

bachmann.



Nutzung unterschiedlicher Datenquellen zur Betriebsoptimierung

- Von SCADA, CMS, SHM und sonstigen Daten



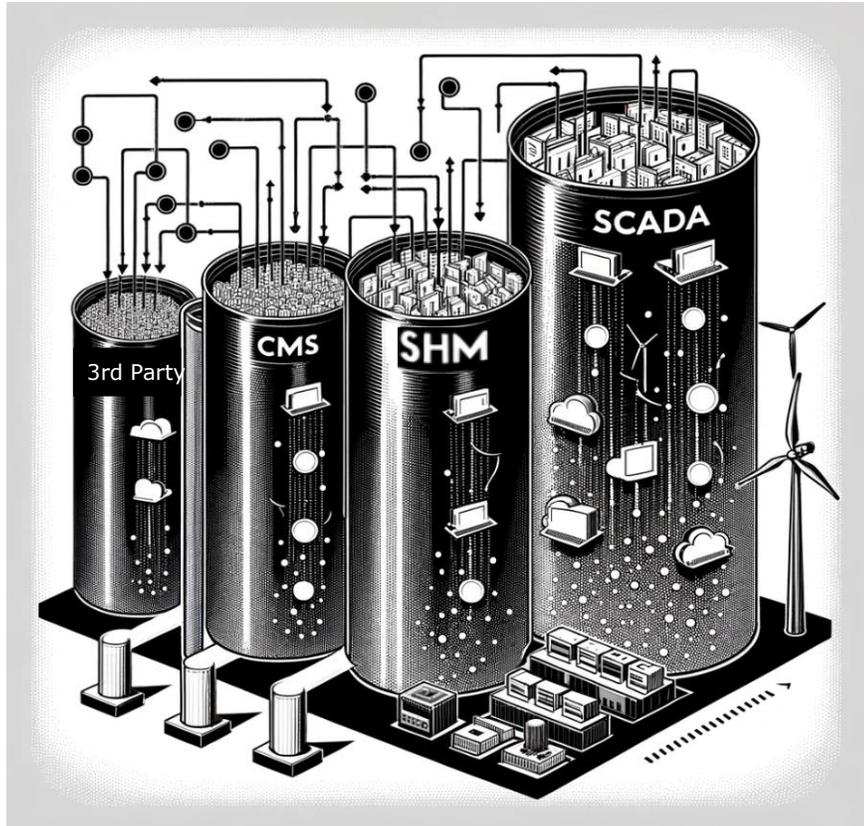
Motivation

Ziel: Nutzung aller verfügbarer Datenquellen



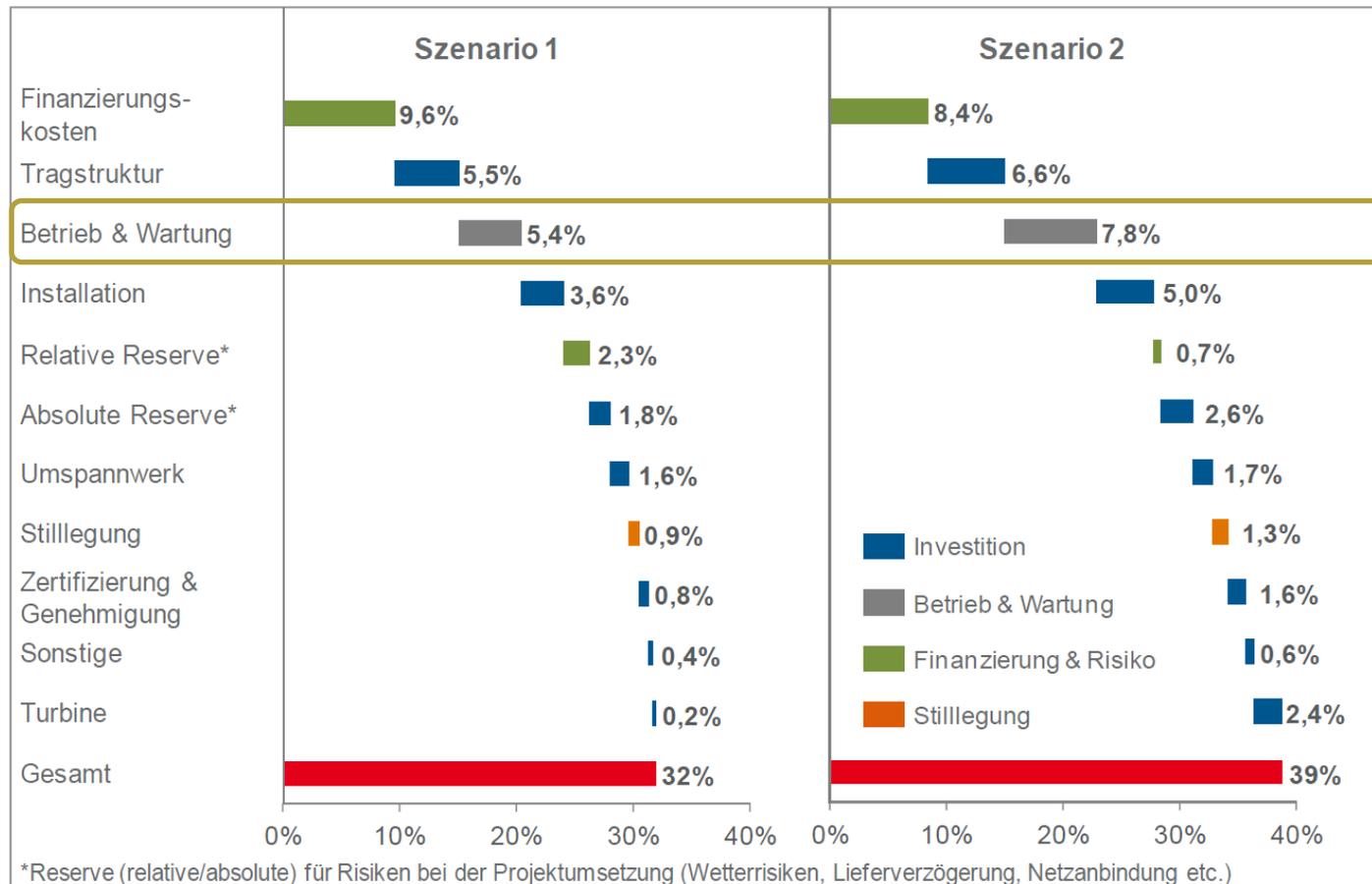
Motivation

Vom Datensilo – zum vollen Durchblick



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

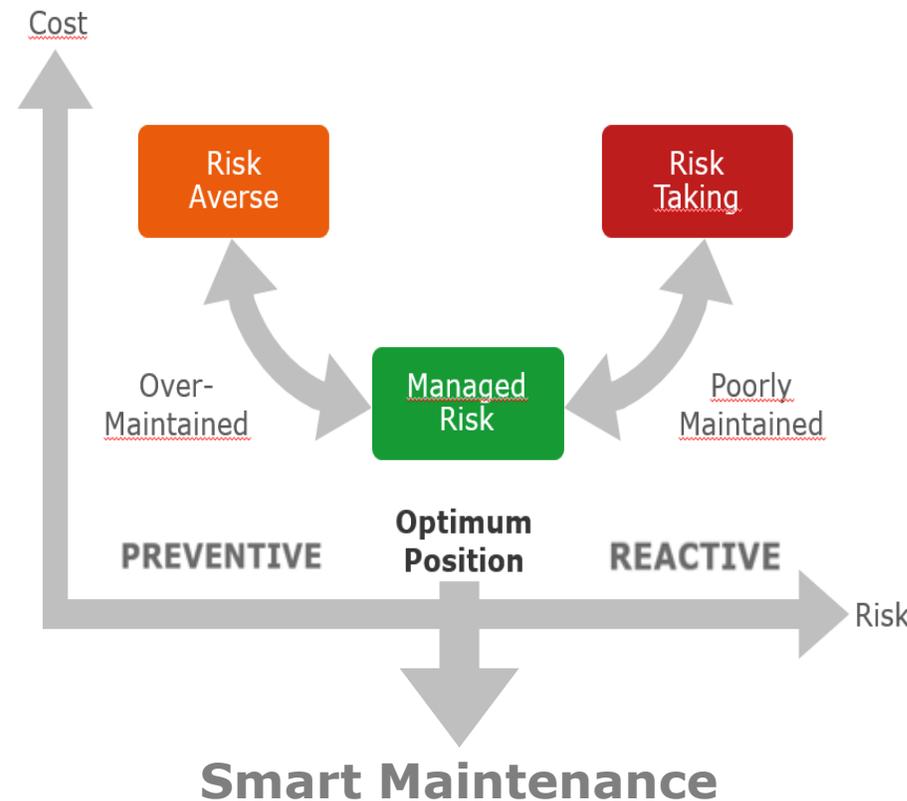
OPEX die operativen Kosten fallen während des Betriebs und der Instandhaltung des Projekts an: dies sind die laufenden Kosten z.B. für Wartung, Betrieb, Versicherungen, Personal usw.



Smart Maintenance

Instandhaltungsstrategien: Wissensbasierte Instandhaltungsoptimierung

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



- Strategie basierend auf Anlagenkomponenten
- Reduziert unnötige Arbeit
- Reduziert ungeplante Nichtverfügbarkeit
- Unterstützt die Planung wichtiger Artikel
- Inputs aus KI-Methoden zur Verbesserung der Prognose



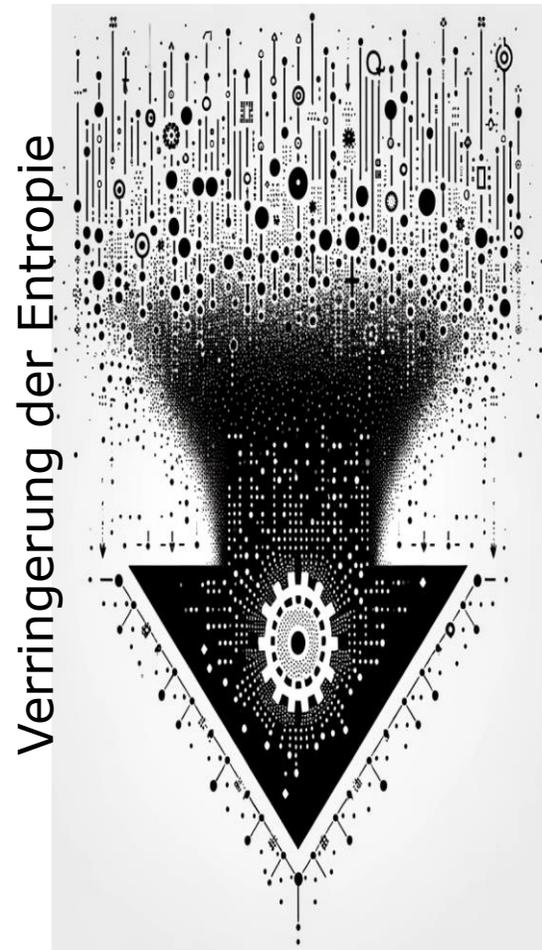
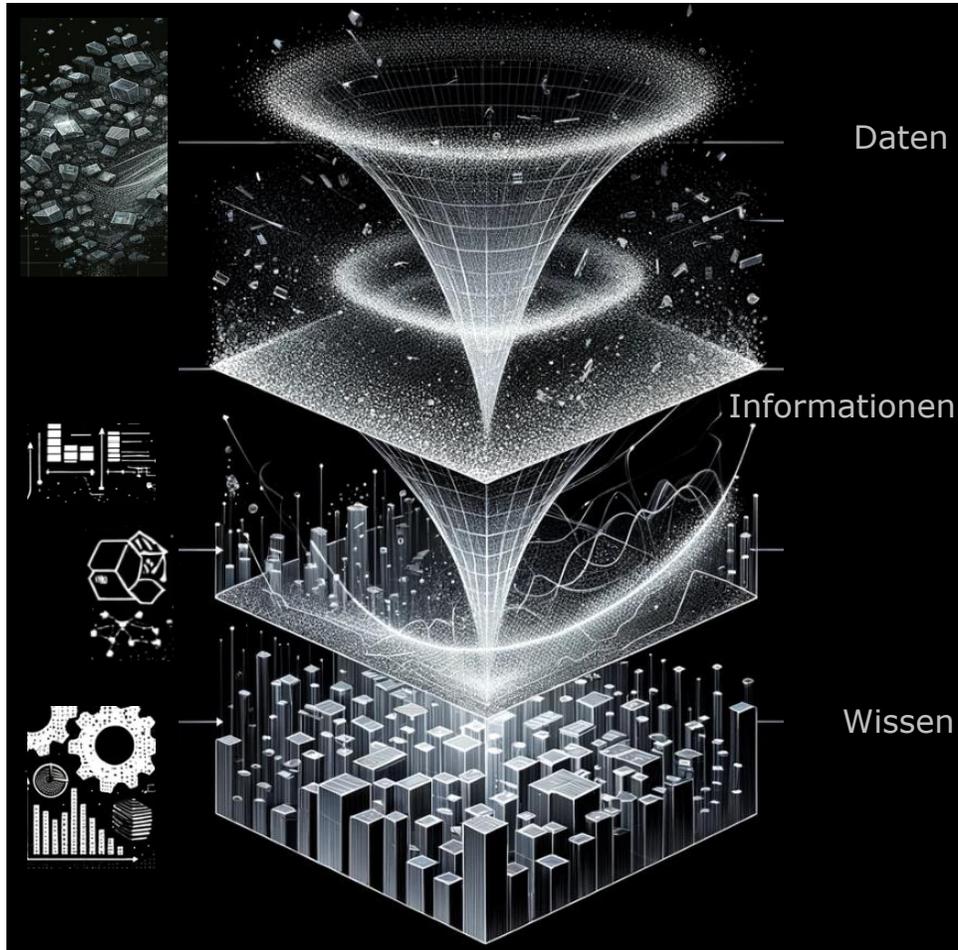
1. Scada-Daten

In der Betriebsführung



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

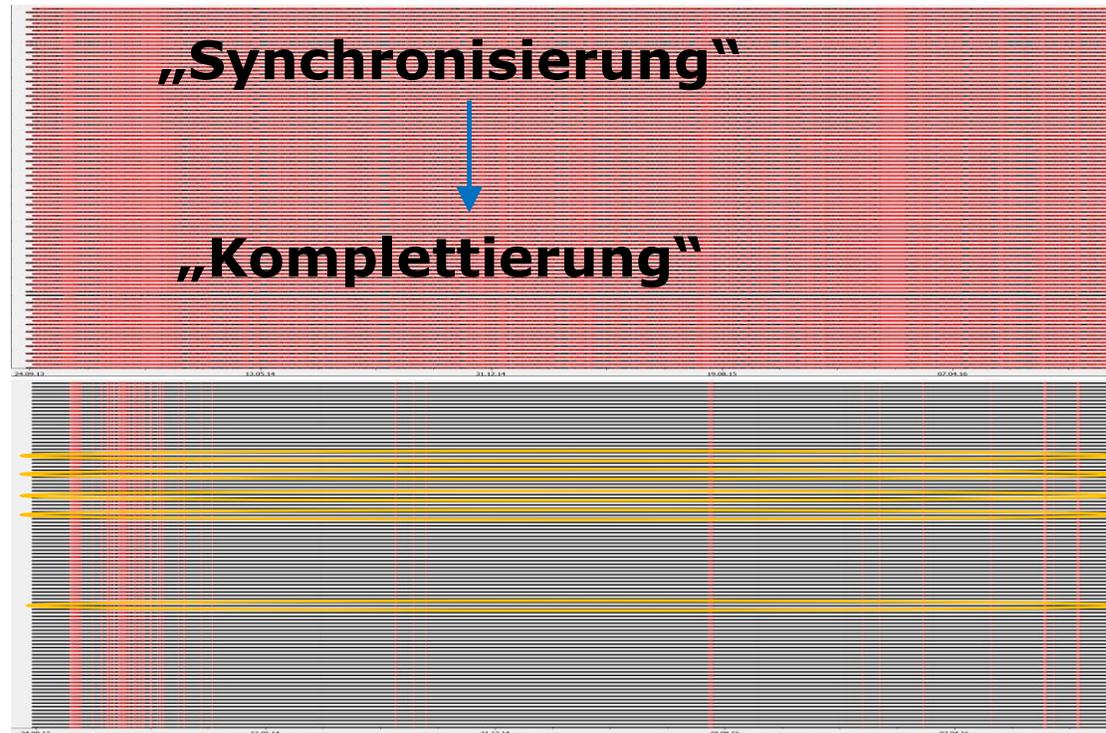
Wissen:

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

Synchronisation der Messreihen

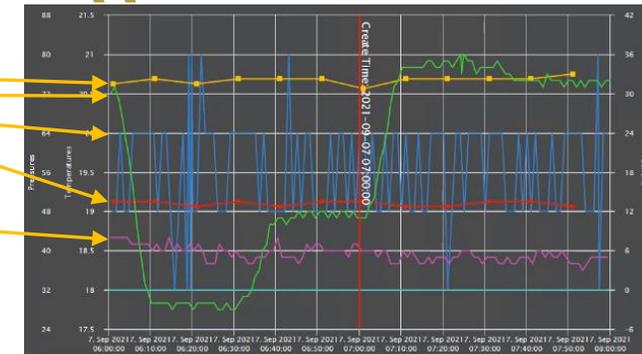
Ohne die Verletzungen von Kausalitäten

- Daten liegen oft nur ungeordnet und oft sehr lückenhaft vor.
- Insbesondere die Synchronisation von verschiedenen Datenquellen ist ein oft unterschätztes Problem



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 mathematischer Verfahren entscheidend.



Jede horizontale Linie bedeutet jeweils einen Datentrendverlauf eines überwachten Kennwertes

Informationsgewinnung: KI

Informationsdichte und Informationsfilterung

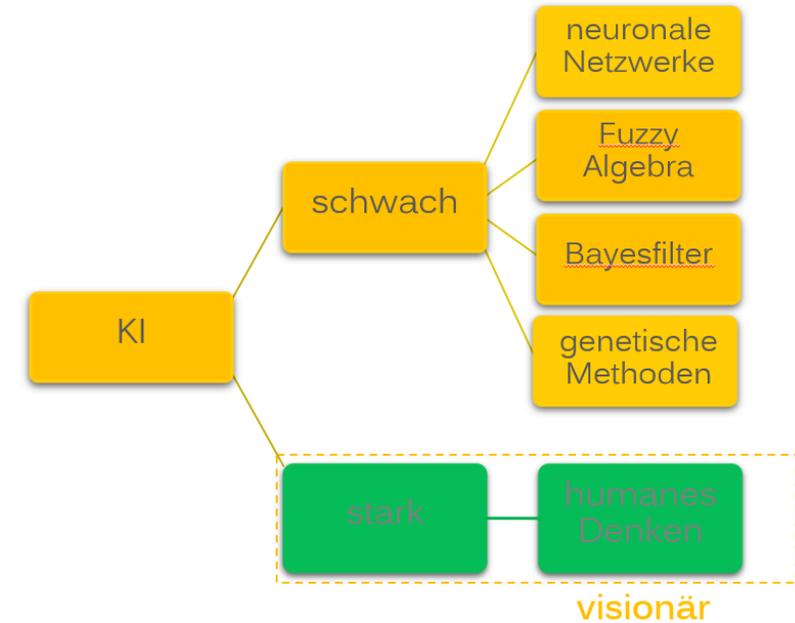
KI-Applikationen:

- Machine Learning
- Mustererkennung
- Digitaler Zwilling
- Expertensysteme
- Logische Modellierung
- Optimale Suchalgorithmen
- Approximationsmethoden



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

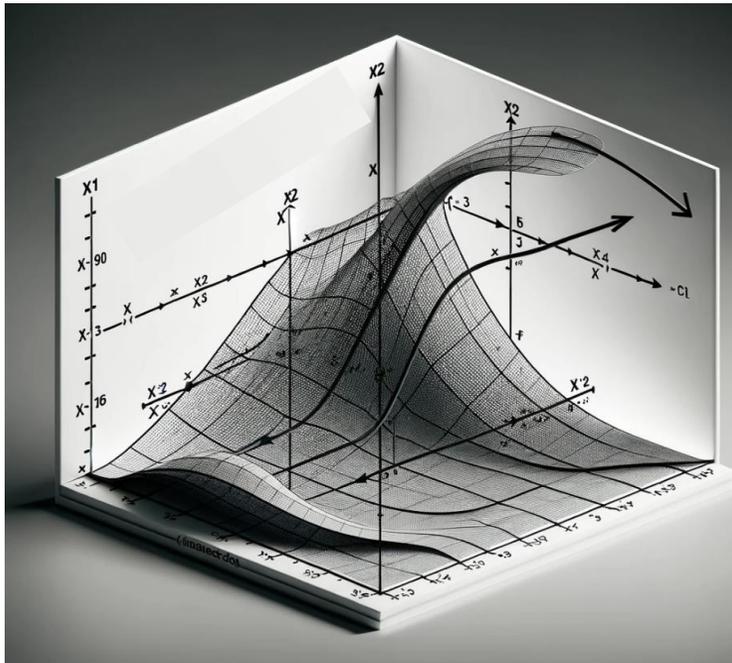
.... aber der bekannte Zusammenhang zwischen
Information und Entropie wird auch hier wieder deutlich ...



**Die Verdichtung der Daten
zu relevanten Informationen
erfordert einen hohen
mathematischen Aufwand.**

Skizzierung des Lösungsansatzes

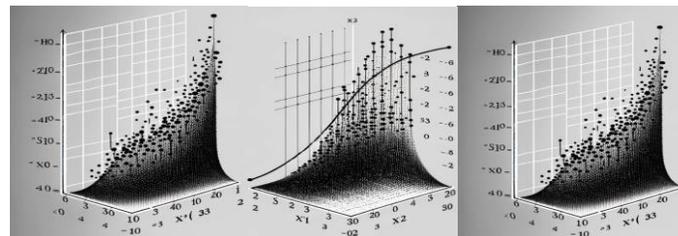
Datenanalyse: Konstruktion von Erhaltungsgrößen



Funktionen im n-dimensionalen Phasenraum

Auch die Information über Alterung und verschleiß steckt in SCADA-Daten

- Verwendung von Methoden der künstlichen Intelligenz: Bekannte Muster/die Struktur, wonach genetische Algorithmen suchen.
- Konstruktion von selbstkonsistenten Vorintegralen



Zu jedem beliebigen Zeitpunkt t gilt:

$$f((x_1(t), x_2(t), x_3(t), \dots, x_n(t))) = C$$

Lösung des inversen mechanischen Problems zur Formulierung von Erhaltungssätzen:

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

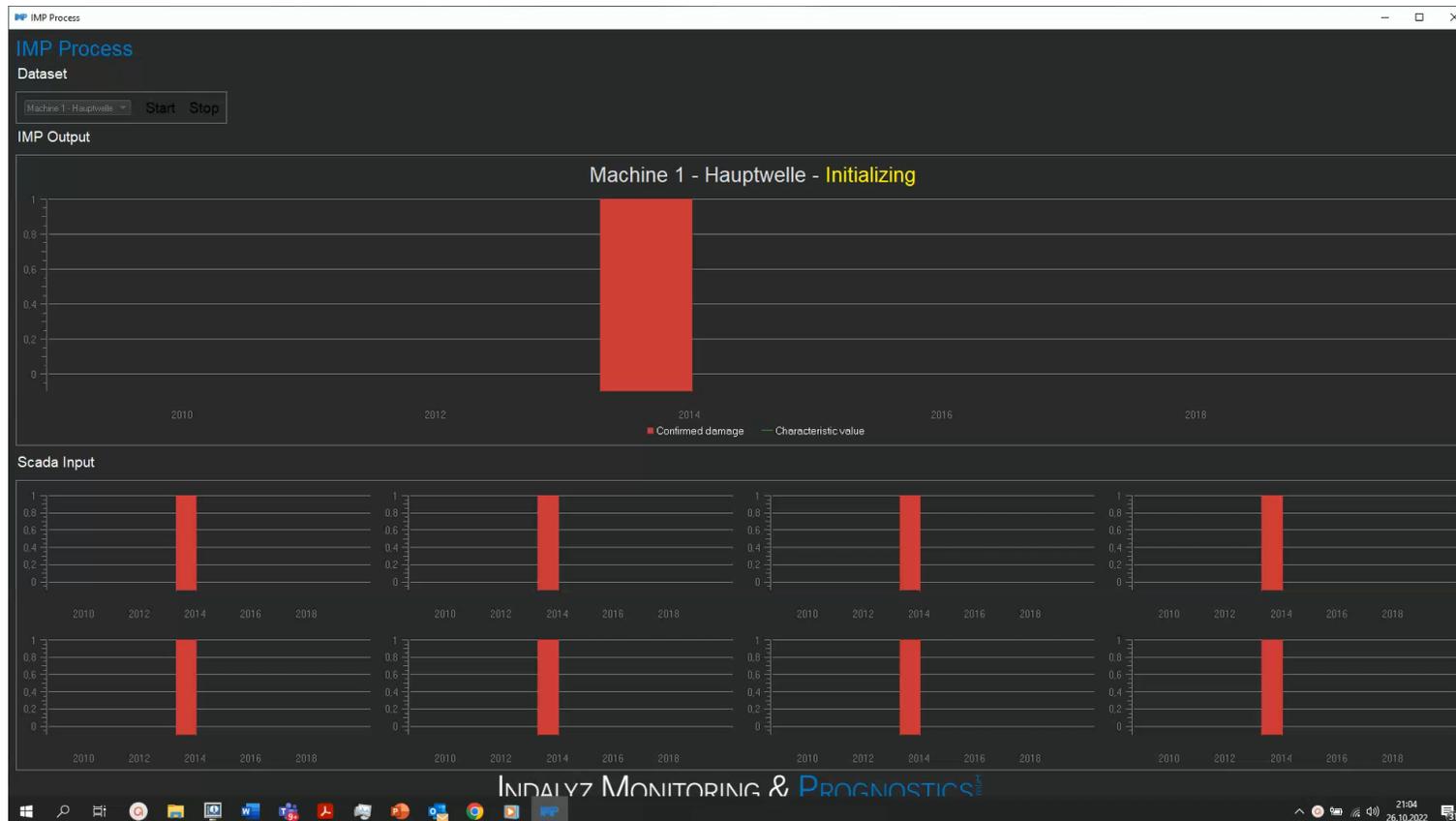
(die mathematischen Beziehungen werden methodisch aus den bereits vorhandenen Messwerten abgeleitet)



Fehlererkennung mit SCADA-Daten

Beispiel: Aus 180 Prozessgrößen werden acht relevante Größen ermittelt

Demo zur Anomalieerkennung basierend auf SCADA-Daten



Beispiel Windpark und 10 Jahre SCADA-Daten... aus 180 Prozesswerten wurden zunächst die acht relevanten Prozesswerte ermittelt.



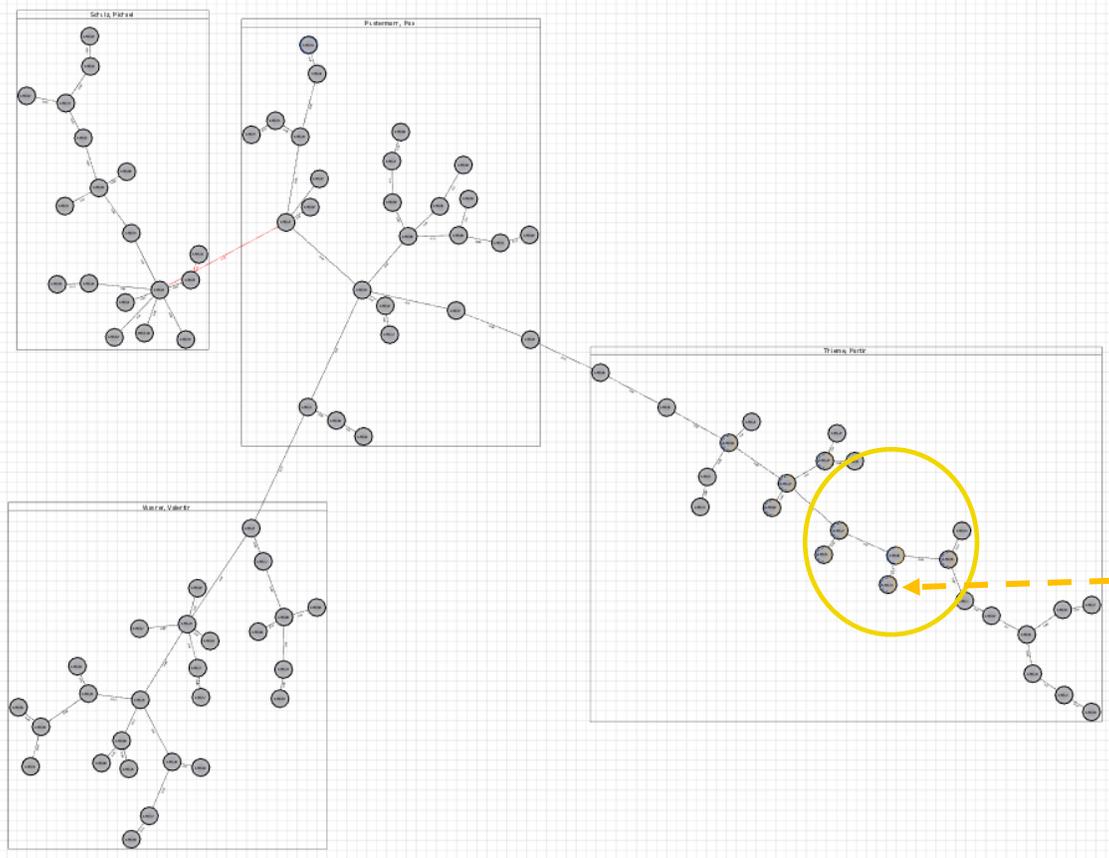
1a. Scada-Daten

Betriebsführung: **Für eine WEA-Flotte**

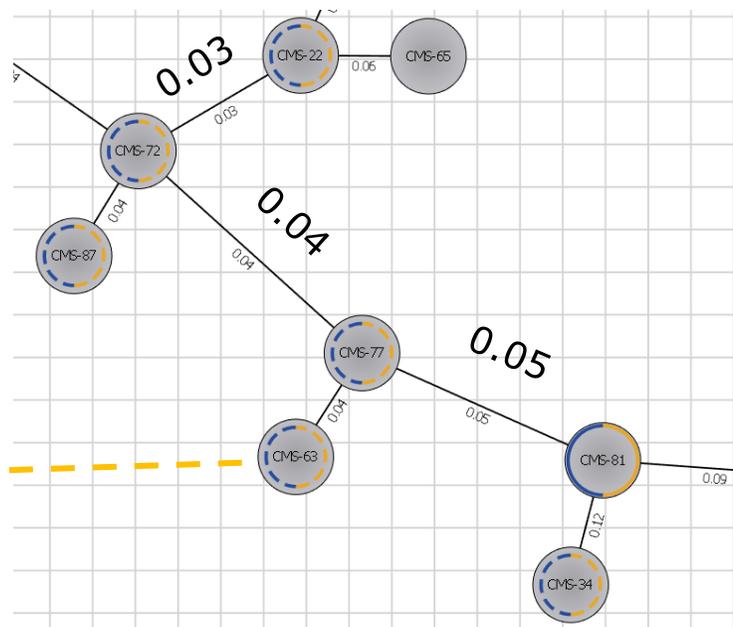


Verknüpfung mit Domänenwissen

SW-Tools zur Priorisierung von Diagnose- und Servicearbeiten



Minimum spanning tree (MST): „Kruskal's algorithm“



Verknüpfung mit Domänenwissen

DEMO: Anomalieerkennung



DEMO:
Anomalieerkennung

Heute sind Algorithmen wie auch die Hardware Technologie!

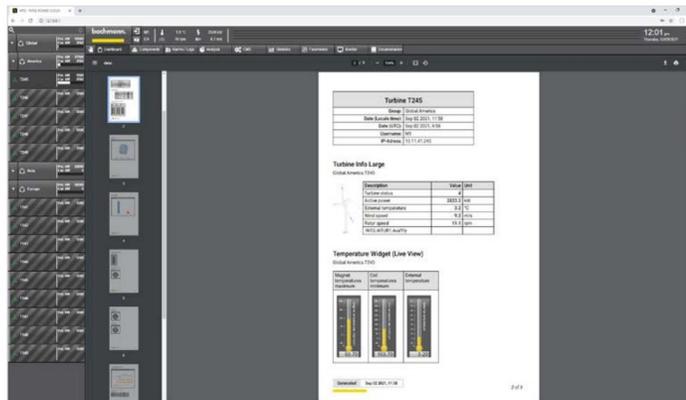


Wind Power SCADA (WPS)

Spezifisches SCADA-System für die Windbranche



✓ Dashboards und Widgets



✓ Frei konfigurierbares Reporting



✓ Skalierbarkeit, offenes System



✓ Demo: Wind Power SCADA (WPS)

Features:

- ✓ Skalierbarkeit, offenes System
- ✓ Live-Prozessdaten auf allen Visualisierungsebenen
- ✓ Visualisierung auf allen mobilen Bediengeräten
- ✓ Standard-Protokolle (OPC UA, IEC 61400-25)
- ✓ Dashboards und Widgets
- ✓ Verfügbarkeitsberechnung (nach IEC 61400-26-1/-3)
- ✓ CMS ISO10816-21 Integration, CMS-Ticketsystem
- ✓ Frei konfigurierbares Reporting
- ✓ ...



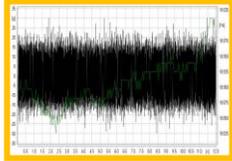
2. CMS-Daten

In der Betriebsführung

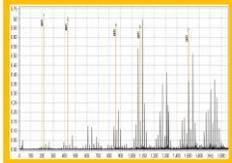


Klassische Schwingungsanalyse

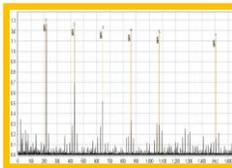
Fehlerfrüherkennung durch Zuordnung eines eindeutigen Kennwerts und Trendbeobachtung



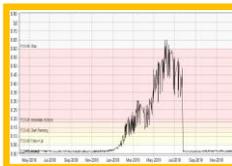
Sensorsignal



Amplitudenspektrum



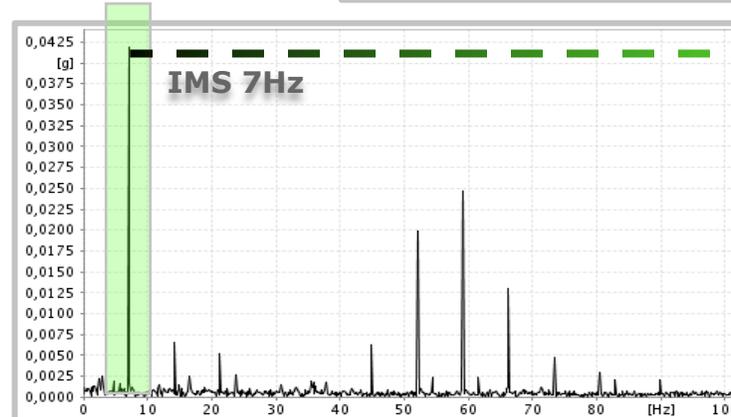
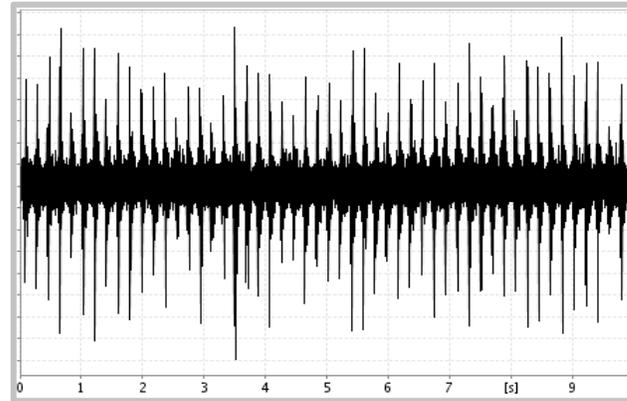
Hüllkurvenspektrum



Trendverlauf

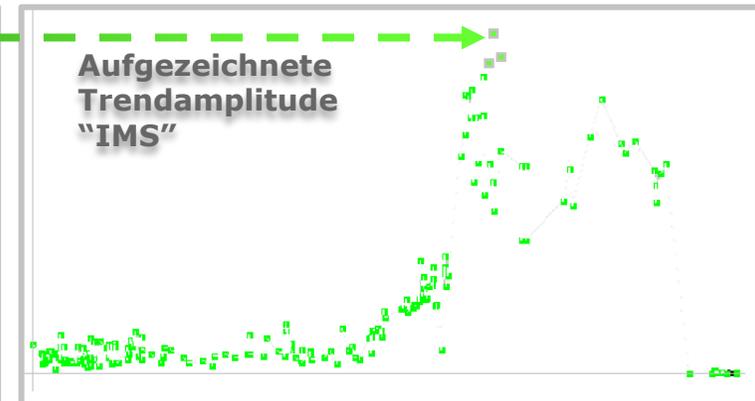


Schaden auf der Lauffläche



Amplitudenspektrum

IMS 7Hz

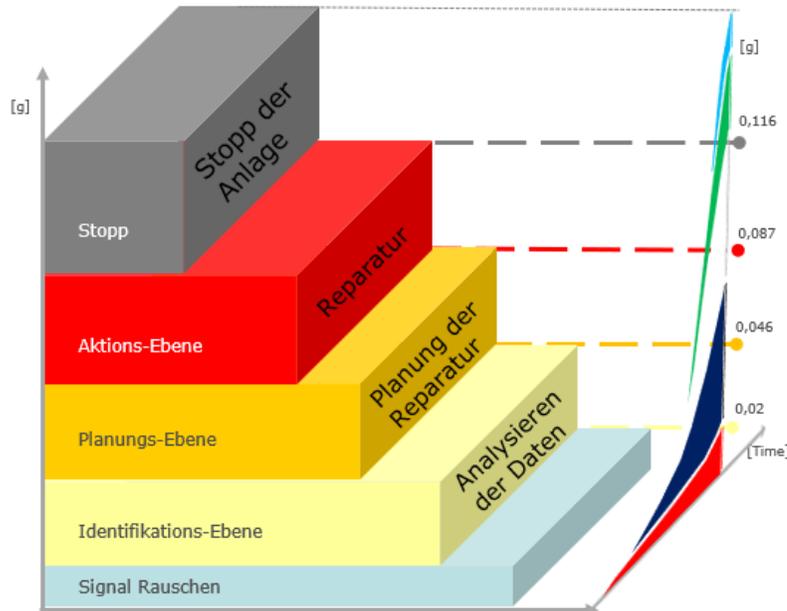


Trendverlauf des Amplitudenwertes

Aufgezeichnete Trendamplitude "IMS"

Failure Mode Symptom Analysis (FMSEA)

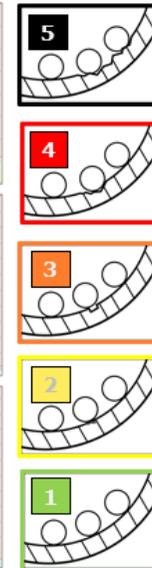
Klassifizierung von Schäden: Zuordnung eines eindeutigen Kennwertlabels



Kennwertzuordnung zum Schweregrad eines Schadens



Trendverlauf eines Hauptlagerschadens

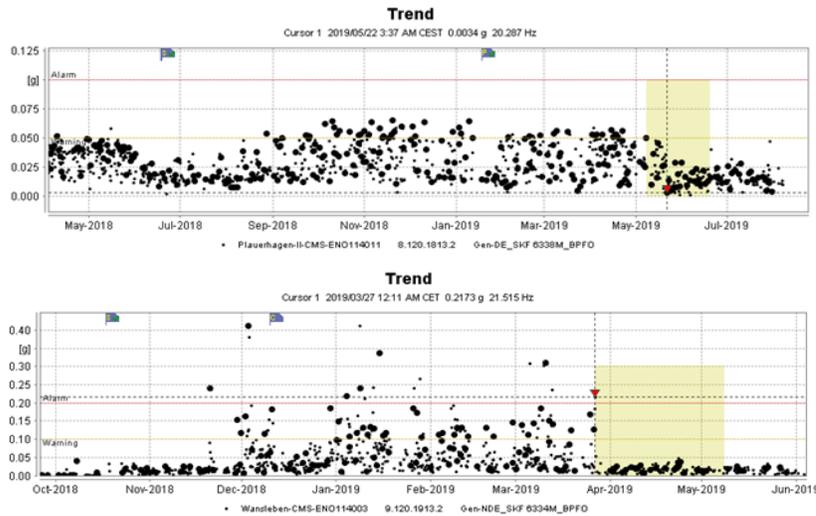


Folgeschaden durch blockiertes Hauptlager



Kontinuierliche Verbesserungen

Implementation of misalignment KPI/CV

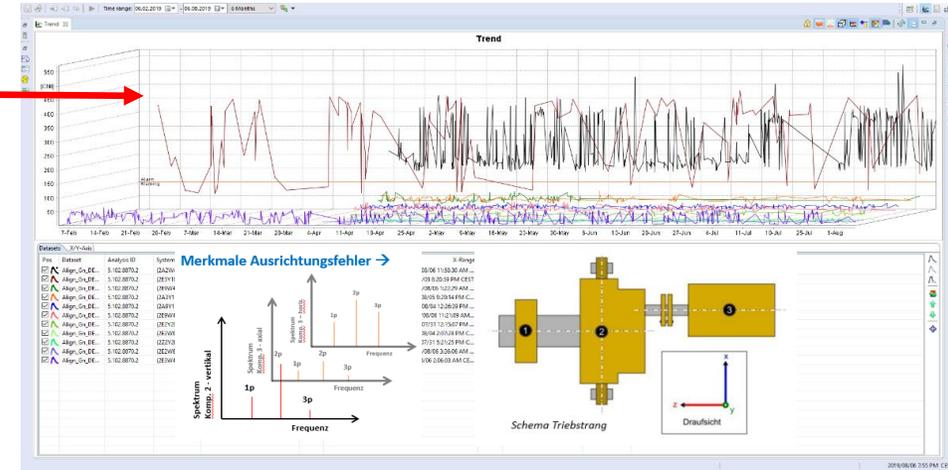


Beispiel:

Fehlerhafte Generatorausrichtung aufgrund eines Mangels an den Getriebedrehmomentstützen (hydraulisch, oben)

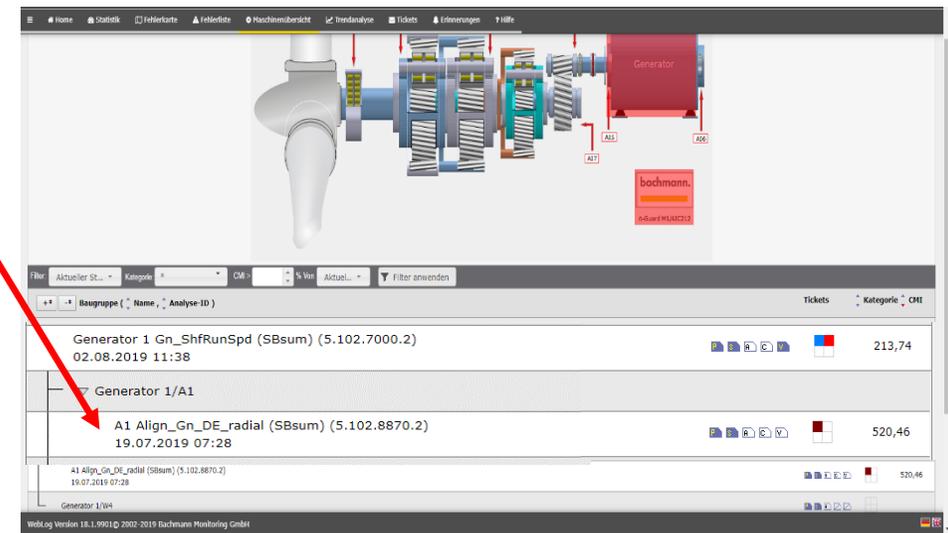
WebLog Expert:

- Ergebnisse: Flottenweiter KPI-Vergleich zur Bestimmung der WEAs mit Fehlausrichtung
- Clientbasierte Software „WebLogExpert“



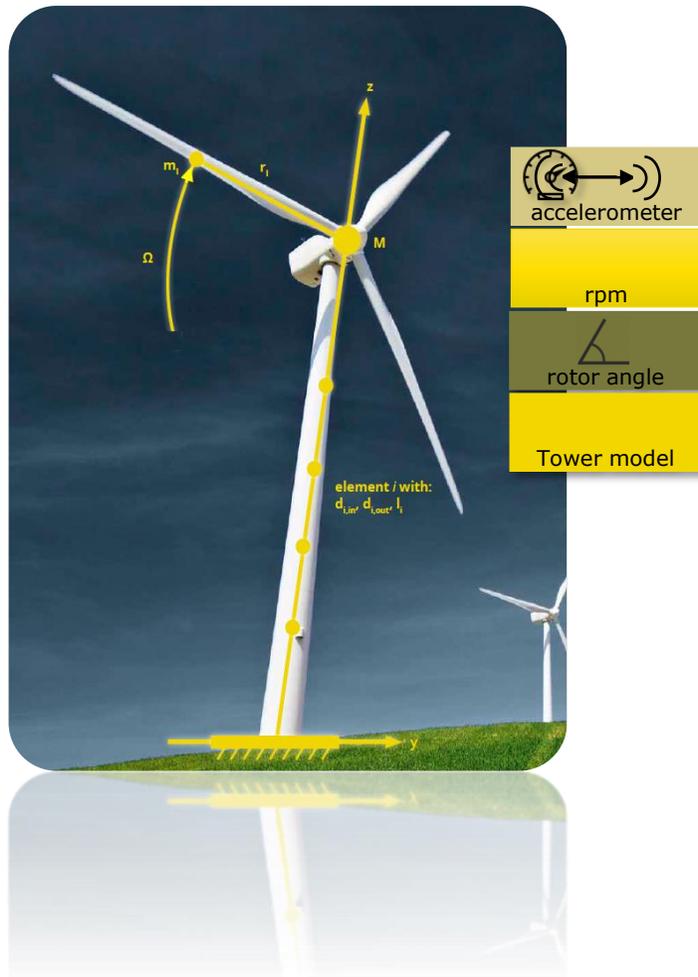
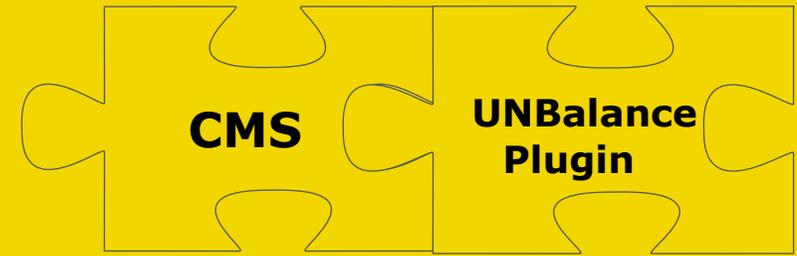
WebLog Portal

- Visualisierung des KPI im „WebLog“
- Webportal „WebLog“, das üblicherweise von Servicetechnikern genutzt wird

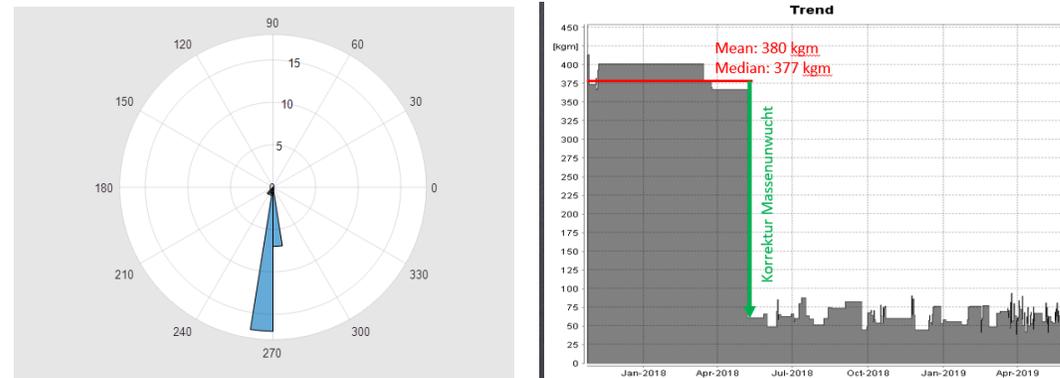


Unwucht Plugin

Sensor & CMSUNB



- UNBalance calculator Plugin
- ✓ Kontinuierliche Aufzeichnung während des Turbinenbetriebs
- ✓ Bestimmung aerodynamischer Schwingungskomponenten
- ✓ Rekonstruktion der Größe und Lage des Massenungleichgewichts
- ✓ Datenerfassung und Visualisierung in WebLog Expert



- Vergleich der Ergebnisse mit Prüfgewichten
- ✓ Unbalance calculator: mass imbalance 380 kgm / Phase 275°
- ✓ Test weights: mass imbalance 375 kgm / Phase 272°

3. SHM-Daten

In der Betriebsführung



Versagen von Bauwerksstrukturen

Höhere Risiken durch größere Anlagenhöhen und Rotordurchmesser



Quelle: www.energie-und-management.de



Bild: dpa/P. Pleul

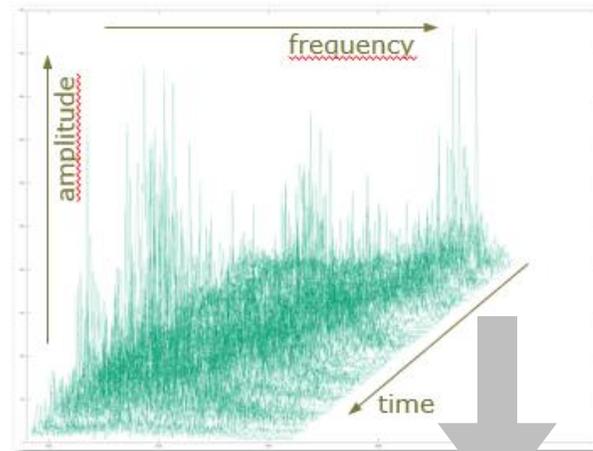
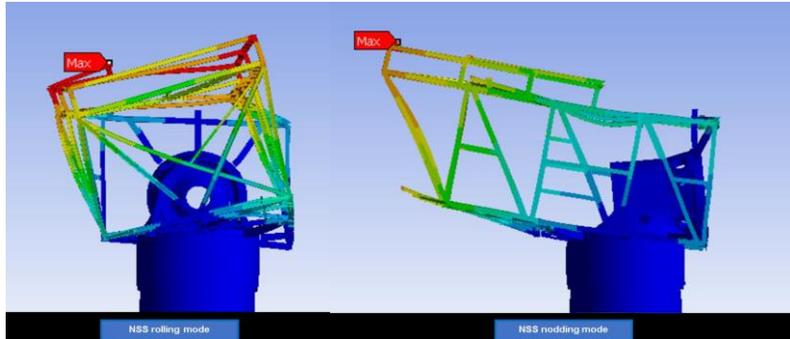


Quelle:
www.nord24.de/landkreis-cuxhaven

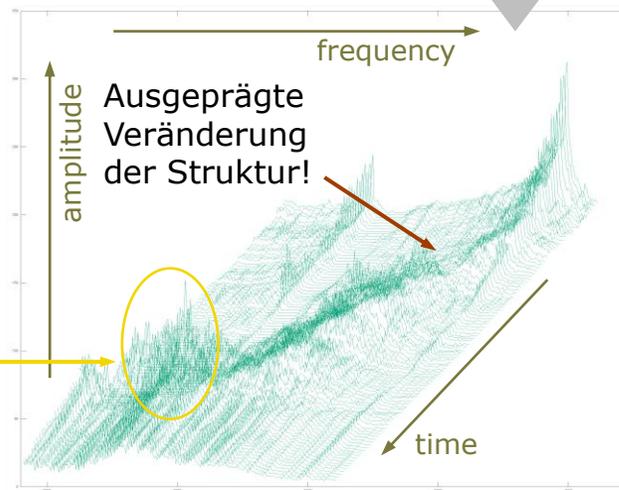


Schadensvermeidung durch SHM

Beispiel: Strukturversagen



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

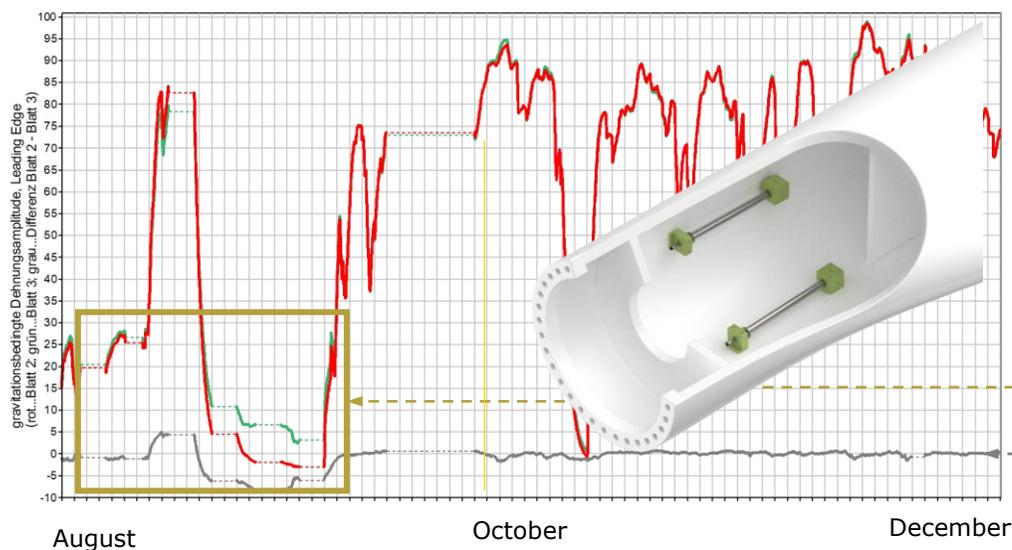
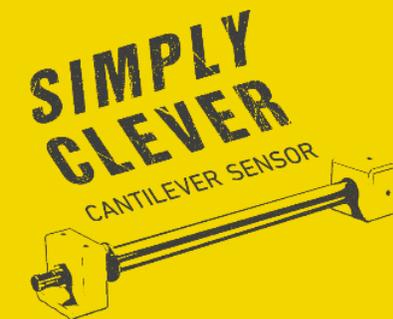


WTG	Begin	Damage Indicator	End
WTG 17	12/15		04/19
WTG 03	01/16		05/20
WTG 34	12/15		07/19
WTG 01	12/15		06/19
WTG 75	02/16		05/20
WTG 49	12/15		05/20
WTG 42	03/16		05/20
WTG 12	10/15		05/20
WTG ..	01/20		05/20
WTG ..	12/15		07/19



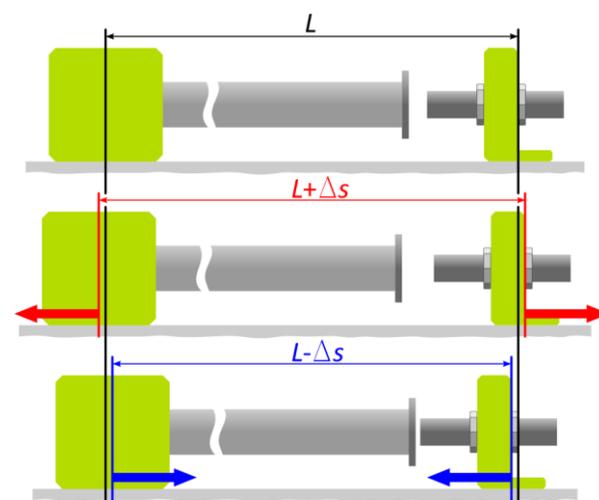
Cantilever Sensor

Strukturüberwachung für Rotorblatt und Turm.



Vergleich geschädigtes
 ● Blatt 2 mit
 ● Blatt 3

Zeitraum verschiedener Reparaturkampagnen
 gebildete Differenz der Blattamplituden



$$\epsilon = \frac{\Delta s}{L}$$

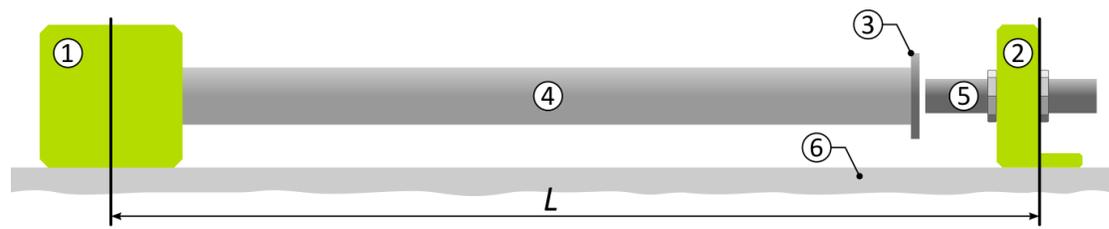
$$\Delta \epsilon_{Res} = \frac{\Delta s_{Res}}{L}$$

$$\epsilon_{min/max} = \pm \frac{1}{2} \frac{s_{max}}{L}$$

Gesamtlänge: 37,5 cm

Beispiel: Zyklische Reparatur Delamination der Vorderkante

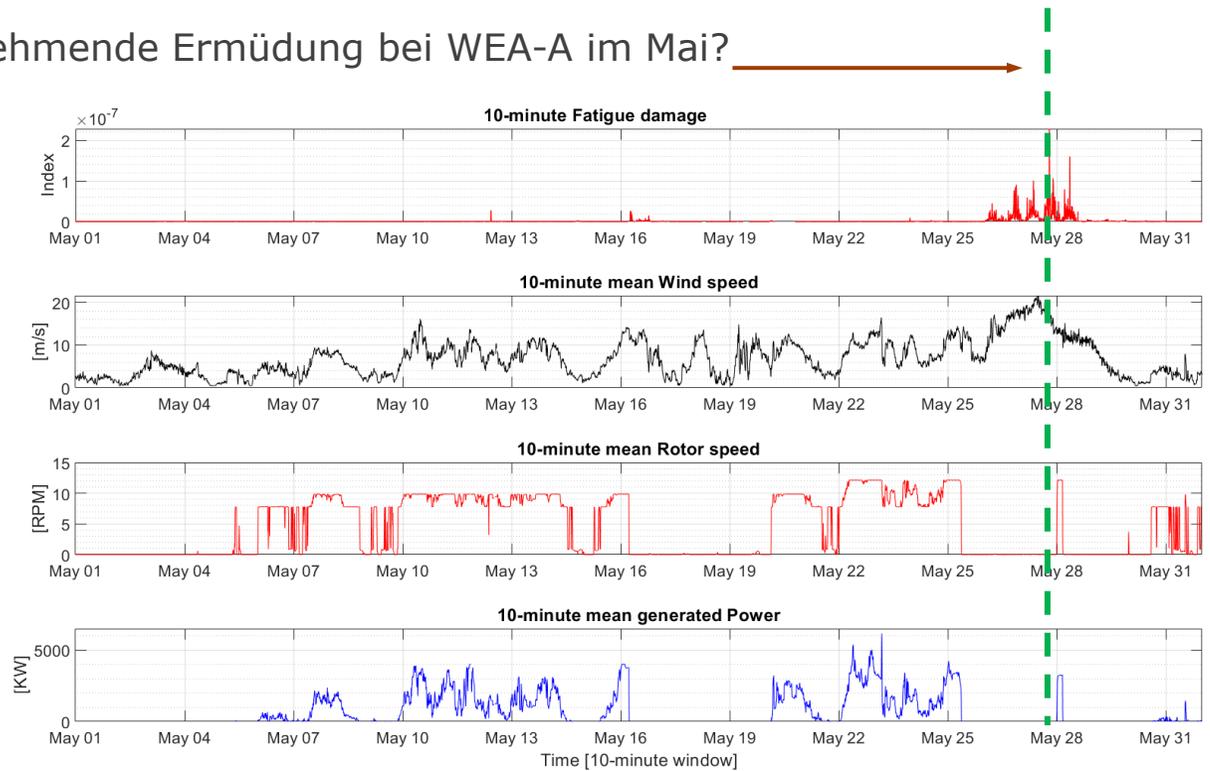
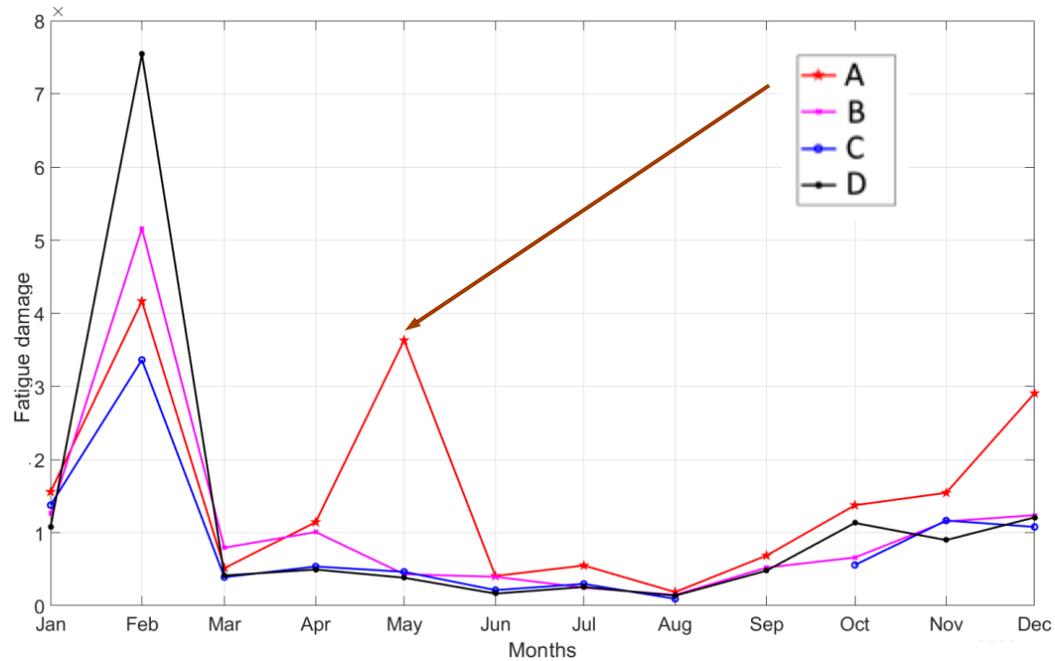
- 1 - Cantilever-Halter
- 2 - Sensorhalter
- 3 - Target
- 4 - Cantilever
- 5 - Abstandssensor
- 6 - Messobjekt



Beispiel: Monitoring der Ermüdung

Vergleich ähnlich positionierter Sensoren an verschiedenen WEA.

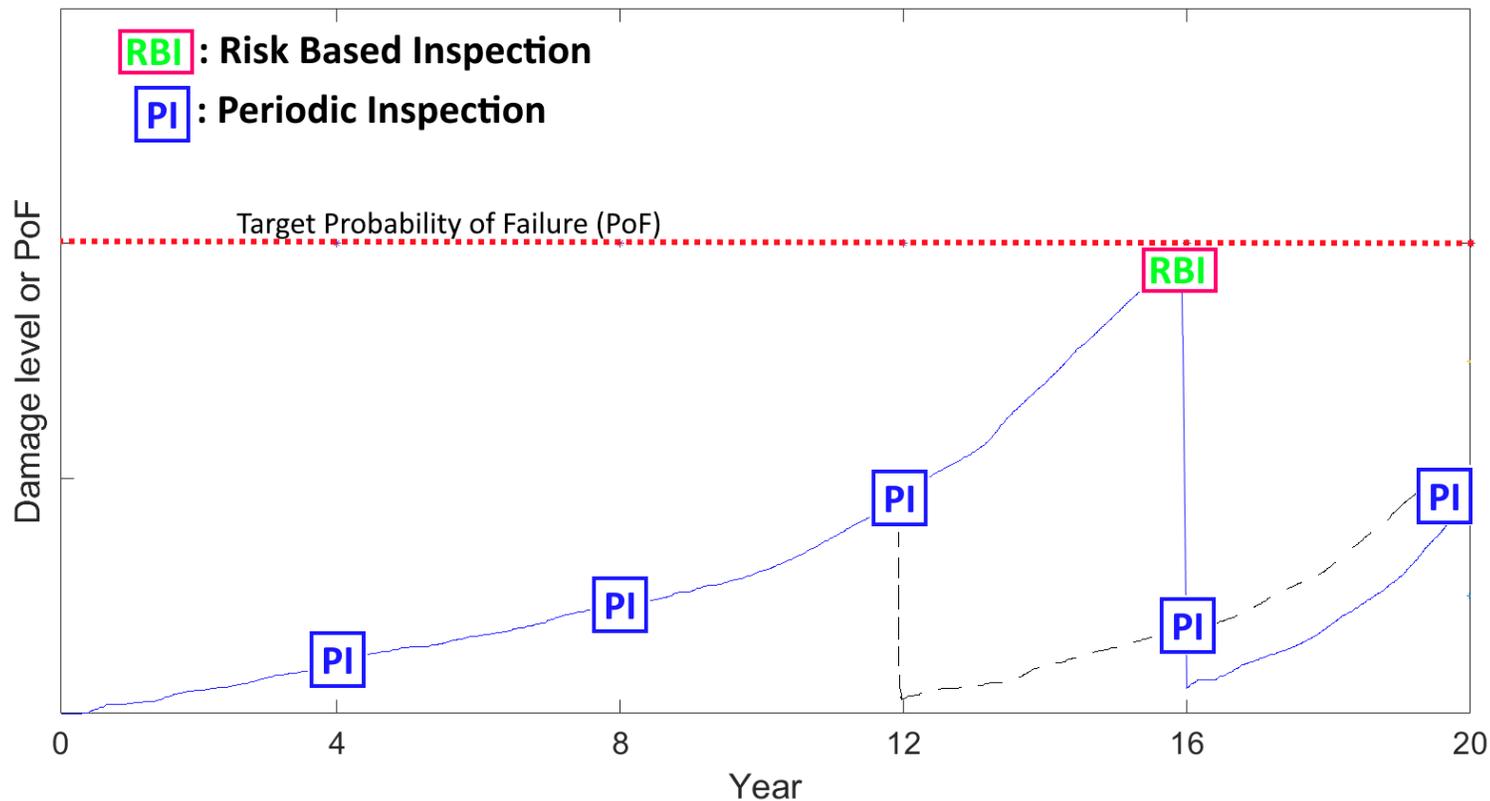
Was verursachte die zunehmende Ermüdung bei WEA-A im Mai? 



SHM für die Planung von Inspektionen

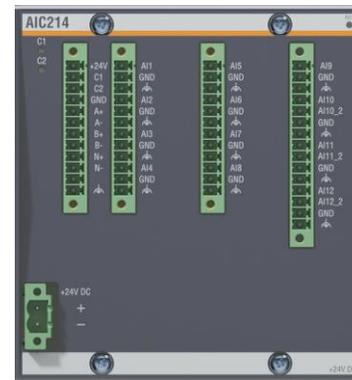
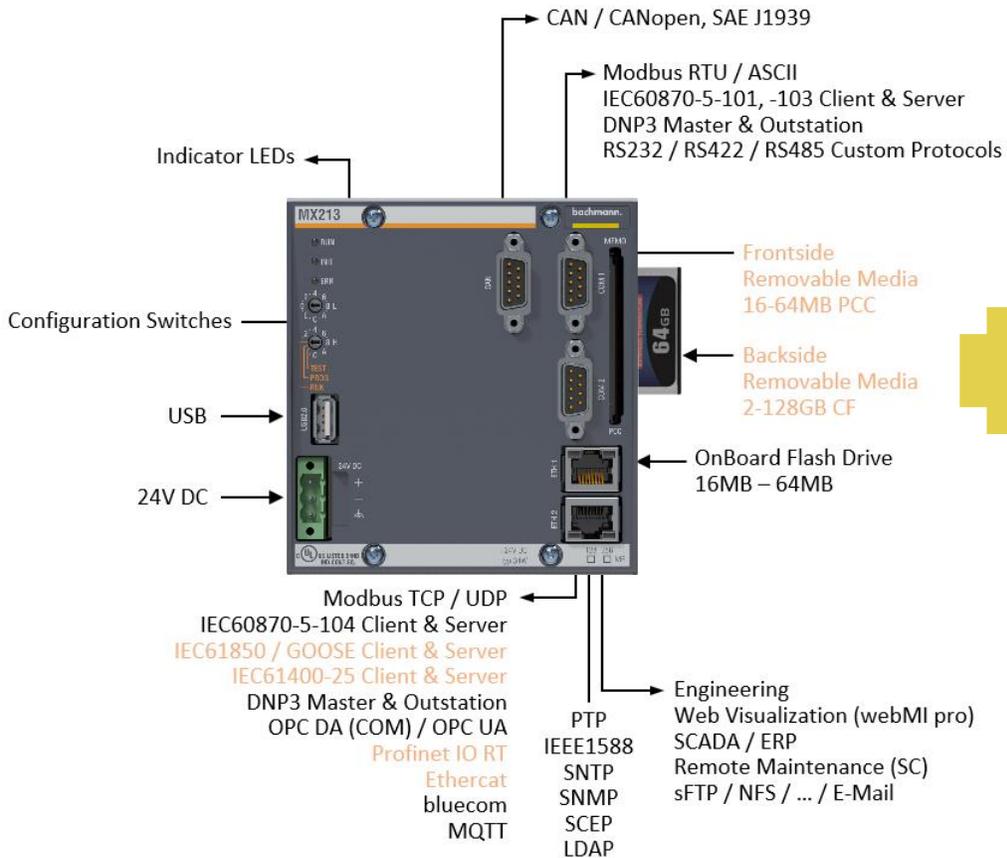
As support for Risk /Condition-based inspection planning decisions.

Visualisierung von 4-Jahres-Plänen zur regelmäßigen Inspektion und Wartung („PI“) im Vergleich zu risikobasierten (zustandsbasierten) Inspektions- und Wartungsplänen („RBI“)

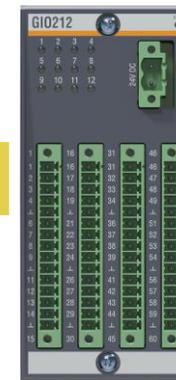


Datenerfassung - Hardware

CM-System und Sensoren



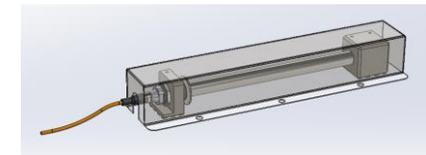
Messmodul: AIC214



I/O Modul: GIO212



3M MEMS (**M**icro **E**lectro **M**echanical **S**ensors)



CL-Sensor für Rotorblatt und Turm



My-bridge



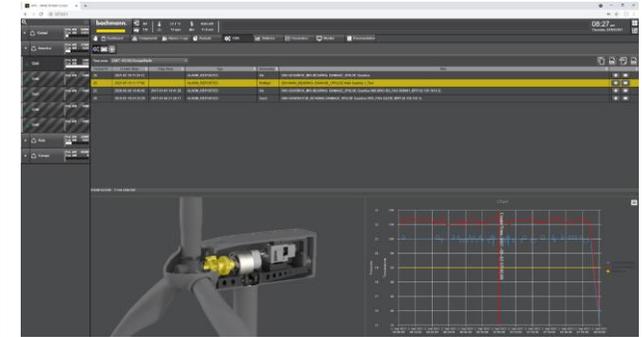
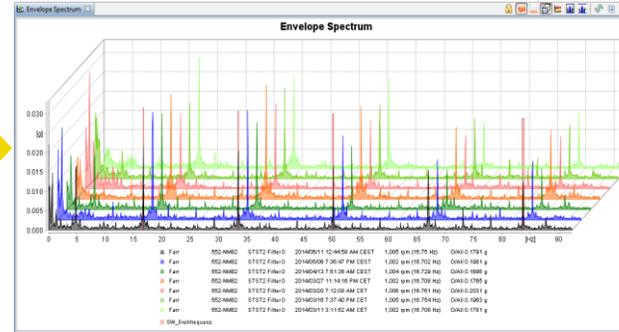
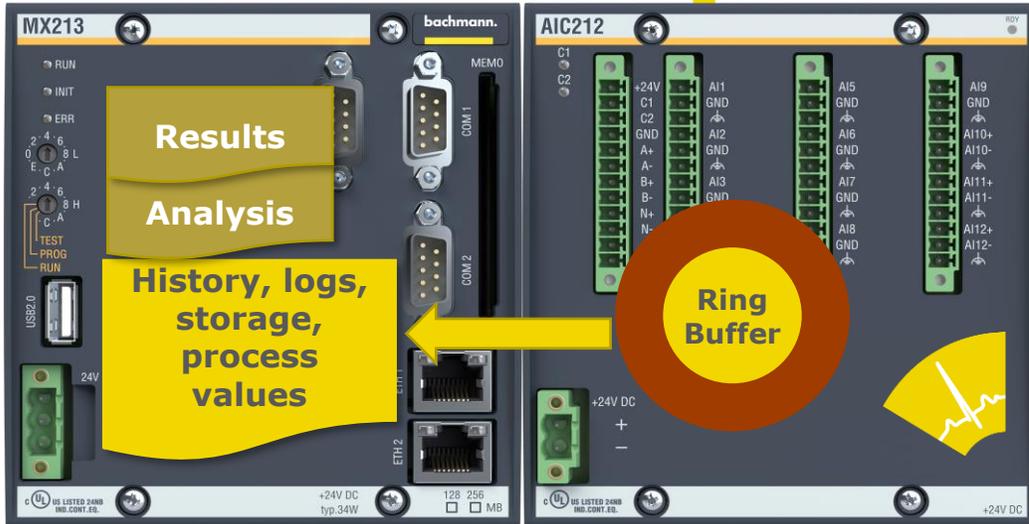
Beschleunigungssensoren:
100 mV/g und 500 mV/g

Lösung

Hardware + Software + Service

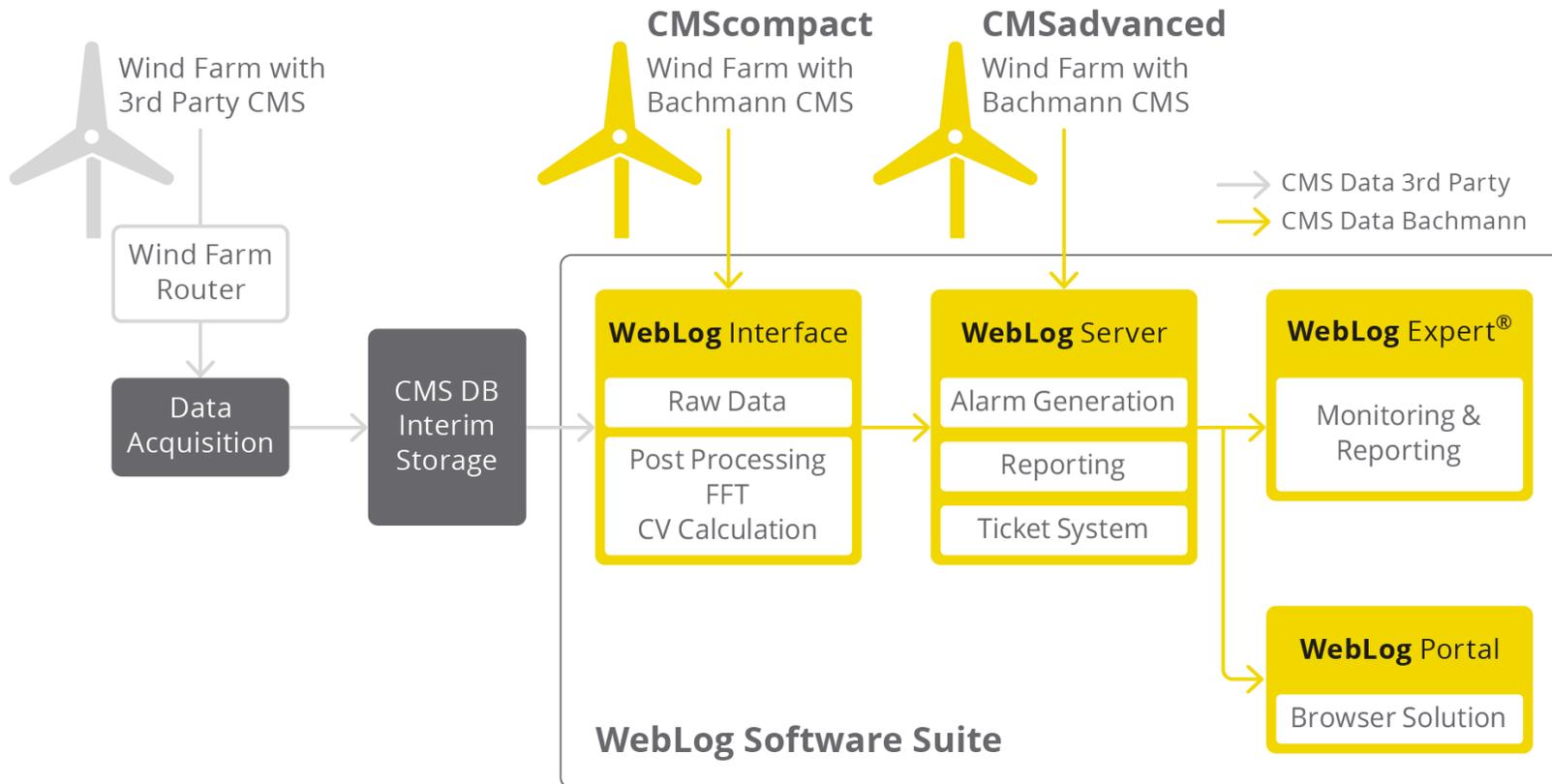


Condition Monitoring System



Aggregation und Analyse von Daten

WebLog Suite: Komplettlösung für die Zustandsüberwachung



Fazit

Nutzung von verschiedenen Datenquellen zur Betriebsoptimierung

Daten zur Optimierung von Instandhaltung, Wartung und Betrieb

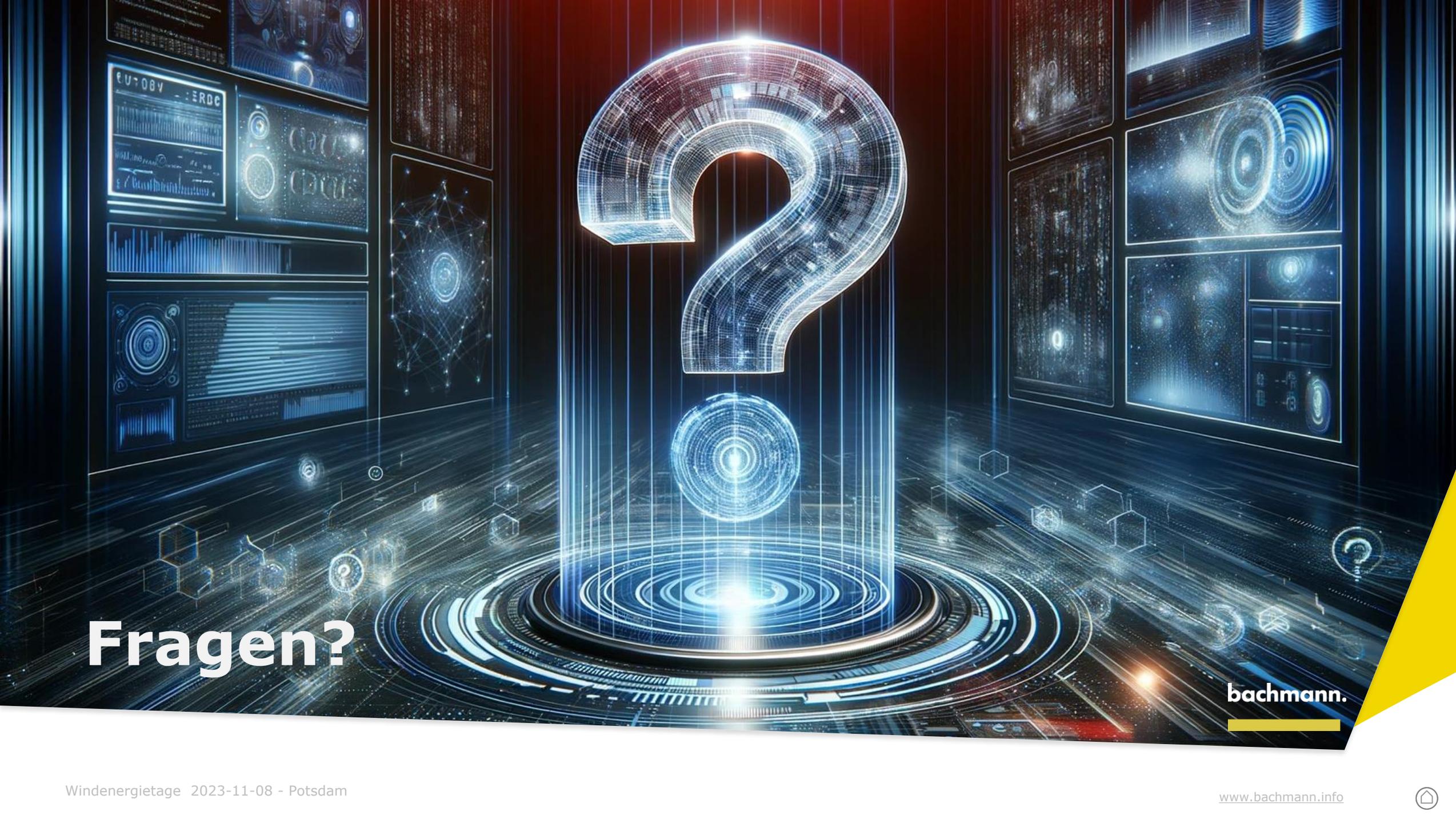
- ✓ SCADA-Daten eignen sich gut zur Anomalieerkennung von zumeist häufig auftretenden Fehlern
- ✓ SCADA-Daten zum Vergleich in der Flotte
- ✓ Einsatz von KI, z.B. Anomalieerkennung und Betriebsoptimierung
- ✓ SCADA-Systeme zur Visualisierung verschiedener Datenquellen (Dashboards und Widgets)
- ✓ Beispiele für die Nutzung von Condition Monitoring Daten zur Betriebsoptimierung (Unwucht, Ausrichtung...usw.).
- ✓ Strukturmonitoring (SHM z.B. Hybridtürme und Rotorblätter)
 - SHM trägt dazu bei, die berechnete Nutzungsdauer zu erhöhen
 - Spart Geld: Wartung und Inspektion
 - Erhöhte Sicherheit und Optimierung durch überwachten Betrieb



Wir sollten und können unsere Windenergieanlagen 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?

bachmann.

