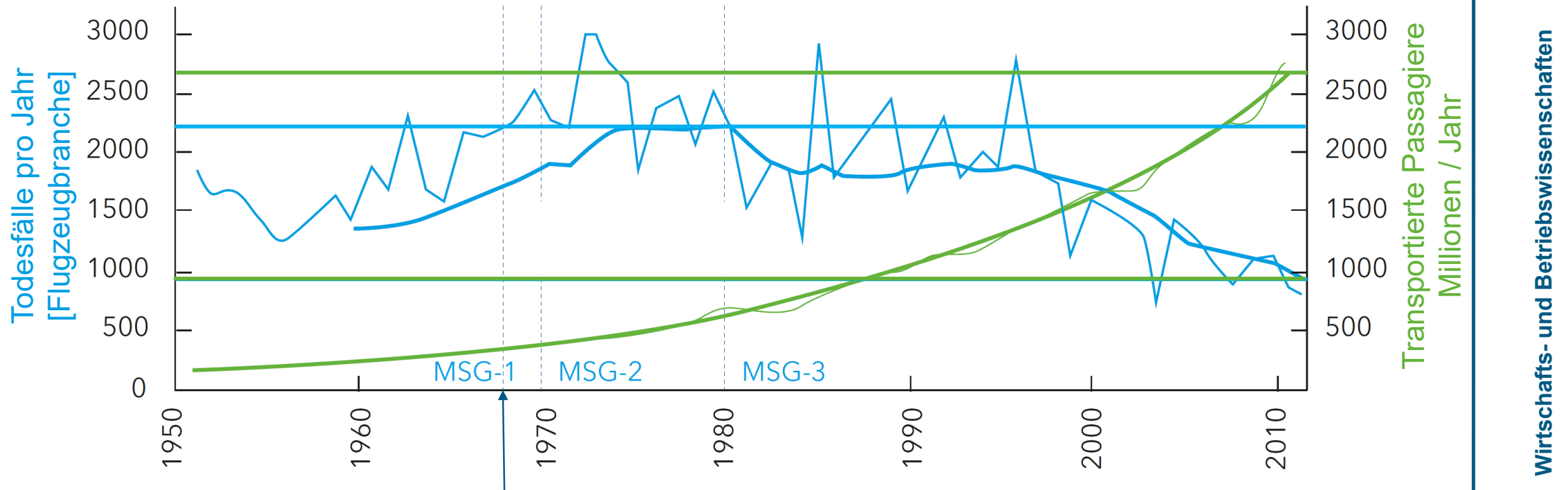




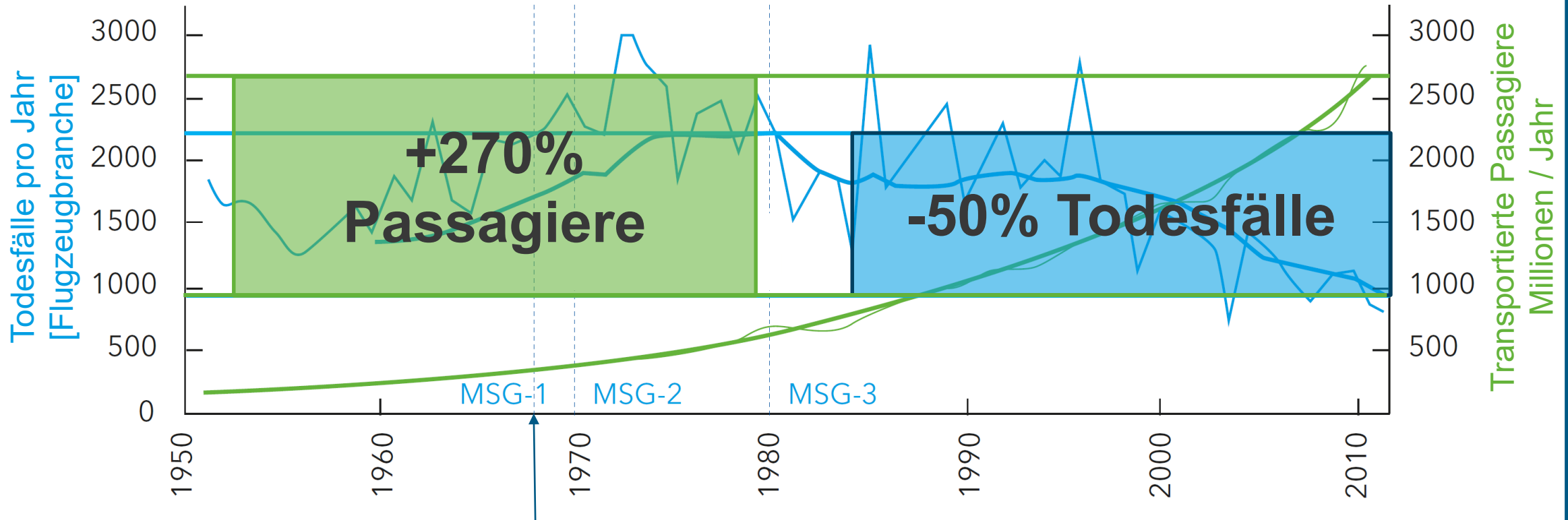
# Effekt von CBM in der Flugzeugbranche



Maintenance Steering Group [MSG] im Jahr 1968: Umfassende Implementierung von Zustandsmessungen in der IH-Strategie

Quelle: Knutsen (2014)

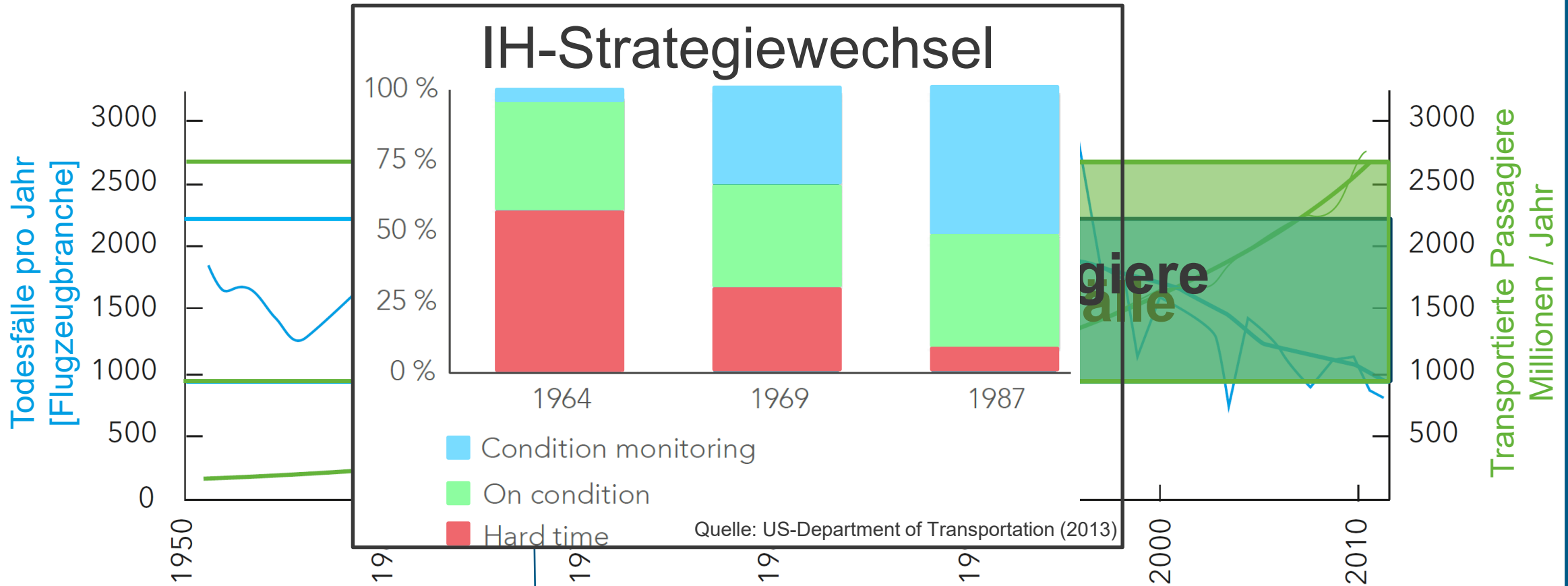
# Effekt von CBM in der Flugzeugbranche



Maintenance Steering Group [MSG] im Jahr 1968: Umfassende Implementierung von Zustandsmessungen in der IH-Strategie

Quelle: Knutsen (2014)

# Effekt von CBM in der Flugzeugbranche

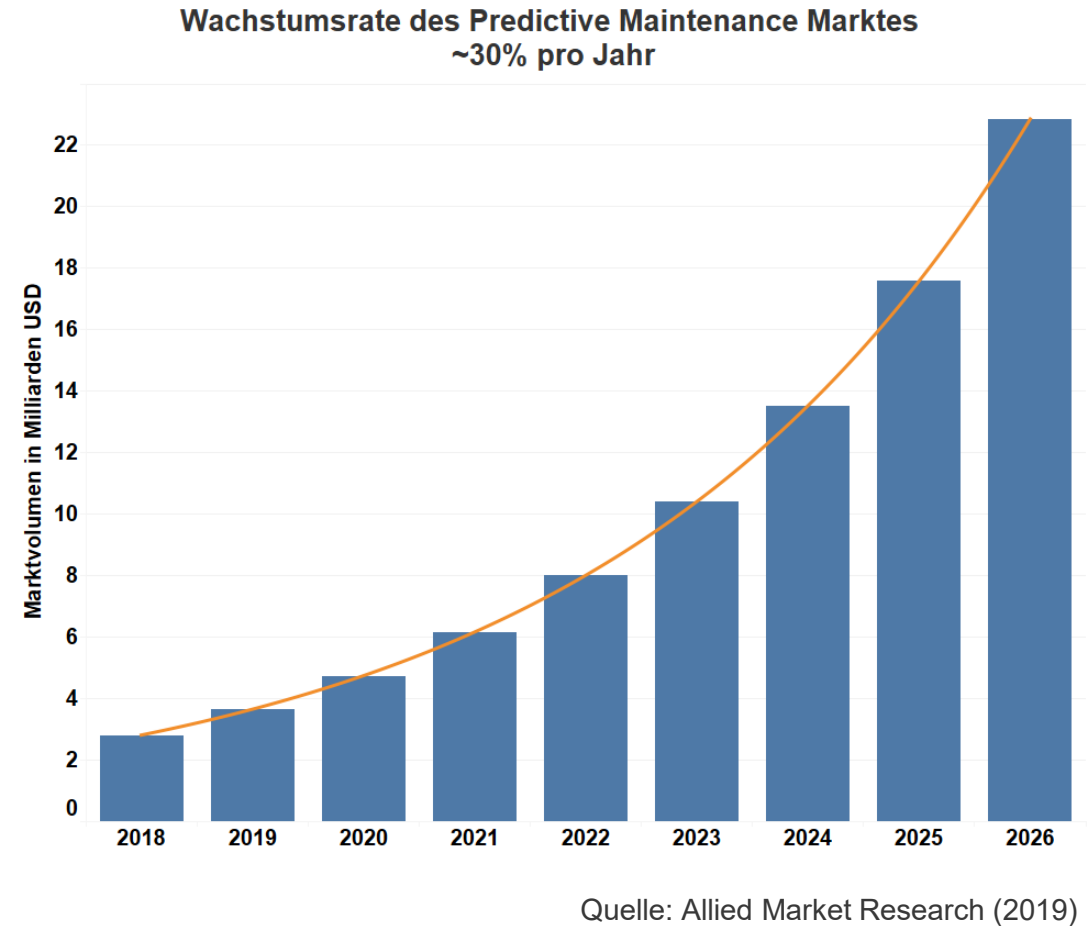
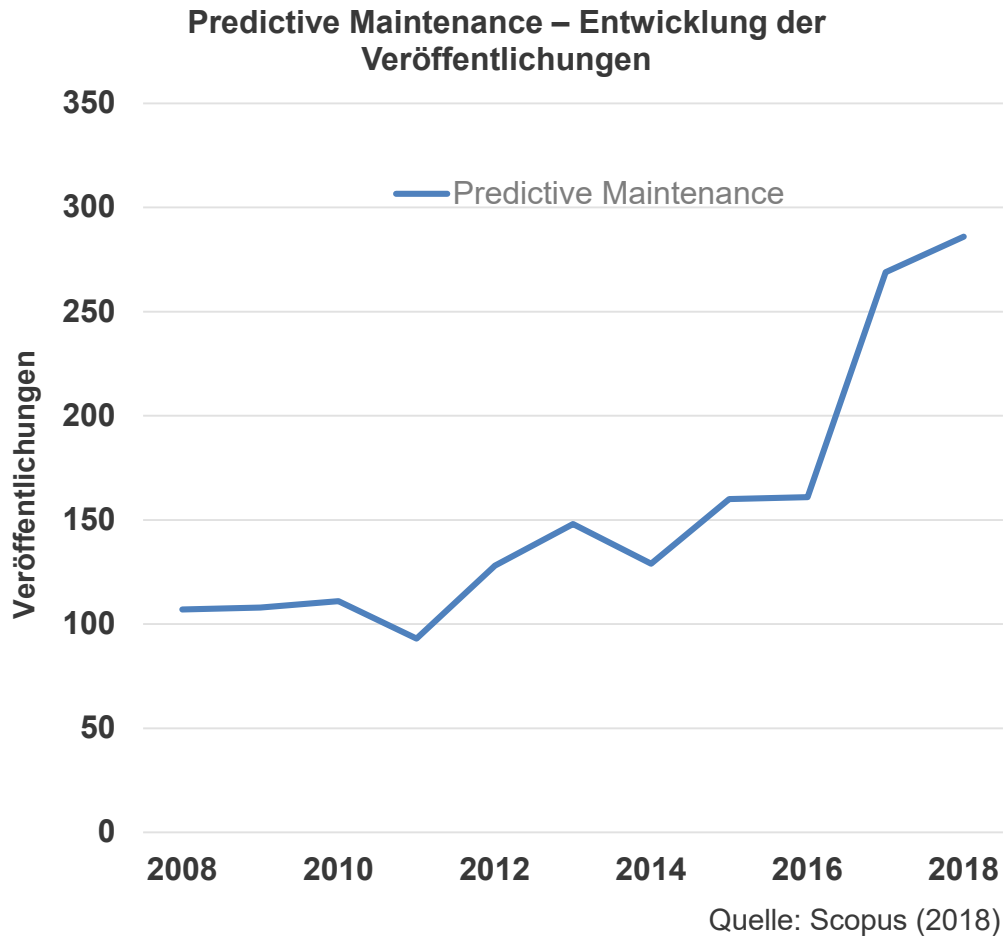


Maintenance Steering Group [MSG] im Jahr 1968: Umfassende Implementierung von Zustandsmessungen in der IH-Strategie

Wirtschafts- und Betriebswissenschaften

# Bedeutung von Predictive Maintenance

Historische wissenschaftliche Entwicklung & zukünftige Marktentwicklung



# Was versteht man unter Instandhaltungsstrategien?

- **Definition Instandhaltung nach DIN 31051 (2019-06):**

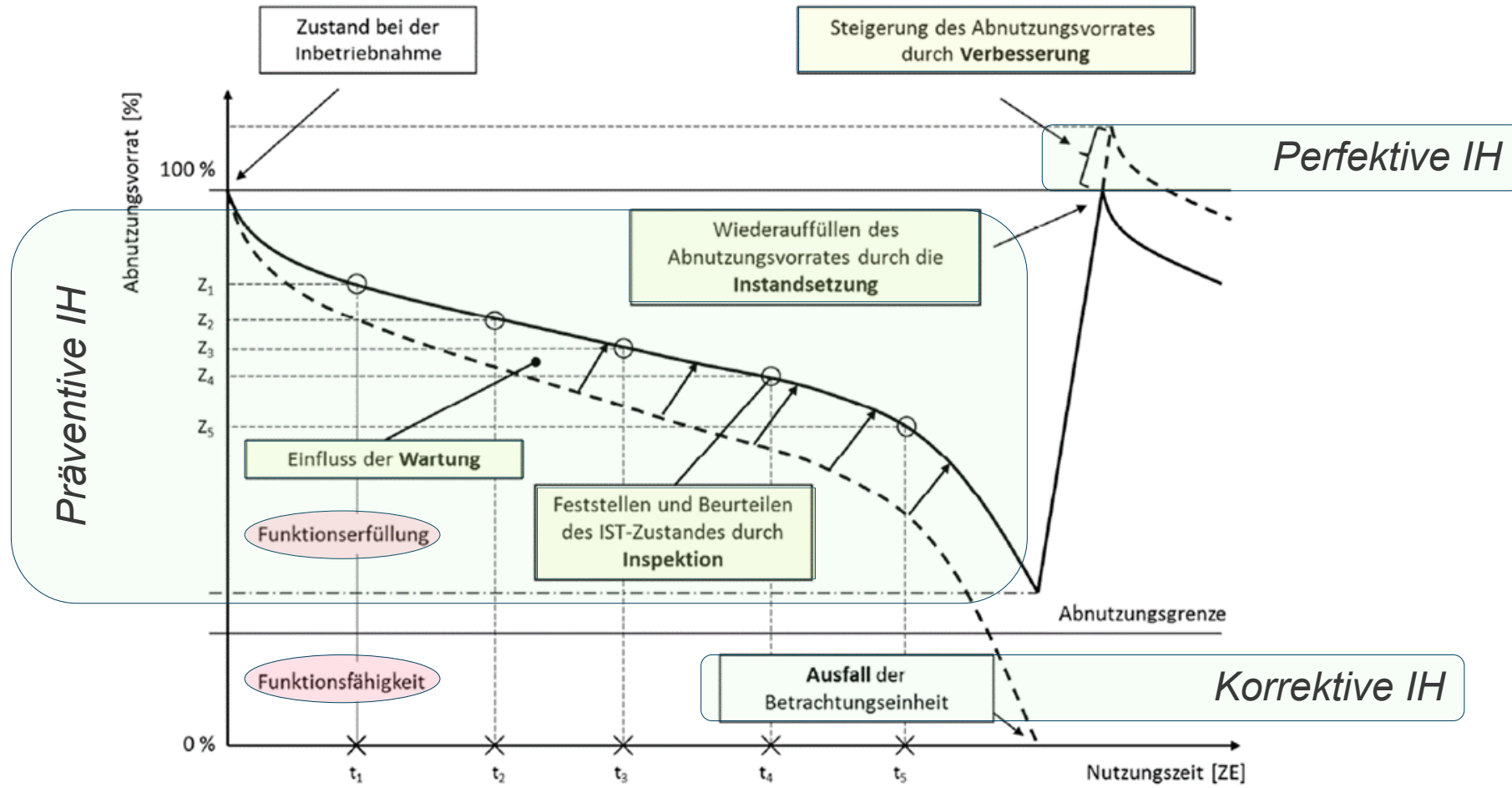
*„Kombination aller technischen und administrativen Maßnahmen sowie Maßnahmen des Managements während des Lebenszyklus eines Objekts, die dem Erhalt oder der Wiederherstellung ihres funktionsfähigen Zustands dient, sodass es die geforderte Funktion erfüllen kann.“*

- **Definition Instandhaltungsstrategie:**

Instandhaltungsstrategien sind Vorgehensweisen (Regeln), die objektbezogen angeben, welche Instandhaltungsmaßnahmen inhaltlich, methodisch und umfänglich in definierter zeitlicher Folge durchzuführen sind.

Für eine Anlage (und ggf. Baugruppe) wird in der Regel ein Strategiemix festgelegt.

# Instandhaltungsmaßnahmen



# Definition Predictive Maintenance

## Zusammenfassung

kurz gefasst:

**Predictive Maintenance (PdM)** ist ein Instandhaltungskonzept zur umfassenden Kostenreduktion.

Es basiert auf der Kontrolle und Überwachung von Anlagenkomponenten und wird mit diversen analytischen Methoden durchgeführt.

Wie auch CBM baut PdM auf Condition Monitoring auf und hat eine Vielzahl von weiteren

**Vorteilen.** PdM unterscheidet sich von anderen Instandhaltungsansätzen. Sensormesswerte und weitere externe Datenquellen werden kombiniert und auf Basis dessen eine Analyse über tausende Datensätze durchgeführt.

## Definition

**Predictive Maintenance** verwendet eine Reihe von Methoden und Konzepten zur...

- Überwachung des Zustandes von Komponenten durch
- Verwendung von on-premise oder cloud-analytics Lösungen zur
- Vorhersage von Ausfallzeitpunkten mittels Echtzeit Analysemethoden und maschinellem Lernen

mit dem Zweck der **Wirtschaftlichkeitssteigerung** durch **Zuverlässigkeitserhöhung** und **Kostensenkung**. Daher wird angestrebt - wie bei der zustandsabhängigen Instandhaltung - den Abnutzungsvorrat der Komponenten möglichst komplett auszuschöpfen und gleichzeitig jeglichen Fehler oder möglichen Ausfall zu beheben bzw. zu vermeiden, bevor er passiert.

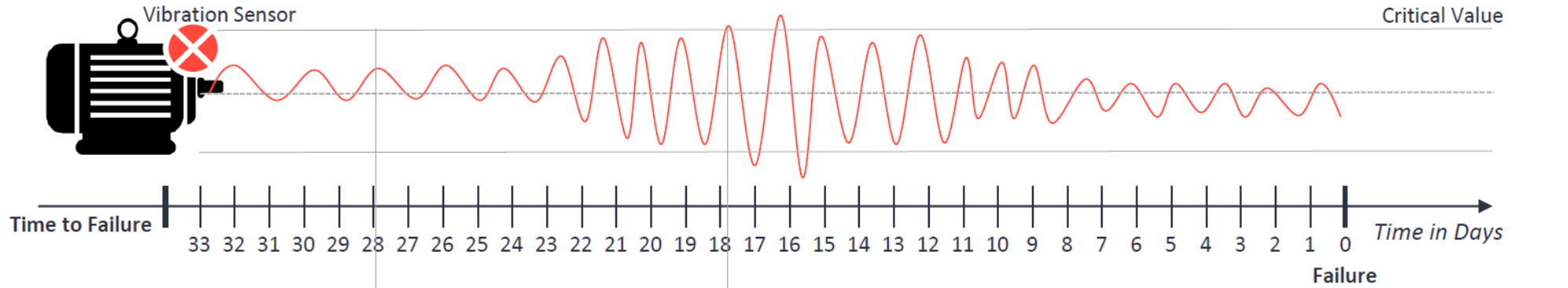
## Was PdM nicht ist

- **Reactive Maintenance**
- **Preventive Maintenance:** regelmäßige geplante Instandsetzung
- **Proactive Maintenance:** Schadensursachen- Analyse und Beseitigung
- **Condition-based Maintenance (CBM)<sup>1</sup>:** Überwachung des Komponentenstatus
- **Prescriptive Maintenance<sup>2</sup>:** Anlagen führen Selbstdiagnose durch und initiieren Instandhaltungsmaßnahmen

1. CBM and PdM bauen auf dem Konzept Condition Monitoring auf, aber unterscheiden sich in ihrer Komplexität 2. Prescriptive Maintenance basiert auf PdM



# Maintenance 4.0



Typical signs of failure	Optimal Operation	Vibration begins	Wear evidence Performance decrease	Audible Noise Hot to touch	Motor fails
<b>5</b> Predictive Maintenance	Up to 3 months prior to failure	Vibration anomaly identified – Remaining Useful Life Calculated	RUL – Corrective action scheduled at most convenient time <sup>1</sup>		Event pre-empted
<b>4</b> Condition-based Maintenance			Vibration surpasses critical value	Corrective action taken immediately	Event pre-empted
<b>2</b> Preventive Maintenance		Case 1: Routine maintenance does not detect or replace critical part	Case 2: Routine maintenance detects problem and replaces critical part		Case 1: Reactive Maintenance after failure
<b>1</b> Reactive Maintenance		No intervention			Reactive Maintenance after failure

■ = Maintenance action

1. The later maintenance is performed, the more accurate predictions get.

Source: Adapted from DELL, IoT Analytics Research

## A Instandhaltungsansätze m/o Sensortechnologien

### 1 Reactive Maintenance

- Run-to-failure Strategie

**Ergebnis:** geringe laufende Kosten, aber sehr hohe Ausfallfolgekosten mit Risiko für lange Stillstandzeiten

### 2 Preventive Maintenance

- Instandhaltung wird geplant und in regelmäßigen Intervallen durchgeführt.
- Zeit und Nutzungstrigger werden für die Instandhaltungsplanung verwendet

**Ergebnis:** geringere Ausfallwahrscheinlichkeit hohe Bauteilkosten

### 3 Proactive Maintenance

- Bestimmung der Schadensursachen für den Anlagenausfall
- Maßnahmen ergreifen/ Verbesserungsmaßnahmen zur Vermeidung von Anlagenausfällen, z.B.: MA-Schulung und Training für besseres Arbeiten an der Maschine

**Ergebnis:** Vermeidung von Anlagenausfällen

1. Auch bekannt als "diagnostics"

2. Auch bekannt als "prognostics"

## B Instandhaltungsansätze mittels Sensortechnologien

### 4 Condition-based Maintenance<sup>1</sup>

- Condition Monitoring durch Sensoren
- Instandsetzung wird nur dann durchgeführt, wenn bereits Probleme bei Anlagen aufgetreten sind.

**Ergebnis:** Anomalien werden identifiziert und deren Ursachen behoben

**Anwendungsvarianten:** tragbare Geräte oder nachträglich ausgerüstete integrierte Sensoren

### 5 Predictive Maintenance<sup>2</sup>

- Condition Monitoring wird erweitert durch komplexere Analytik, Stochastik, Echtzeit Analysemethoden oder auch Algorithmen des maschinellen Lernens, wodurch Anlagenausfälle vorhergesagt werden können.
- On-Premise und/oder Cloud Analysen

**Ergebnis:** Anlagenausfälle werden vorhergesagt und vorbeugende Maßnahmen können eingeleitet werden

**Anwendungsvarianten:** statische regelbasierte Analyse (Typ A) oder dynamisch-basierte Analyse (Typ B)

### 6 Prescriptive Maintenance

- Anlagen führen Selbstdiagnose durch und planen eigene Instandhaltungsmaßnahmen

**Ergebnis:** (Vollständig) automatisierter Instandhaltungsarbeitsablauf

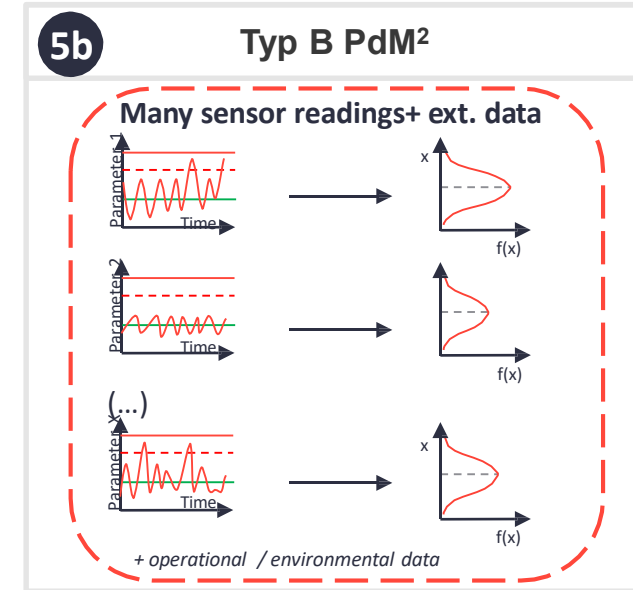
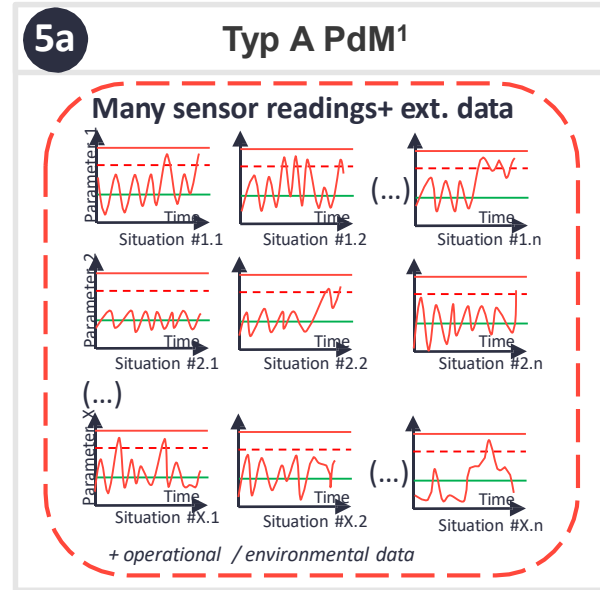
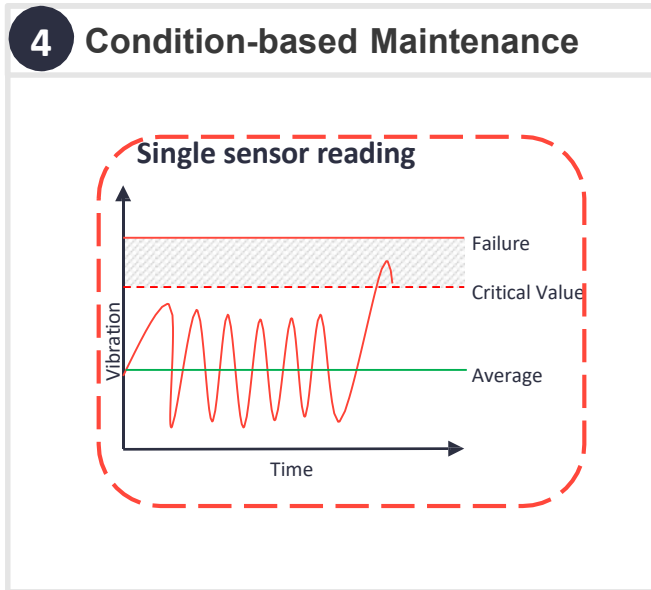
Analysekomplexität



Wirtschafts- und Betriebswissenschaften

Quelle: nach IoT Analytics Research

# CBM - Predictive M. - Prescriptive Maintenance



**Predictive Maintenance wendet analytische Modelle an und prognostiziert ein bevorstehendes Problem; anschließend werden Vorschläge zur Problembehandlung für Produktion, Instandhaltung und Planung/Logistik erstellt**





Funktionalität	Bestimmung kritischer Werte basierend auf Erfahrung oder Spezifikationen des Herstellers. Jeder Sensor ist individuell überwacht. Warnhinweise entstehen nur, wenn bestimmte kritische Werte erreicht werden oder Experten unübliche Sensorwerte erkennen.	Condition Monitoring wird als Basis für Predictive Maintenance verwendet  <b>Statische Regeln</b> ermöglichen die <b>Identifikation von Ausfällen</b>	<b>Dynamische Modelle</b> ermöglichen die <b>Vorhersage von Ausfallwahrscheinlichkeit</b>
Berechnete Werte	Warnsignal (stellt Information zur Verfügung, dass eine unübliche Anlagenaktivität verzeichnet wurde)	Kombinierte <b>Abnutzungs- und Risikoeinstufung</b> (gibt Auskunft wie kritisch der Anlagenzustand ist)	Berechnete <b>Restnutzungsdauer</b> (gibt an, in welchem Zeitintervall Instandhaltung geplant werden muss)
Verbesserungsmaßnahmen	Möglichkeit zur manuelle Anpassung des kritischen Wertes basierend auf Erfahrungswerten	Automatische Verbesserung der Prognosefähigkeiten durch konstante Nutzung weiterer Daten zur Verbesserung/Adaption der Algorithmen durch maschinelles Lernen	

1. Type A = Statische Regelableitung 2. Type B = Dynamische modellbasierte Analytik Source: in Anlehnung an IoT Analytics Research

# CBM – Predictive Maintenance – Prescriptive Maintenance

## 4 Condition-based Maintenance

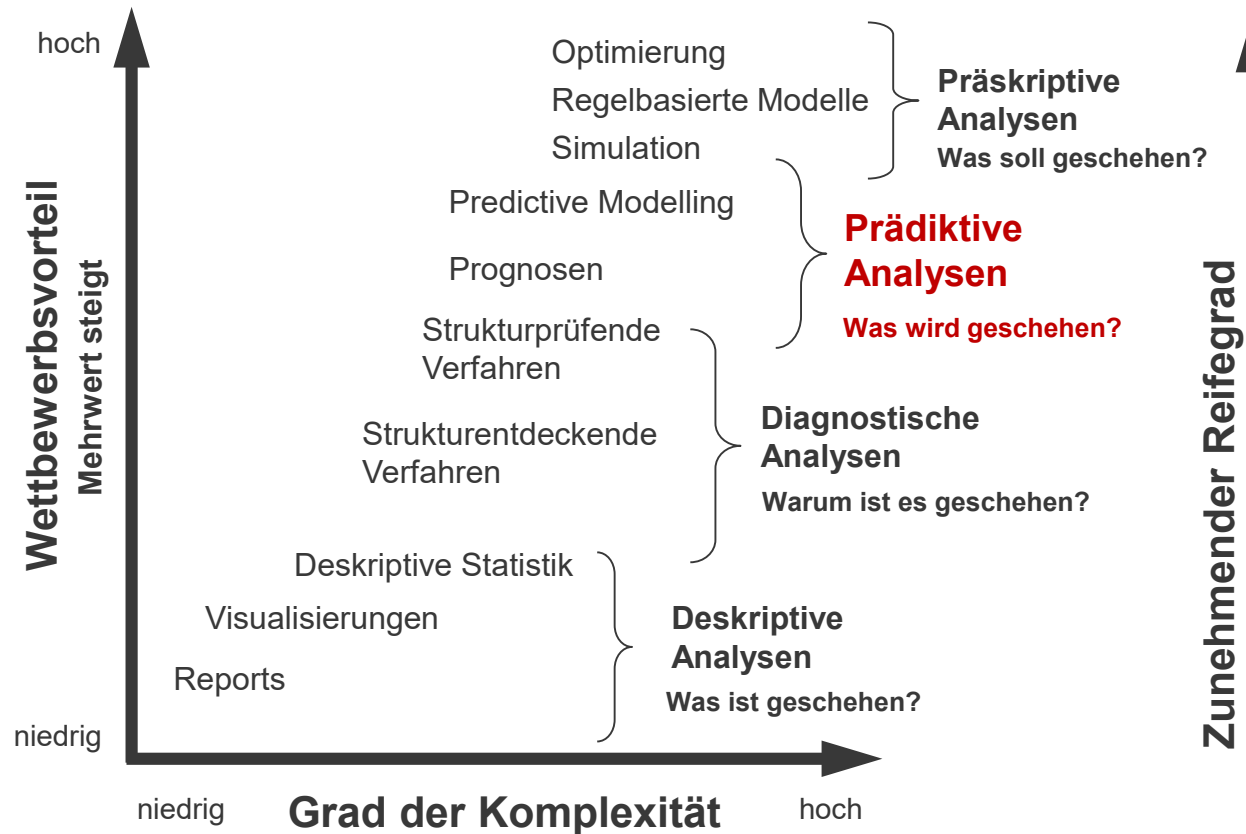
## 5 Predictive Maintenance

	Mobiles Condition Monitoring 	Online Condition Monitoring 	Typ A PdM 	Typ B PdM <sup>1</sup> 
<b>Sensor-technologie</b>	Tragbare Geräte	Integrierte Sensoren	Integrierte Sensoren	Integrierte Sensoren
<b>Überwachungs-frequenz</b>	regelmäßige Intervallen / auf Anforderung	konstant	konstant	konstant
<b>Visualisierung</b>	Auf speziellen Geräten	Online / Mobil	Online / Mobile	Online / Mobile
<b>IT-Architektur</b>	On-Premise (Server)	On-Premise oder Cloud	On-Premise oder Cloud	On-Premise oder Cloud
<b>Echtzeit Monitoring</b>	✗	✓	✓	✓
<b>Kombination von Datenquellen</b>	✗	✗	✓	✓
<b>Analyse</b>	✗	✗	✓ Stat. Regeln <sup>2</sup>	✓ Dyn. Modelle <sup>3</sup>
<b>Instandhaltungs-trigger</b>	Bei kritischen Werten	Bei kritischen Werten	Kalk. Bauteilzustand erreicht kritischen Wert	Risiko- und Ausfallkosten übersteigen IH-Kosten

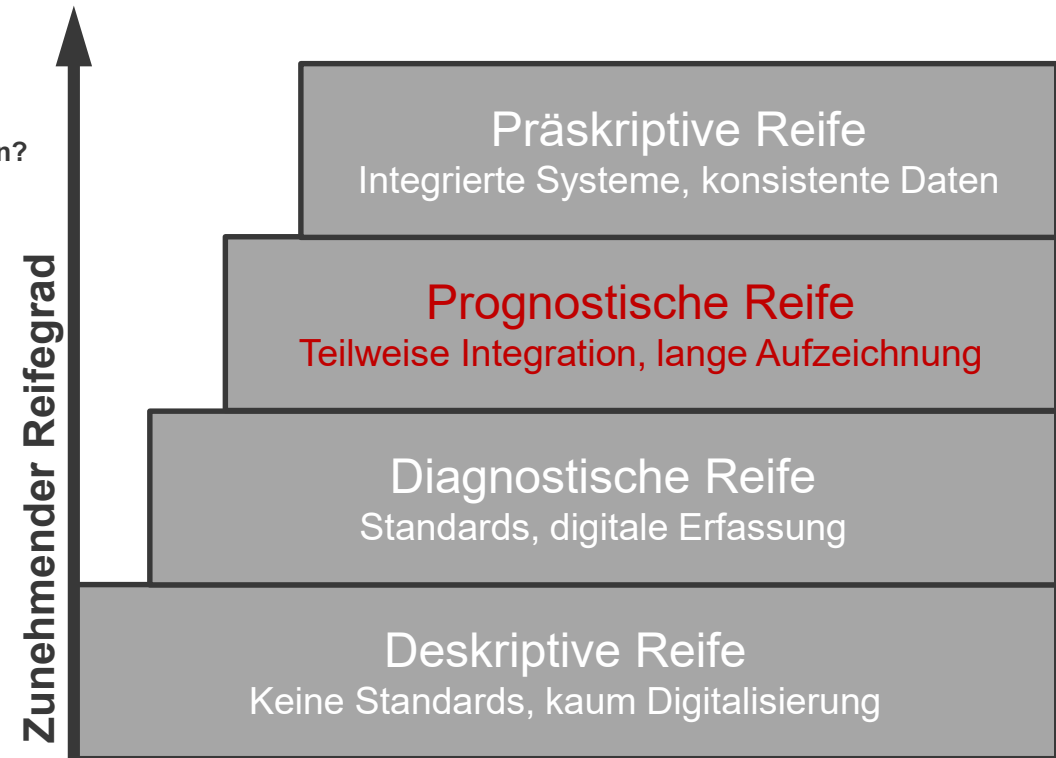
1. Auch bekannt als "prognostics" 2. statische Regeln = Anwendung von statischen Methoden wie SPSS, Regression 3. Dynamische Modelle = Anwendung von Bayesian Networks, etc.  
 Quelle: nach IoT Analytics Research

# Reifegradstufen der Datenqualitätsbewertung

Zusammenhang zu den Analysekomplexitäten



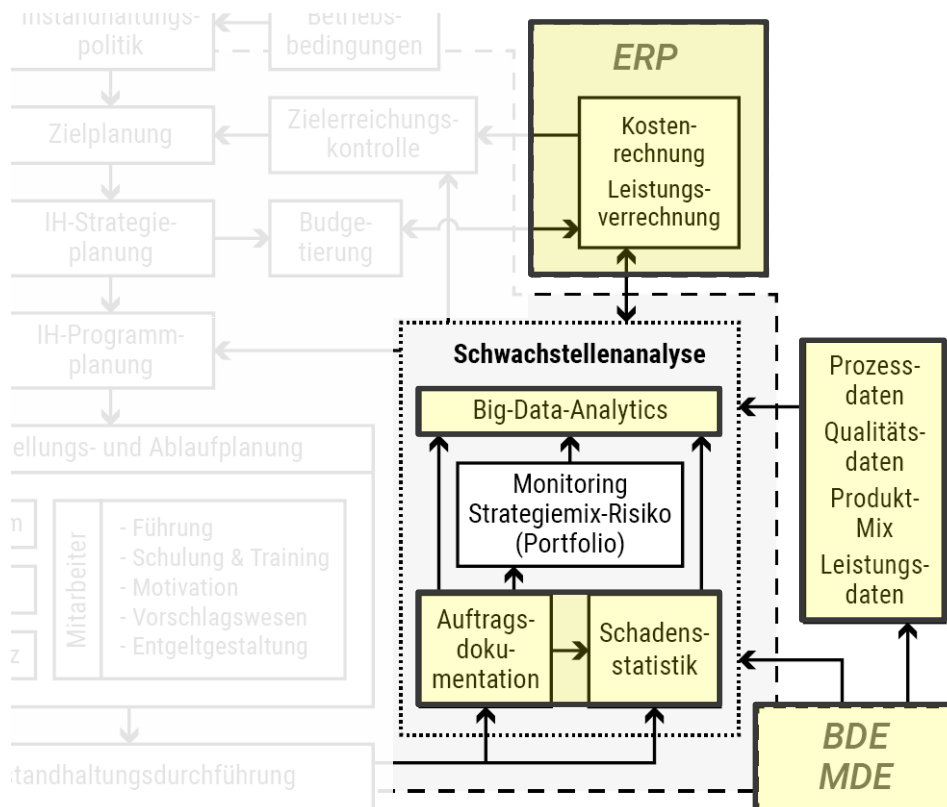
Anforderungen an die Daten nehmen zu



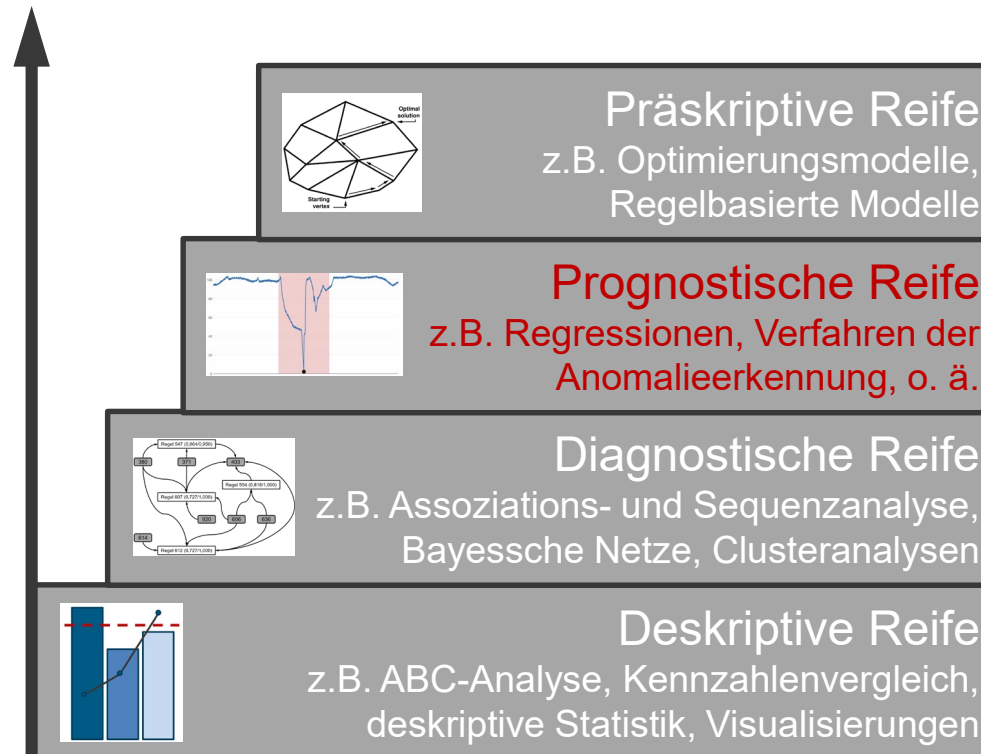
Wirtschafts- und Betriebswissenschaften

# Analysen in der Instandhaltung

## Reifegradzuordnung und Methoden



Quelle: in Anlehnung an Biedermann (2017)



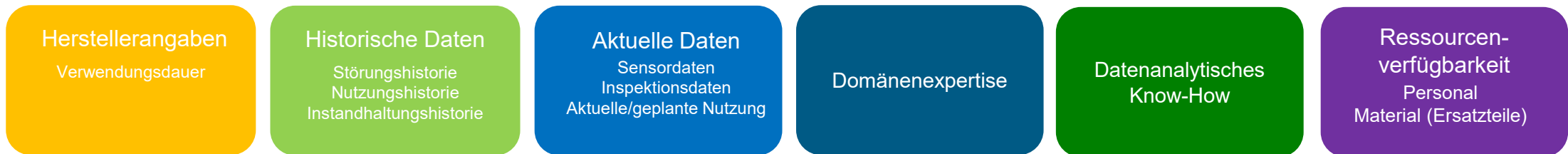
Quelle: Bernerstätter (2019)

# Welche Daten- und Informationsattribute werden benötigt?

## Zuordnung verschiedener Datenpools



Die farbigen Punkte ordnen die jeweiligen Datenpools zu.



# Physikalische Modellierung

...zur früheren Nutzung und Verbesserung der vorausschauenden IH

## ■ Typische PdM-Lösung:

- Datenscientist arbeitet mehr als 1 Jahr mit Anlagenbetriebsteam zusammen um solide Datenpipeline zu generieren um maschinelle Lernmodelle so gut zu trainieren, dass Sie hohe Vorhersagegenauigkeit haben!

## ■ Wenn Sie über unvollkommene, inkonsistente Daten verfügen, erhalten Sie keine genauen, datengestützten Erkenntnisse, die eine zuverlässige Planung ermöglichen, dann

### ➤ **Kombinierter Ansatz aus physikalischen Modellen und Data Science**

- Auswertung aktueller Daten, Verständnis der Funktionsweise des Prozesses, Identifikation kritischer Komponenten (Kritikalitätsbewertung) und Festlegung von Maßnahmenprioritäten erbringen höchste Rendite.
- Durch physikalische Simulation können wir in kürzerer Zeit mit größerer Sicherheit vorhersagen, wann und wie welche Komponenten versagen bzw. ausfallen.



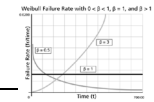
# Daten- und modellbasierte Verfahren zur Ausfall- und Restlaufzeitprognose

Nötige Datenbasis	Modellbasierte Verfahren	
	Schadensmodelle	Expertenmodelle
Störungshistorie	☐	☐
Nutzungshistorie	●	●
Instandhaltungshistorie	☐	☐
Fehlerdiagnose (CM)	●	●
Aktuelle/geplante Bauteil-/Anlagennutzung	●	●
Technisches Modell	●	●
<b>Zielsetzung – Charakteristik</b>	Bayessche Schätzverfahren (versch. Kalman Filter) Partikelfilter Multiple Modelle	Entscheidungsbäume (Wenn-Dann), Fuzzy- oder Neuro-Fuzzy Ansätze
<b>Charakteristische Methoden</b>	Nutzung von Sensorwerten, Anlagenzuständen und Abnutzungsverläufe zur Entwicklung von Beanspruchungskollektiven, physikalischen oder funktionalen Modellen. Identifikations- (Prozess-) und Prognose- (Schadens-) modell	
<b>Instandhaltungsstrategie</b>	CBM-Predictive (i.d.R. statisch)	CBM-Predictive (dynamisch)

☐ Vorteilhaft      ● Erforderlich

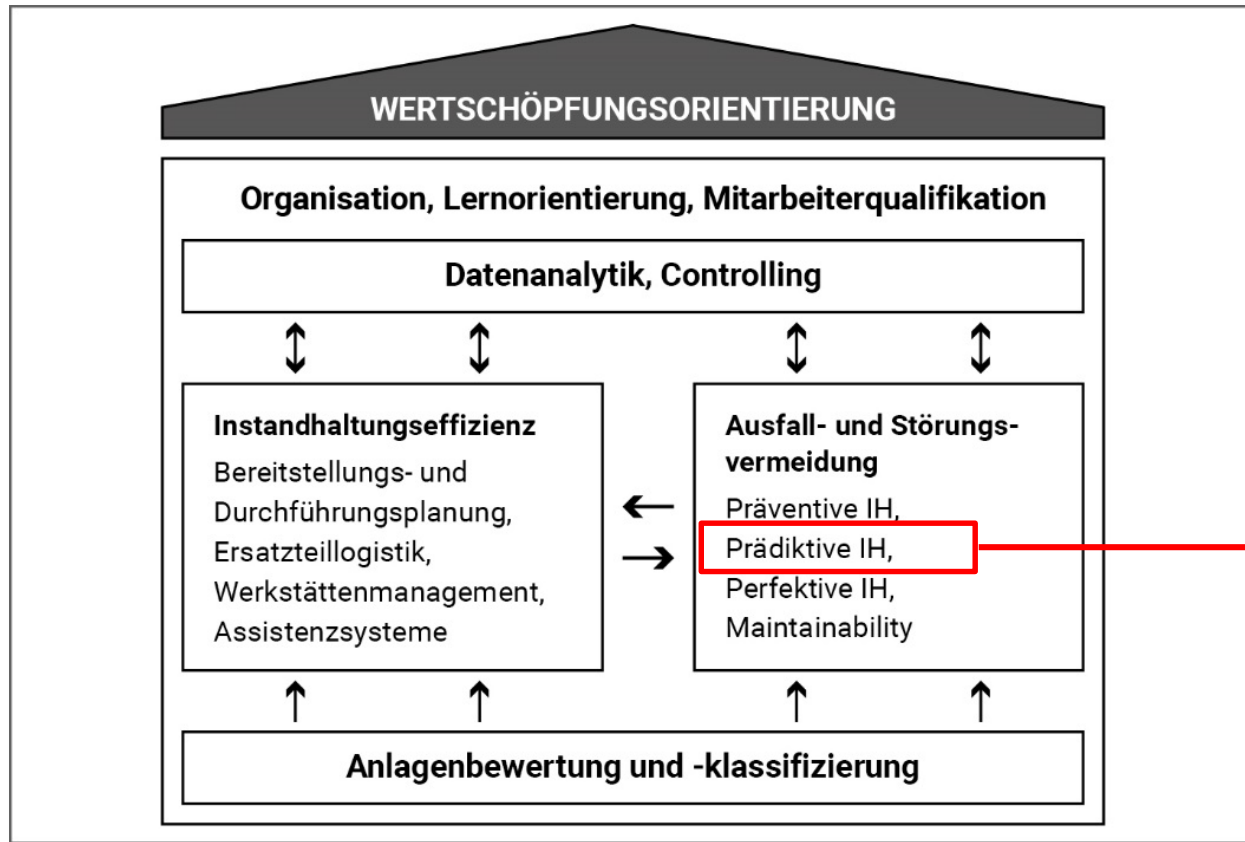
## Hybride Ansätze:

- Mangel von singulären Methoden wird ausgeglichen
- Reduktion der Berechnungskomplexität
- Verbesserung der Prognosegenauigkeit

Nötige Datenbasis	Datenbasierte Verfahren			
	Zuverlässigkeitsanalyse	Trendmonitoring	Lebensdaueranalyse	Prozessanalyse
Störungshistorie	●	○	○	○
Nutzungshistorie	☐	●	●	●
Instandhaltungshistorie	☐	○	○	○
Fehlerdiagnose (CM)	○	●	●	●
Aktuelle/geplante Bauteil-/Anlagennutzung	☐	●	●	●
Technisches Modell	○	☐	☐	☐
<b>Zielsetzung – Charakteristik</b>	Statistische Auswertung von Fehlercodes und Korrelation mit Nutzungsbedingungen. Keine realtime Info genutzt.	Analyse von ausgewählten Methoden zur Vorhersage des Zeitpunktes wann def. Grenzwert erreicht ist.	Analysiert auf Basis des aktuellen Bauteilzustandes die verbleibende Nutzungsdauer ohne Kenntnis des tatsächlichen Schädigungsverlaufes.	Ableitung eines Schädigungsmodells auf Basis von Daten über Schädigungsverläufe und Nutzungsbedingungen
<b>Charakteristische Methoden</b>	Weibullanalyse, Markov-Prozess, Erneuerungsprozess, Simulation 	Zeitreihenanalyse; Data Mining Auto-regressionsmethoden	Mittelwerte, Grenzwerte, Data Mining, Zeit-, Frequenz-, Wavelet-Analysen	Maschinelles Lernen: Artificial Neuronal Networks, Support Vector Machines etc. Fuzzy Interferenzsysteme
<b>Instandhaltungsstrategie</b>	Preventive	CBM-Predictive (statisch)	CBM-Predictive (statisch)	CBM-Predictive (dynamisch)

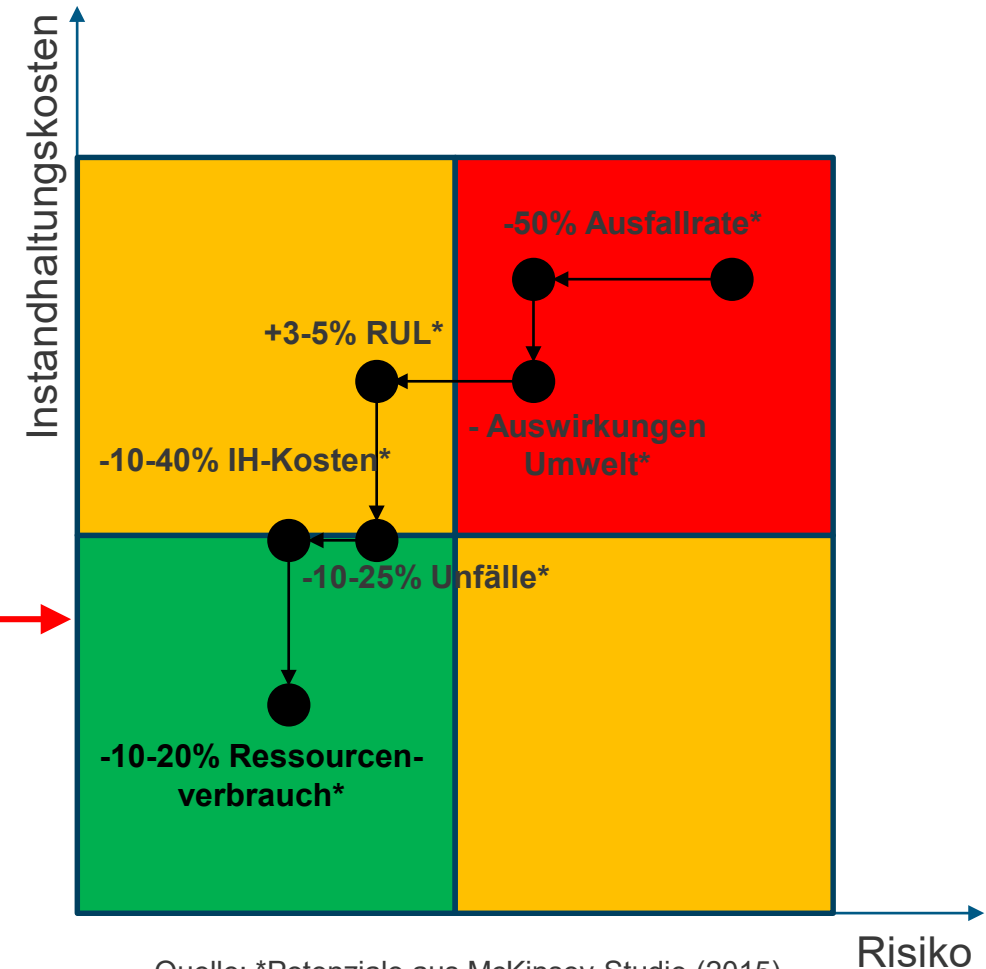
# Lean Smart Maintenance - PdM

## Lean Smart Maintenance



Quelle: Biedermann, H. (2016)

PdM nur ein Baustein – das Gesamtbild ist größer – Potenzial aber enorm



Quelle: \*Potenziale aus McKinsey-Studie (2015)

Wirtschafts- und Betriebswissenschaften

# Netzwerk

**LIEBHERR**



**heinzelpaper**  
LAAKIRCHEN PAPIER AG

**heinzelpulp**  
ZELLSTOFF PÖLS AG



**voestalpine**  
ONE STEP AHEAD.

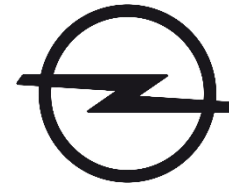
**BÖHLER**  
EDELSTAHL



**WACKER  
NEUSON**  
*all it takes!*

**MAGNA**

**ROTAX**



**SIEMENS**  
*Ingenuity for life*



**AT&S**

**EGGER**



**AVL**

**PRIMETALS**  
TECHNOLOGIES

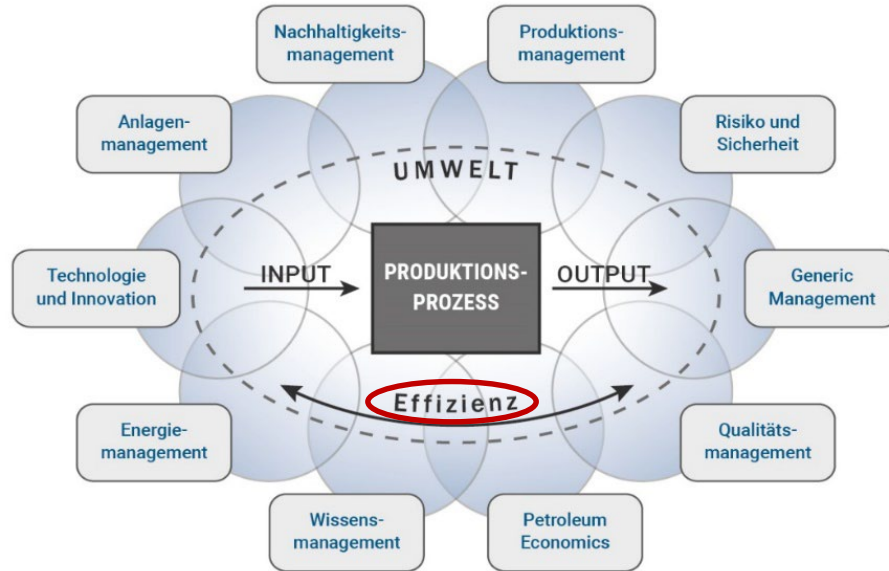
**SYSTEMCERT**  
Zertifizierungsges.m.b.H.



**AMAG**  
AUSTRIA METALL

**LOGICDATA**  
MOTION FOR YOUR LIFE





## Ihr möglicher Partner bei innovativen Projekten!

### Department für Wirtschafts- und Betriebswissenschaften

Peter-Tunner-Straße 25/3. Stock  
8700 Leoben  
Tel.: +43 3842 402 6003  
Hubert.biedermann@unileoben.ac.at

[www.wbw.unileoben.ac.at](http://www.wbw.unileoben.ac.at)

[www.lean-smart-maintenance.net](http://www.lean-smart-maintenance.net)



# em.o.Univ. Prof. Dipl.-Ing. Dr.mont. Hubert Biedermann



## Ausbildung

Studium an der Montanuniversität Leoben

- Studienrichtung Metallurgie, Studienzweig: Betriebs- und Energiewirtschaft
- 1983 Promotion (Anlagenwirtschaft)
- 1989 Habilitation (Industriebetriebslehre)

## Beruflicher Werdegang

1989 – 1993 Hauptabteilungsleiter für Betriebswirtschaft (Rechnungswesen, Organisation und EDV) der Montanwerke Brixlegg Ges.m.b.H.

Lehraufträge an der TU Wien (Institut für Fertigungstechnik) und an der Universität Innsbruck (Institut für Industrie- und Fertigungswirtschaft)

1993 – 1995 Gastprofessor an der Universität Innsbruck, Institut für Industrie und Fertigungswirtschaft

seit 1995 ordentlicher Professor für Wirtschafts- und Betriebswissenschaften und Institutsvorstand des Institutes für Wirtschafts- und Betriebswissenschaften an der Montanuniversität Leoben

2003 – 2021 Leiter des Departments Wirtschafts- und Betriebswissenschaften mit den Lehrstühlen Wirtschafts- und Betriebswissenschaften und Industrielogistik sowie Inhaber des Lehrstuhles Wirtschafts- und Betriebswissenschaften

1996 – 2000 1. Vizerektor der Montanuniversität Leoben, zuständig für die Bereiche Budgetierung, Ressourcen (Personal, Räume, Gebäude), Kostenrechnung, Controlling und Umweltschutz

2003 - 2011 Vizerektor für Finanzen und Controlling

## Veröffentlichungen

4 Monografien, 165 Veröffentlichungen; Herausgeber: Buchreihe Praxiswissen für Ingenieure 35; Techno-ökonomische Forschungsreihe: 24; Sustainability Management for Industries: 8

- Biedermann, H. (2016): Lean Smart Maintenance – Wertschöpfende, lernorientierte und ressourceneffiziente Instandhaltung. In: Biedermann, H. (Hrsg.): Lean Smart Maintenance: Konzepte, Instrumente und Anwendungen für eine effiziente und intelligente Instandhaltung. Köln: TÜV Media. (Praxiswissen für Ingenieure - Instandhaltung)., S. 19–29.
- ÖVIA-Umfrage zu Predictive Maintenance:  
[https://www.oevia.at/fileadmin/user\\_upload/shares/oevia/docs/2018\\_PMStudie\\_Endbericht.pdf](https://www.oevia.at/fileadmin/user_upload/shares/oevia/docs/2018_PMStudie_Endbericht.pdf)
- Knutsen (2014): Beyond Condition Monitoring in the maritime Industry,  
DOI:10.13140/RG.2.1.1807.8562
- US Department of Transportation (US DOT), “Research and Innovative Technology Administration, TranStats,” [Online]. Available: <http://www.transtats.bts.gov/releaseinfo.asp>. [Accessed 13 December 2013]
- Pascual et al (2016): Maintenance Audits Handbook
- Allied Market Research zu Predictive Maintenance Market:  
<https://www.marketresearchfuture.com/reports/predictive-maintenance-market-2377>
- McKinsey Report (2015): <https://www.mckinsey.com/business-functions/mckinsey-digital/our-insights/the-internet-of-things-the-value-of-digitizing-the-physical-world>