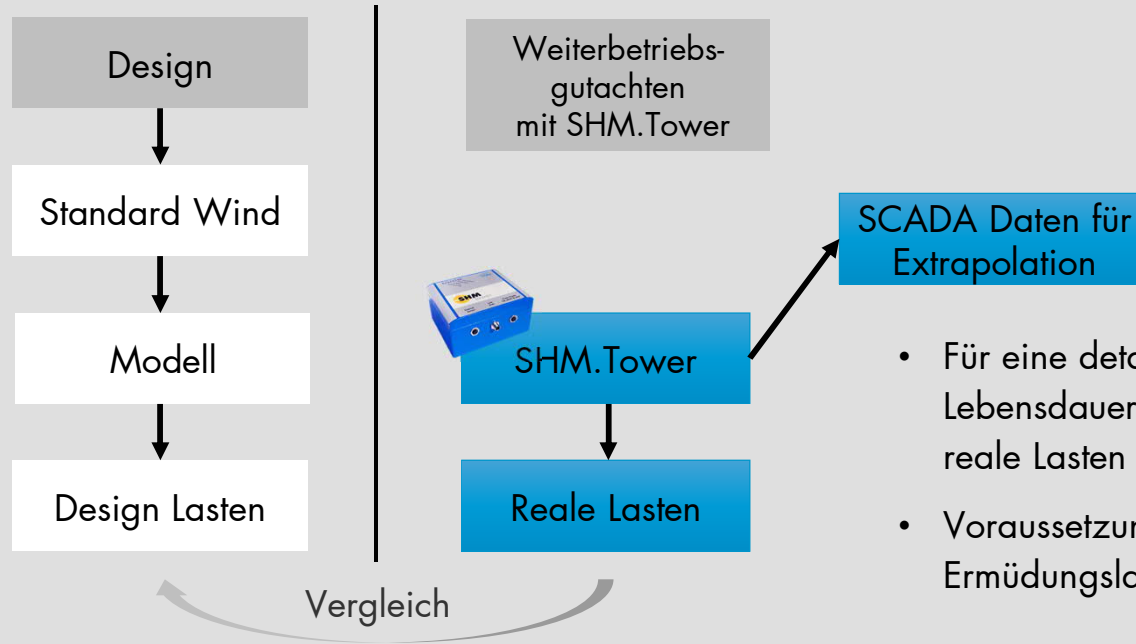
WIE WIRD DIE LEBENSDAUER BEURTEILT?





Wo sind die versteckten Reserven?

- Reale Lasten variieren häufig von einer WEA zur anderen WEA auch innerhalb eines Windparks
- Reale Lasten werden in der Regel nicht berücksichtigt

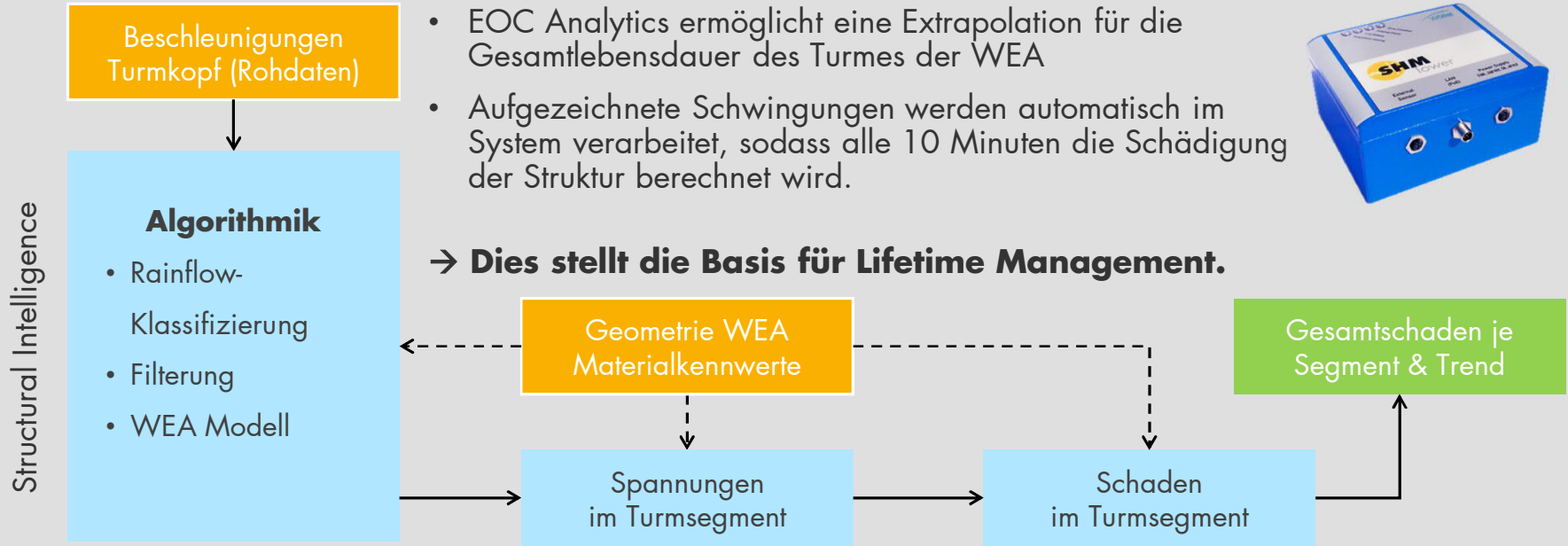


- Für eine detaillierte Beurteilung des Lebensdauerverbrauchs von Strukturen sollten reale Lasten berücksichtigt werden.
- Voraussetzung ist die Ermittlung der individuellen Ermüdungslasten jeder WEA.

- SHM.Tower hat Methodik Structural Analytics “live” integriert
- EOC Analytics ermöglicht eine Extrapolation für die Gesamtlebensdauer des Turmes der WEA
- Aufgezeichnete Schwingungen werden automatisch im System verarbeitet, sodass alle 10 Minuten die Schädigung der Struktur berechnet wird.



→ Dies stellt die Basis für Lifetime Management.



Beschleunigungen Turmkopf (Rohdaten)

Algorithmik

- Rainflow-Klassifizierung
- Filterung
- WEA Modell

- SHM integrieren
- EOC (Ermittlung des Gesamtschadens)
- Aufwands-System der

→ Die

←

→



ics "live"

n für die

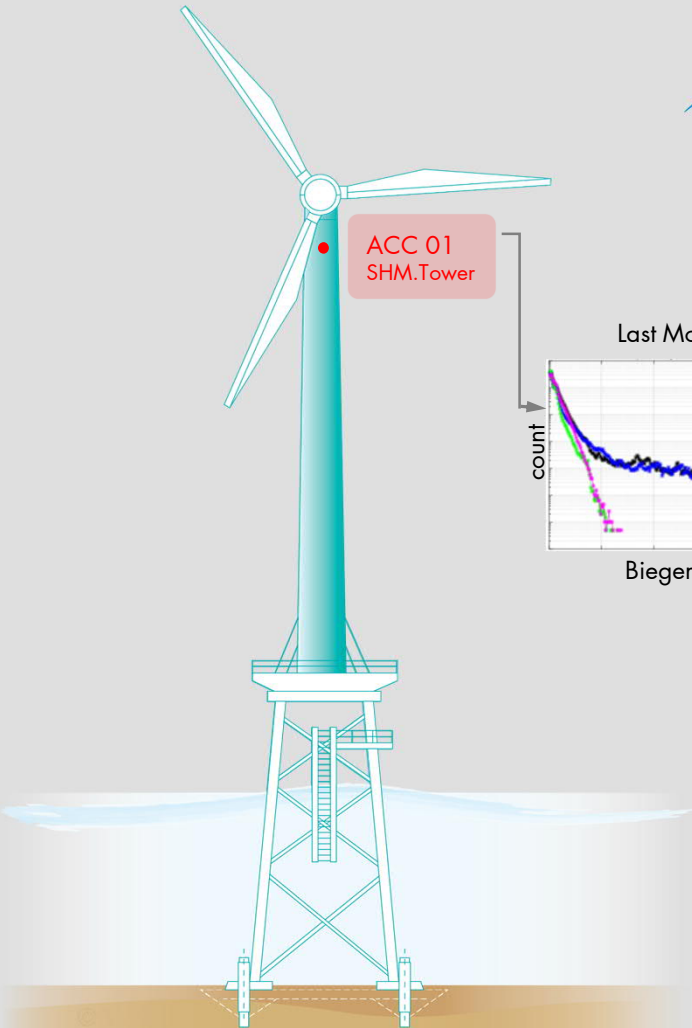
omatisch im
lie Schädigung



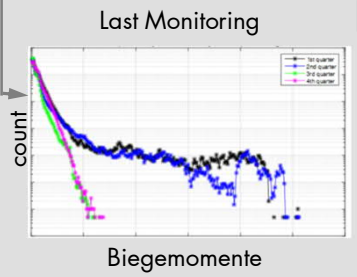
agement.

Gesamtschaden je Segment & Trend

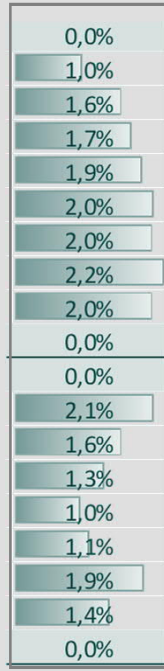
Schaden
n Turmsegment



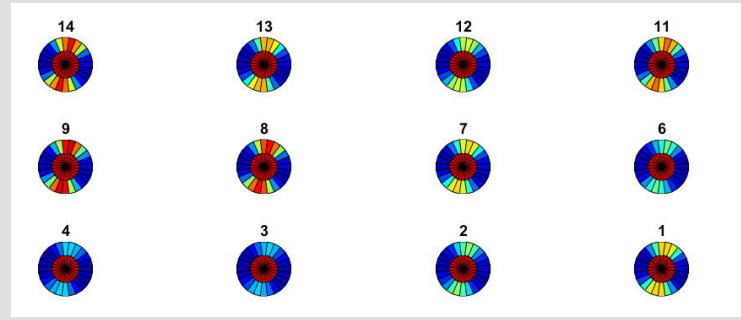
ACC 01
SHM.Tower



Digital
Twin



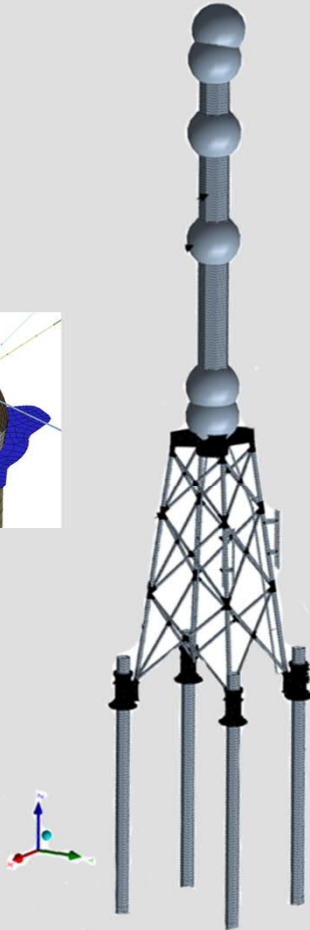
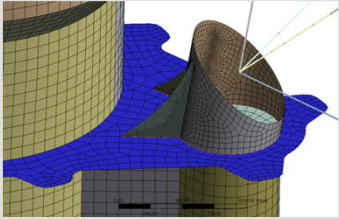
Berechnung des
Gesamtschadens des Turmes
sowie der einzelnen Turmsektionen



Ein **digitaler Zwilling (digital twin)** ist die virtuelle Darstellung der realen WEA und dient zur Vorhersage des mechanischen Systemverhaltens. Es umfasst ein mechanisches FE-Modell der WEA.

Mit **virtuellen Sensoren** kann das Verhalten der Windkraftanlage an Orten ohne physikalische Sensoren und für zusätzliche Messgrößen (z. B. Dehnung in Biegemomente) vorhergesagt werden.

Bei der **Modellpflege** werden immer der Ist-Zustand der WEA und strukturelle Veränderungen berücksichtigt.



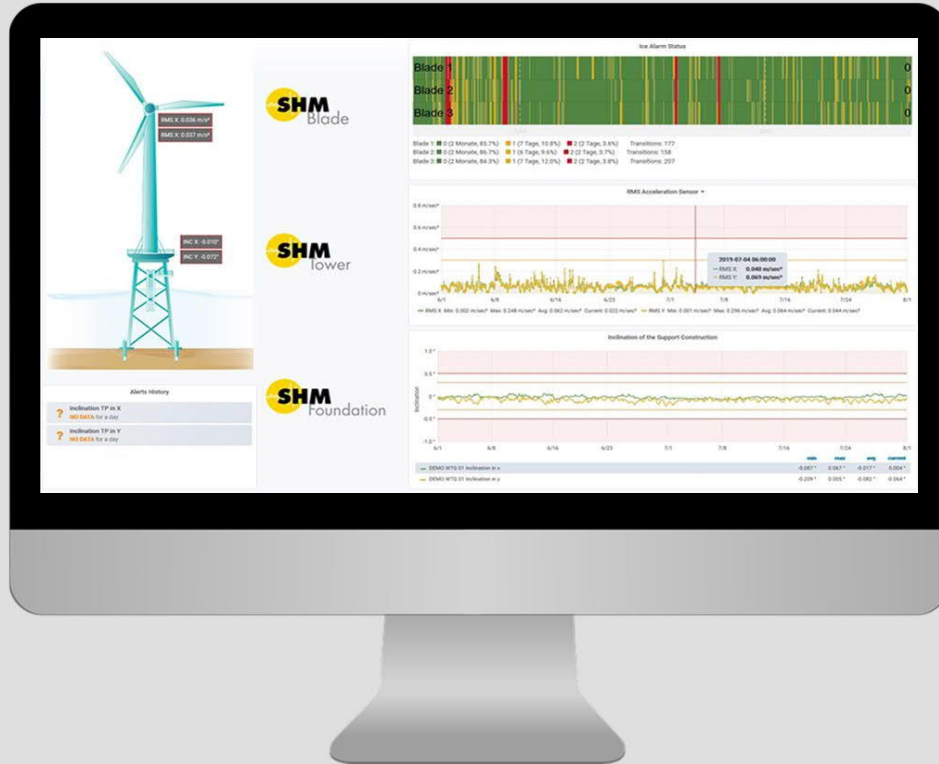
Lebensdauerverbrauch pro individueller WEA

- Beurteilung der realen Schwingungsdaten
- korreliert mit EOC Daten

→ Berücksichtigung von Normalbetrieb und Extremereignissen, Vorhersage möglich!



DELX	DELY	Max Acc	Max Displ	Mean Acc	Mean Dis	Alarm-Time	Warning-Time	Daily DELR Max. (Ref. 1d)	Calculated Lifetime Consumption
[kNm]	[kNm]	[m/s ²]	[m]	[m/s ²]	[m]	[%]	[%]	[kNm]	Vectorsum (x,y) (conservative)
2.204	2.058	0,29	0,10	0,10	0,03	0,0	0,0	5.000	0,7%
2.075	2.403	0,89	0,31	0,11	0,04	0,3	1,4	7.800	0,9%
6.760	3.088	2,12	0,80	0,18	0,08	2,8	6,7	35.000	13,1%
3.163	3.051	0,84	0,29	0,15	0,05	0,3	1,4	9.500	3,3%
4.727	2.869	1,51	0,53	0,12	0,04	1,1	2,2	24.000	8,4%
2.267	1.983	0,37	0,15	0,09	0,03	0,0	0,0	6.000	0,3%
2.294	3.132	1,41	0,49	0,12	0,04	0,3	0,6	16.000	2,0%



- Wölfel Monitoring Intelligence (MIC) u.a. mit
- Sensor Daten (Beschleunigungen, Neigungen,...)
 - Ergebnis-Darstellung
 - Lebensdauer Monitoring
 - Warnungen und Alarme



Verlängerung der
Lebensdauer durch
frühzeitiges Erkennen
von Schäden



Fundierte
Entscheidungs-
grundlage zum
Weiterbetrieb nach
Ablauf der Design-
Lebensdauer



Reduktion der
Wiederkehrenden
Prüfungen



Reduktion von
Wartungs- und
Instandhaltungskosten



Verringerung von
Ausfällen und
Stillstandszeiten

Vielen Dank!



Verlängerung der Lebensdauer durch frühzeitiges Erkennen von Schäden



Fundierte Entscheidungsgrundlage zum Weiterbetrieb nach Ablauf der Design-Lebensdauer



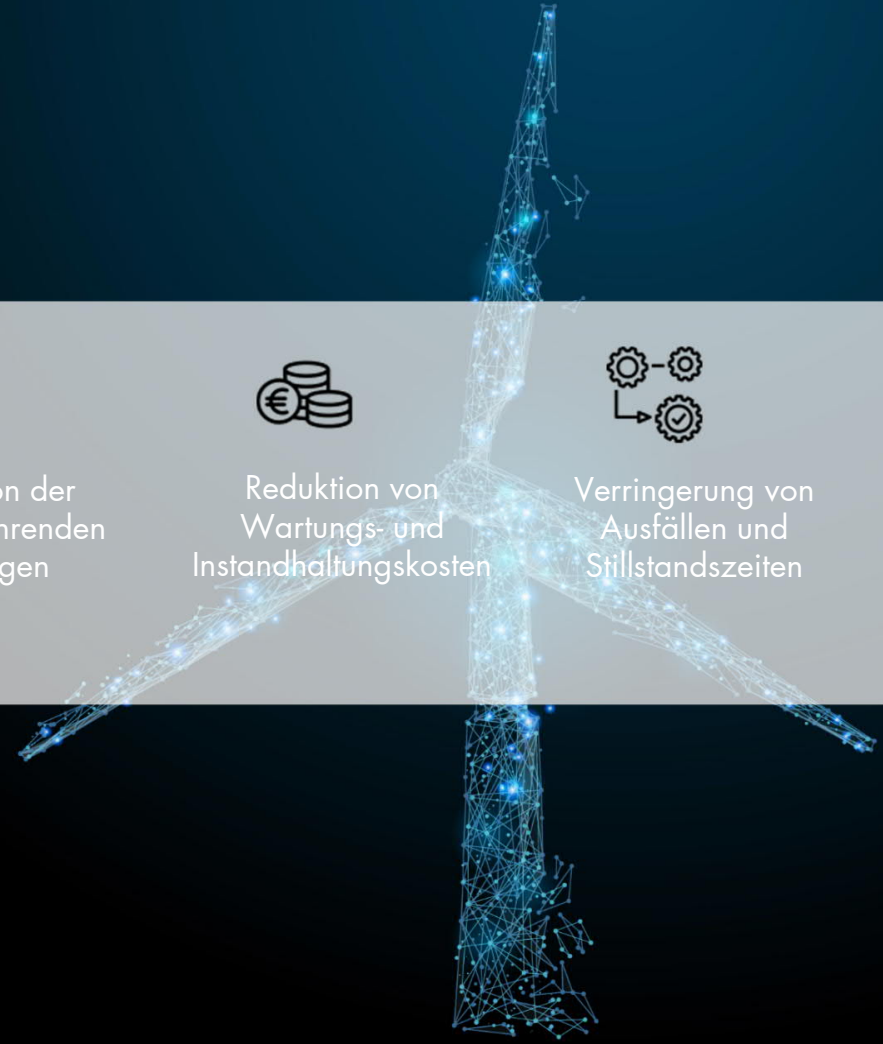
Reduktion der Wiederkehrenden Prüfungen



Reduktion von Wartungs- und Instandhaltungskosten



Verringerung von Ausfällen und Stillstandszeiten





Fränkische Weinkultur hier vor Ort.....

Kommen Sie auf einen Schoppen vorbei! (auf den Strohhallen 😊)



DO YOU WANT TO AVOID UNNECESSARY DOWNTIMES?



Timo Klaas

Tel.: +49 40 5247152-65

Mobile: +49 175 1809059

E-Mail: klaas@woelfel.de



Wölfel Group
Max-Planck-Str. 15
97204 Höchberg / Germany



E-Mail: info@woelfel.de



www.woelfel.de



Tel.: +49 931 49708-600

Fax: +49 931 49708-650