

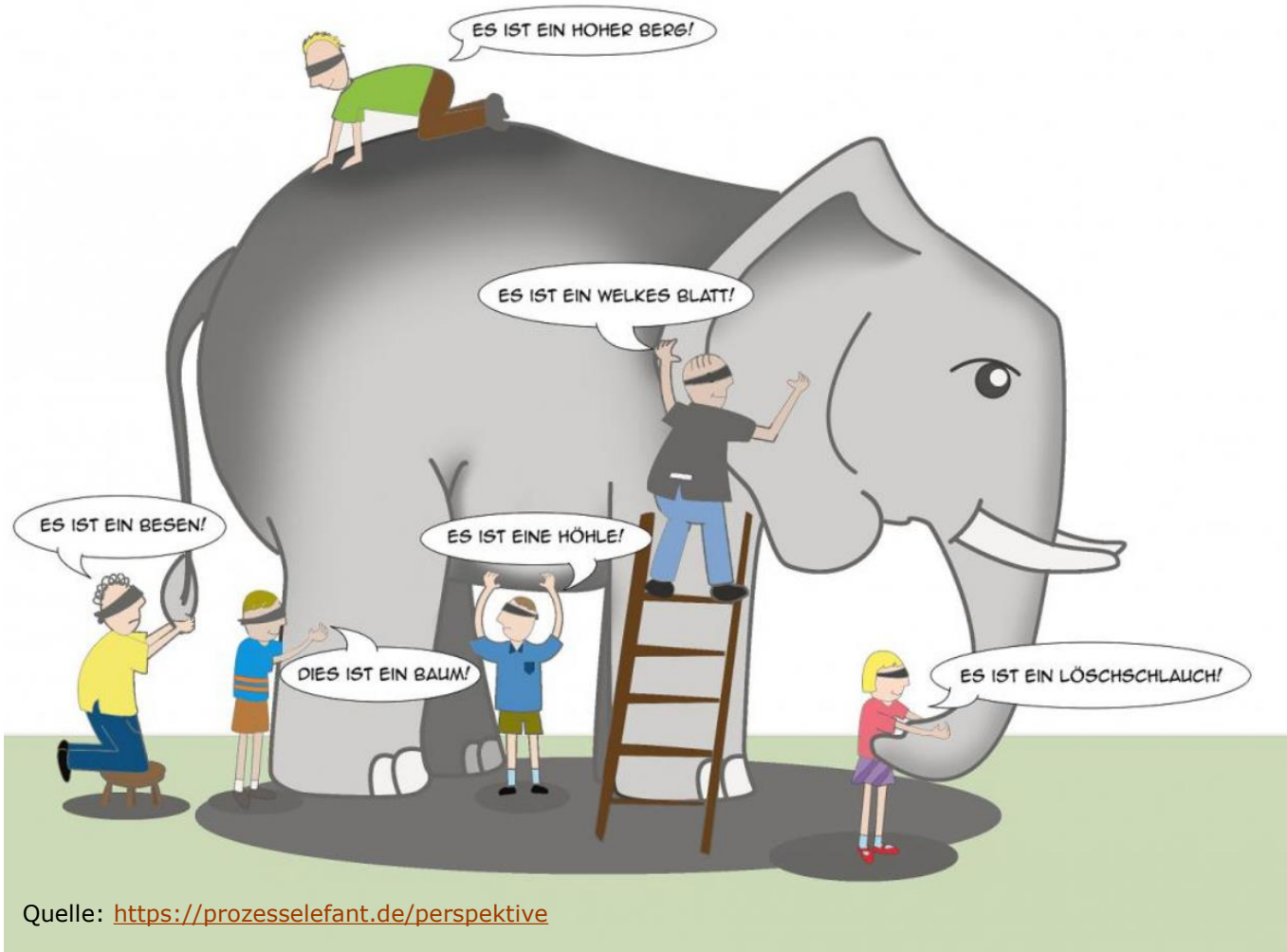
bachmann.



Automatisierte Zustandsüberwachung von Maschinen und Anlagen

bachmann.

Ein Metathema im Kontext 'Industrie 4.0'



Holger Fritsch



Geschäftsführer Bachmann Monitoring GmbH

Bachmann Monitoring GmbH
Fritz-Bolland-Straße 7
07407 Rudolstadt

P +49 3672 3186 100
holger.fritsch@bachmann.info



Smart Maintenance

Instandhaltungsstrategien: Wissensbasierte Instandhaltungsoptimierung

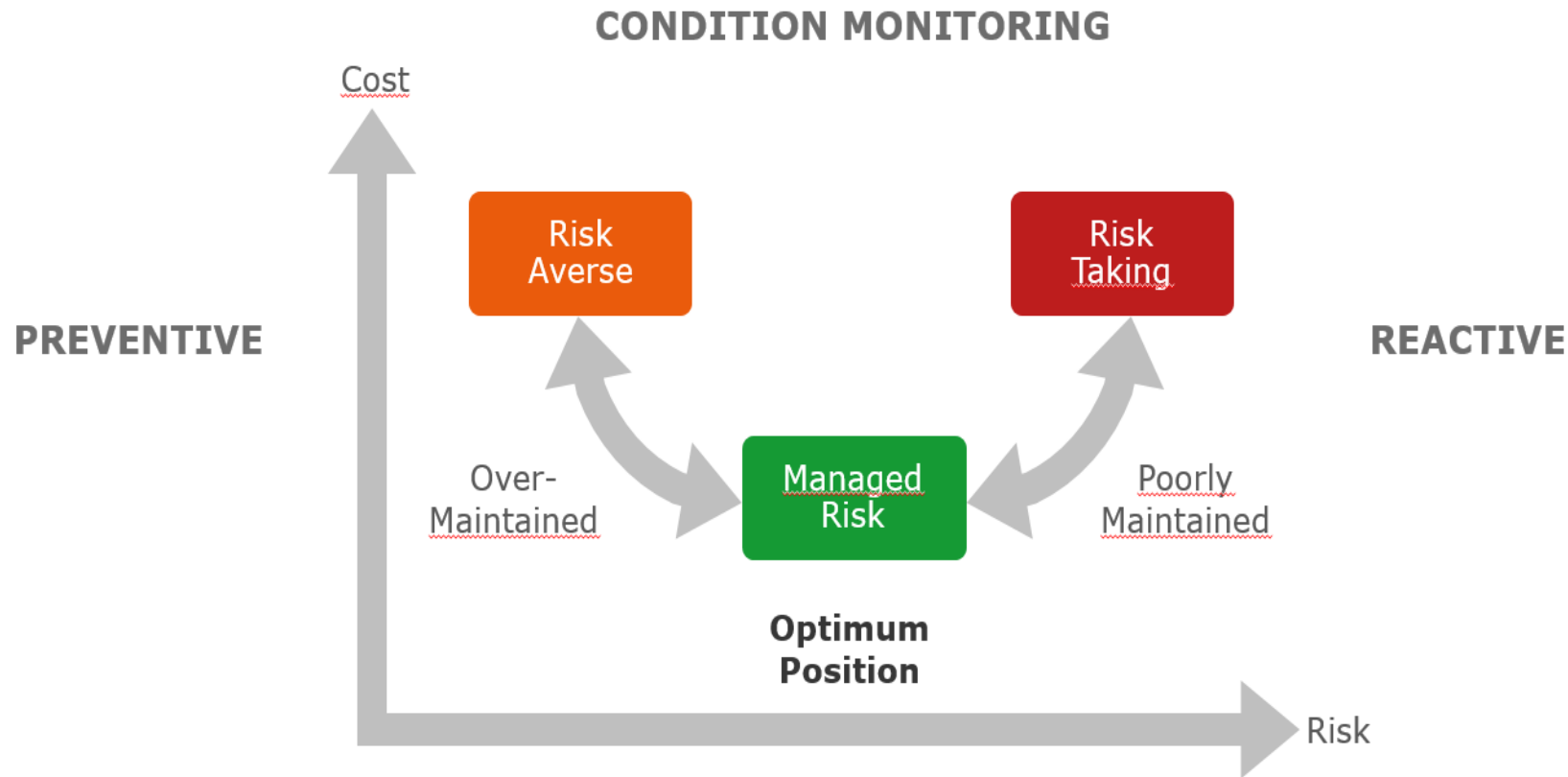
Lots of names:

- Run to Failure
- Maintenance Optimisation
- Breakdown Maintenance
- Preventive Maintenance
- Reactive Maintenance
- Predictive Maintenance
- Time-based Maintenance
- Total Productive Maintenance
- Scheduled Maintenance
- Firefighting
- Reliability Centred Maintenance
- On Condition Maintenance
- ...

Nur drei Strategien:

- **Reactive Maintenance** (Run to Failure)
 - Anlage läuft bis zum Ausfall – hohe Reperaturkosten, schlechte Verfügbarkeit
- **Predictive Maintenance** (Condition Based)
 - Überwachung ausgewählter Parameter zur Beurteilung des Zustands der Maschine: planbare Instandsetzung
- **Preventive Maintenance** (Time- or Duty-based)
 - Intervallbasierte Revisionen der Maschine





Smart Maintenance

- **S**trategie basierend auf Anlagenkomponenten
- **R**eduziert unnötige Arbeit
- **R**eduziert ungeplante Nichtverfügbarkeit
- **U**nterstützt die Planung wichtiger Artikel
- **I**nputs aus KI-Methoden zur Verbesserung der Prognose

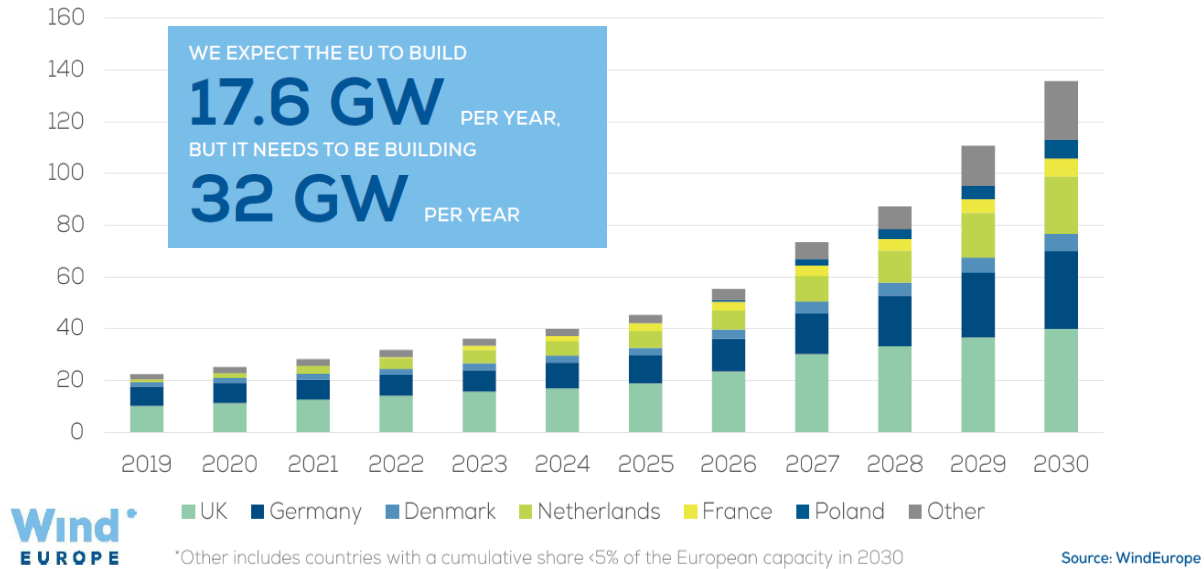
**Optimum Positioning:
„Smart Maintenance“**

Monitoring von Windenergieanlagen

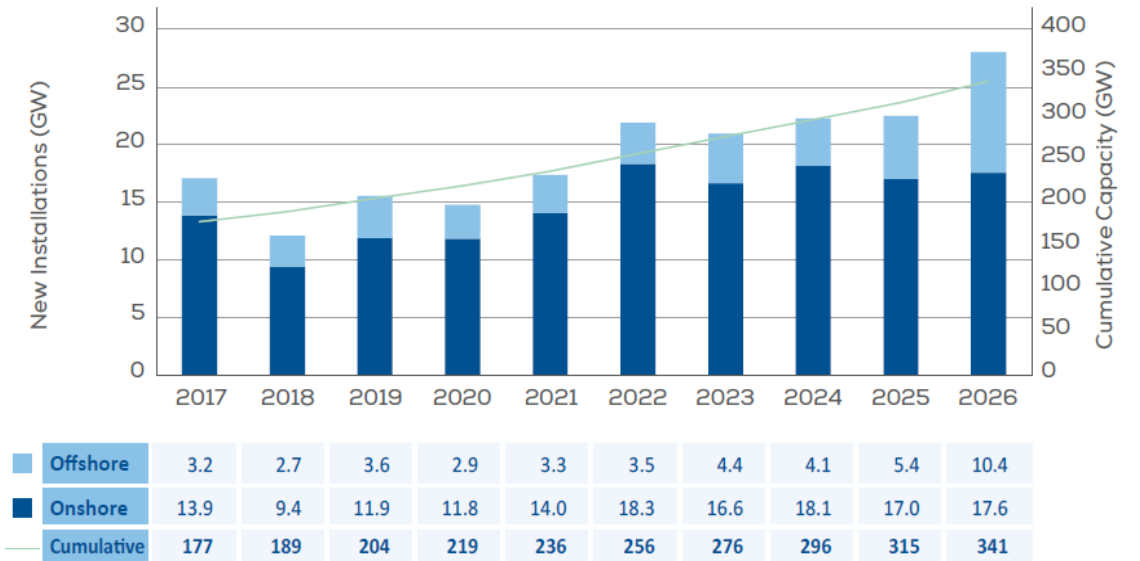


Expansion targets for the wind industry

Expect vs. needs to be built



Expected new installations 2022-26 - Realistic Expectations Scenario



Europe market Offshore: New targets for offshore expansion: 135GW by 2030

Source: WindEurope

Common vessels used in OWT installation

OWT installation vessels and day rates



a) Tugboat

Diesel engines; large power-tonnage ratio (2.2–9.5)
Day rate: \$ **1.000 – 5.000**



b) Crane barge

Sheerleg or rotating crane;
large crane capacity
1000–4000 tonnes)
Day rate: \$ **80.000–100.000**



c) Heavy lift vessel

Loading and discharging of heavy objects; spacious main deck area.
Day rate: \$ **30.000–50.000**



d) Jackup barge

Non-self-propelled; medium to large crane capacity (200–1300 tonnes); dynamic positioning or mooring system;
Day rate: \$ **100.000–180.000**



e) Purpose-built jackup vessel

Self-propelled; jacking system; dynamic positioning; large working deck; large crane capacity (800–1500 tonnes)
Day rate: \$ **150.000–250.000**



f) Semisubmersible construction vessel

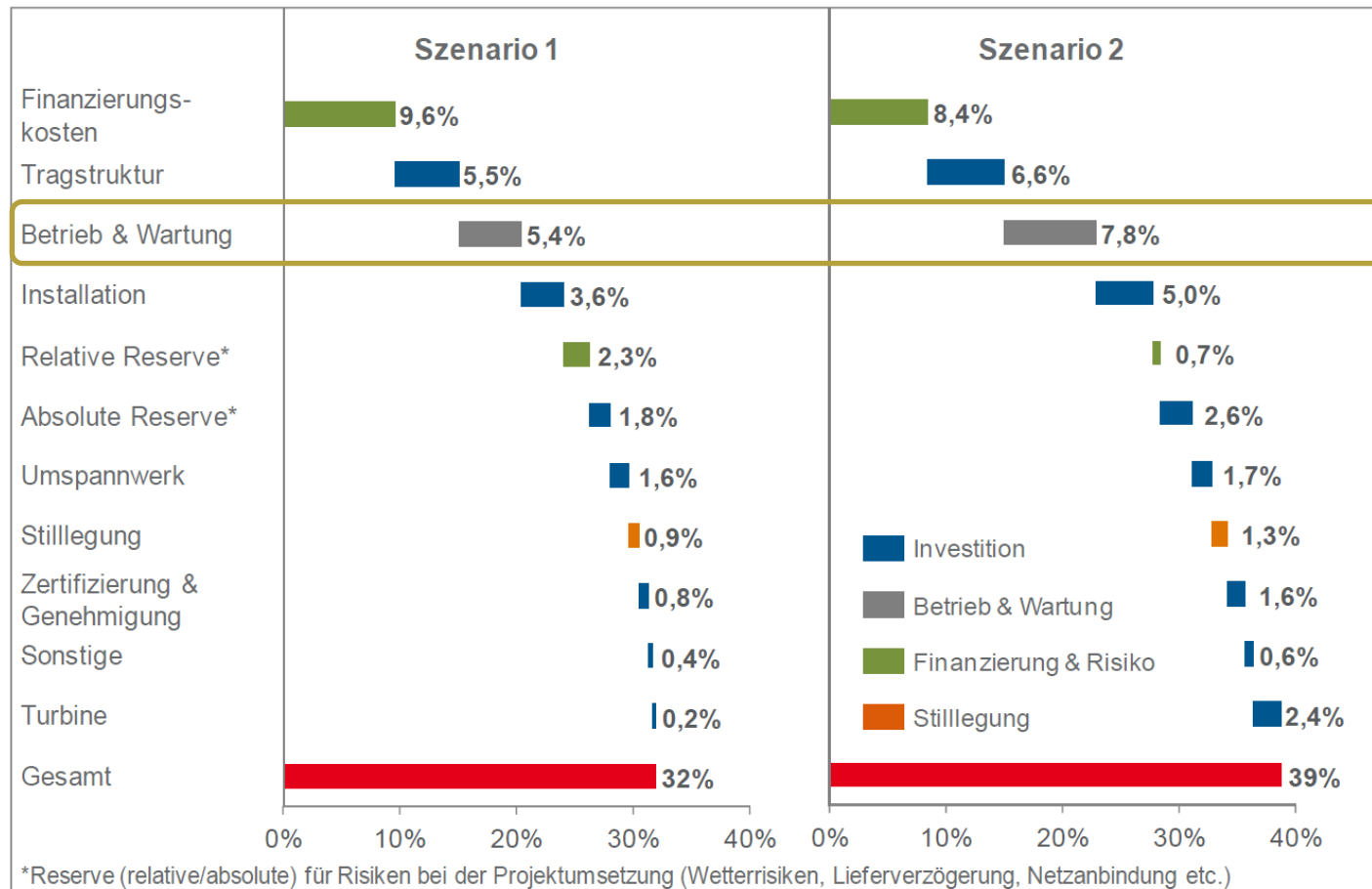
Self-propelled; large lifting height and crane capacity (3000–20000 tonnes)
Day rate: \$ **280.000–500.000**

Source: Zhiyu Jiang, Renewable and Sustainable Energy Reviews 139 (2021) 110576



Kostensenkungspotenziale

Vorhersehbare Profitabilität



Die Reduktion der Betriebs- und Wartungskosten sowie die Senkung der Finanzierungskosten bieten die größten Einzelpotenziale.

Quelle: Prognos-Fichtner-Studie

$$\text{Gewinn} = \text{Einnahmen} - (\text{CAPEX} + \text{OPEX})$$

Einnahmen die Einnahmen aus dem Verkauf des erzeugten Windstroms.

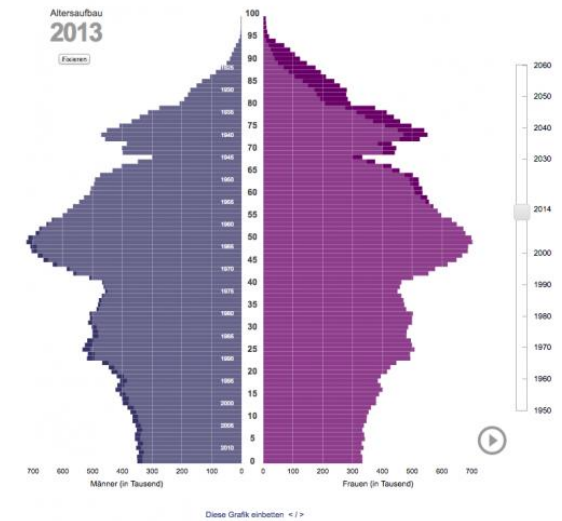
CAPEX die Investitionskosten sind, die Kosten für den Bau, von Windprojekten: WEA, Infrastruktur

OPEX die operativen Kosten fallen während des Betriebs und der Instandhaltung des Projekts an: dies sind die laufenden Kosten z.B. für Wartung, Betrieb, Versicherungen, Personal usw.



Arbeitskräftemangel

One possible answer: more technology!



Jeder Zweite in Deutschland ist älter als 45 Jahre, jeder Fünfte ist älter als 66 Jahre.



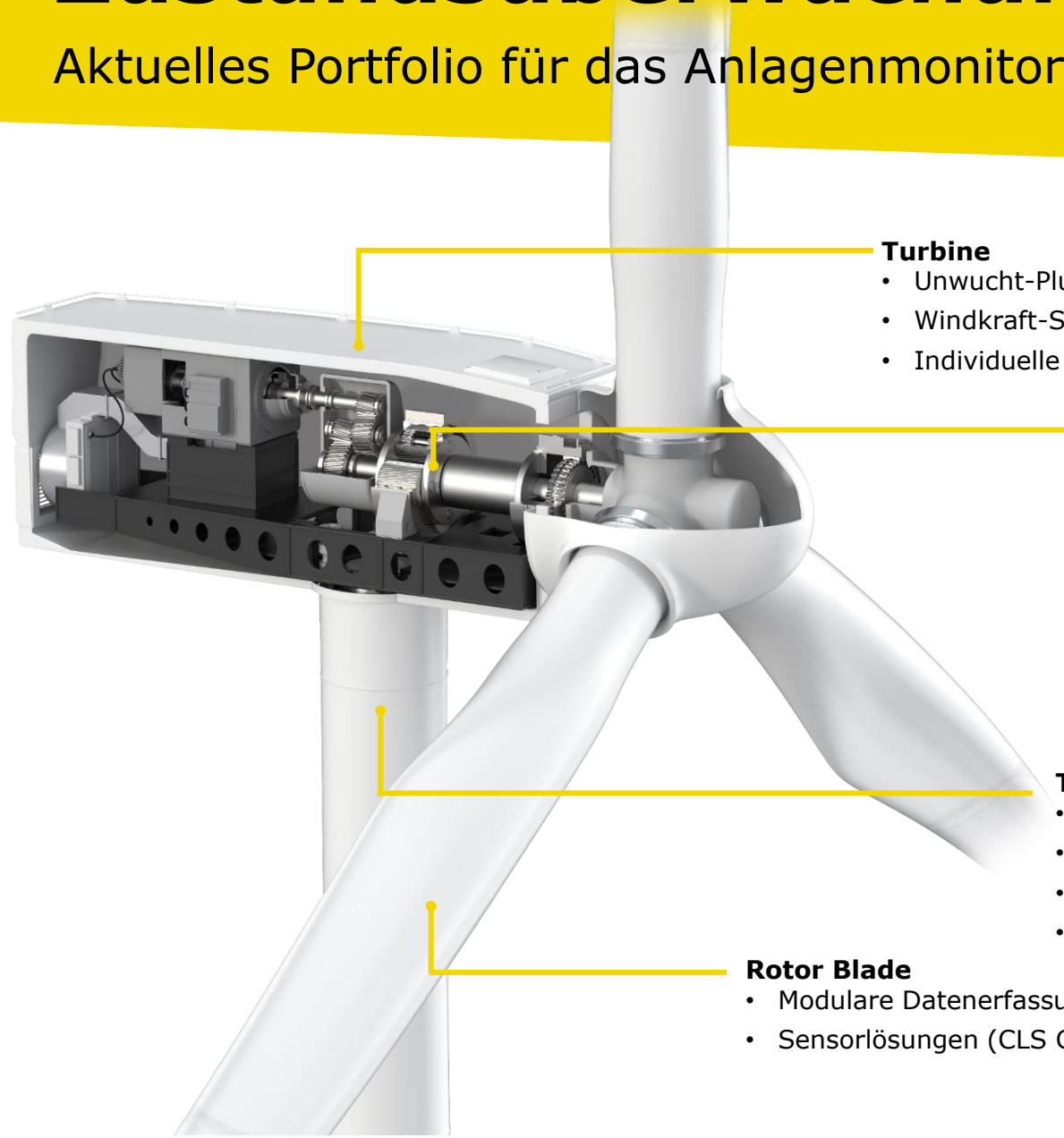
Anlagenmonitoring

Möglichkeiten der Zustandsüberwachung



Zustandsüberwachung

Aktuelles Portfolio für das Anlagenmonitoring



Turbine

- Unwucht-Plugin
- Windkraft-SCADA (WPS)
- Individuelle fachliche Betreuung und Beratung

Drivetrain

- CMScompact (Schwerpunkt Retrofit & Ersatz)
- CMSadvanced (Fokus auf moderne Hochleistungsturbinen)
- Steuerungsintegriertes CMS (Schwerpunkt WEA mit Bachmann-Steuerung)
- Sensorlösungen (BAM100, BAM500, μ -Bridge)
- In WebLog Suite integrierte CMS-Toolbox



Tower and Substructure

- Modulare Datenerfassungshardware
- Sensorlösungen (3D MEMS, CLS Cantilever Sensor)
- SHM-Toolbox integriert in WebLog Suite
- Standortspezifisches Engineering

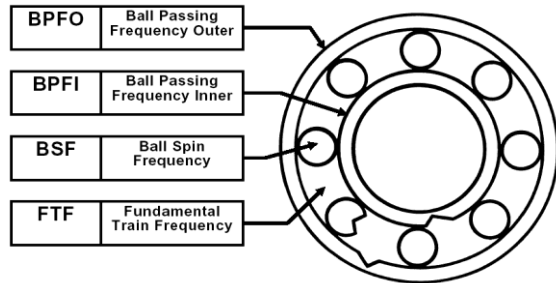
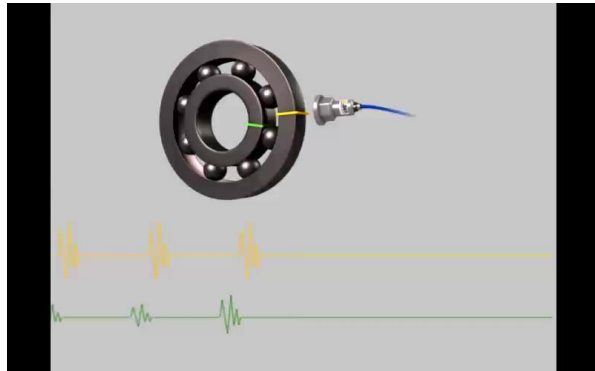
Rotor Blade

- Modulare Datenerfassungshardware
- Sensorlösungen (CLS Cantilever Sensor, 3D MEMS)

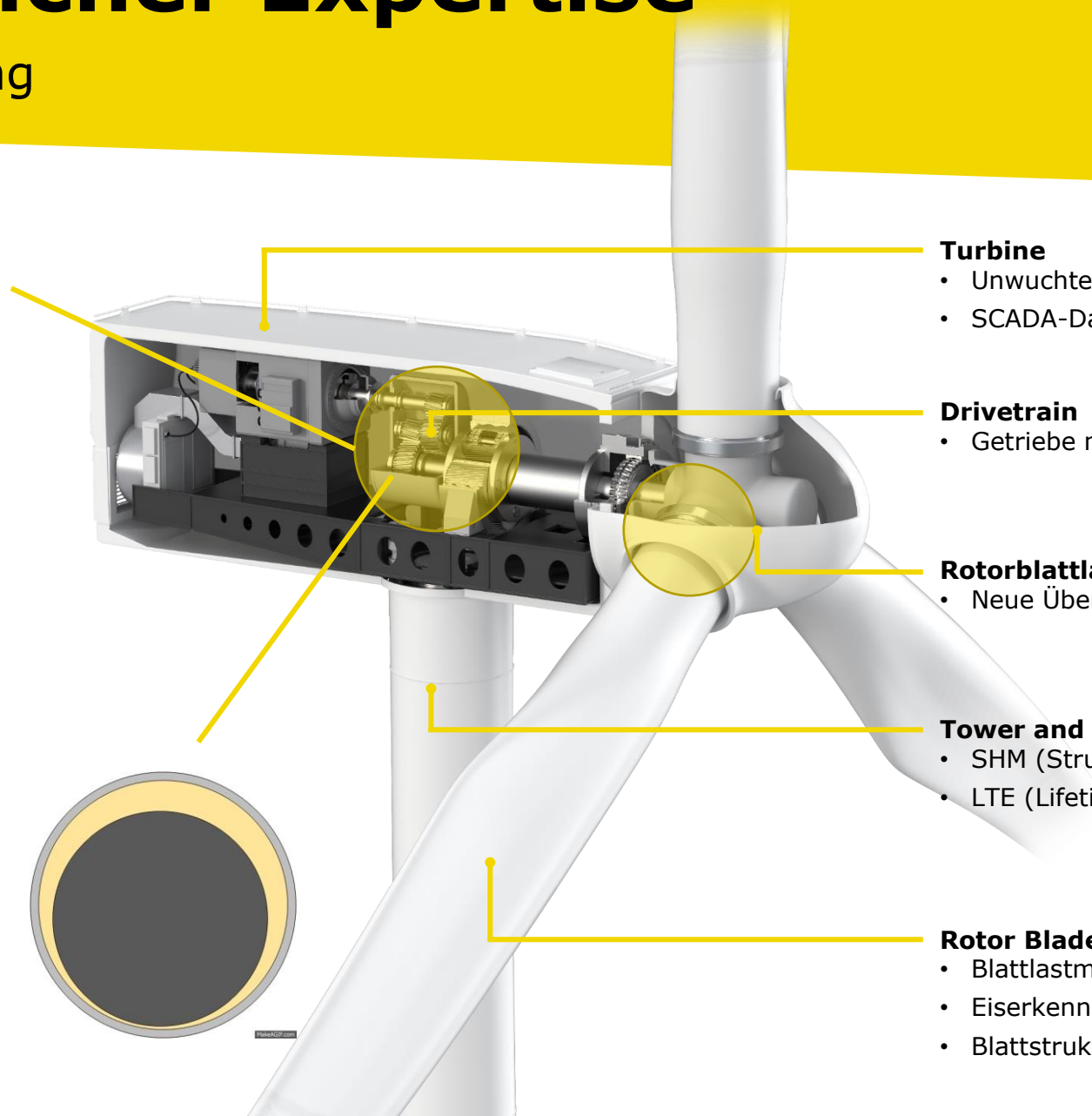


Ganzheitlicher Expertise

Condition Monitoring



Neue Herausforderungen:
Industriefokus auf
hydrodynamische Gleitlager für
Getriebe- & Rotorwellen



Turbine

- Unwuchterkennung und -überwachung
- SCADA-Datenintegration und -visualisierung

Drivetrain

- Getriebe mit Gleitlager

Rotorblattlager

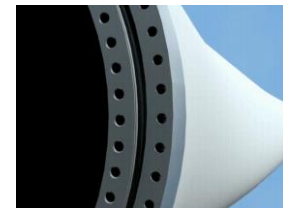
- Neue Überwachungslösungen

Tower and Substructure

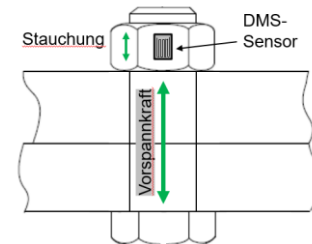
- SHM (Structural Health Monitoring)
- LTE (Lifetime Extension)

Rotor Blade

- Blattlastmessung
- Eiserkennung
- Blattstrukturüberwachung



Source: IMO Holding GmbH



Versagen von Bauwerksstrukturen

Höhere Risiken durch größere Anlagenhöhen und Rotordurchmesser



Quelle: [Nordkurier gnoien unfall](#)



Quelle: www.energie-und-management.de



Quelle: www.nord24.de/landkreis-cuxhaven



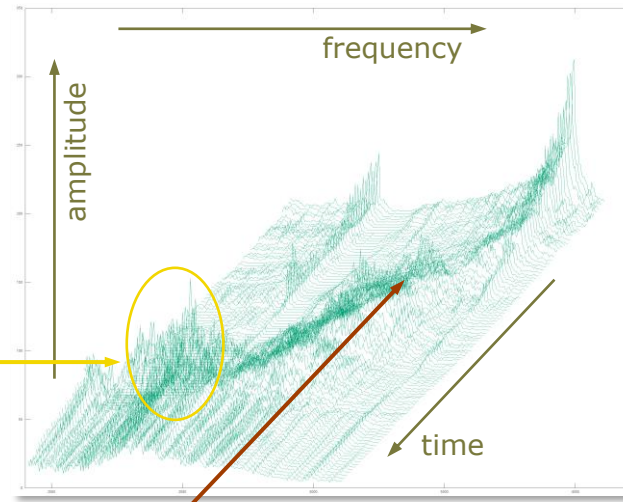
Grain Power Station: Chimney Monitoring System



Schadensvermeidung durch SHM

Beispiel: Strukturversagen

Die mathematische Extraktion des strukturelevanten EV-Spektrums ermöglicht die Überwachung der Struktur



Ausgeprägte Veränderung in der Struktur!

WTG	Begin	Damage Indicator	End
WTG 17	12/15		04/19
WTG 03	01/16		05/20
WTG 34	12/15		07/19
WTG 01	12/15		06/19
WTG 75	02/16		05/20
WTG 49	12/15		05/20
WTG 42	03/16		05/20
WTG 12	10/15		05/20
WTG ..	01/20		05/20
WTG ..	12/15		07/19

Alarm

OK



Verfahren der „künstlichen Intelligenz“ (KI)

Konstruktion robuster Überwachungsgrößen

Maschinendaten sind sehr robust und charakterisieren die Prozesse und Maschinenzustände in sehr definierter Weise (quasistationär).

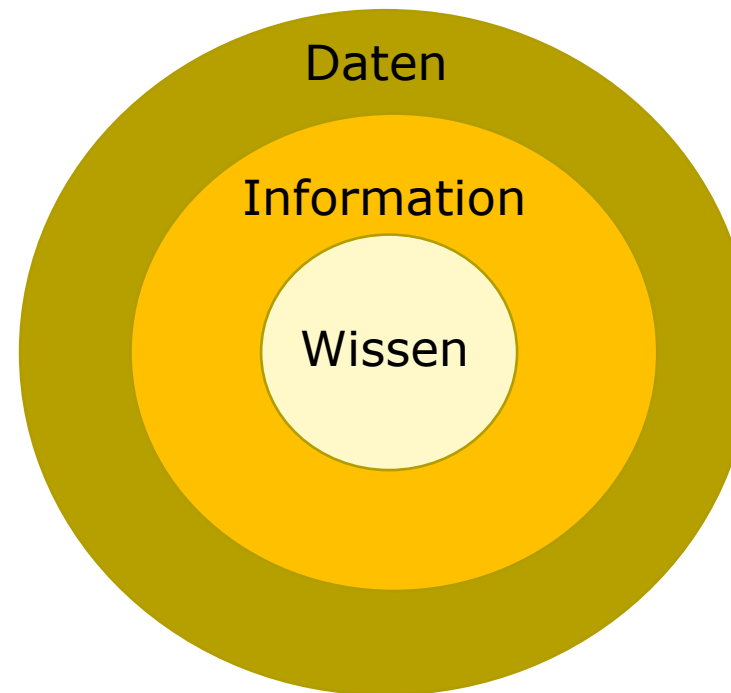
Mit Hilfe von „schwacher KI“ lassen sich für jede Maschine beobachtbare Erhaltungsgrößen konstruieren.

Die Umwandlung von Daten in Wissen

Daten → Informationen → Wissen

Daten:

Sind die Fakten der Welt:
80°C



Informationen:

Datensequenz die als
Nachricht interpretiert werden
kann. z.B. Lagertemperatur

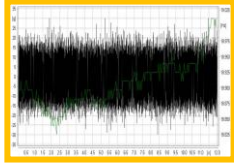
Wissen:

Domänenwissen/
Expertenwissen: Dieses Lager
in dieser Maschine ist zu heiß!

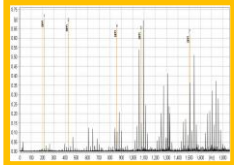


Klassische Schwingungsanalyse

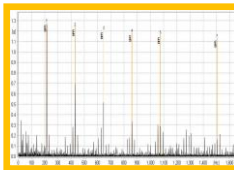
Fehlerfrüherkennung durch Zuordnung eines eindeutigen Kennwert und Trendbeobachtung



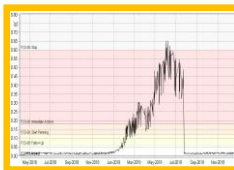
Sensorsignal



Amplitudenspektrum



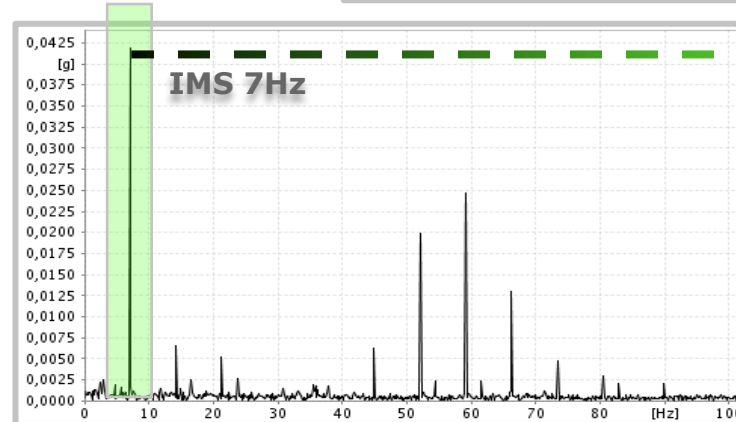
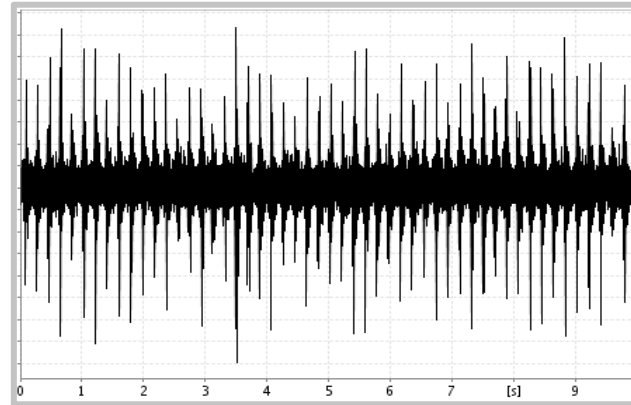
Hüllkurvenspektrum



Trendverlauf

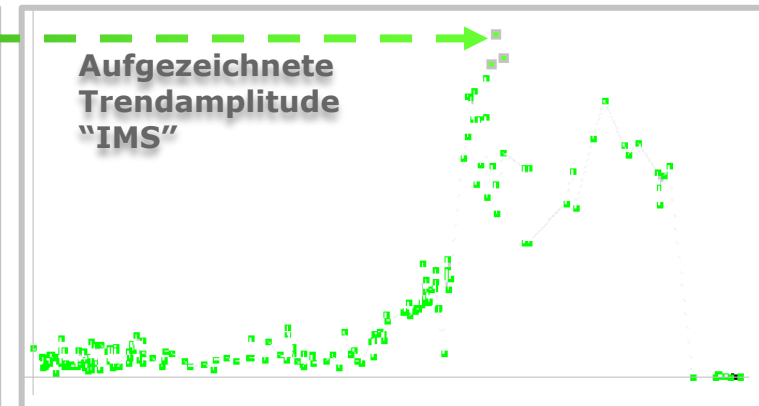


Schaden auf
der Lauffläche



Amplitudenspektrum

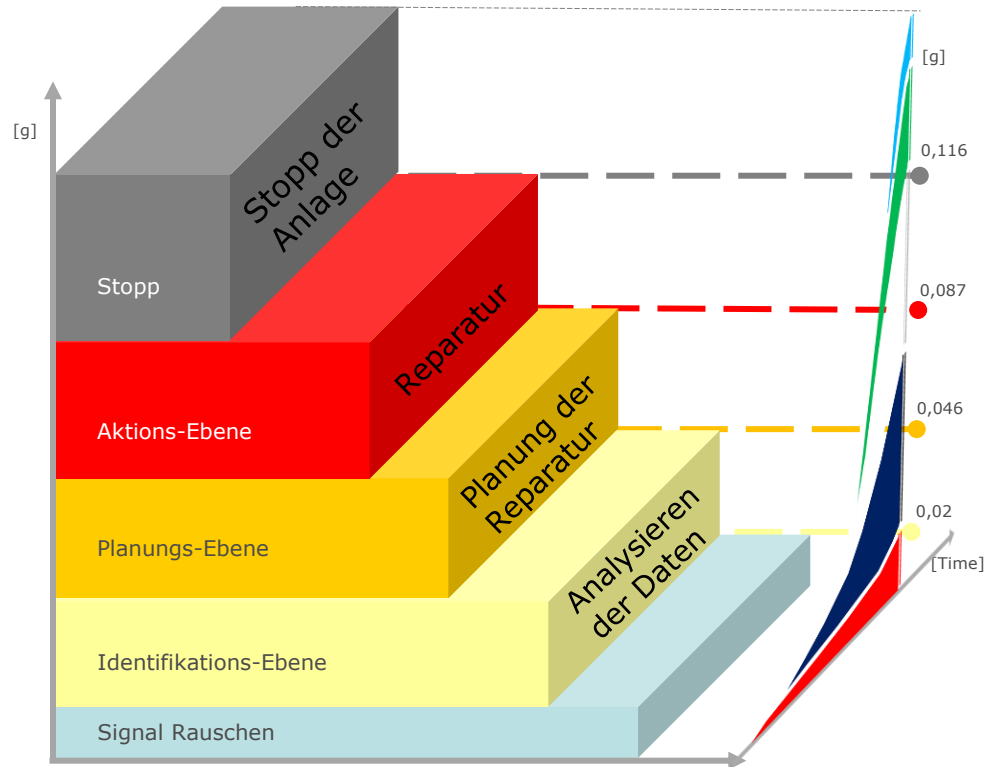
IMS 7Hz



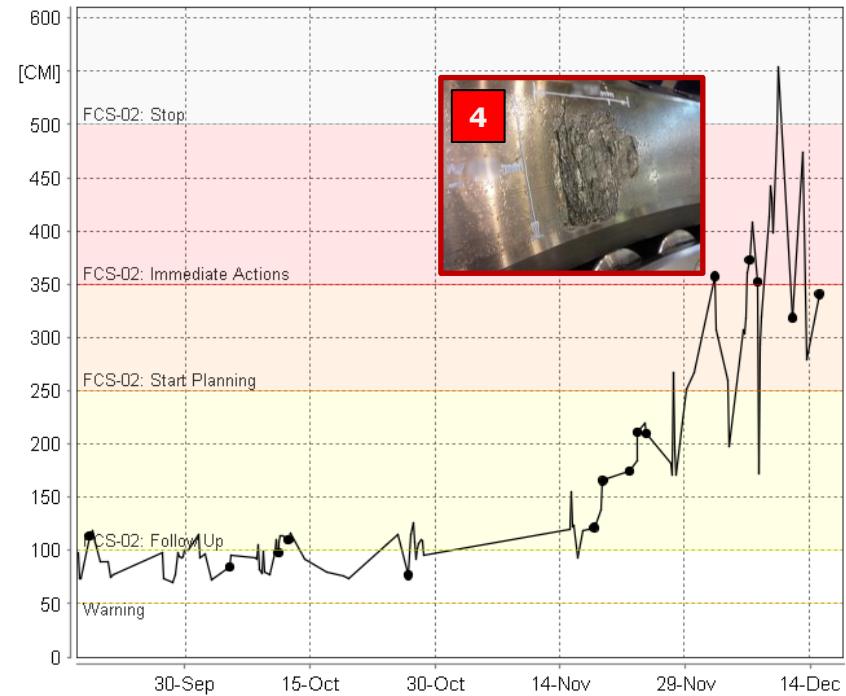
Trendverlauf des Amplitudenwertes

Failure Mode Symptom Analysis (FMSEA)

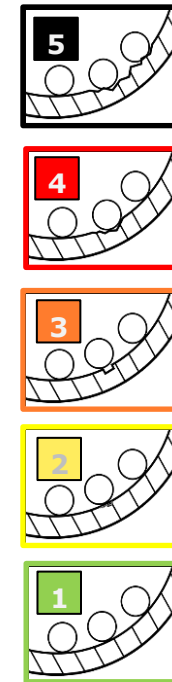
Klassifizierung von Schäden: Zuordnung eines eindeutigen Kennwertlabels



Kennwertzuordnung zum Schweregrad eines Schadens



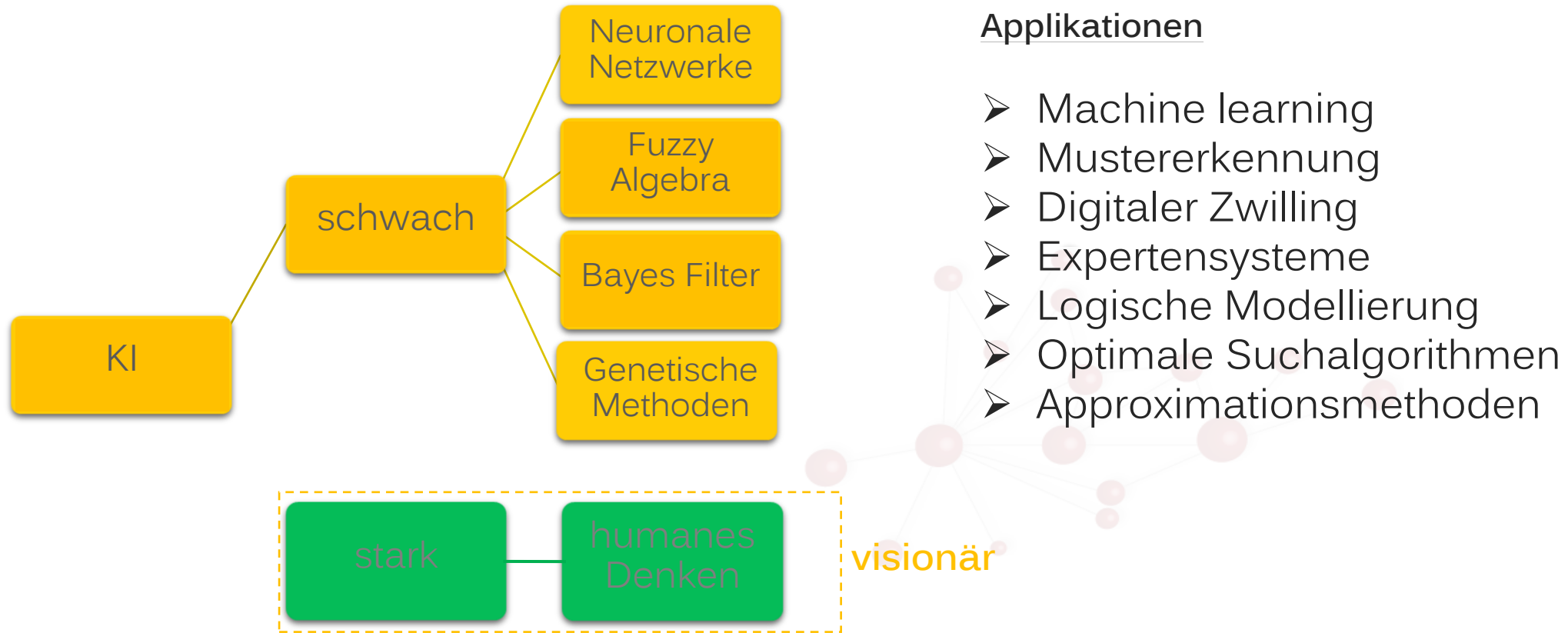
Trendverlauf eines Hauptlagerschadens



This project has received funding from the European Union's Horizon 2020 research and innovation programme under grant agreement No 745625.



Informationsgewinnung: Künstliche Intelligenz (KI)



Informationsdichte und -filterung



Michelangelo:
„Die Figur war schon in dem Stein.
Ich musste nur alles überflüssige Gestein entfernen.“

... aber der bekannte Zusammenhang zwischen Information und Entropie wird hier deutlich ...

Die Verdichtung der Daten zu relevanten Informationen erfordert einen hohen mathematisch-algorithmischen Aufwand!

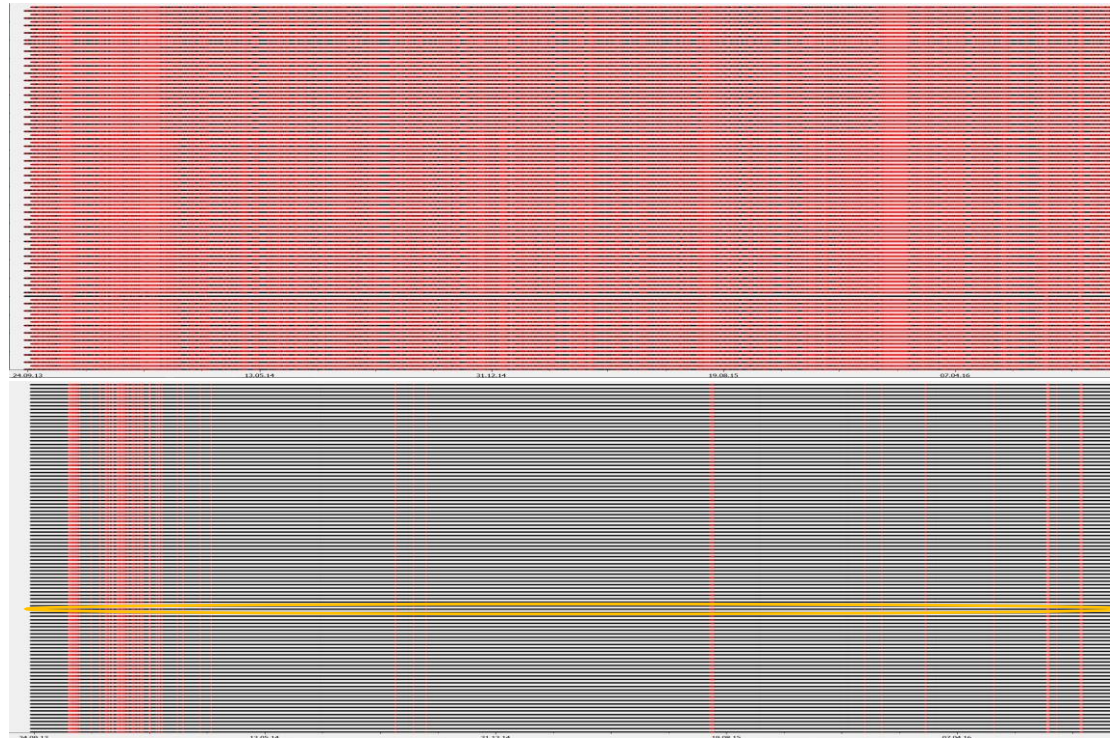
Synchronisation der Messreihen

Ohne die Verletzungen von Kausalitäten

„Synchronisierung“

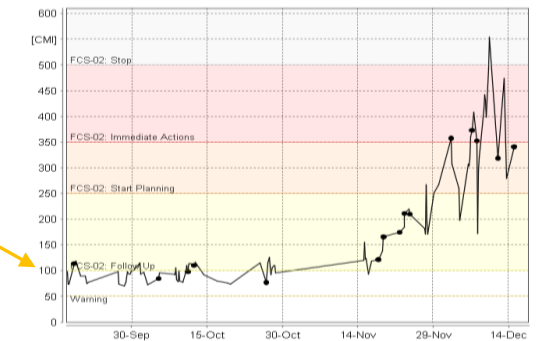


„Komplettierung“



Vorbehandlung von Datenreihen: unbehandelt (oben) - rot: keine Daten; schwarz Datenpunkt vorhanden.
Nach „Synchronisierung“ und Komplettierung (vgl. Abb. Unten)

Die Datenvorbehandlung ist für den erfolgreichen Einsatz neuester mathematischer Verfahren entscheidend.

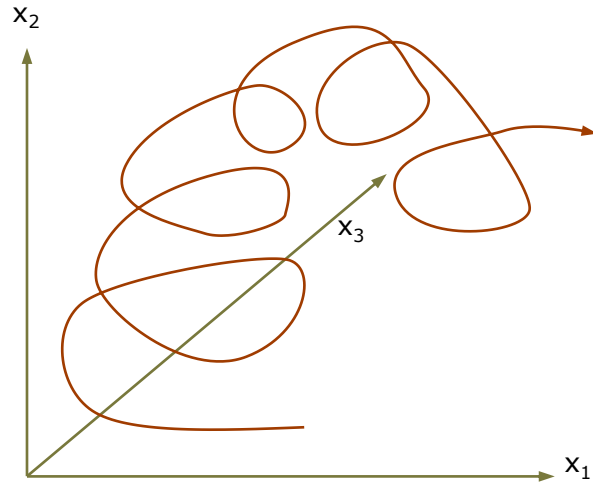


Jede horizontale Linie bedeutet jeweils einen Datentrendverlauf eines überwachten Maschinenkennwertes

Skizzierung des Lösungsansatzes

Datenanalyse: Konstruktion von Erhaltungsgrößen

Für jeden Zeitpunkt (t) gilt: $f(x_1(t), x_2(t), x_3(t), \dots, x_n(t)) = C$



Trajektorie
im n-dimensionalen Phasenraum



Lösung des inversen mechanischen Problems (mathematische Beziehungen werden methodisch aus den bereits vorhandenen Messwerten abgeleitet) zur Formulierung von Erhaltungssätzen:

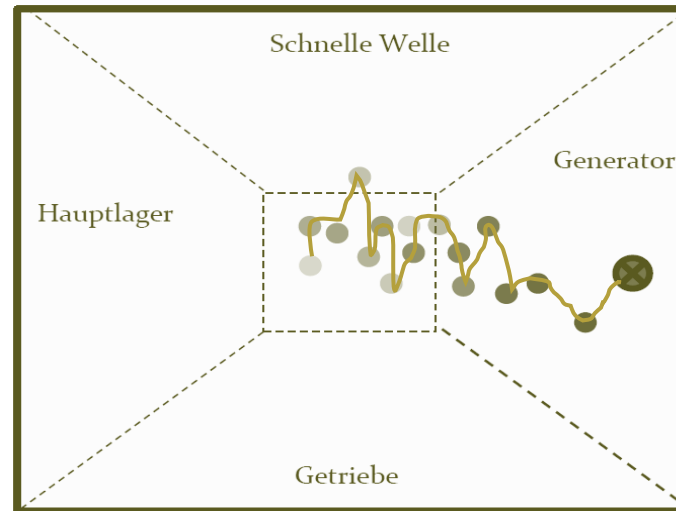
1. aus den Trajektorien im Phasenraum
2. aus den Messungen

- Rekursive Suche nach multivariablen Funktionalen durch strikte Optimierung
- Verwendung von Methoden der künstlichen Intelligenz: Bekannte Muster/die Struktur, wonach genetische Algorithmen suchen.
- Konstruktion von selbstkonsistenten Vorintegralen

Vorteile dieses Lösungsansatzes

Erhaltungsgröße C aus der Funktion: $f((x_1(t), x_2(t), x_3(t), \dots, x_n(t))) = C$

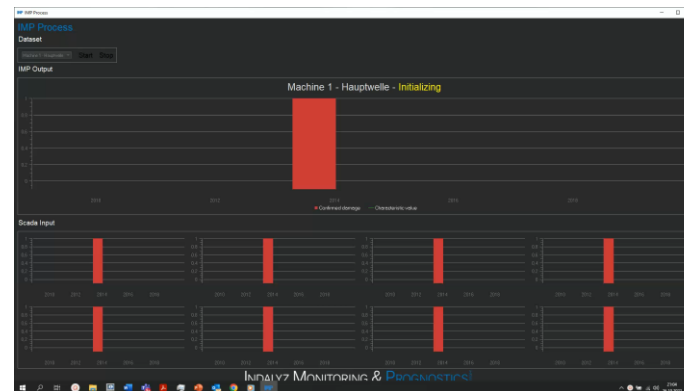
- Verstöße gegen die mathematisch konstruierte Erhaltungsgröße zeigen Veränderungen des Maschinenzustandes an („C“ entspricht damit einem robusten Indikator).
- Die Art der Verletzung der Erhaltungsgröße kann mit dem Schadenstyp korreliert werden.



Die Überwachung von konstruierten Erhaltungsgrößen im n-dimensionalen Phasenraum gestattet eine direkte Separation von verschiedenen Schadensmerkmalen.

These

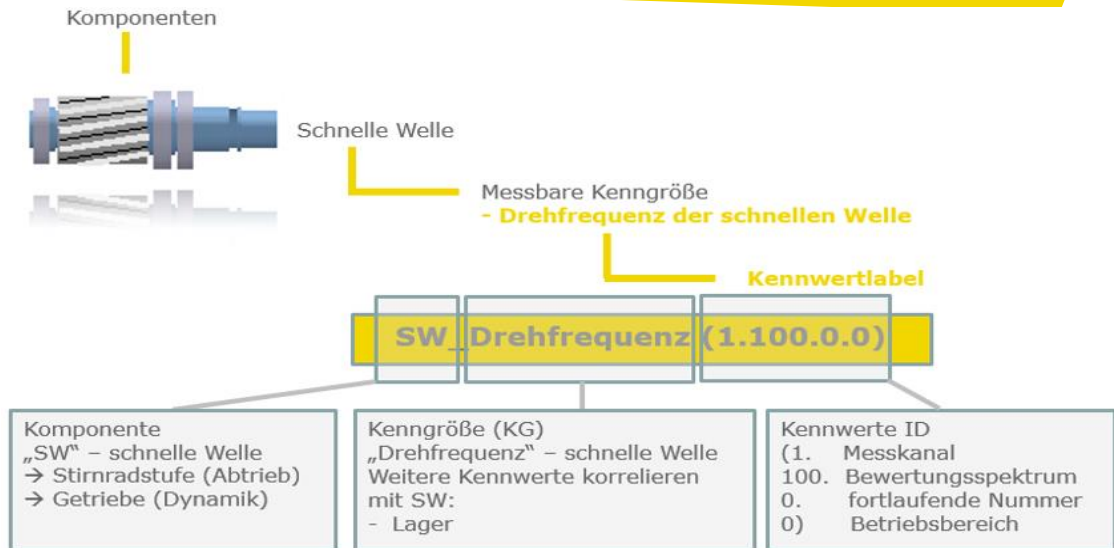
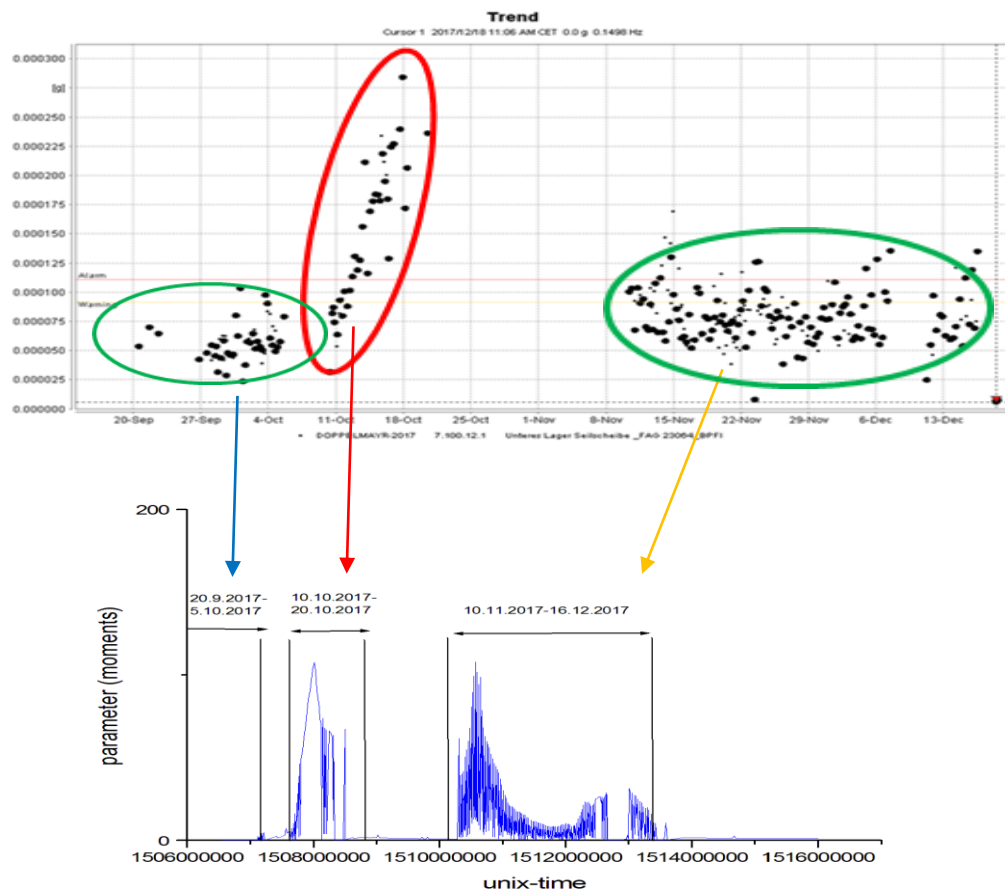
Die Entwicklung der Verletzungsstärke ist mit der Lebenszeit der überwachten Maschinenkomponente verknüpft.



Statistische Methoden

Momenten-Methode

Auswertung über Momenten-Methode

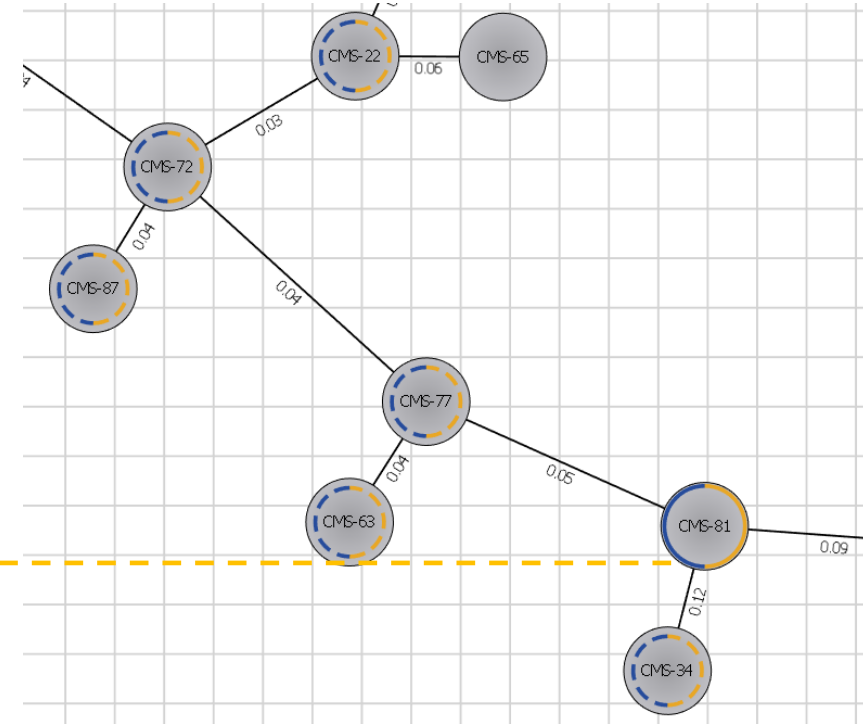
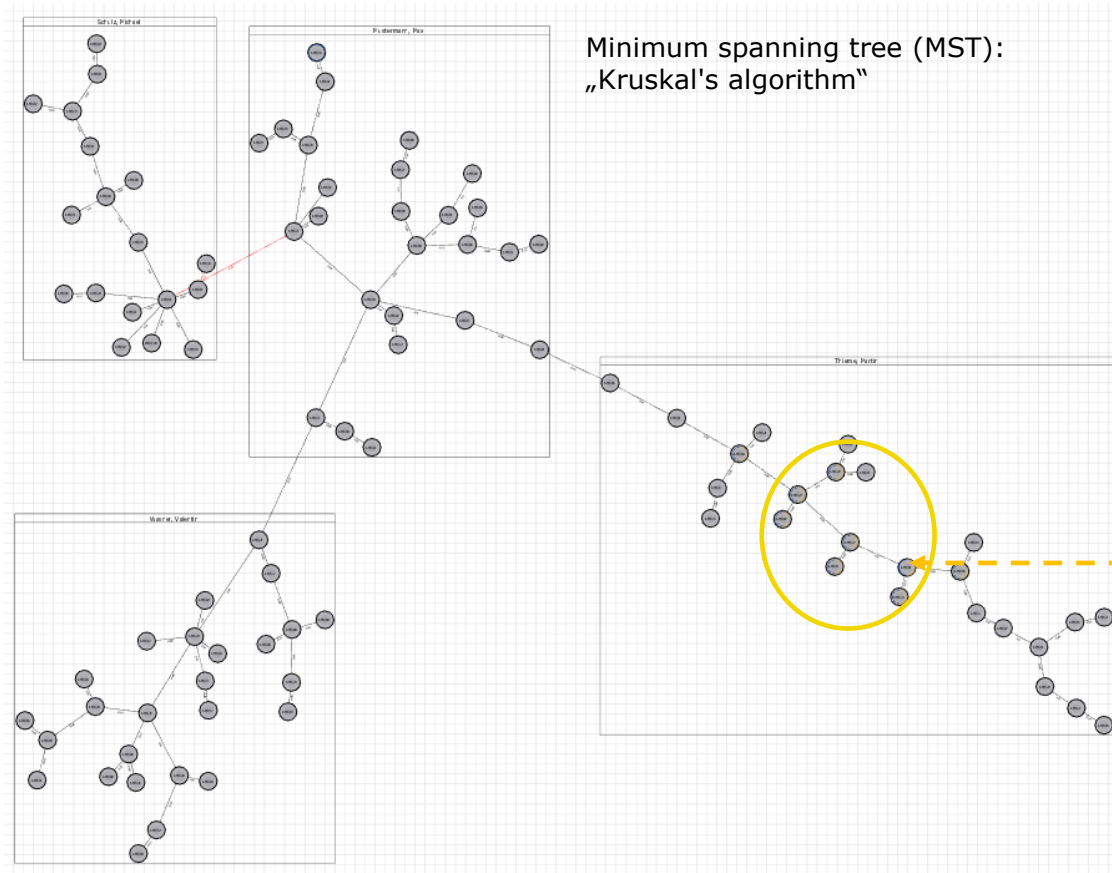


Kennwerte mit erheblicher Änderung

- 4.3.104.1 Zeitsignal RMS 0,1Hz – 10Hz Schwingbeschleunigung
- 5.3.104.1 Zeitsignal RMS 0,1Hz – 10Hz Schwingbeschleunigung ...

Verknüpfung mit Domänenwissen

SW-Tools zur Priorisierung von Diagnose- und Servicearbeiten



Heute sind Algorithmen wie auch die Hardware Technologie!



Zusammenfassung

Halten Sie die Antriebsstränge von Windkraftanlagen am Laufen

Prozessoptimierung in der Instandhaltung und im Betrieb

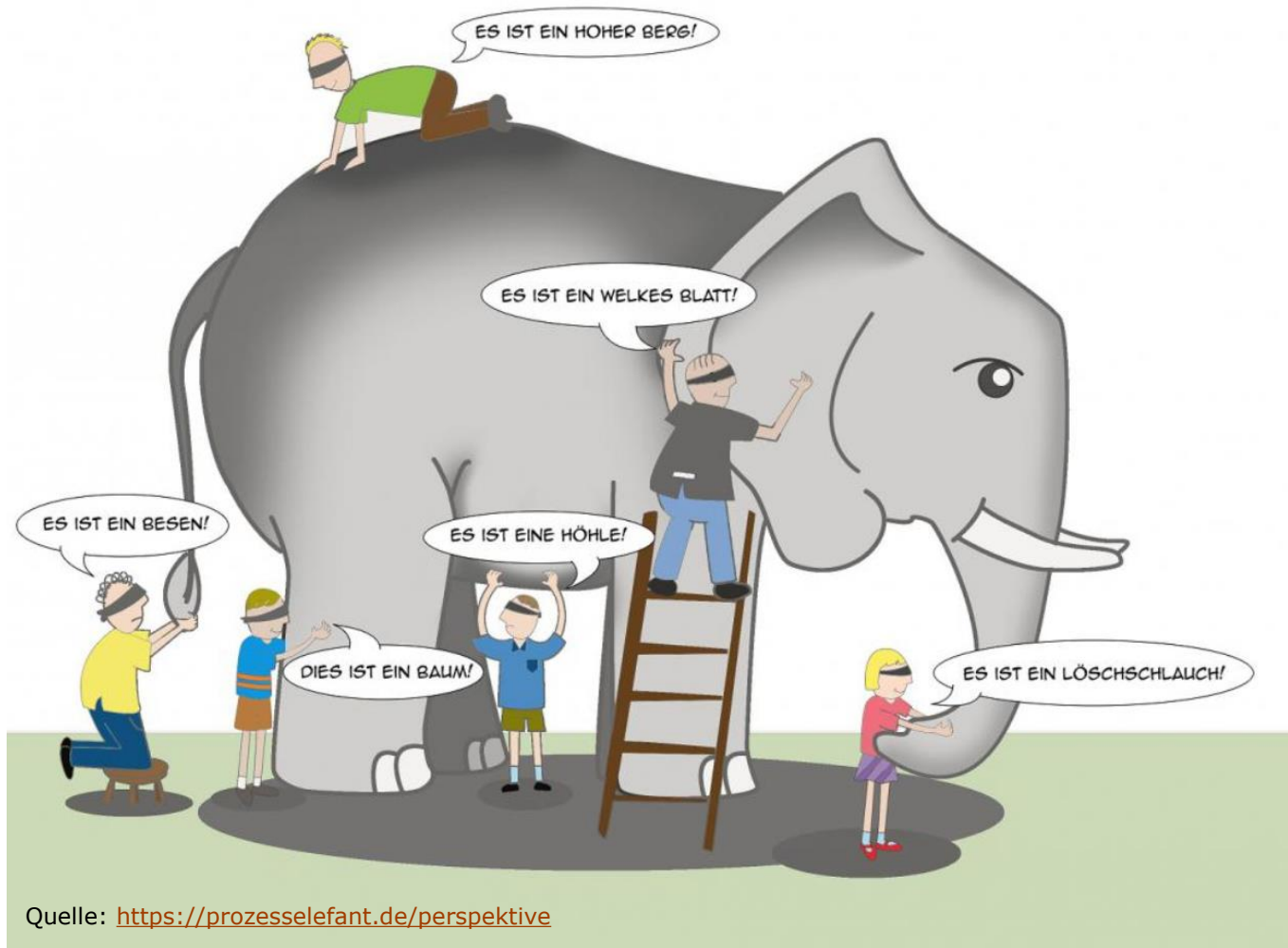
- ✓ Condition Monitoring für Antriebe (alle verfügbaren Methoden).
- ✓ Strukturmonitoring (z.B. Hybridtürme und Rotorblätter)
 - SHM trägt dazu bei, die berechnete verbleibende Nutzungsdauer zu erhöhen
 - Erhöhte Sicherheit durch überwachten Betrieb im LTE-Zeitraum
- ✓ Optimierung des Betriebs, z. B. neue Schmier- und Zusatzstoffe
- ✓ Neue Sensoren (Bolzenüberwachung/Temperaturen).
- ✓ Einsatz von KI, z. B. Anomalieerkennung und Betriebsoptimierung.



Wir sollten und können WEA besser und länger nutzen!

Ein Bericht von GE Digital schätzt, dass Unternehmen durch den Einsatz von Condition Monitoring die Kosten für Wartung, Reparatur und Ersatzteile um bis zu 40% reduzieren können.

Fragen?



Holger Fritsch



Geschäftsführer Bachmann Monitoring GmbH

Bachmann Monitoring GmbH
Fritz-Bolland-Straße 7
07407 Rudolstadt

P +49 3672 3186 100
holger.fritsch@bachmann.info




Bachmann Group

Facts

 **547**
Employees

 **102 Mio.**
Turnover

 **9,8 %**
Ø growth
p.a.

 **25**
Locations

Bachmann Holding GmbH

Bachmann electronic GmbH

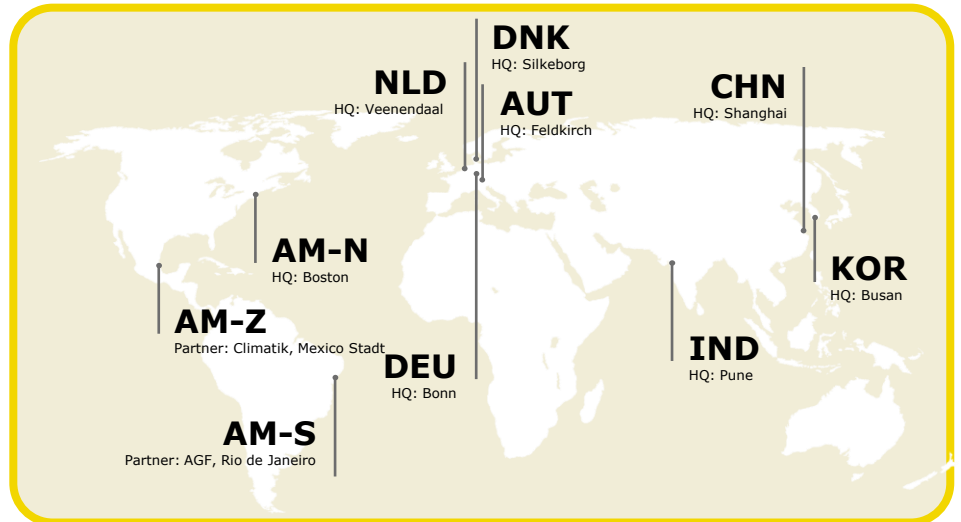
**Bachmann
Monitoring GmbH**

**Bachmann Visutec
GmbH**

4
Areas of competence

4
Industry sectors

b.control b.grid b.operate b.guard



Wind industry

More than 350,000 wind turbines (837.451 MW) are already in operation worldwide.

Bachmann has automated more than 140,000 WTG (40%) worldwide.

