



Transformation der Instandhaltung

Effizienz, Innovation und Nachhaltigkeit
Prof. Karla Ohler-Martins
Dr. Cássia Castro Müller

46. VDI-Forum 09. und 10. Juni 2026, Crowne Plaza Frankfurt
Congress Hotel

Agenda

Wie wird es heute
gemacht?

Wo stehen wir heute?

2

Warum fürs Klima?
Nachhaltigkeit und
Instandhaltung

4

5

1

Instandhaltung im
Wandel

Was wird
angestrebt?

Praxisbeispiele
& Ausblick

Vom reaktiven Kostenfaktor
zum strategischen Hebel

Wo wollen wir hin?

Was brauchen wir
für die Zukunft?

Agenda

Wie wird es heute
gemacht?
Wo stehen wir heute?

2

3

Was wird
angestrebt?
Wo wollen wir hin?

Warum fürs Klima?
Nachhaltigkeit und
Instandhaltung

4

5

Praxisbeispiele
& Ausblick
Was brauchen wir
für die Zukunft?

1

Instandhaltung im
Wandel

Vom reaktiven Kostenfaktor
zum strategischen Hebel

Instandhaltung im Wandel

Vom reaktiven Kostenfaktor zum strategischen Hebel^{1,2}

Problemdarstellung: Reaktive Instandhaltung



- Ausfälle kritischer Anlagen
- Hohe Kosten & Produktionsverluste
- Sicherheitsrisiken
- Den 500 größten Unternehmen der Welt entstehen jährlich Kosten von nahezu 1,4 Billionen USD, das entspricht etwa 11 % ihrer Umsätze

Grenzen klassischer Methoden



- Warum klassische Ansätze nicht mehr ausreichen:
- Störanfällige Daten (Rauschen)
 - Dynamische Betriebsbedingungen
 - Hoher manueller Analyseaufwand

Potenzial moderner Technologien



- Was sich verändert:
- KI erkennt Muster frühzeitig
 - Prognosen statt Reaktion
 - Bessere Nutzung von Sensordaten

Business Impact



- Datengetriebene Predictive-Maintenance-Programme können Stillstandszeiten um 10 bis 20 % reduzieren
- Potenzial durch KI-gestützte:
 - 2,1 Mio. h weniger Downtime
 - +388 Mrd. USD (Produktivität)
 - -233 Mrd. USD (Wartungskosten)

Was heute noch bremst



- Fehlende Datenbasis
- Geringe Transparenz („Black Box“)
- Hohe Systemkomplexität

Wirtschaftlicher Nutzen¹



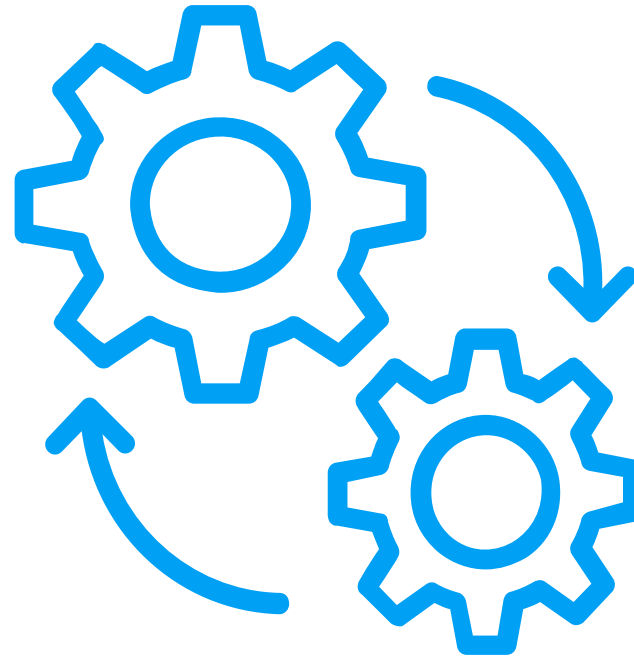
Laut Internationaler Energieagentur (IEA) verursachen ungeplante Stillstände in energieintensiven Industrien jährlich Kosten von rund 50 Milliarden USD

Einzelne Anlagen verlieren dadurch 3-5 % ihrer jährlichen Produktionskapazität

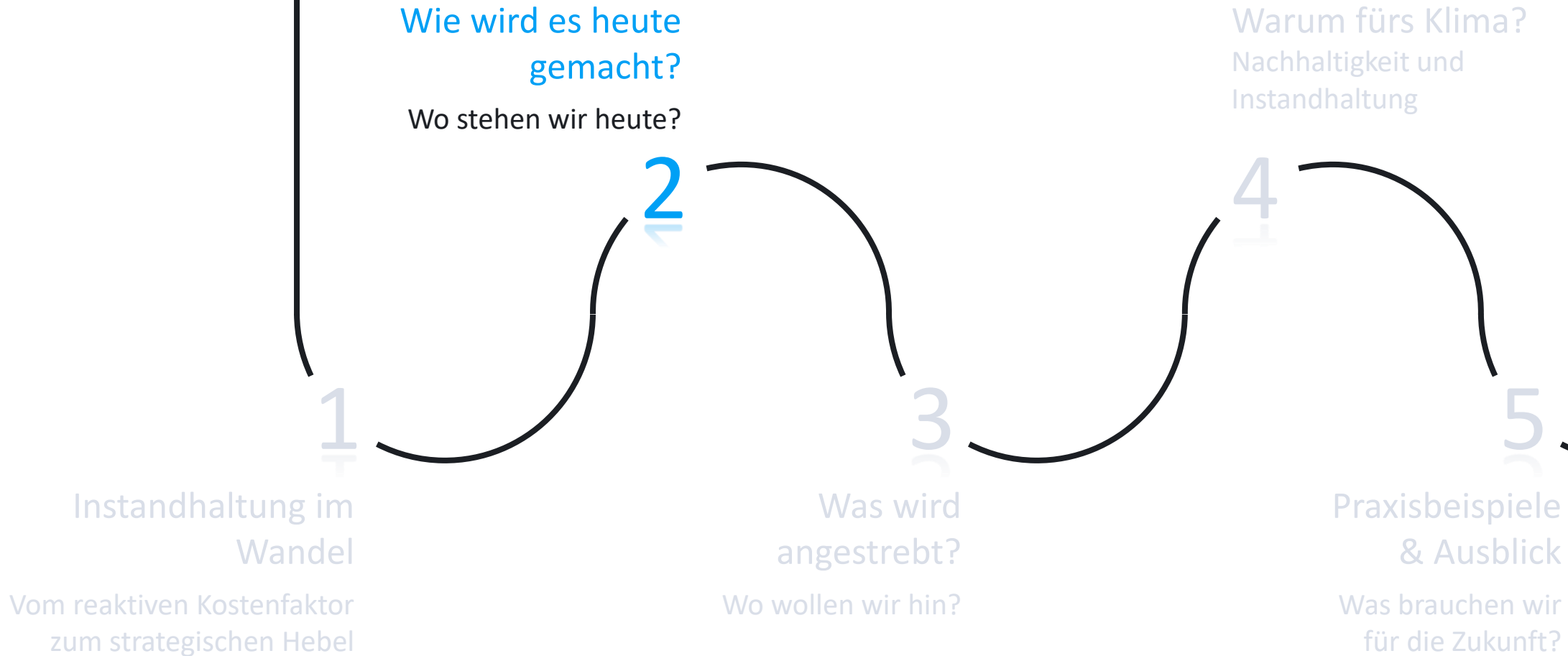
Datengetriebene Predictive-Maintenance-Programme (Kombination aus hochfrequenter Sensorik und Machine-Learning-Analysen) können Stillstandszeiten um 10-20 % reduzieren

Dadurch entstehen globale Einsparungen von 8-15 Milliarden USD pro Jahr

Zusätzlich werden Energieverluste sowie damit verbundene CO₂-Emissionen reduziert



Agenda



Predictive Maintenance verbindet Daten, Analyse und Systemintegration^{1,3}

Strategien

1. CBM (Condition-Based Maintenance) → Wartung basierend auf Zustand (Sensorwerte)
2. PdM (Predictive Maintenance) → Wartung basierend auf Prognose (KI & Daten)

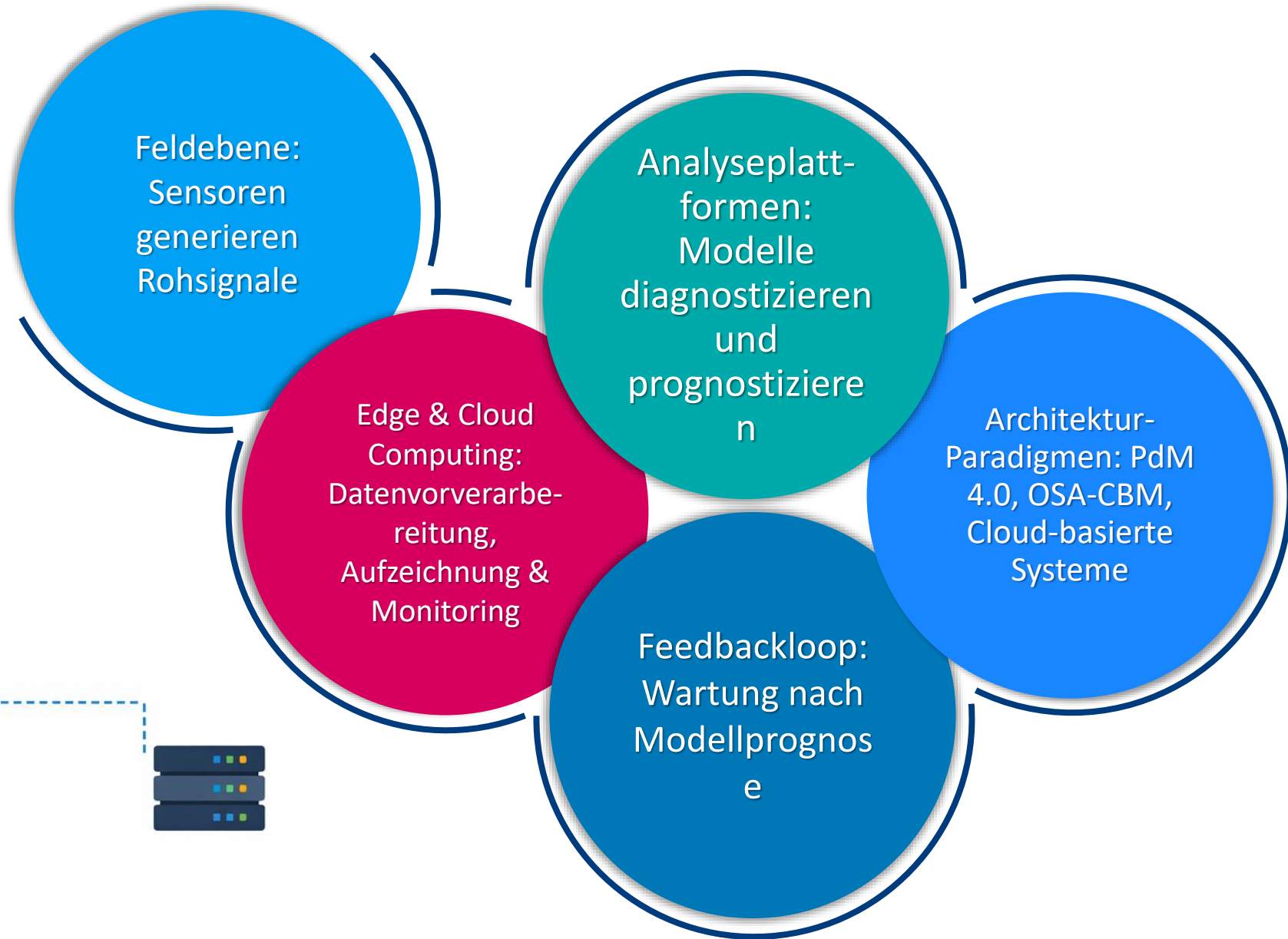
Umsetzung

1. Datenfluss:
 - Sensor → IoT/Edge → Cloud → Analyse
2. Architektur (OSA-CBM):
 - Standard für Datenverarbeitung & Entscheidungslogik
3. Industrie 4.0:
 - Vernetzte, skalierbare Instandhaltungssysteme

Ziele

1. Kostensenkung
2. Weniger Ausfälle, dadurch höhere Lebenserwartung
3. Optimale Planung von Wartungsmaßnahmen

Architekturkomponenten

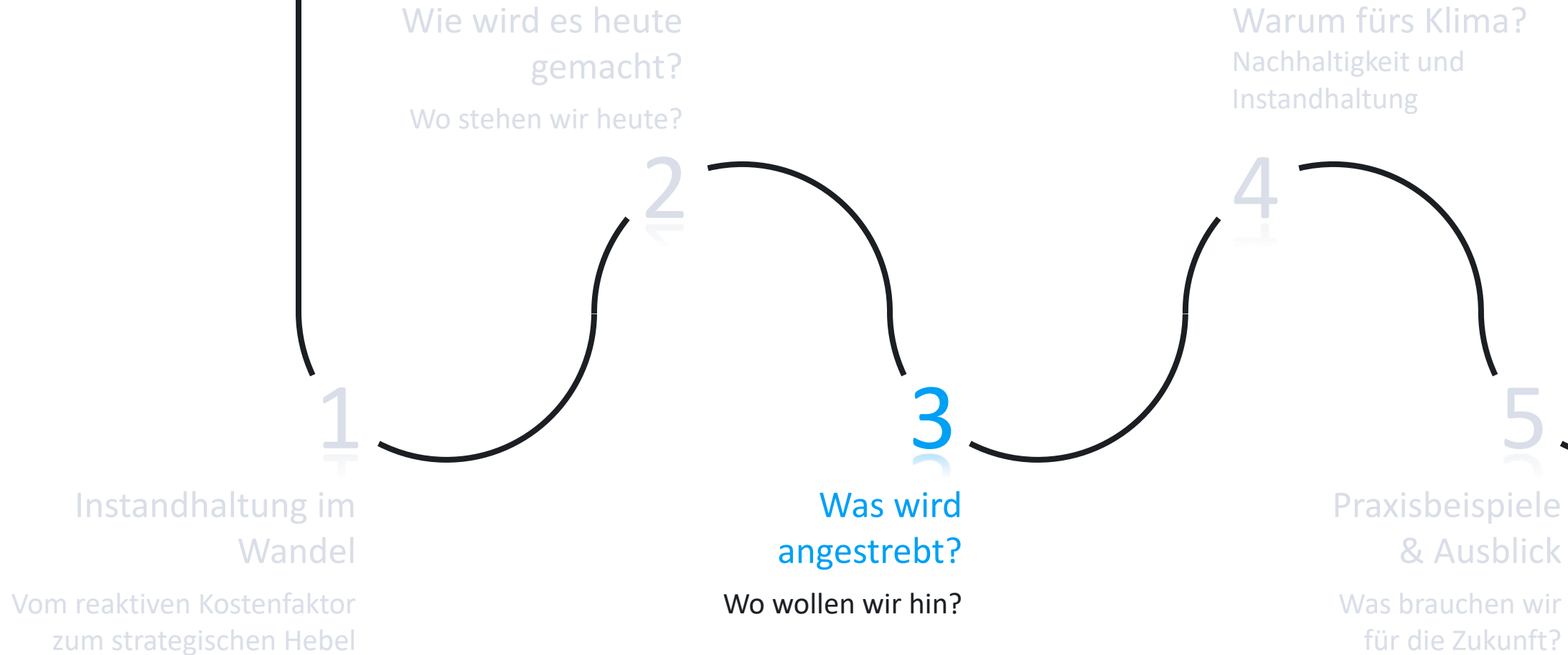


Diagnose- & Prognoseansätze



- 1 Wissensbasierte Modelle:** regelbasiertes Expertenwissen (z. B. Temperatur > X °C → Alarm)
- 2 Traditional ML:** RF, SVM, kNN → gute Interpretierbarkeit, geringe Datenanforderung (z. B. Vorhersage von Maschinenausfällen aus Sensordaten)
- 3 Deep Learning:** CNN, LSTM → ideal für große Datenmengen und komplexe Muster (z. B. CNN-LSTM analysiert Vibrationsdaten)
- 4 Hybride Ansätze:** kombinieren physikalische Modelle + ML/DL (z. B. Digital Twin)
- 5 Transfer Learning & Continual Learning:** Anpassung an Drift oder neue Maschinen (z. B. ein Modell wird auf neue Anlage übertragen)

Agenda



Wandel der Instandhaltung: Vergangenheit & Heute

1. **Reaktiv:** Reparatur nach Ausfall
2. **Zeitbasiert:** feste Wartungsintervalle
3. **Erfahrungsbasiert:** Expertenwissen / einfache Regeln
4. **Limitierungen:**
 - kaum bzw. unvollst. Zustandsinformation
 - ber- oder Unterwartung
 - keine Prognosefähigkeit

Klassische Instandhaltung

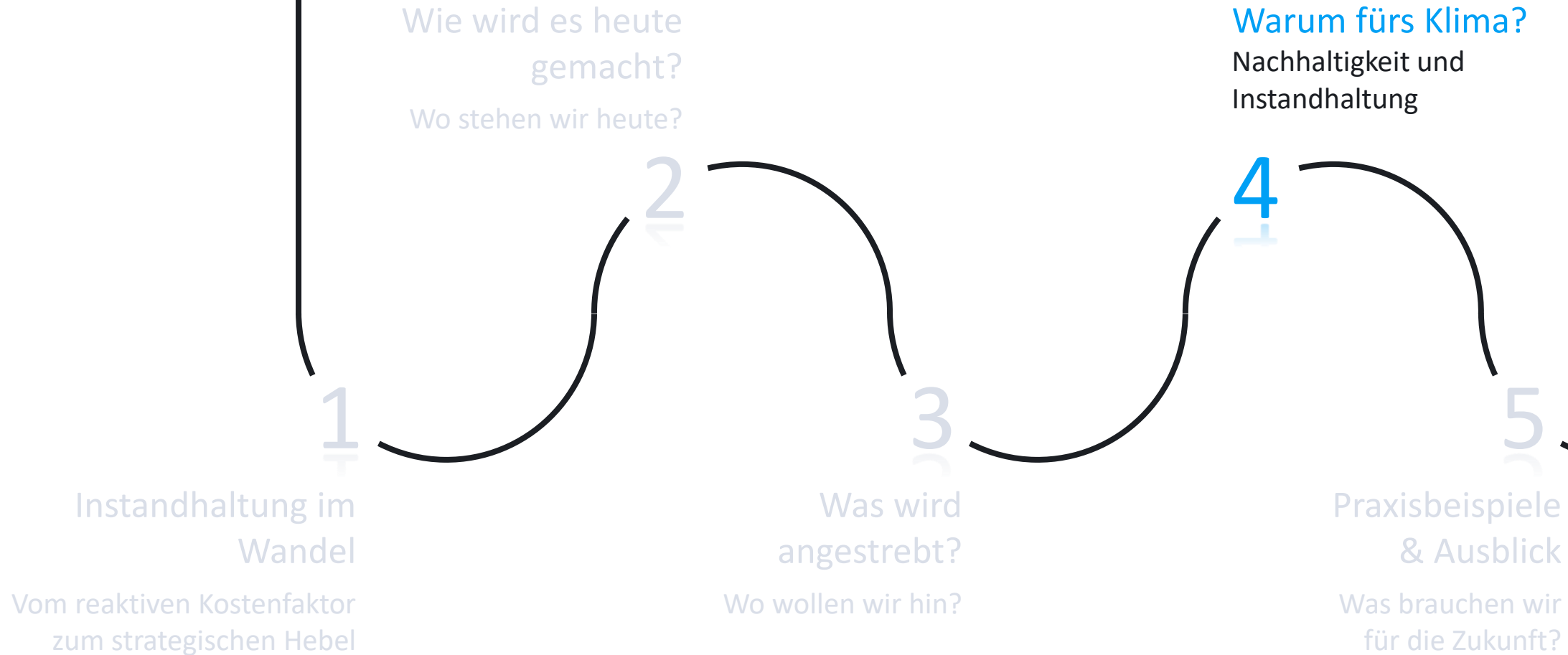
1. Zustandsbasiert & datengetrieben
2. KI-gestützte Analyse
3. Prognose statt Diagnose (vorausschauend)
4. Fokus auf Remaining Useful Life (RUL)
5. Explainability (Normen, Vertrauen Transparenz)

Moderne Instandhaltung

1. Von reaktiv zu prädiktiv
2. Von statisch zu lernend & adaptiv
3. Von isolierten Maschinen zu vernetzten Systemen
4. Von reiner Diagnose zu Entscheidungsunterstützung

Was wird angestrebt?

Agenda



Der Anlagenzustand bestimmt den Energieverbrauch und damit die CO₂ Emissionen^{3,5}

Schlecht gewartete Anlagen verbrauchen deutlich mehr Energie

Undichte Systeme (z. B. Druckluft) verursachen bis zu 30 % Energieverluste

Reibung, Verschleiß und falsche Schmierung erhöhen den Energiebedarf zusätzlich

Jede ineffiziente Maschine führt zur vermeidbaren CO₂-Emissionen



Datengetriebene Instandhaltung reduziert Energie-, Material- und Ressourcenverbrauch^{3,5}

Wartung erfolgt nur bei Bedarf („zustandsbasiert“) statt starr geplant

Vermeidung unnötiger Eingriffe → weniger Material- und Ressourceneinsatz

Nachweisbare Effekte:

- bis zu 55 % geringere Wartungskosten durch optimierte Maßnahmen
- effizientere Nutzung von Anlagen und Energie

Verlängerte Lebensdauer von Komponenten → weniger Ersatzteile, weniger Abfall

Effizienz in der Instandhaltung: weniger Ressourcenverbrauch & geringere Emissionen



Predictive Maintenance verbindet Technik, Business und ESG^{3,5,6}



Intakte Anlagen

1. verbrauchen weniger Energie
2. erzeugen weniger Ausschuss und Abfall
3. halten länger (Lebenszyklus-Effekt)



Predictive Maintenance ermöglicht

1. Früherkennung von Ineffizienzen (z. B. Prognostizierung von Schwingung, Leckagen)
2. Reduzierung von Stillständen um 10-20 %
3. direkte Senkung von Energie- und CO₂-Emissionen

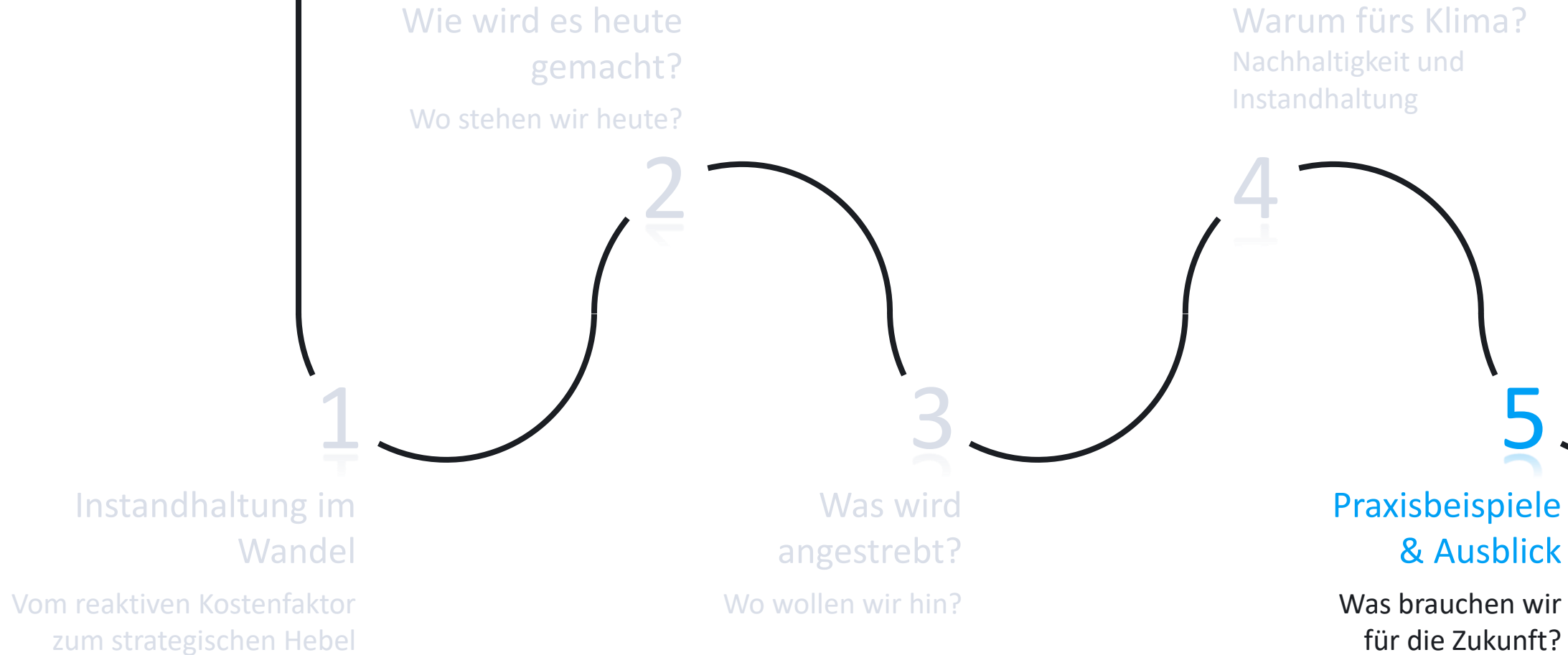


Nachhaltigkeit wird messbar

1. Energieverbrauch
2. CO₂-Emissionen
3. Anlagenzustand

Zuverlässigkeit wird zur messbaren Nachhaltigkeitsgröße

Agenda



Praxisbeispiel #1^{7,8}

Automotive-Werk mit hohem Energieverbrauch



Problembeschreibung:

- hohe Energieverluste
- häufige Ausfälle
- keine Transparenz über Verluste

Einführung zustandsbasierter Instandhaltung



Das änderte sich:

- Nutzung von Sensorik (Druck, Temperatur, Vibration)
- regelmäßige Leckage-Analysen
- Datenbasierte Wartung statt reaktiv

Was hat sich verbessert?



Ergebnisse:

- 20 % weniger Energieverbrauch
- 40% weniger ungeplanten Stillständen
- Längere Lebensdauer der Anlagen

Ein „unsichtbares“ Problem (Leckagen) wird zu einem der größten CO₂-Hebel im Werk

Praxisbeispiel #2⁹

Kraftwerk / Bergbau (Förderbänder, Motoren)



Problembeschreibung:

- Verschleiß durch hohe Belastung
- ineffiziente Schmierung
- hoher Energiebedarf

Einführung optimierten Schmierungssystemen



Das änderte sich:

- Einsatz automatischer, optimierter Schmierungssysteme
- kontinuierliche Anpassung an tatsächlichen Bedarf

Was hat sich verbessert?



Ergebnisse:

- Weniger Reibung → geringerer Energiebedarf
- längere Lebensdauer von Lagern und Anlagen
- weniger Wartungsaufwand inkl. weniger Materialverbrauch

Schon kleine technische Optimierungen reduzieren CO₂ messbar

Praxisbeispiel #3¹⁰

Solarpark



Problembeschreibung:

- Traditionelle manuelle Inspektionen und reaktive Instandhaltungsansätze zunehmend untragbar aufgrund der Größe und Komplexität der Anlagen

Einführung von KI



Das änderte sich:

- Einführung KI-gestützter Predictive Maintenance bei einer 75 MW-Anlage mit 12.000 Sensoren

Was hat sich verbessert?



Ergebnisse:

- 47% weniger ungeplanten Stillstände
- 3,5% Effizienzsteigerung
- 1960 Tonnen weniger CO₂ pro Jahr

Predictive Maintenance steigert Effizienz und reduziert Emissionen

Was brauchen wir für die Zukunft?



Von reaktiver
Wartung zu
vorausschauender,
selbstoptimierender
Instandhaltung



Integration von KI,
Sensorik und
digitalen
Plattformen



Kontinuierliche und
optimierte
Überwachung der
Anlagen



Einsatz neuer
Technologien &
stärkere Verzahnung
von Betrieb & IT



Integration in ESG- &
Dekarbonisierungs-
strategien

Die Instandhaltung wird zum zentralen Hebel für Effizienz, Wettbewerbsfähigkeit und Klimaschutz

UMFRAGE: RETROFIT & ESG IN DER INSTANDHALTUNG¹¹

UMFRAGE-ERGEBNISSE: RETROFIT UND NACHHALTIGKEITSMASSNAHMEN

BEFRAGTE MITARBEITER

(n=21)



47% INGENIEUR / TECHNIKER

33% LEITENDE POSITION

20% INSTANDHALTER

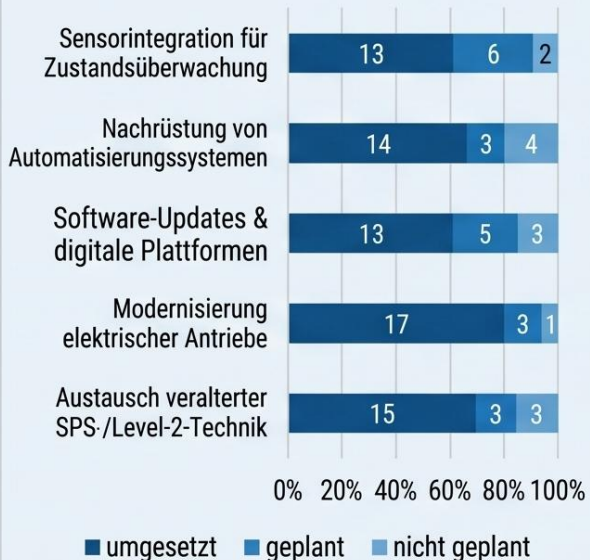
SCHWERPUNKTE ESG & NACHHALTIGKEIT

- Verankerung ESG
- Reduzierung von Emissionen & CO₂
- Gesundheit & Mitarbeiterzufriedenheit
- Regulatorische Compliance

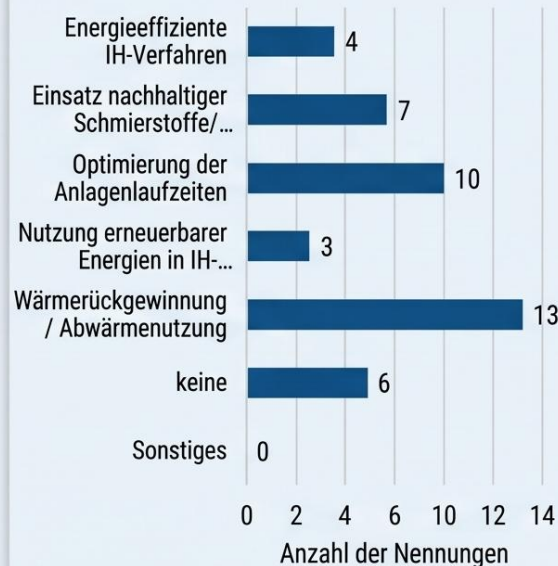
TOP RETROFIT-THEMEN

- Sensorintegration f. Zustandsüberwachung
- Automatisierungssystem-Nachrüstung
- Softwareupdates & digitale Plattformen

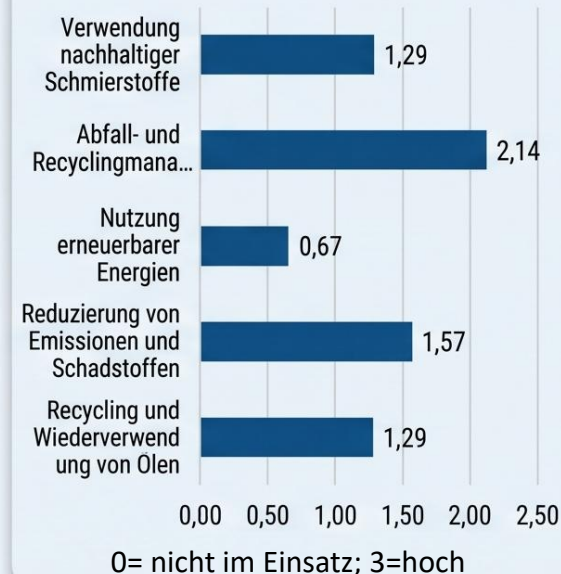
STATUS UMGESETZTER & GEPLANTER RETROFIT-MAßNAHMEN



CO₂-BEZOGENE MAßNAHMEN IN DER INSTANDHALTUNG



ENVIRONMENTAL-MAßNAHMEN



SOCIAL & GOVERNANCE-MAßNAHMEN



UMFRAGE: TRANSFORMATION IN DER INSTANDHALTUNG

BEFRAGTE MITARBEITER (n=21)

47% INGENIEUR / TECHNIKER

33% LEITENDE POSITION

20% INSTANDHALTER



TOP THEMEN FÜR DIE ZUKUNFT

67% VERNETZTE SYSTEME

57% DATENGETRIEBENE INSTANDHALTUNG

48% IT-INTEGRATION

BEKANNTESTE INNOVATIONEN

71% PREDICTIVE MAINTENANCE

52% IoT-INTEGRATION

38% ASSET LIFECYCLE MANAGEMENT

UMFRAGE-ERGEBNISSE: TRANSFORMATION DER INSTANDHALTUNG

BEDEUTUNG DER SMART-MAINTENANCE-STRATEGIE

- Reaktiv
- Präventiv
- Zustandsbasiert
- Predictive Maintenance



AKTUELLES UNTERSTÜTZUNGSNIVEAU DURCH KI

52% Keine

38% Gering

10% Hoch

TOP TECHNOLOGIEN IM EINSATZ

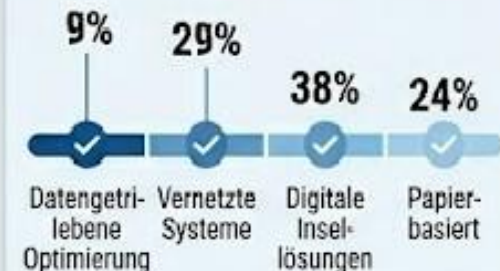
90,5% Mobiles Endgerät (Tablet)

76,2% Sensorik

71,4% Predictive-Maintenance

DIGITALISIERUNGS-STAND DER INSTANDHALTUNG

Aktueller Digitalisierungsstatus



Sie haben Fragen?

Wir beantworten sie gerne.



Literatur

1. Jose Garcia, Luis Rios-Colque, Alvaro Peña, Luis Rojas: Condition Monitoring and Predictive Maintenance in Industrial Equipment: An NLP-Assisted Review of Signal Processing, Hybrid Models, and Implementation Challenges. In MDPI Applied Sciences, Vol. 5, Nr. 5465. DOI: <https://doi.org/10.3390/app15105465>, 2025
2. [Siemens · Brochure template · A4 portrait](#), 2024, am 28.05.2026, um 6:56
3. Ran, Yongyi & Zhou, Xin & Lin, Pengfeng & Wen, Yonggang & Deng, Ruilong. A Survey of Predictive Maintenance: Systems, Purposes and Approaches. 10.48550/arXiv.1912.07383, 2019
4. Paphakorn Pitayachaval, Narawich Kaewlangka: Sustainable Maintenance Optimization: Enhancing Efficiency and Costs Reduction with SDG Goals. In Journal of Lifestyle & SDGs Review, Vol. 5, Nr. 3. DOI: <https://doi.org/10.47172/2965-730X.SDGsReview.v5.n03.pe05446>, 2025
5. [Sustainability-Special-Report 2024.indd](#), 23.05.2026 um 13:59
6. Zhongcheng Duan, Binhao Li, Yilun Zi, Gang Yao: Building retrofit multiobjective optimization using neural networks and genetic algorithm three for energy carbon and comfort. In Scientific Reports, Vol. 15, Nr. 38076. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-025-21871-0>, 2025
7. Arda Zaim: Industrial Compressed Air System Optimization: Experimental Evaluation of Energy Efficiency and Sustainability Gains. Processes, 13, 3590. DOI: <https://doi.org/10.3390/pr13113590>, 2025
8. [Compressed Air System Optimization: A Case Study on the Benefits of Condition Based Maintenance in Automotive Manufacturing | LinkedIn](#)
9. [Lubricate more sustainably | Schaeffler medias](#), 23.05.2026 um 15:59
10. Robin Sarkar: AI-Powered Predictive Maintenance for Solar Energy Systems: A Case Study. In International Journal for Multidisciplinary Research (IJFMR), Vol. 6, Nr. 6, 2024
11. Matias Nokka: Transformation der Instandhaltung in der Stahlindustrie, Bachelorarbeit, HRW, 2026