
Zustandsabhängige Instandhaltung – Grundlagen, Lösungen, Aussichten

3. IHRUS Fachtagung, 14. November 2013, Verkehrshaus Luzern

Dr.-Ing. Frank Ryll

Fraunhofer-Institut für Fabrikbetrieb und –automatisierung

Geschäftsfeld Logistik- und Fabrikssysteme
Sandtorstr. 22
39106 Magdeburg

Telefon +49 (0) 391 / 40 90-413
Fax +49 (0) 391 / 40 90-93 413
Mobil +49 (0) 162 1362376
frank.ryll@iff.fraunhofer.de
www.iff.fraunhofer.de

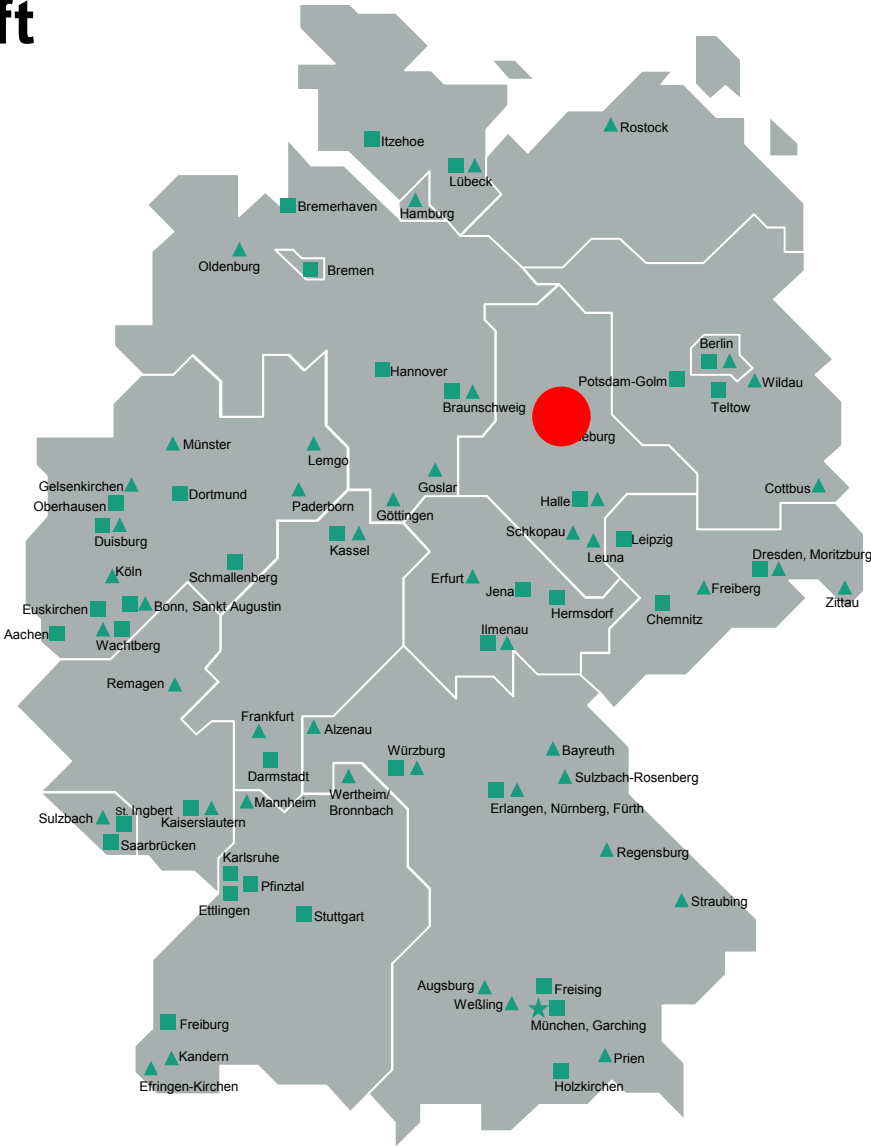
Gliederung

1. Vorstellung
2. Grundlagen und Potenziale moderner Instandhaltungsstrategien
3. Lösungen zur Gewinnung von Zustandsinformationen
4. Erfahrungsbasierte Zustandsbewertung
5. Ausblick

Die Fraunhofer-Gesellschaft Standorte in Deutschland

- 66 Institute und selbstständige Forschungseinrichtungen
- rund 22 000 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter

- Institut/selbstständige Einrichtung
- ▲ sonstiger Standort
- ★ Zentrale



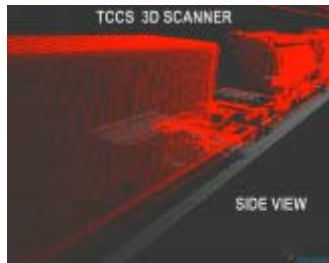
Vorstellung

Fraunhofer-Allianz Verkehr, Arbeitsgruppe RAIL



Bündelung von Kompetenzen der Partnerinstitute für sämtliche Aspekte des Schienenverkehrs zu

- Eisenbahninfrastruktur
- Güterverkehr und Logistik
- Rollendem Material
- Personenverkehr



in den Bereichen

- Planung / Entwicklung
- Herstellung
- Prozessanalyse und – optimierung
- Prüfung
- Instandhaltung



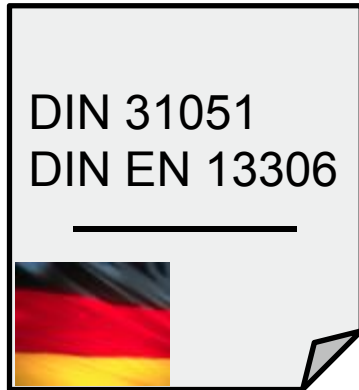
- <http://www.verkehr.fraunhofer.de/rail.html>

Gliederung

1. Vorstellung
2. Grundlagen und Potenziale moderner Instandhaltungsstrategien
3. Lösungen zur Gewinnung von Zustandsinformationen
4. Erfahrungsbasierte Zustandsbewertung
5. Ausblick

Grundlagen

Instandhaltung und Instandhaltungsstrategien



■ Instandhaltung

- „Kombination aller technischen und administrativen Maßnahmen sowie Maßnahmen des Managements während des Lebenszyklus einer Betrachtungseinheit zur Erhaltung des funktionsfähigen Zustandes oder der Rückführung in diesen, so dass sie die geforderte Funktion erfüllen kann“

[DIN 31051:2012-09 Grundlagen der Instandhaltung]

- Grundmaßnahmen der Instandhaltung sind Inspektion, Wartung, Instandsetzung, Verbesserung

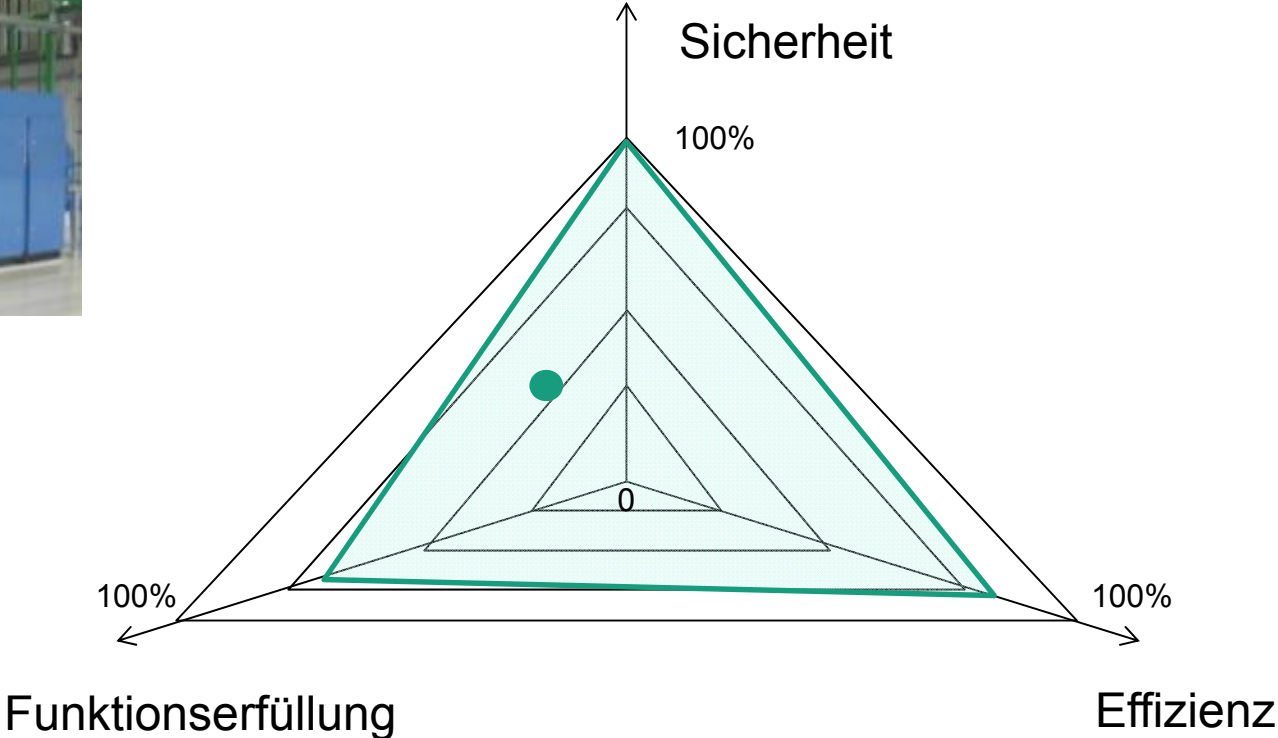
■ Instandhaltungsstrategie

- Anwendung von Methoden, um die Instandhaltungs-ziele zu erreichen.
- Die Instandhaltungsstrategie bestimmt letztlich zu welchem Zeitpunkt welche Art von Maßnahmen wie oft an definierten Instandhaltungsobjekten durchgeführt werden.

[DIN EN 13306: Begriffe der Instandhaltung]

Grundlagen

Ziele der Instandhaltung



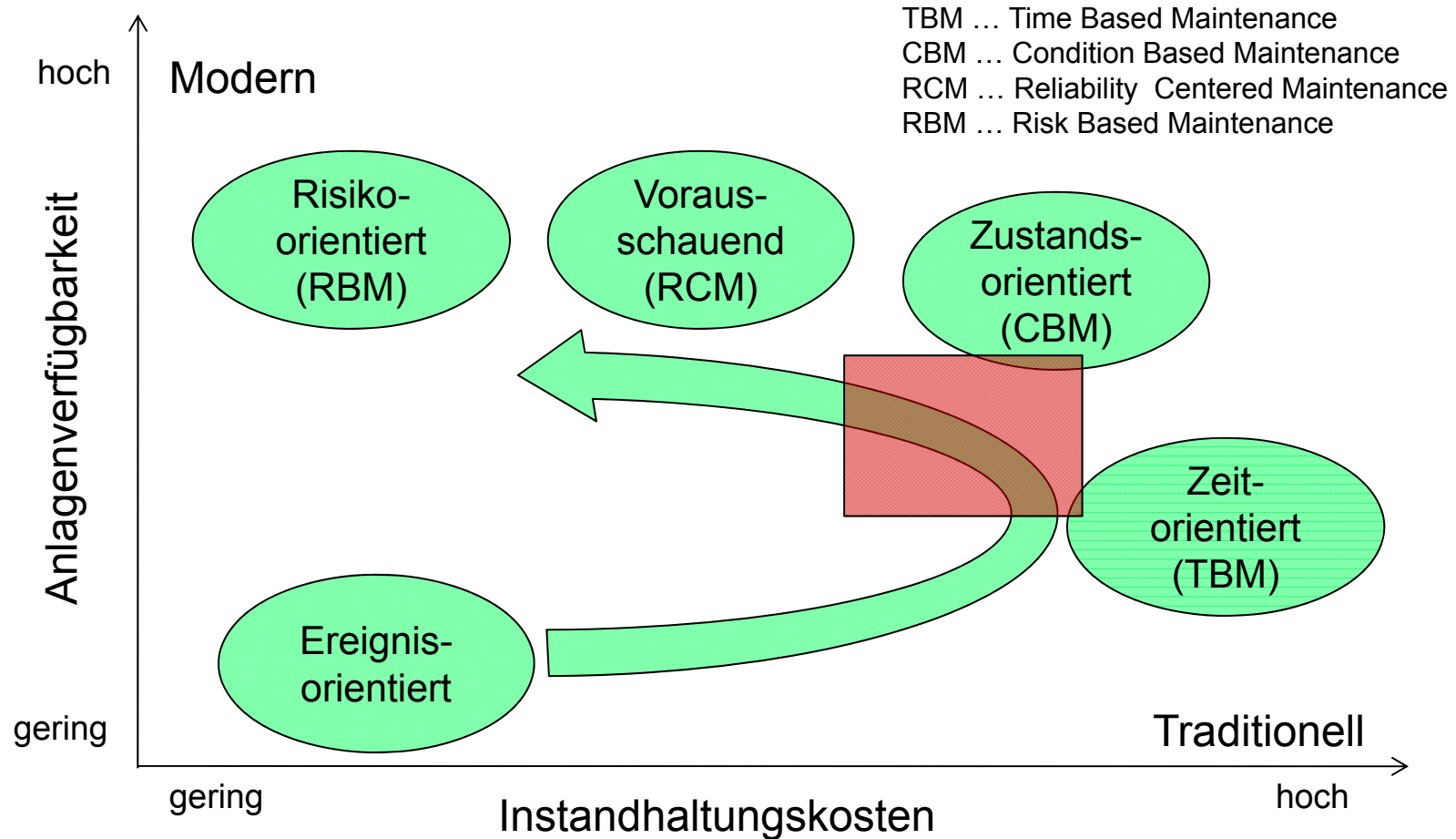
Grundlagen

Instandhaltungsstrategien



Quelle:
MATYAS, Kurt: Taschenbuch Instandhaltungslogistik: Qualität und Produktivität steigern.
München, Wien : Carl Hanser, 1999

Grundlagen Instandhaltungsstrategien



Quelle: A.T.Kearney, Strategische Handlungsoptionen, 1999

Grundlagen

Auswahl von Instandhaltungsstrategien

Kriterien	Ausprägungen			
Gesetzliche Vorschriften	ja		nein	
Ausfallfolgen	für Mensch / Umwelt	für Produktion	keine	
Ausfallwahrscheinlichkeit	hoch	mittel	gering	unbekannt
Entdeckenswahrscheinlichkeit eines Ausfalls	hoch	mittel	gering	unbekannt
Ausfallverhalten	bekannt		unbekannt	
Beanspruchungen	konstant	schwankend	unbekannt	
Erkennbarkeit potenzieller Störungen	hoch	mittel	gering	nicht gegeben
PF-Intervall (Entdecken pot. Störung -> Ausfall)	lang	mittel	kurz	
Redundanzen	kalt	warm	heiß	keine
Geplante Nutzungsdauer / Restnutzungsdauer	lang	mittel	kurz	
Kosten einer Zustandsüberwachung	hoch	mittel	gering	
Ressourcen für Instandhaltung	viel	mittel	wenig	
Qualifikation, Erfahrungen Bediener	hoch	mittel	gering	
Qualifikation, Erfahrungen Instandhaltung	hoch	mittel	gering	

Grundlagen

Bestimmung des Zeitpunktes für Instandhaltungsmaßnahmen

Die Bestimmung des günstigsten Austauschzeitpunktes gestaltet sich wegen vieler Unsicherheiten schwierig.

Ziele	Unsicherheiten
■ keine Störungen im laufenden Betrieb	■ variierende Materialbeschaffenheit (Verschleißfestigkeit)
■ vollständige Ausnutzung des Abnutzungsvorrates	■ variierende Einsatzbedingungen (h/d, km/d, Stillstände,...)
■ Planbarkeit des Austauschzeitpunktes	■ variierende Beanspruchungen (Temperaturen, Kräfte, ...)
■ wenig Aufwendungen für Wartung und Inspektion	■ Verfügbarkeit von Ressourcen (Ersatzteile, Personal, ...)
■ geringe Ersatzteilbestände	
■ geringe Lebenszykluskosten	

Grundlagen

Instandhaltungsstrategien und angestrebte Ziele

- keine Störungen im laufenden Betrieb
- vollständige Ausnutzung des Abnutzungsvorrates
- Planbarkeit des Austauschzeitpunktes
- wenig Aufwendungen für Wartung und Inspektion

Instandhaltungsstrategie		
störungs- bedingt	planmäßig präventiv	zustands- orientiert
—	+	+
+	—	+
—	+	+
+	+	+

Grundlagen

Potenziale einer zustandsorientierten Instandhaltung

- Planbarkeit von Stillstandszeiten (ca. - 39 %)
- Verringerung von Instandhaltungskosten (ca. - 21 %)
- Reduzierung der Zeit für Fehlersuche (ca. – 17%)
- Erhöhung der wartungsfreien Maschinenlaufzeit (ca. + 11%)
- Erhöhung der Effizienz in der Instandhaltung (ca. + 11%)
- Verringerung von Umsatzausfällen infolge von Stillstandszeiten
- ausreichende Reparaturvorlaufzeiten
- Erhöhung der Betriebssicherheit

Quelle: Schuh (et al): Studie Intelligent Maintenance - Potenziale zustandsorientierter Instandhaltung, ifm, RWTH, IPT, 2007

Grundlagen

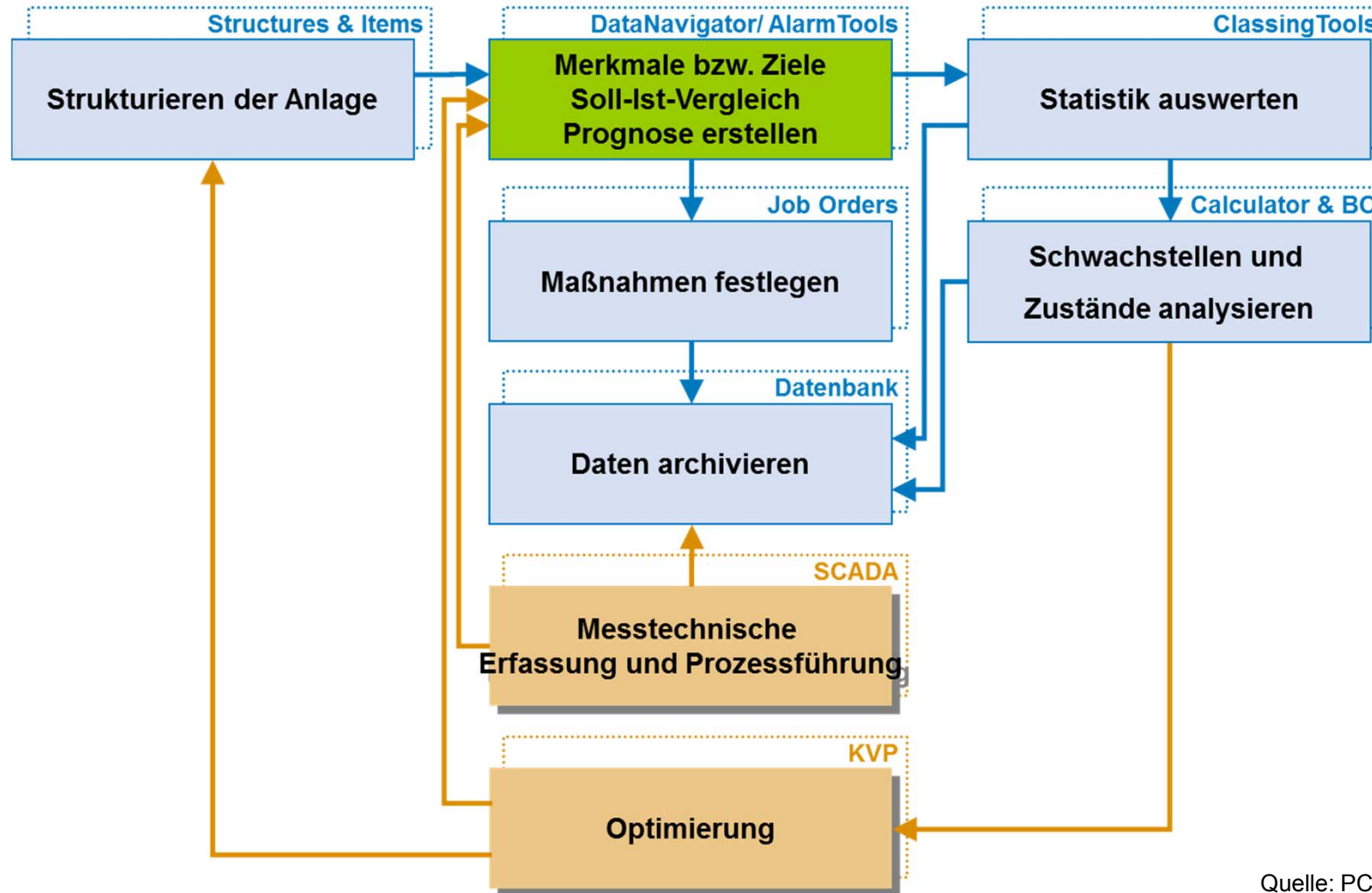
Herausforderungen bei der Umsetzung

- Komplexität von Zustandserhebungen
- technische Machbarkeit
- wirtschaftliche Vertretbarkeit einer Zustandsüberwachung
- diskontinuierliche Diagnose
- Integration der Zustandsüberwachung in andere IT-Systeme zur Planung und Steuerung von Betriebs- und Instandhaltungsprozessen
- Ausfälle durch menschliche Fehlhandlungen nicht diagnostizierbar

Quelle: Schuh (et al): Studie Intelligent Maintenance - Potenziale zustandsorientierter Instandhaltung, ifm, RWTH, IPT, 2007

Grundlagen

Zustandsorientierte Instandhaltung (VDI 2888)



Quelle: PC Soft GmbH

Grundlagen

Kriterien zur Beurteilung des Zustandes



Foto: Frank Ryll, 2013

Technisch:

- Auslegung, Robustheit
- Leistungsvermögen
- Zuverlässigkeit

Kaufmännisch:

- Betriebskosten, Effizienz
- Anlagenwert, Verkaufserlös

Ästhetisch:

- Gestaltung, Optik
- Tradition

Grundlagen

Einführung des Zustandsbegriffs

Abstrakt:

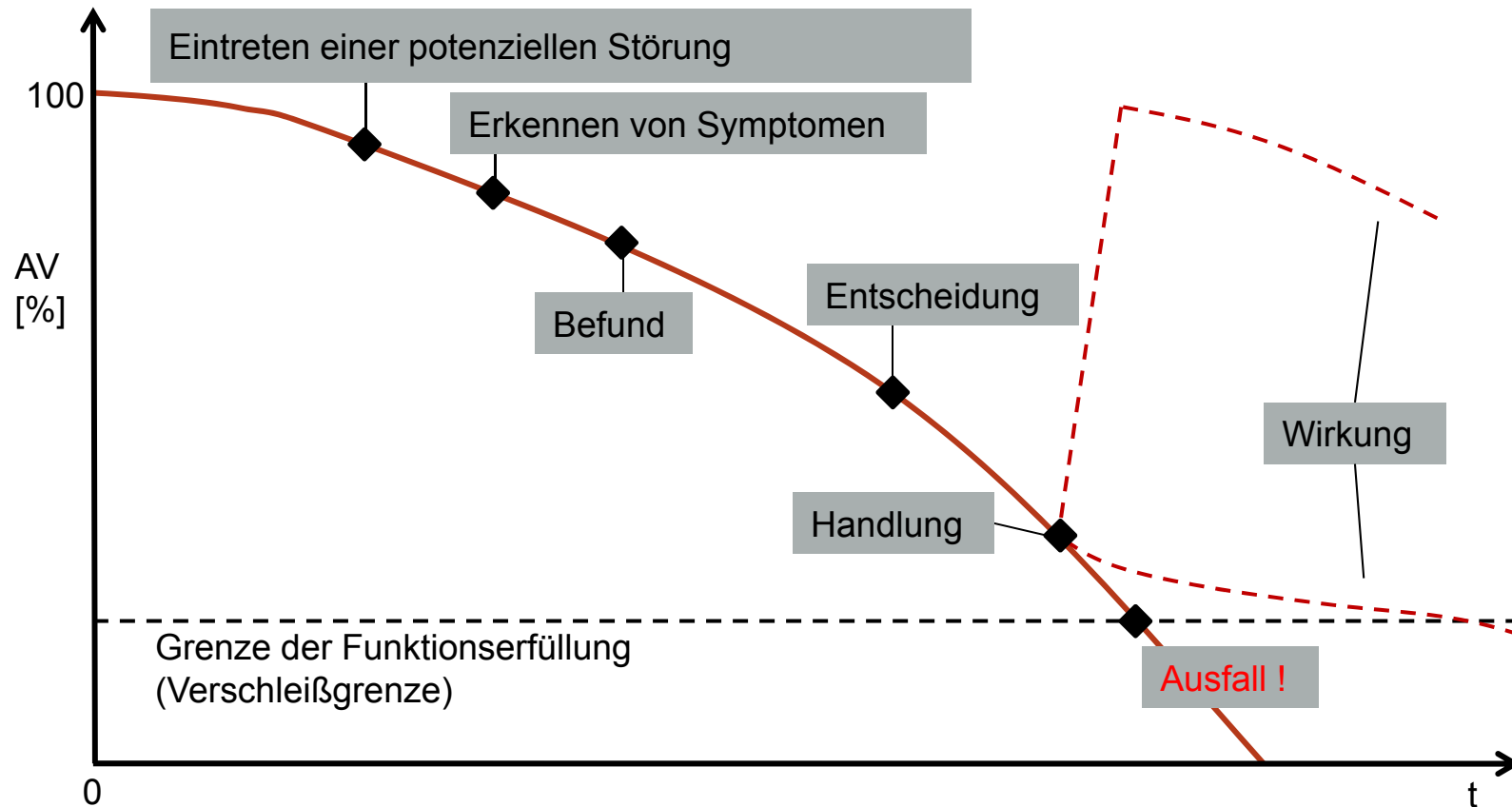
- die Gesamtheit aller Eigenschaften oder Attribute, die zur Abgrenzung und Unterscheidung des jeweils betrachteten Objekts von anderen Objekten nötig sind

Technisch:

- eine Beschreibung der Beschaffenheit bzw. das Leistungsvermögen eines technischen Objektes sowie deren Veränderungen über die Zeit
 - Zuverlässigkeit
 - Überlebenswahrscheinlichkeit
 - Abnutzungsvorrat (DIN 31051)

Grundlagen

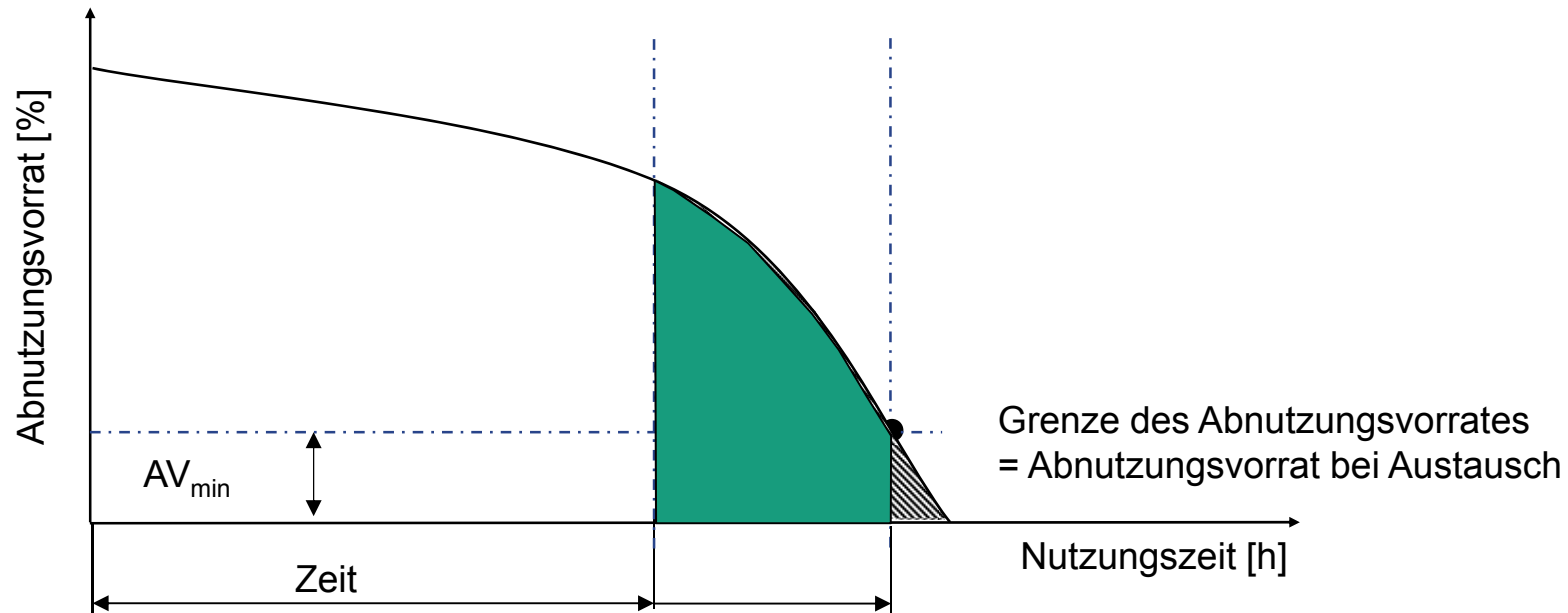
Verbrauch an Abnutzungsvorrat und Instandhaltungsprozess



In Anlehnung an: DIN 31051; Moubray, J.: RCM

Grundlagen

Vorteile einer zustandsorientierten Instandhaltung



- Gewinn an Nutzungszeit
- Einsparung von Ressourcen

Gliederung

1. Vorstellung
2. Grundlagen und Potenziale moderner Instandhaltungsstrategien
3. Lösungen zur Gewinnung von Zustandsinformationen
4. Erfahrungsbasierte Zustandsbewertung
5. Ausblick

Gewinnung von Zustandsinformationen

Gesetze und Standard-Erkenntnisquellen



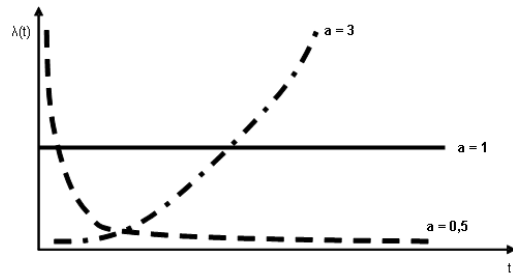
- Gesetze, Richtlinien
(BetrSichV, BImSchG,
EU-Maschinenrichtlinie, EN, DIN, TRD, VDI-, VDE-
Richtlinien)
- Forderungen von
Berufsgenossenschaften und
Versicherungen
- Handbücher
(DNV OREDA® Handbook 5th Edition)
- Erkenntnisse aus Störfällen
(Versicherungen, Prüforganisationen)



Im Fokus stehen Fragen der Rechtskonformität
und Betriebssicherheit.

Gewinnung von Zustandsinformationen

Herstellerangaben, Serviceberichte



Herstellerangaben

- Gefährdungsbeurteilungen, RAMS-Analysen, FMEA, Statistiken, Betriebs- und Instandhaltungshandbücher

Vorteile

- Umfassende Kenntnisse aus Konstruktion und Funktionsweise
- Testung im Produktentwicklungsprozess
- Erfahrungen aus einer Vielzahl von Anwendungen
- statistisch gesicherte Angaben zur Zuverlässigkeit

Nachteile

- Arbeit mit statistischen Daten
- Lebensdauerangaben oft pessimistisch (Gewährleistung)
- Zukaufteilen mit "unsicheren" Eingangsinformationen
- Service als zunehmend ertragsreiches Geschäftsfeld

Gewinnung von Zustandsinformationen

Technische Diagnose



Foto: Sergii Kolomiichuk, Fraunhofer IFF

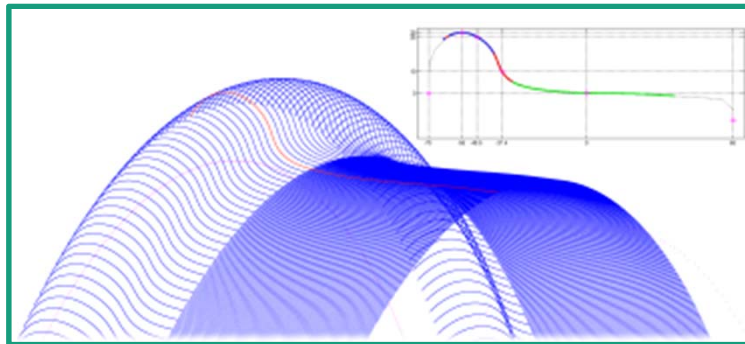


Foto: Sergii Kolomiichuk, Fraunhofer IFF

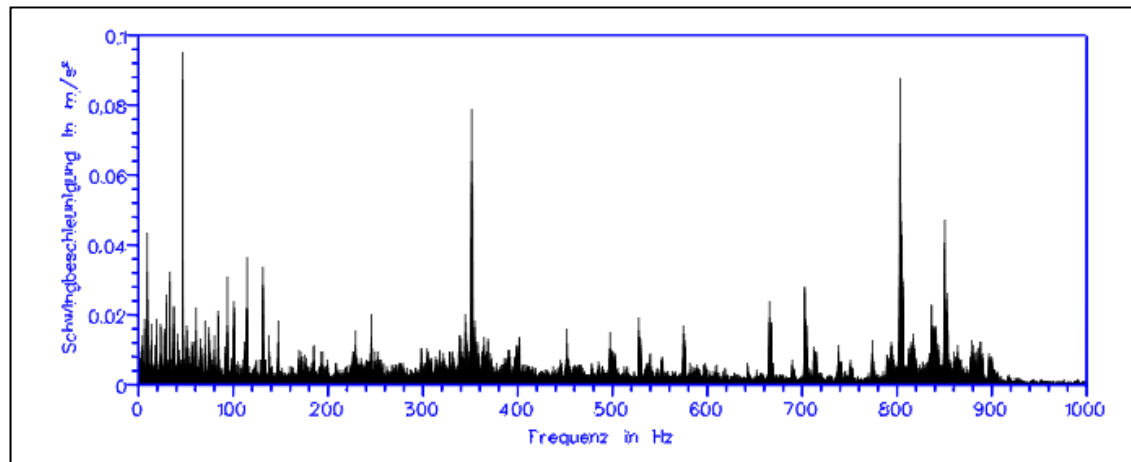
- i.d.R. eine unregelmäßige, diskontinuierliche Beurteilung des Zustandes
- Überwachung von Veränderungen der Werkstoffoberfläche, von Werkstoffeigenschaften, der geometrischen Form, der Position bzw. Erfassung freigesetzter Schädigungsprodukte mittels Diagnoseparametern
- Überwachung von Parametern, die im Zusammenhang mit dem Schädigungs-zustand stehen
- hohe Genauigkeit
- technische Machbarkeit und wirtschaftliche Vertretbarkeit beachten
- Spezialwissen und Erfahrungen sind häufig auf wenige Experten konzentriert

Gewinnung von Zustandsinformationen

Condition Monitoring



- kontinuierliche Zustandsüberwachung (direkt/indirekt)
- Erkennung potenzieller Störungen möglich
- häufig hohe Investitionskosten
- sehr gute Anlagenkenntnisse erforderlich
- IT-Integration



Quelle: Gesellschaft für Maschinendiagnose mbH, Berlin

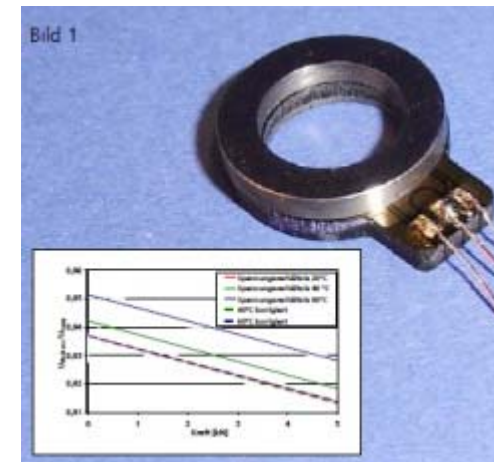
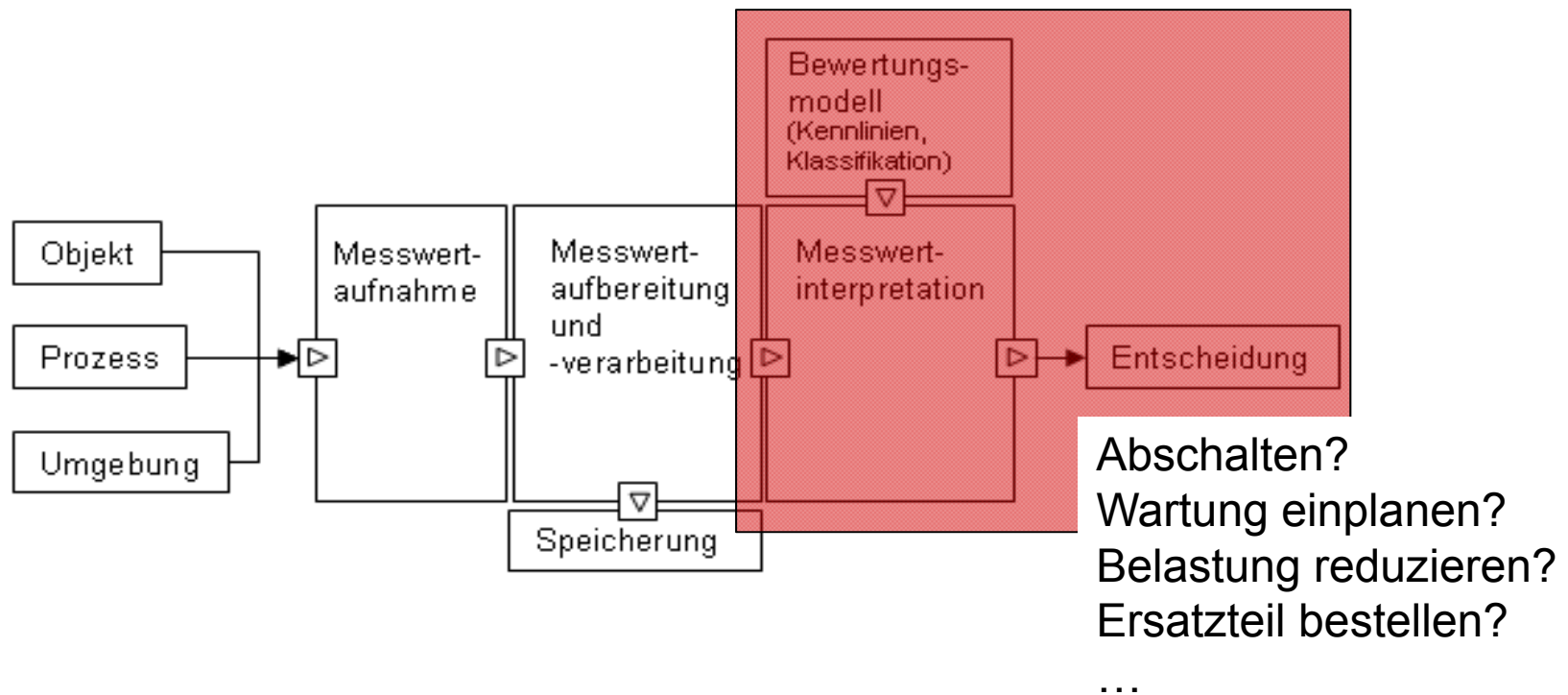


Foto: Fraunhofer IST

Gewinnung von Zustandsinformationen

Grundaufbau eines Condition Monitoring Systems



Quelle: nach Sturm, A.; Förster, R.: Maschinen- und Anlagendiagnostik

Gewinnung von Zustandsinformationen

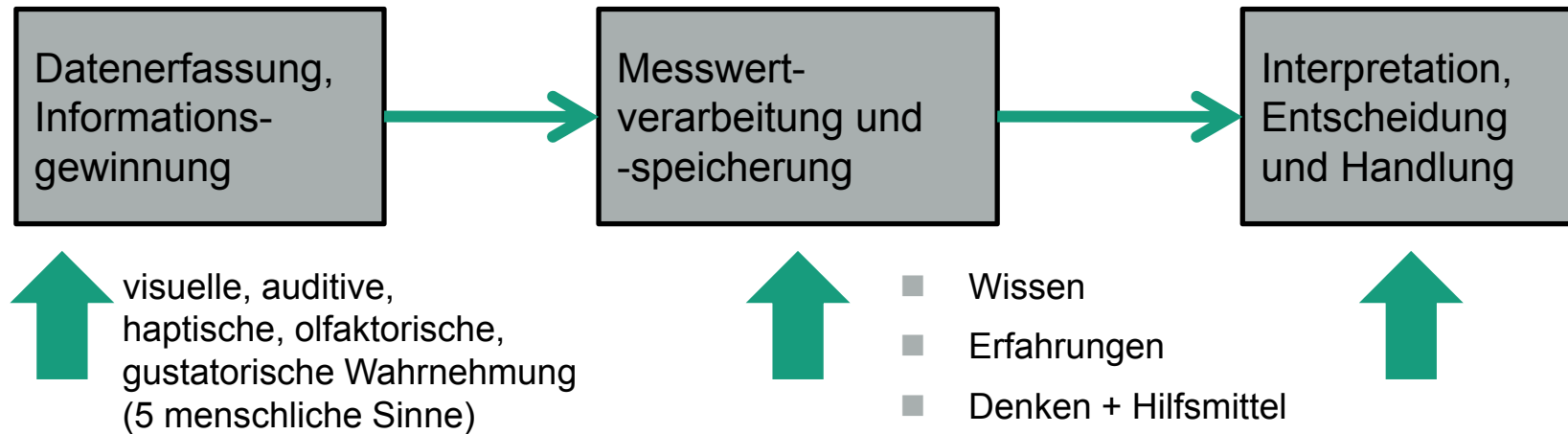
Nutzung von Erfahrungswissen



© Das Boot- The Director's Cut 1997

Bildnachweis:
<http://rh-webdesign.com/erwinLeder/img/content/maschinist.jpe>

- Wissen und Erfahrungen über eine Anlage und deren Betriebs- und Ausfallverhalten

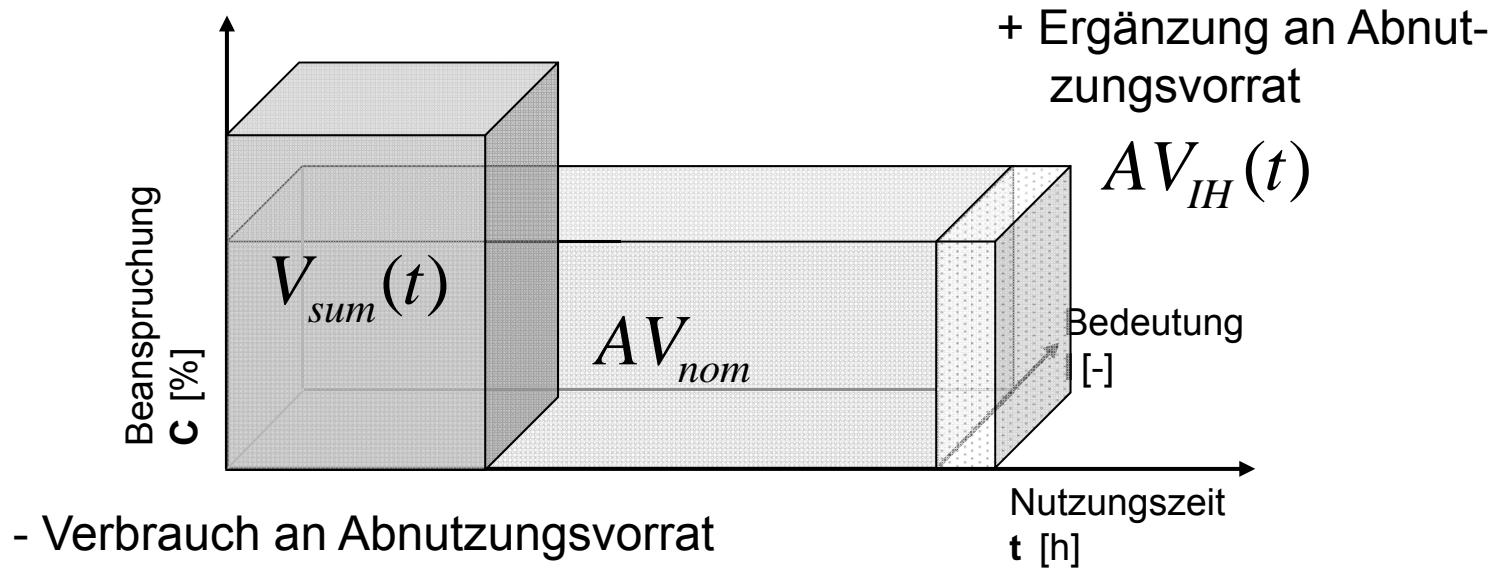


Gliederung

1. Vorstellung
2. Grundlagen und Potenziale moderner Instandhaltungsstrategien
3. Lösungen zur Gewinnung von Zustandsinformationen
4. Erfahrungsbasierte Zustandsbewertung
5. Ausblick

Erfahrungsbasierte Zustandsbewertung Modell

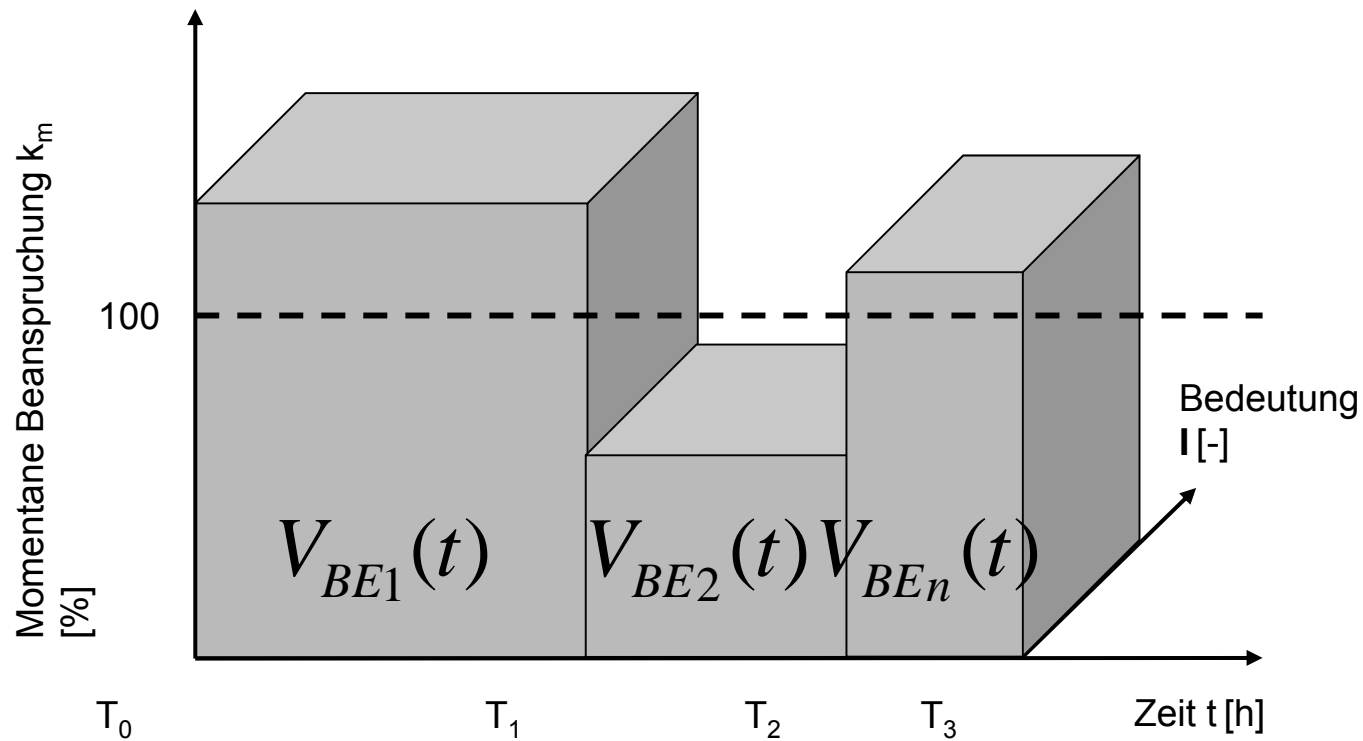
Systemimmanenter Abnutzungsvorrat



$$AV(t) = \left(1 - \frac{V_{sum}(t) + AV_{IH}(t)}{AV_{nom}} \right) \times 100 \quad [\%]$$

Erfahrungsbasierte Zustandsbewertung

Beanspruchung und Verbrauch an Abnutzungsvorrat



$$V_{sum}(t) = \sum_{i=1}^n V_{BE_i}(t)$$

V_{sum} ... Gesamtverbrauch an Abnutzungsvorrat
 V_{BE_i} ... Einzelverbräuche im Erfassungsintervall i

Erfahrungsbasierte Zustandsbewertung

Abbildung von Erfahrungswissen mittels Fuzzy-Logik

■ Beispiele für Erfahrungswissen

- “Die Maschine sollte wenigstens 8 Stunden pro Woche laufen.”
- “Ca. alle 5 Jahre ist ein Motortausch fällig”
- “Wenn der Motor laut wird, dann würde ich das Lager schnellstens tauschen”

■ Herausforderung

- Quantifizierbarkeit von Werten wie “wenigstens”, “ca.”, “laut”, “schnellstens”
- subjektive Einschätzungen mehrerer Personen mit eigenen Erfahrungen

■ Neuer IFF-Lösungsansatz mittels Fuzzy-Logik

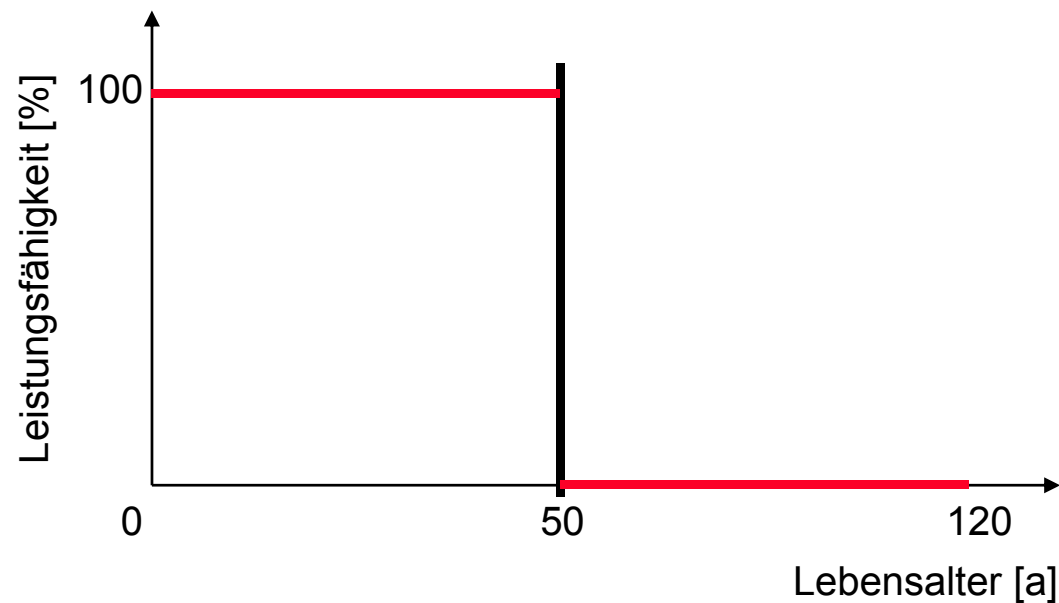
- linguistische Regeln WENN (*Geräusch* = laut) DANN (*Beanspruchung* = hoch)
- Rechenoperationen zur Schlussfolgerung und Zusammenfassung mehrerer Regeln zu einem Bewertungsergebnis

Exkurs

Grundlagen der Fuzzy-Logik (Alltagsbeispiel)

■ Aussage:

- „Junge Menschen lernen gut, alte Menschen lernen schlecht.“



■ Abbildung in einer scharfen Logik

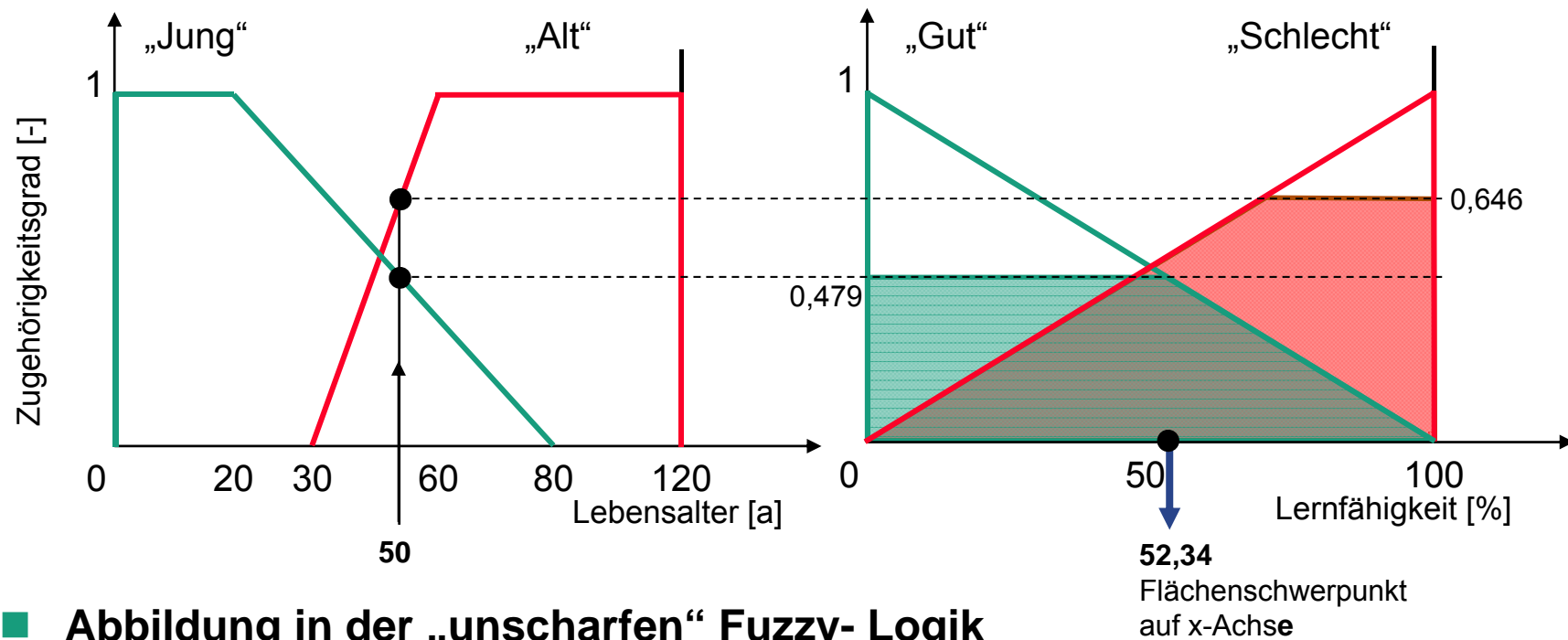
- WENN Alter < 50 DANN Lernfähigkeit = 100%
- WENN Alter ≥ 50 DANN Lernfähigkeit = 0%

Exkurs

Grundlagen der Fuzzy-Logik (Alltagsbeispiel) /2

■ Aussage:

- „Junge Menschen lernen gut, alte Menschen lernen schlecht.“



■ Abbildung in der „unscharfen“ Fuzzy- Logik

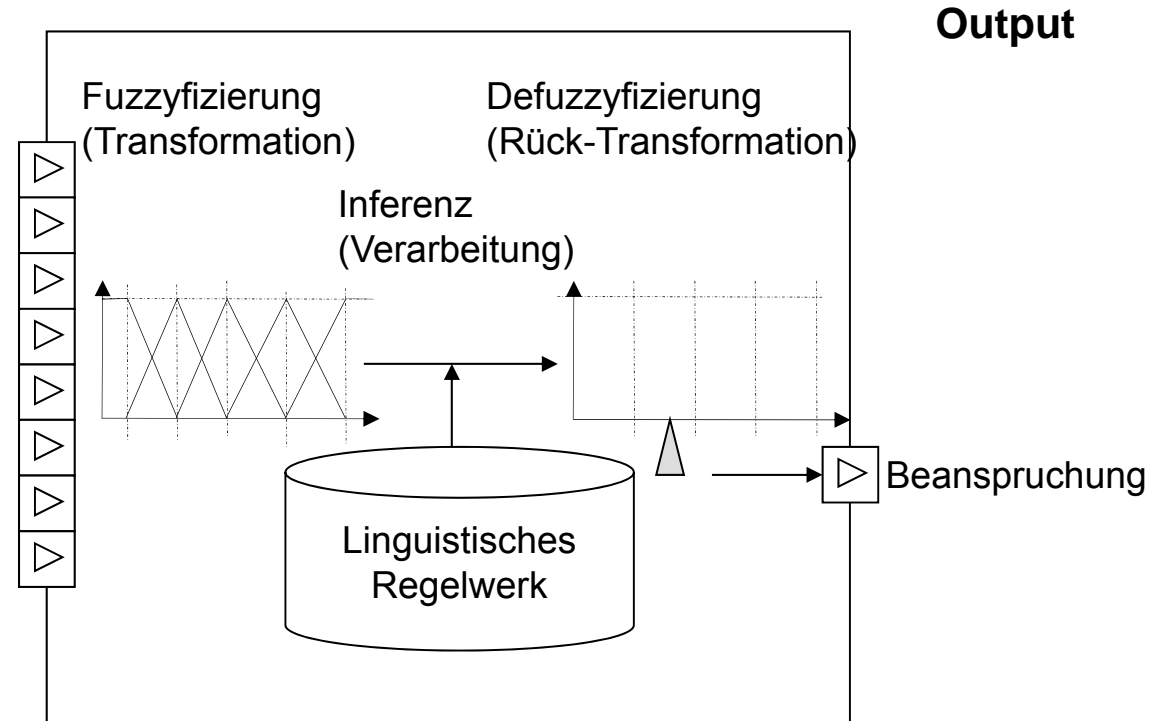
- WENN Alter = 50 DANN Lernfähigkeit = 52 %

Erfahrungsbasierte Zustandsbewertung

Bestimmung der Beanspruchung eines Motorlagers /1

Input

Drehzahl
Auslastung
Wicklungstemperatur
Betriebsstd. letzte Schmierung
Teppichwert Schwingung A
Spitzenwert Schwingung A
Teppichwert Schwingung B
Spitzenwert Schwingung B

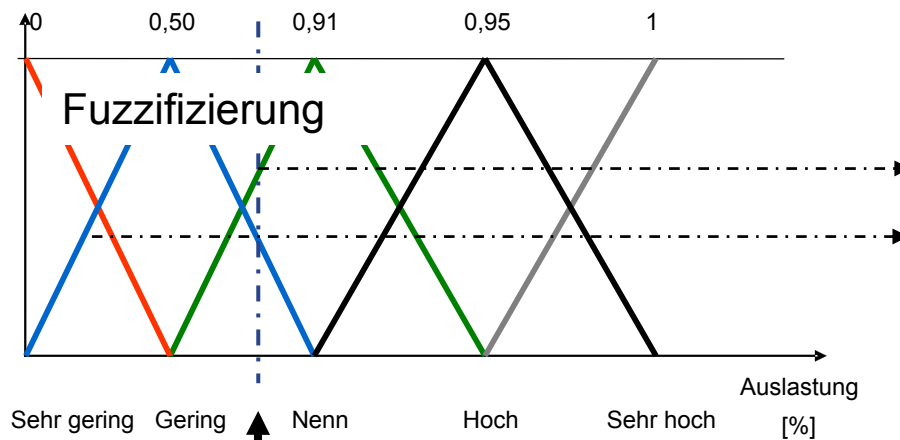


Erfahrungsbasierte Zustandsbewertung

Bestimmung der Beanspruchung eines Motorlagers /2

■ Beispiel:

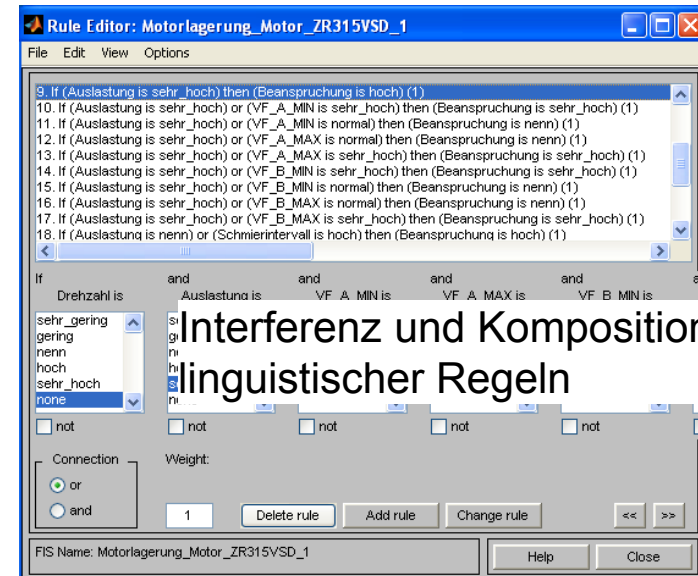
- Einfluss des Parameters „Auslastung“ auf die Beanspruchung eines Motorlagers



Berechnung der Auslastung

Protokolldatei der GLT (alle 5 min)

Input:
Drehzahlsignal aus der Anlage



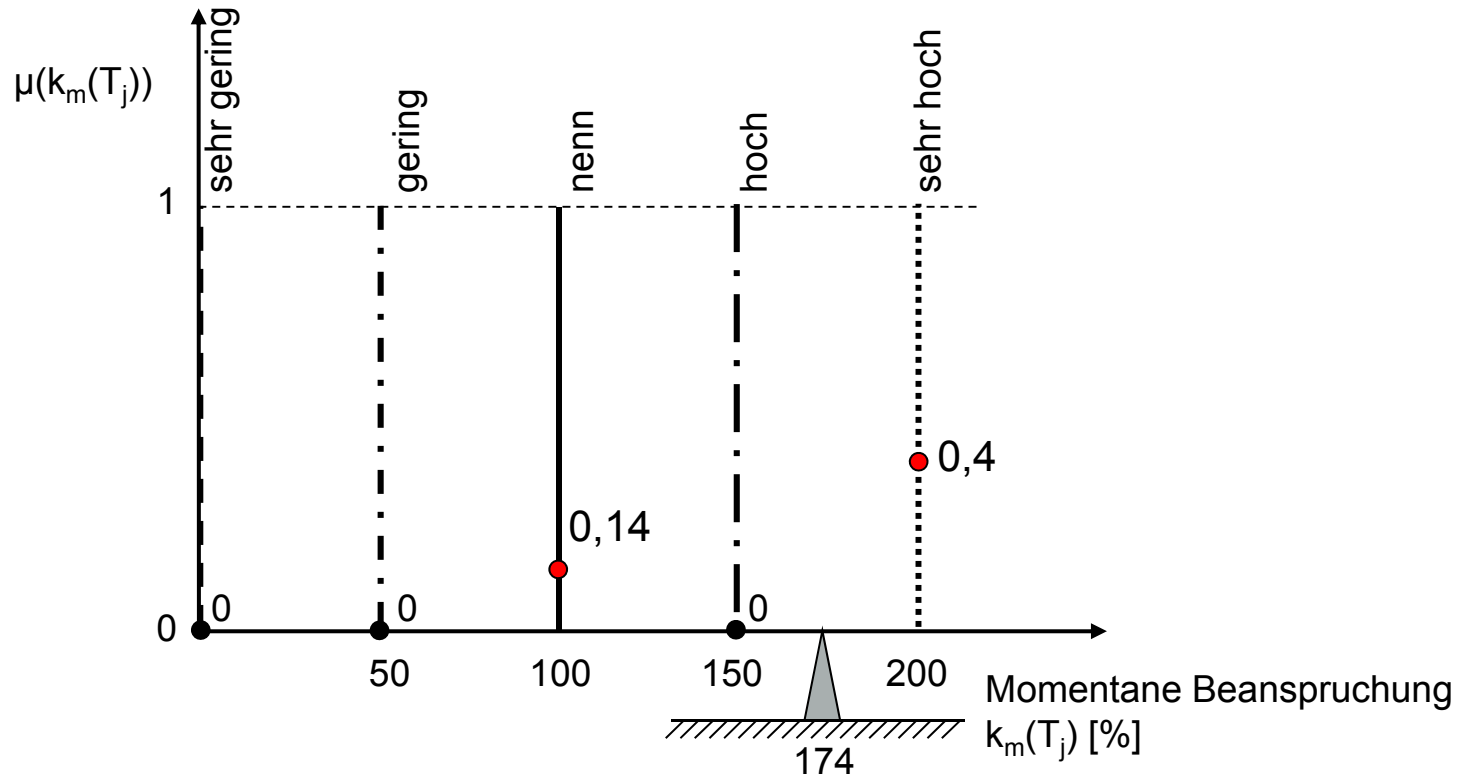
Interferenz und Komposition
linguistischer Regeln

↓ Defuzzifizierung

Output:
Beanspruchung / Abnutzungsvorrat

Erfahrungsbasierte Zustandsbewertung

Bestimmung der Beanspruchung eines Motorlagers /3



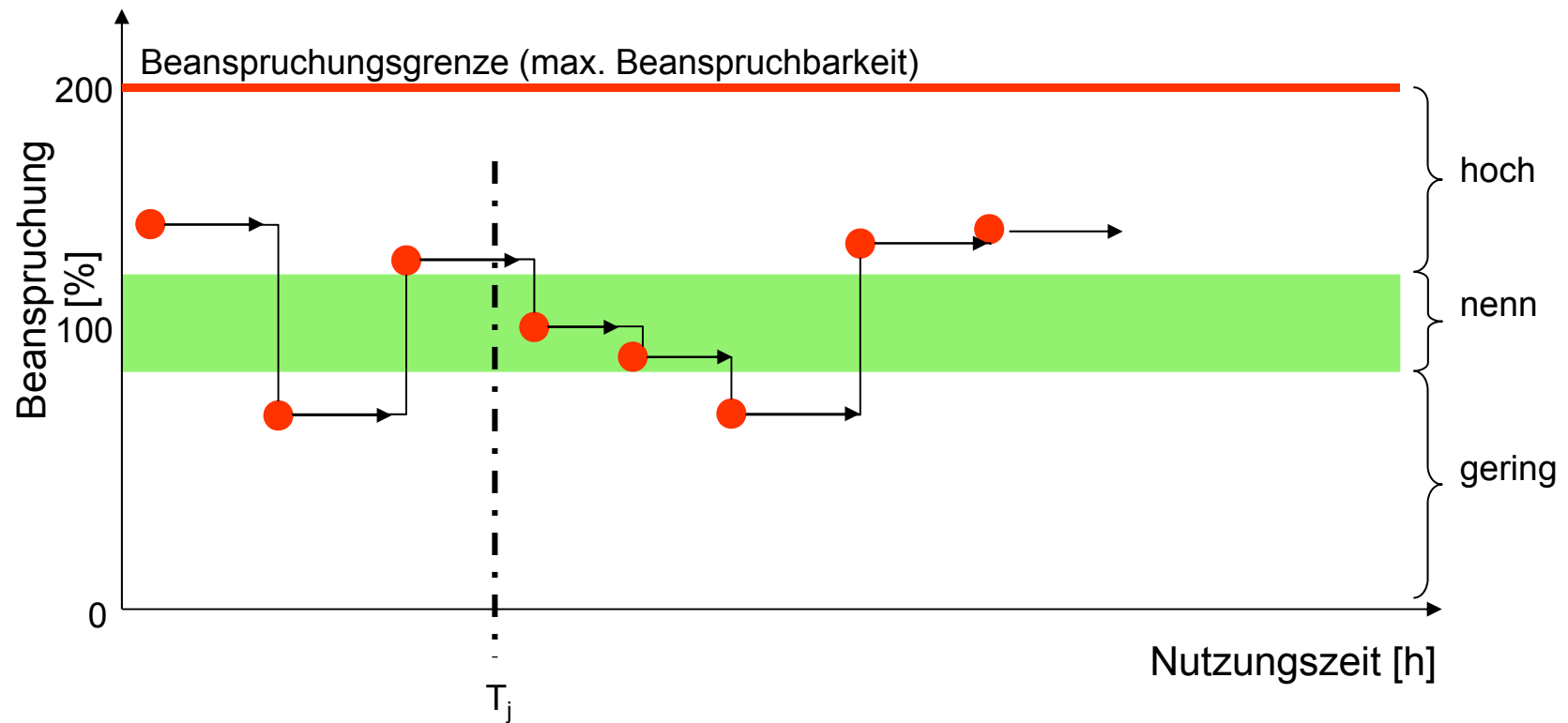
$$k_m(T_j) = \frac{0,01 \times k_{A_1}(T_j) + 50 \times k_{A_2}(T_j) + 100 \times k_{A_3}(T_j) + 150 \times k_{A_4}(T_j) + 200 \times k_{A_5}(T_j)}{\sum_{i=1}^5 k_{A_i}(T_j)} \quad \text{mit } 0 \leq k_{A_i}(T_j) \leq 1$$

k_{A_i} ... Aktivierungsgrad des Fuzzy-Terms i ($i = 1(1)5$)

Erfahrungsbasierte Zustandsbewertung

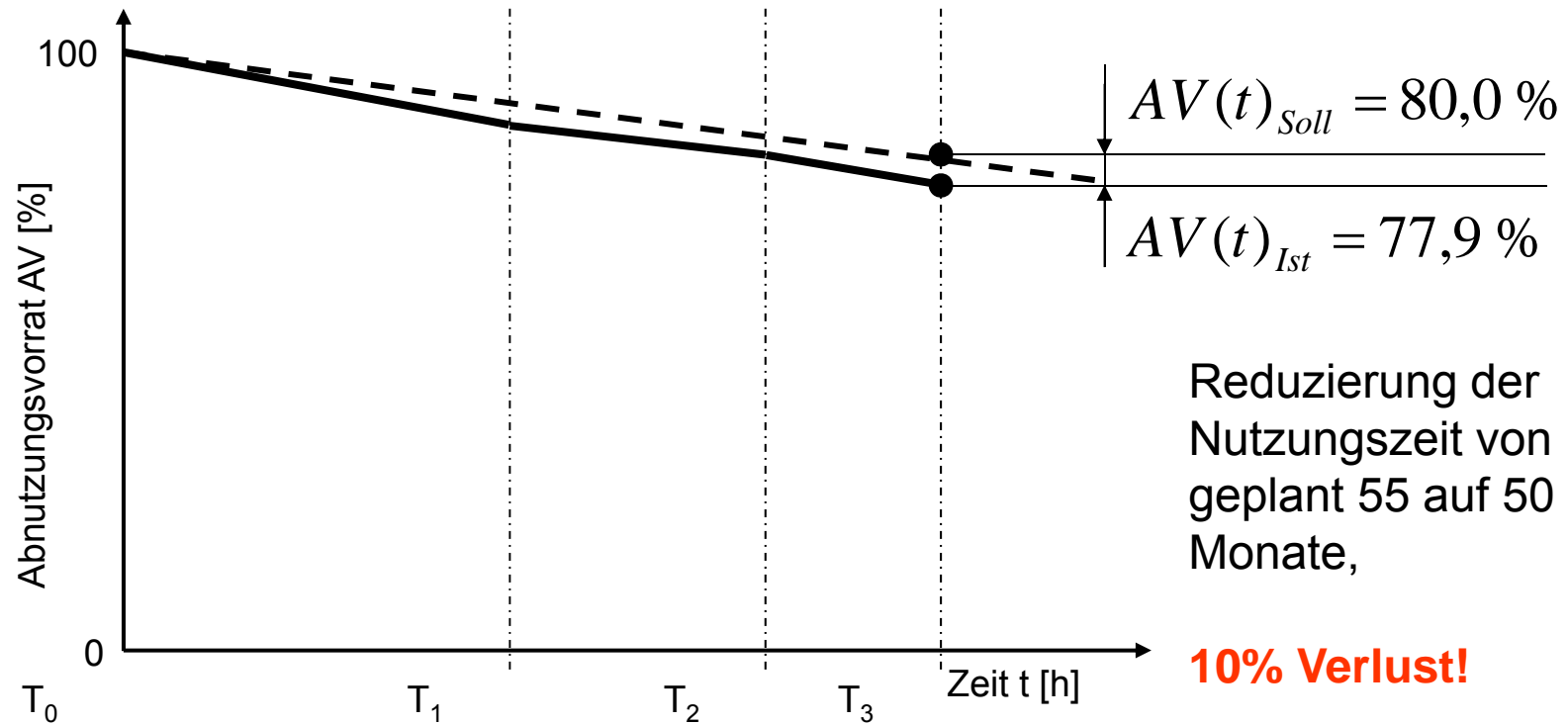
Belastungsprofil eines Motorlagers

- Aufzeichnung des Belastungsprofils (Kurve, Histogramm)
- Überwachung des bestimmungsgemäßen Einsatzes gemäß Kennlinie und Alarmierung bei Überlastung



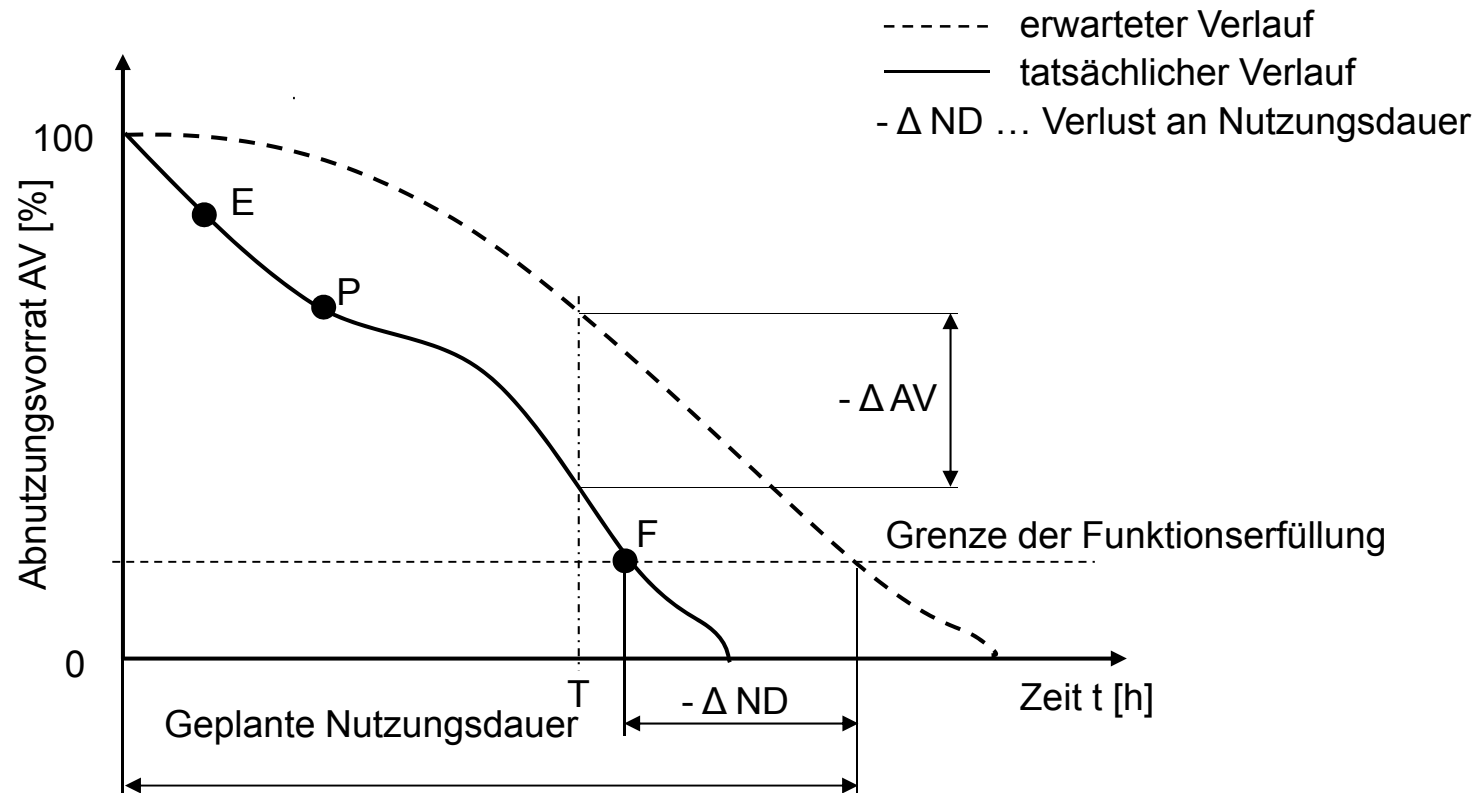
Erfahrungsbasierte Zustandsbewertung

Auswirkungen auf den Verbrauch an Abnutzungsvorrat



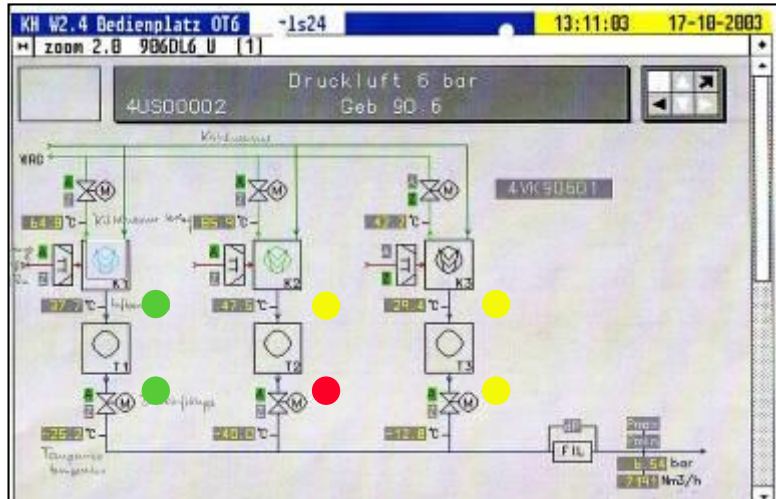
Erfahrungsbasierte Zustandsbewertung

Anpassung von Instandhaltungsintervallen



Erfahrungsbasierte Zustandsbewertung

Aktuelle Zustandsbewertung



- Cockpit – aktuelle Zustandsinformationen in Kopplung mit der Anlagensteuerung und/oder Prozessleittechnik

- Austauschanzeige

- Wartungsindikator

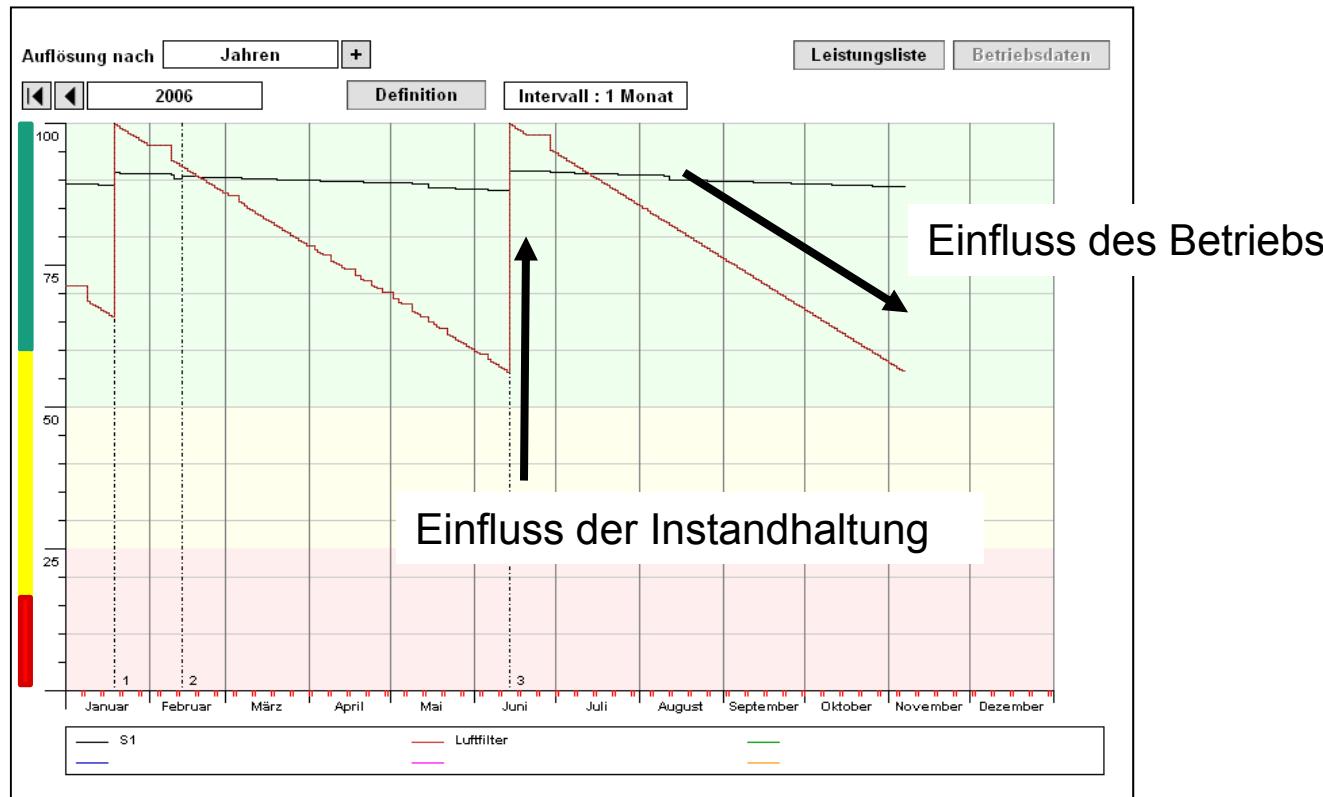
- Belastungsmonitor



- Nutzung mobiler Endgeräte zur Visualisierung von Beanspruchungen und Zustand

Erfahrungsbasierte Zustandsbewertung

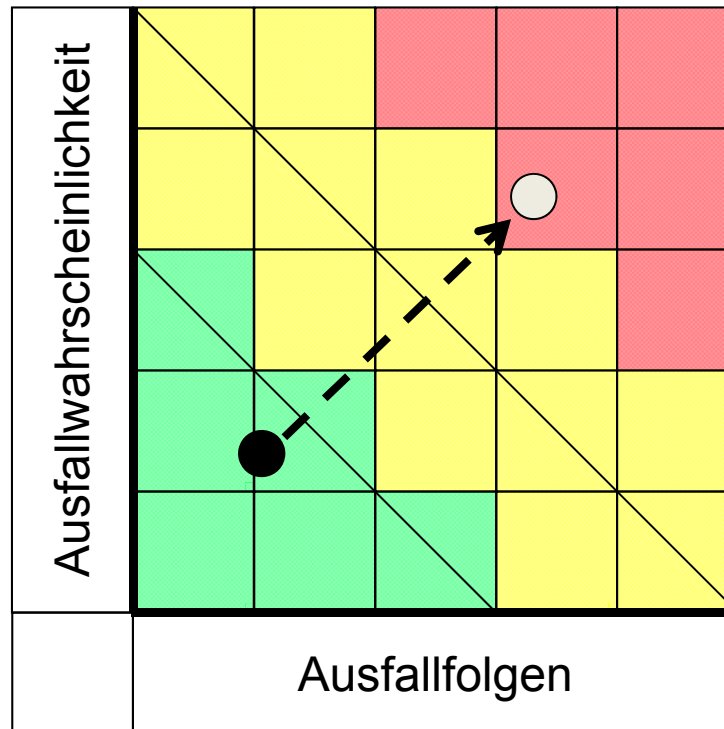
Historie und Prognose der Zustandsveränderung



Erfahrungsbasierte Zustandsbewertung

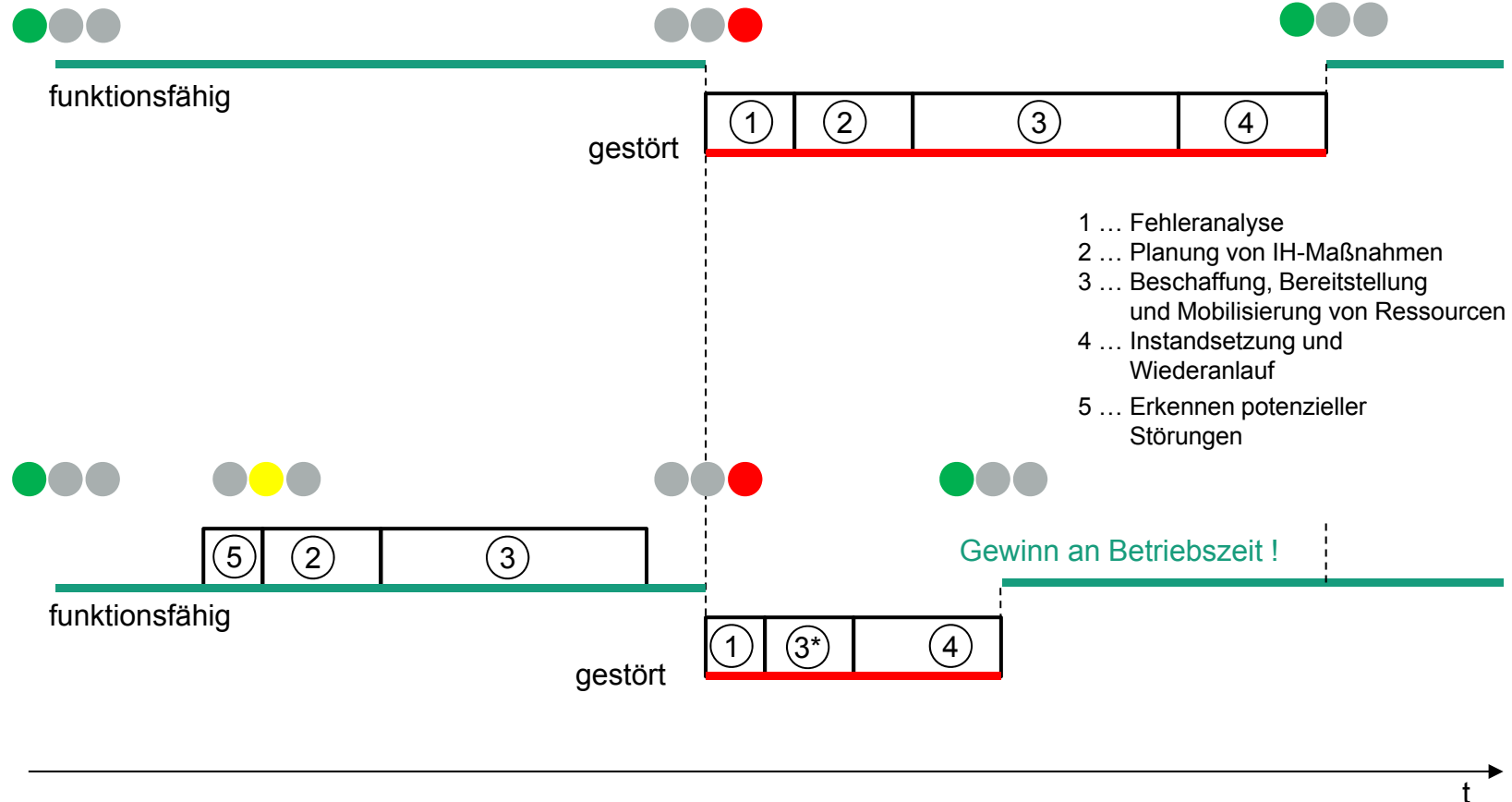
Entscheidungsunterstützung bei Strategiewahl

- Bewertung des Ausfallrisikos



Erfahrungsbasierte Zustandsbewertung

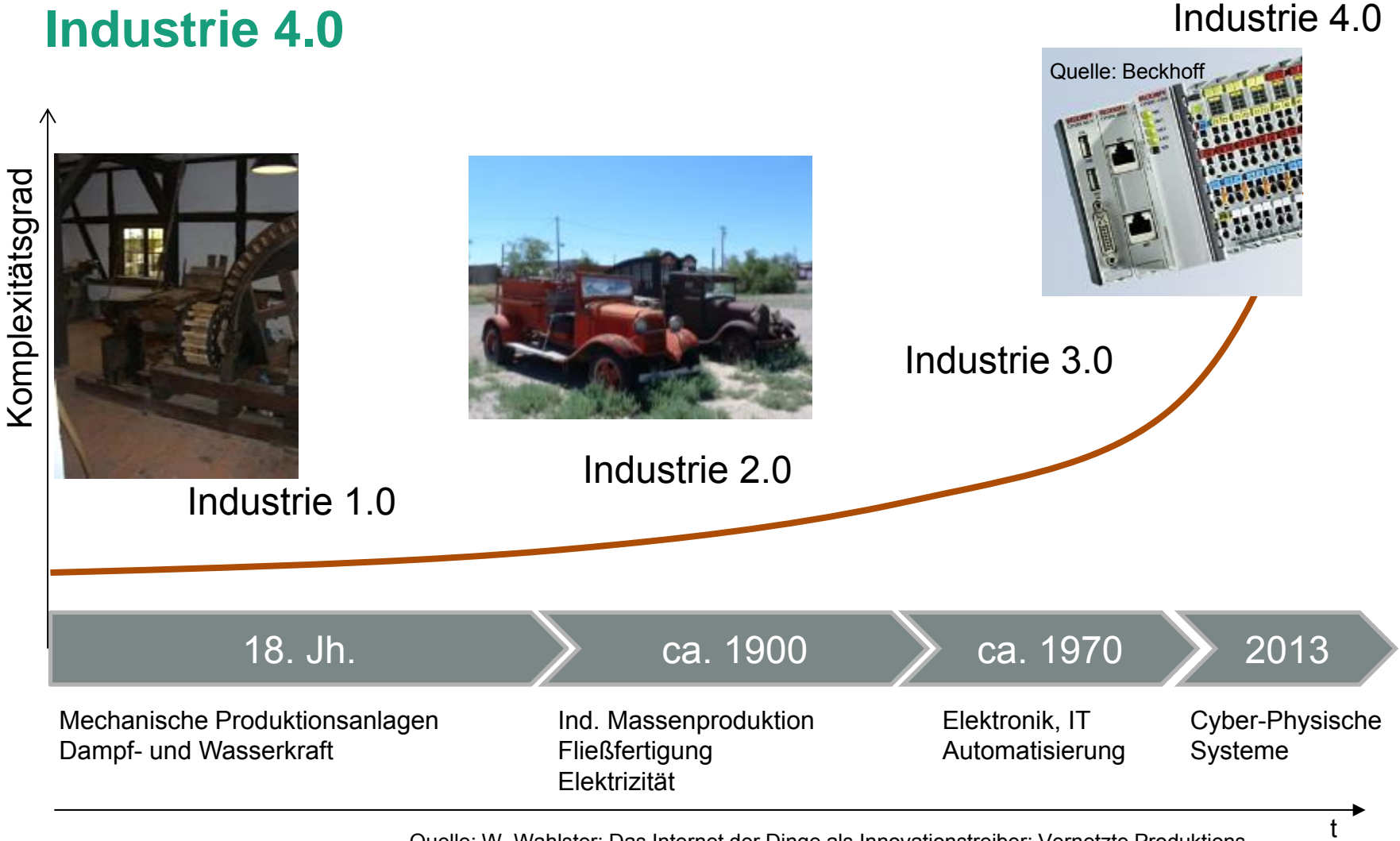
Reduzierung der Stillstandszeit durch proaktives Handeln



Gliederung

1. Vorstellung
2. Grundlagen und Potenziale moderner Instandhaltungsstrategien
3. Lösungen zur Gewinnung von Zustandsinformationen
4. Erfahrungsbasierte Zustandsbewertung
5. Ausblick

Ausblick Industrie 4.0



Quelle: Beckhoff

Quelle: W. Wahlster: Das Internet der Dinge als Innovationstreiber: Vernetzte Produktions-, Mobilitäts- und Energiesysteme. Impulsvortrag in: Innovation-Unternehmergeipfle, Hannover, 2012.

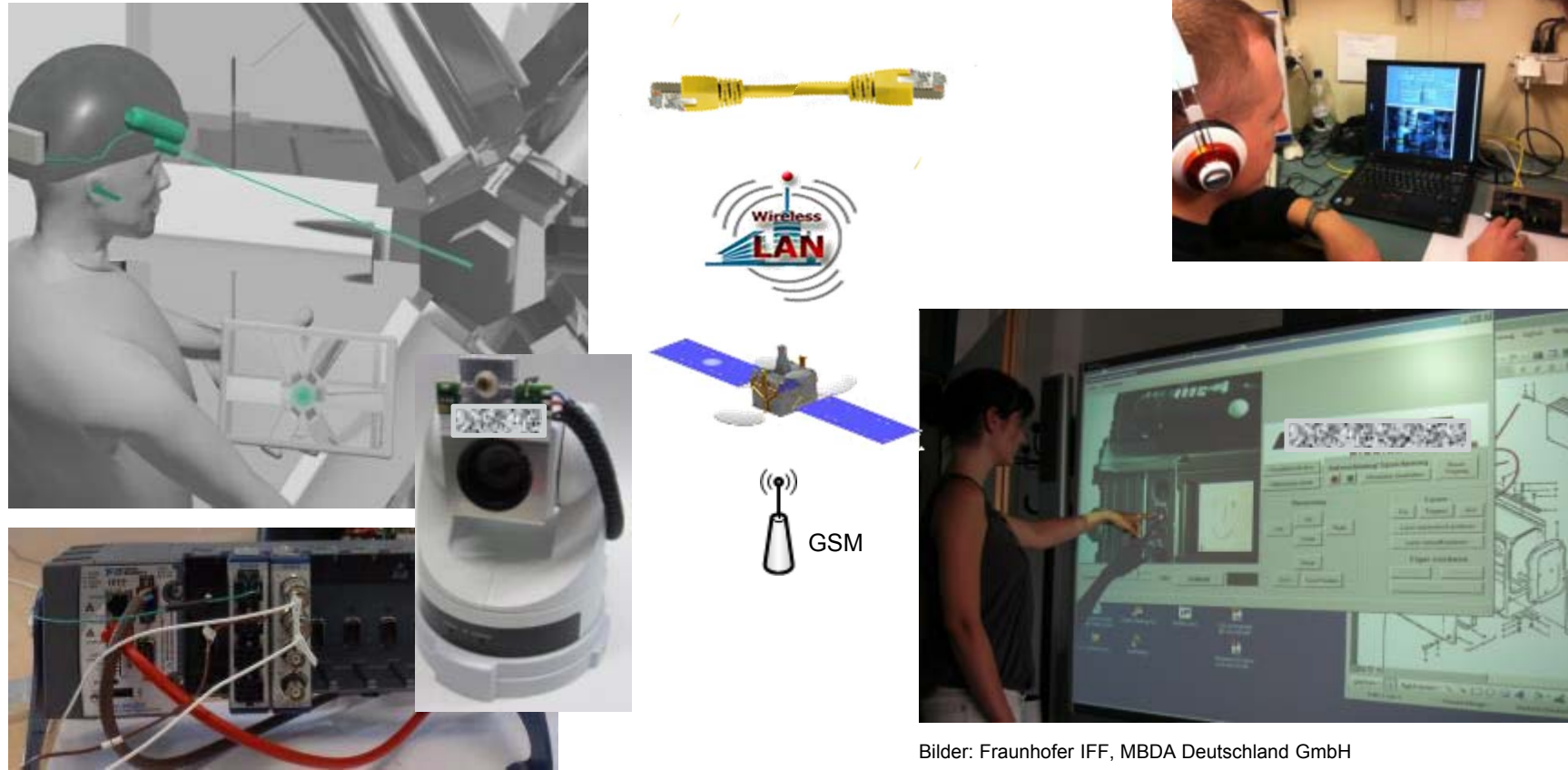
Ausblick Information und Wissensmanagement



Ausblick

Neue Formen des kollaborativen Arbeitens

- Transfer von Wissen – nicht von Personen!



Bilder: Fraunhofer IFF, MBDA Deutschland GmbH

Ende Referenzprojekte

