



Predictive Maintenance – Möglichkeiten und Grenzen

Baustein von Agile Management bzw. Lean Smart Maintenance (LSM)

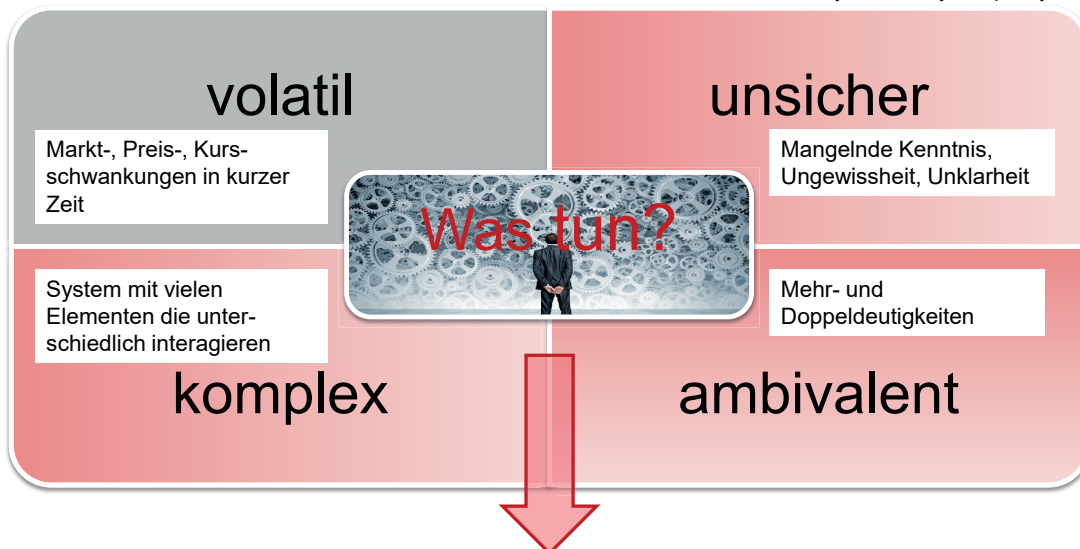


Hubert Biedermann

Leoben, 10.10.2018

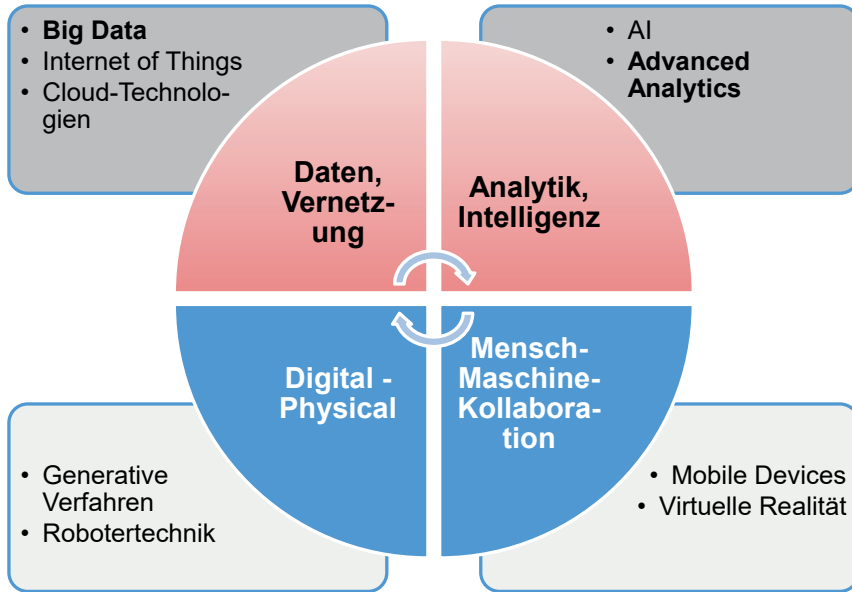
Unternehmensumwelt – Marktkonzentration und Wettbewerbsintensität führt zu VUCA*

VUCA: volatility, uncertainty, complexity und ambiguity



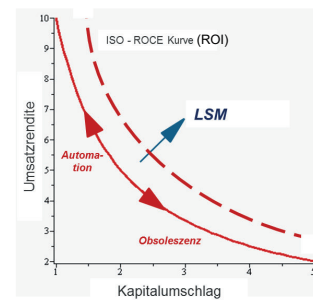
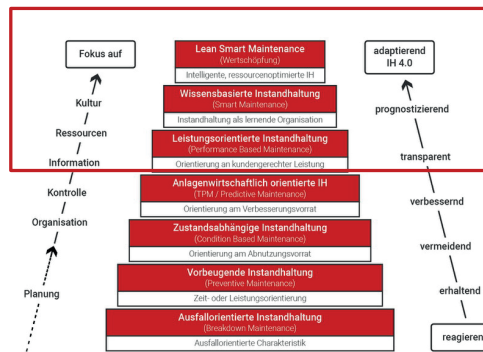
VUCA: vision (Vision), understanding (Verstehen), clarity (Klarheit), agility (Agilität)

Agilität und Industrie 4.0



Digitalisierung

- Ist Treiber der die Volatilität und **Komplexität** erhöht
- KANN aber auch
- Grundlage zur Erhöhung der Agilität sein!



Lean Maintenance

- Lean Management
- Prozessorientierung
- Verschwendungsfokus

- Ablauforganisation
- Aufbauorganisation
- Outsourcing
- Ersatzteilmwirtschaft
- TPM

Inputperspektive

WERTSCHÖPFUNGSORIENTIERUNG

Organisation, Lernorientierung, Mitarbeiterqualifikation

Schwachstellenanalyse und -beseitigung
Big Data Analytics

Instandhaltungseffizienz
Bereitstellungs- und Durchführungsplanung, Ersatzteillogistik, Werkstättenmanagement, Assistenzsysteme

Ausfall- und Störungsvermeidung
Präventive IH, Prädiktive IH, Perfektive IH, Maintainability

Anlagenbewertung und -klassifizierung

Smart Maintenance

- Wissens-/Datenmanagement
- Lernorientierter Ansatz
- Industrie 4.0

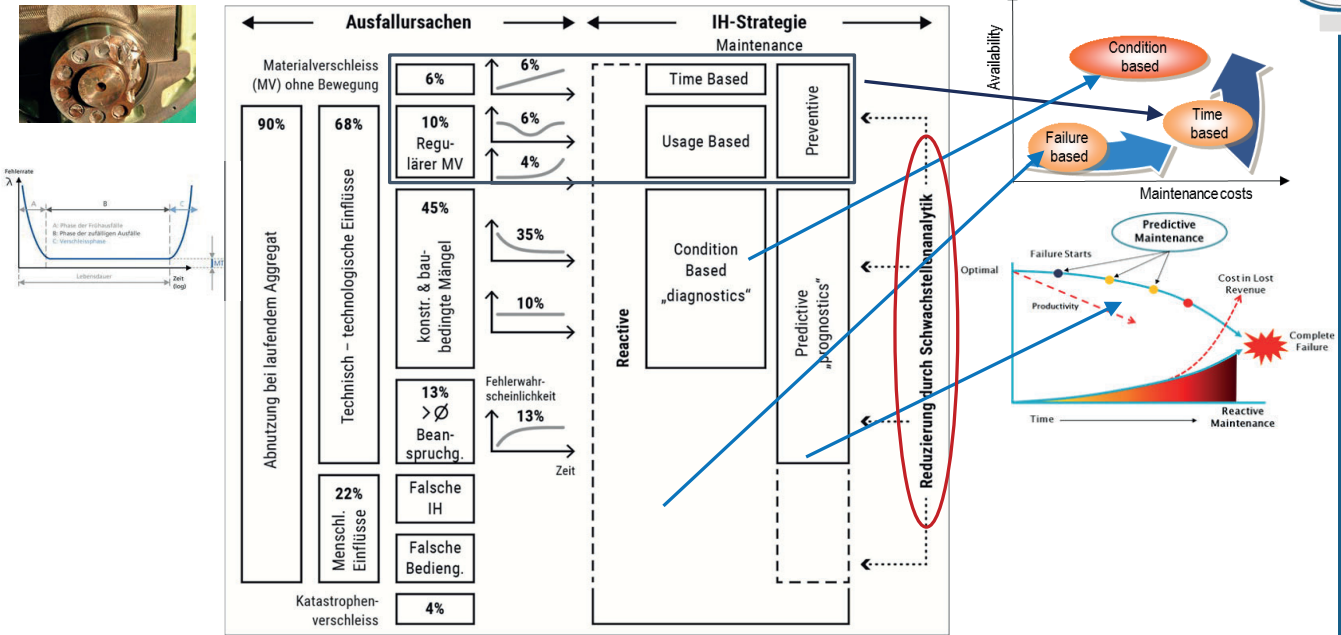
- Störungsprognostik (Datenanalytik, CM)
- LC-Orientierung
- IH-Prävention (RAMS)
- Vorbeugende IH (W&I)
- Standardisierungen

Outputperspektive

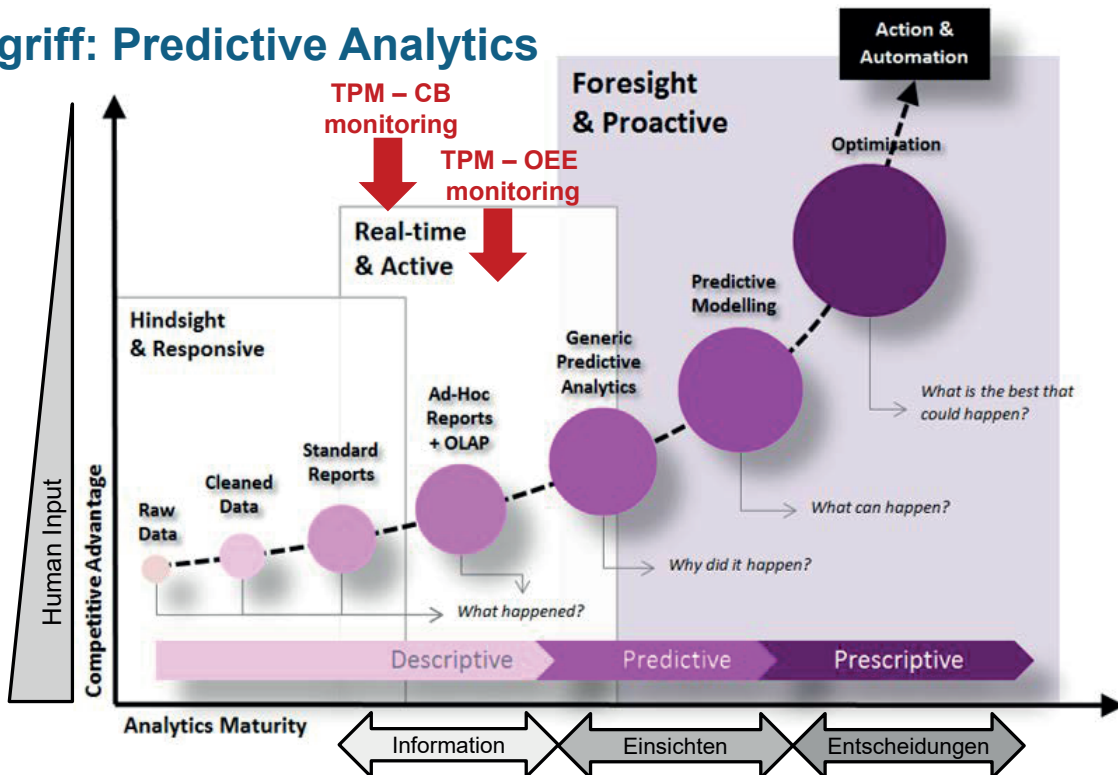
LSM - Haus

Kongressfokus

Ausfallursachen determinieren Strategiewahl



Begriff: Predictive Analytics



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)¹:** Überwachung des Komponentenstatus
- **Prescriptive Maintenance²:** 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

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 Maintenance¹

- 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 eingebaute integrierte Sensoren

5 Predictive Maintenance²

- 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

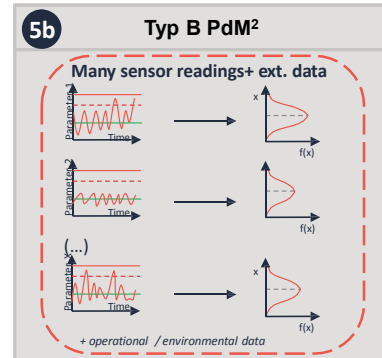
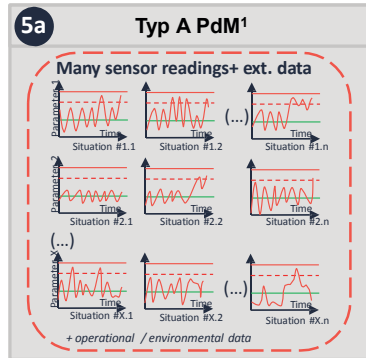
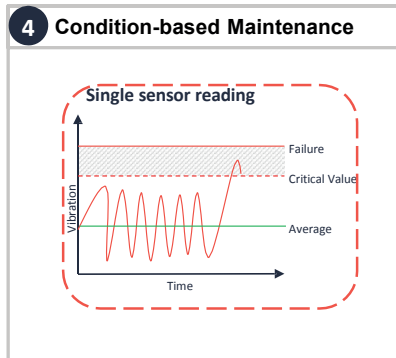
- Anlagen führen Selbstdiagnose durch und planen eigene Instandhaltungsmaßnahmen

Ergebnis: (Vollständig) automatisierter Instandhaltungsarbeitsablauf

Analysekomplexität

Quelle: nach IoT Analytics Research

CBM – Predictive Maintenance – Prescriptive Maintenance



Predictive Maintenance wendet analytische Modelle an und prognostiziert ein bevorstehendes Problem; anschließend werden Vorschläge zur Problembehandlung für Produktion, Instandhaltung und Planung/Logistik erarbeitet (prescriptive M: 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	
Berechnete Werte	Warnsignal (stellt Information zur Verfügung, dass eine unübliche Anlagenaktivität verzeichnet wurde)	Statische Regeln ermöglichen die Identifikation von Ausfallzeitpunkten	Dynamische Modelle ermöglichen die Vorhersage von Ausfallwahrscheinlichkeit
Verbesserungsmaßnahmen	Möglichkeit zur manuelle Anpassung des kritischen Wertes basierend auf Erfahrungswerten	Kombinierte Abnutzungs- und Risikoeinstufung (gibt Auskunft wie kritisch der Anlagenzustand ist)	Berechnete Restnutzungsdauer (gibt an, in welchem Zeitintervall Instandhaltung geplant werden muss)
		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 © WBW, Hubert Biedermann, 32. IH-Kongress, Leoben 10.10.2018

CBM – Predictive Maintenance

4 Condition-based Maintenance **5 Predictive Maintenance**

	Mobiles Condition Monitoring	Online Condition Monitoring	Typ A PdM	Typ B PdM ¹
Sensortechnologie	Tragbare Geräte	Integrierte Sensoren	Integrierte Sensoren	Integrierte Sensoren
Überwachungsfrequenz	regelmäßige Intervallen / auf Anforderung	konstant	konstant	konstant
Visualisierung	Auf speziellen Geräten	Online / Mobil	Online / Mobile	Online / Mobile
IT-Architektur	On-Premise (Server)	On-Premise oder Cloud	On-Premise oder Cloud	On-Premise oder Cloud
Echtzeit Monitoring	✗	✓	✓	✓
Kombination von Datenquellen	✗	✗	✓	✓
Analyse	✗	✗	✓ Stat. Regeln ²	✓ Dyn. Modelle ³
Instandhaltungstrigger	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

Schrittweise Vorgangsweise:

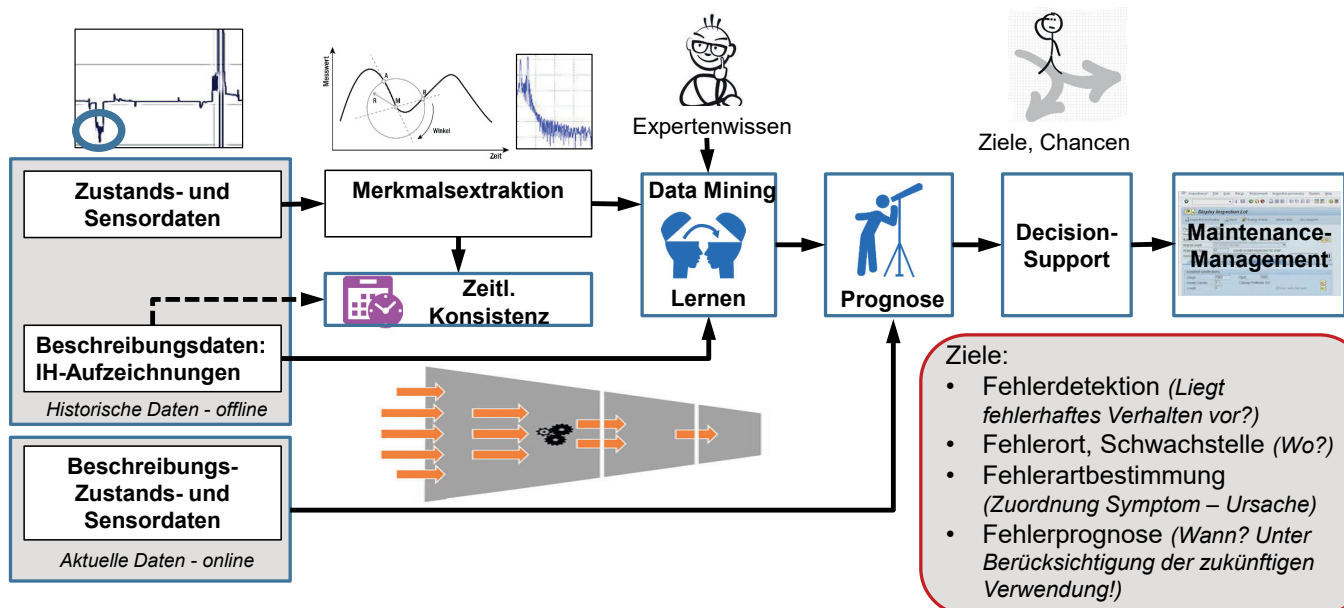
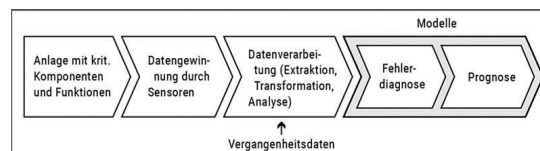
Fehlerdiagnose: Schadens- und Schwachstellenbestimmung durch Bestimmung Abweichung vom Sollzustand
 Dazu notwendig: Anlagenstrukturwissen und ggf. ergänzt Prozesswissen

Ursachenanalyse: Kombination von Anlagenstruktur- und Prozesswissen
 Domänenwissen zur Interpretation von Verdachtshypothesen notwendig!

Prognose: Dem Fehler vorausgehende Abnormitäten müssen detektiert, modelliert und daraus ableitend die Restlebenszeit prognostiziert werden.
 Hoher Komplexitätsgrad!

Ableitung von Handlungsempfehlungen – präskriptive Instandhaltungsstrategie

Predictive Maintenance – Prinzipieller Ablauf



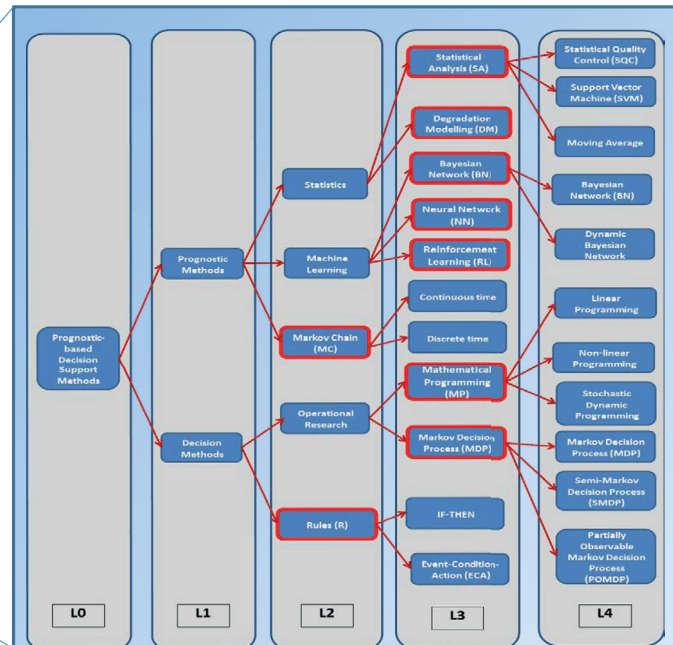
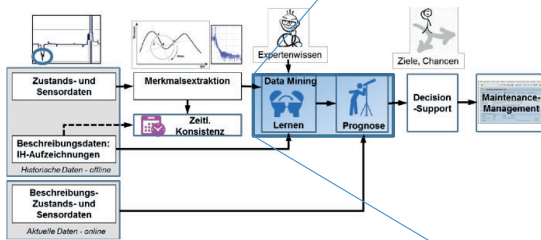
Prognosebasierte Entscheidungsunterstützungsmethoden

Prognosemodell-Input

- Historische Daten
- Aktuelle Daten
- Expertenwissen

Output

- Zustandsprognose
- + Domänenwissen = Handlungsempfehlung



Quelle: Bousdekis A.; et al (2015) 10.10.2018

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	●	●
Zielsetzung – Charakteristik	Bayessche Schätzverfahren (versch. Kalman Filter, Partikelfilter, Multiple Modelle)	Entscheidungsbäume (Wenn-Dann), Fuzzy- oder Neuro-Fuzzy Ansätze
Charakteristische Methoden	Nutzung von Sensorwerten, Anlagenzuständen und Abnutzungsverläufe zur Entwicklung von Beanspruchungskollektiven, physikalischen oder funktionalen Modellen. Identifikations- (Prozess-) und Prognose- (Schadens-) modell	
Instandhaltungsstrategie	CBM-Predictive (i.d.R. statisch)	CBM-Predictive (dynamisch)

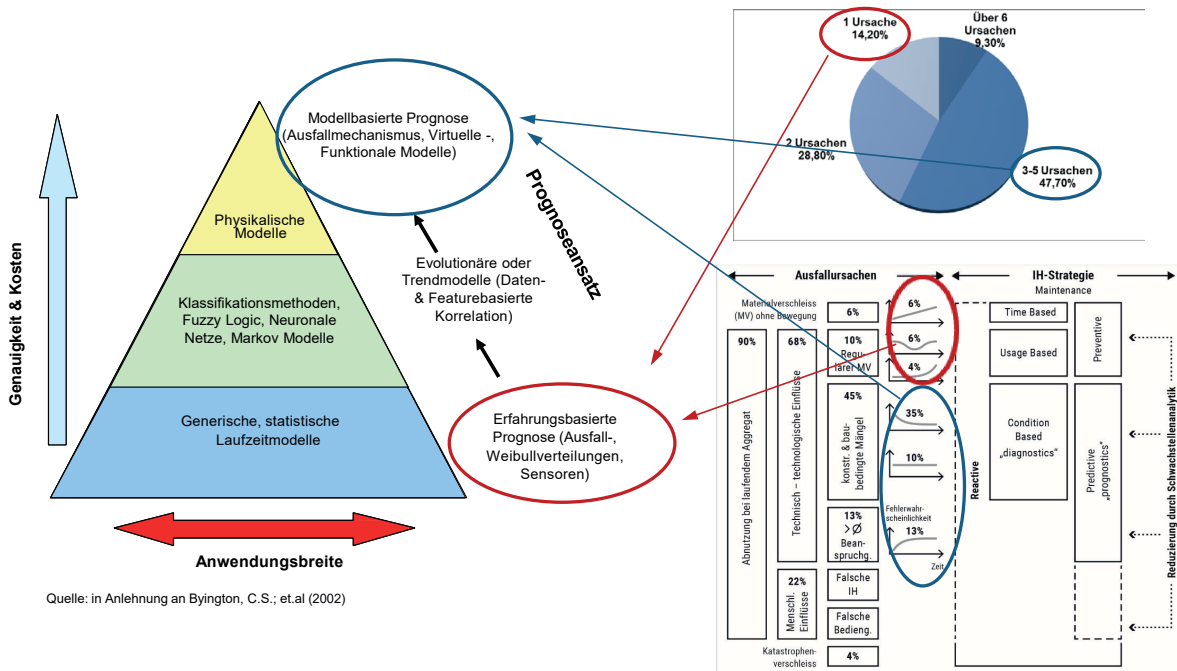
● Vorteilhaft ● Erforderlich

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	○	●	●	●
Zielsetzung – Charakteristik	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
Charakteristische Methoden	Weibullanalyse, Markov-Prozess, Erneuerungsprozess, Simulation	Zeitreihenanalyse; Data Mining, Auto-regressionsmethoden	Mittelwerte, Grenzwerte, Data Mining, Zeit-, Frequenz-, Wavelet-Analysen	Maschinelles Lernen: Artificial Neural Networks, Support Vector Machines etc. Fuzzy Inferenzsysteme
Instandhaltungsstrategie	Preventive	CBM-Predictive (statisch)	CBM-Predictive (statisch)	CBM-Predictive (dynamisch)

Verschleißmodelle – Prognoseansätze – Anwendungsfall



Worin bestehen die Grenzen der Prognoseverfahren?

- Modellbasierte Verfahren gelten i.d.R. für den spezifischen Problemfall.
- Realitätsnahe Modelle haben hohe Komplexität und deren Entwicklung ist ein zeit- und arbeitsintensiver Prozess.
- Geeignete Datensätze für das „Training“ datenbasierter Verfahren sind oftmals nur begrenzt verfügbar.
- IT-Performance ist durch Schnittstellen zwischen unterschiedlichen IT-Systemen limitiert
- Oftmals besteht noch eine ungenügende Kostentransparenz wodurch die Wirtschaftlichkeit nicht eindeutig beantwortet werden kann

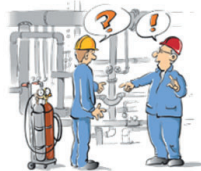
Allerdings:

- Für die Entwicklung des Prognosemodells ist nur etwa ¼ des Zeitaufwandes vorzusehen; der restliche Teil fließt in Datengewinnung und –aufbereitung!
- D.h. in frühen Stadien der PdM mit Datensammlungen beginnen um höhere Reifegrade zu erreichen!

To do: Geschäftsmodellwandel der Instandhaltung

Bisher bzw. aktuell verbreitet

- Statische IH-Strategie
- Vorwiegend ausfall- bzw. laufzeit- oder kalenderzeitinduzierte IH-Maßnahmen
- Kostenfokus (Ziel: Budgeteinhaltung)
- Wenig Überwachung der Komponentenzustände (CBM)
- Kaum life-cycle-cost Orientierung
- Zugriff auf Daten nur über Programmierung oder gar nicht möglich
- Datenarchivierung



Evolutionär-Disruptive Technologien und Innovationen

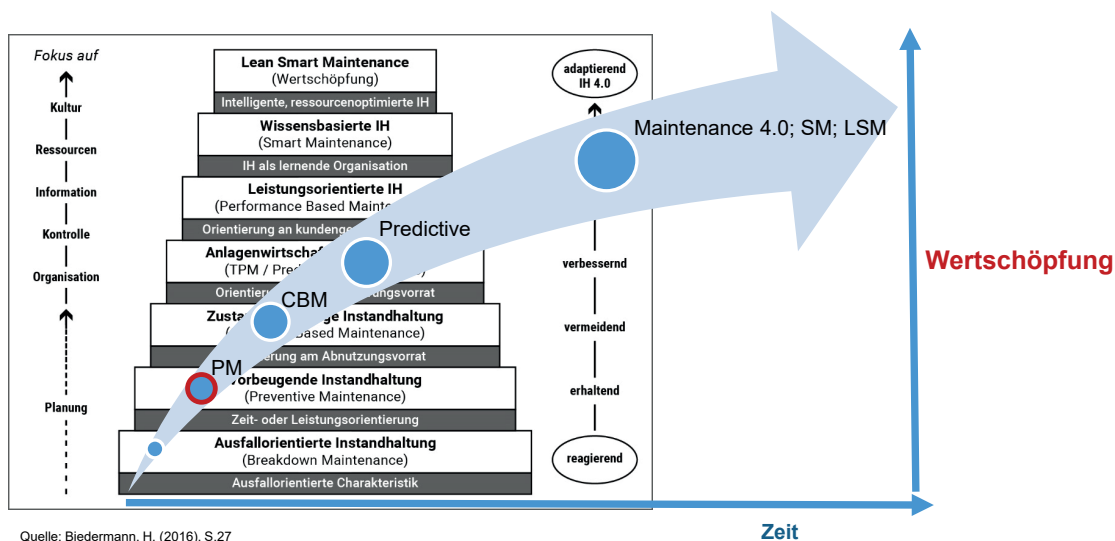


Agil: Lean Smart Maintenance

- Dynamische Strategieanpassung
- Condition based, predictive, perfective IH-Maßnahmen im Fokus (zustandsbasierte, vorausschauende Ausfallerkennung)
- Wertschöpfungsorientierung
- Erhöhung der Verfügbarkeit (OEE), der Qualität und der Anlagenlebensdauer
- LCA / LCC Orientierung insbes. in der Investitionsphase
- Optimierte Instandhaltungsplanung
- Kostengünstige Befähigung von Altanlagen zu Predictive Maintenance
- Datenanalytik



Instandhaltungsmodelle (-philosophien)



Quelle: Biedermann, H. (2016), S.27

Zeit

Smart Factory bedarf Smart Maintenance

Die Bedeutung von Daten



Die Instandhaltung muss die steigende Quantität und Qualität der verfügbaren Daten auswerten und nutzen lernen!

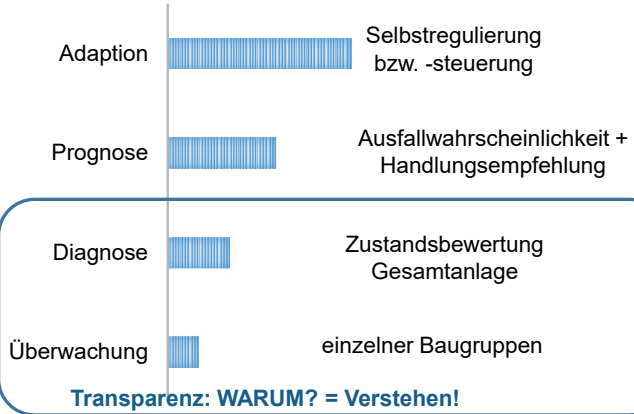
Datenanalysen helfen vorrausschauend Störungen zu vermeiden und erlauben eine kontinuierliche Weiterentwicklung und Verbesserung der maschinellen Anlagen

Erfassung 100%

Nutzung heute 10%

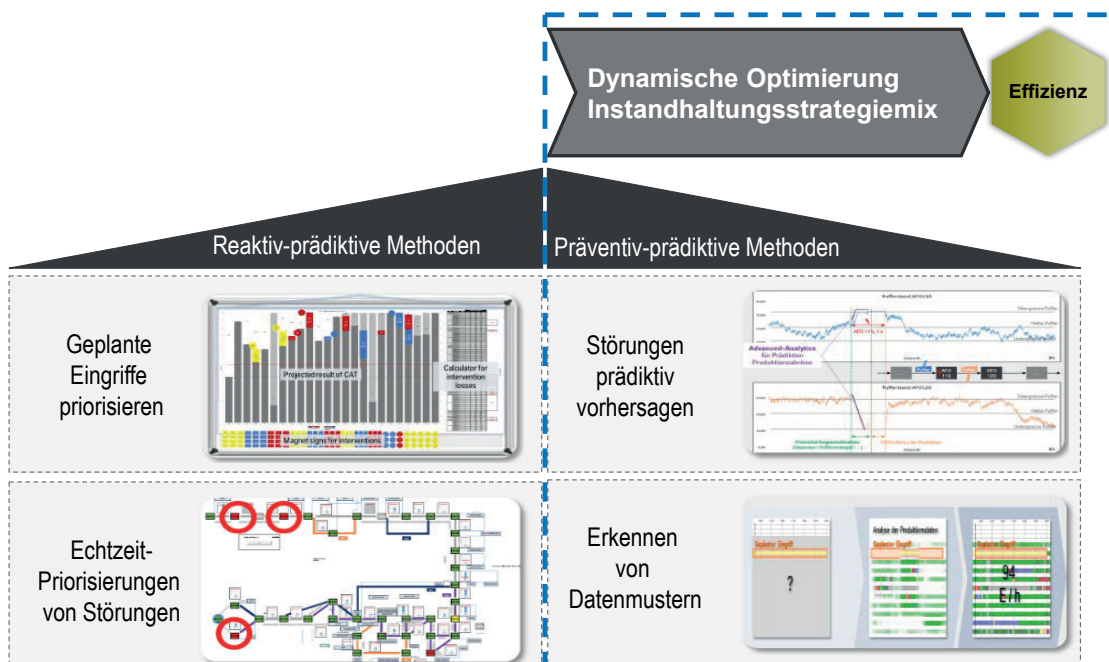
ENTWICKLUNGSSTUFEN

Smart Maintenance-Reifegrad

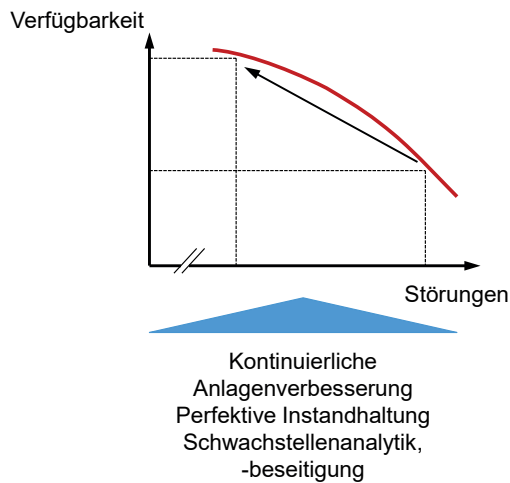


Transformation von einer reaktiven Instandhaltung zu einer **antizipativen agilen Maintenance!**

Aktuell: Prädiktive Methoden zur OEE Steigerung



Auswirkungen von reduzierten Störungen auf die wesentlichen Unternehmensziele (Wertschöpfung!)



Qualitätsverbesserung:

- 2.Wahl verringern
- Ausbeute erhöhen
- Höhere Qualitätskonstanz

Kostensenkung:

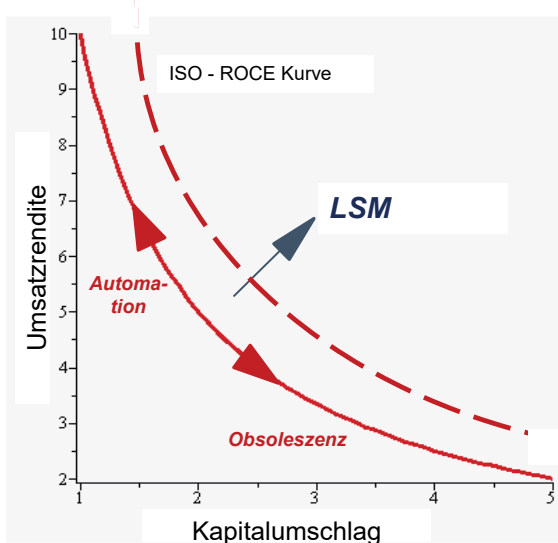
- Bessere Fixkostennutzung
- Weniger Wartezeiten
- Geringerer Ausschuss
- **Geringerer Instandhaltungsaufwand**
- Höhere Energieeffizienz

Besseres Zeitmanagement:

- Weniger Programmänderungen
- Höhere Termintreue
- Kürzere Lieferzeiten
- Höhere Flexibilität
- **Geringere Ausfallkosten**
- **Höhere Anlagenproduktivität**

Die Zielsetzung „Erhöhung der Anlagenverfügbarkeit“ fördert dabei die wesentlichen Unternehmensziele und damit den **Wertschöpfungsbeitrag**

Auswirkungen der dualen LSM – Philosophie auf (Wertschöpfung!)



Anlagenproduktivitätserhöhung

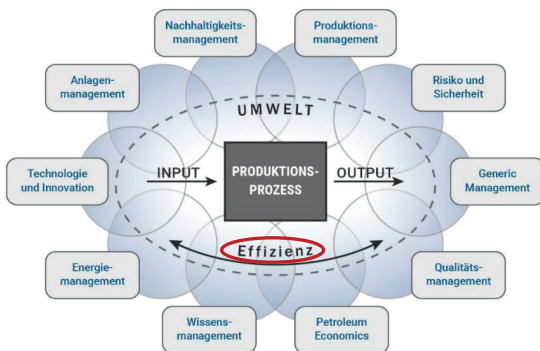
- Verfügbarkeitserhöhung
- Besseres Ausbringen (OEE)
- Ersatzteilbestandsreduzierung
- Niedrigere LCC
- Längere Komponentennutzung
- Schadensreduktion
- Maintainability

Kostensenkung

- Weniger Nebenzeiten (Troubleshooting)
- Optimierte IH-Strategie
 - Selektive, dynamische Wartung
 - Selektive, dynamische Inspektion
- Strategisches Outsourcing

KRITISCHE ERFOLGSFAKTOREN – Einstieg PdM/LSM

KRITISCHE ERFOLGSFAKTOREN	EMPFEHLUNG
VISION IST ZU AMBITIONIERT	<ul style="list-style-type: none"> Mit einem kleinen, aber sichtbaren Use Case beginnen
SCHWIERIG ZU PROGNOSTIZIERENDER NUTZEN	<ul style="list-style-type: none"> Erster Use Case sollte an relevanter nicht zu komplexer Anlage erfolgen
ZU TEUER bzw. UNKLARER AUFWAND	<ul style="list-style-type: none"> Prüfen, was mit vorhandener IT/Sensorik/Datenlage umsetz- bzw. lösbar ist
VISION ZU DETAILLIERT	<ul style="list-style-type: none"> Einfache Anforderungen, die Technik ist komplex genug
PROJEKTMISSERFOLG VERMEIDEN	<ul style="list-style-type: none"> Start small, with „little“ Data



Ihr möglicher Partner bei innovativen IH- Projekten!

Department für Wirtschafts- und Betriebswissenschaften

Peter-Tunner-Straße 25/3. Stock
8700 Leoben
Tel.: +43 3842 402 6000
wbw@unileoben.ac.at

www.wbw.unileoben.ac.at
www.lean-smart-maintenance.net