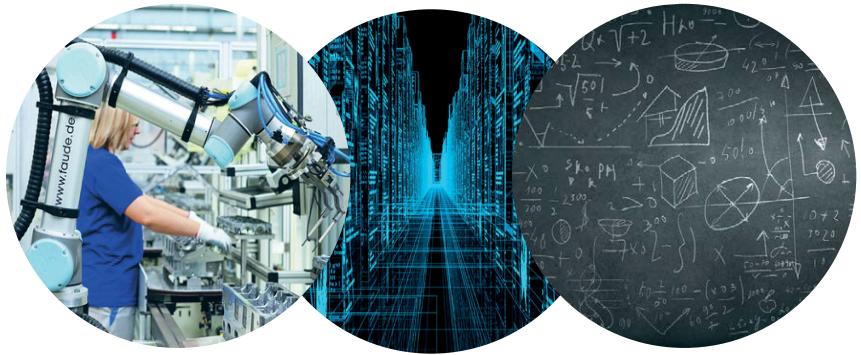


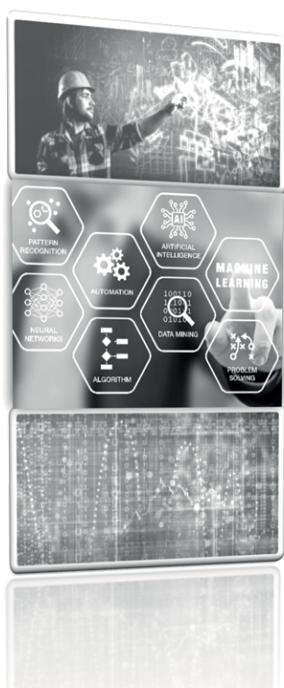
# Nutzen von Condition Monitoring zur Effizienzsteigerung in der Produktionsplanung

Dipl.-Ing. Matthias Karner  
Instandhaltung und Anlagenmanagement  
Fraunhofer Austria Research GmbH



© Fraunhofer Austria, Matthias Karner

## Agenda



### ■ **Fraunhofer Austria** Kurzvorstellung

### ■ **Datenbasierte Instandhaltung** Potentiale und Herausforderungen

### ■ **Nutzen von Condition Monitoring zur Effizienzsteigerung in der Produktionsplanung** Best Practice Beispiel anhand eines KMU

# Die Fraunhofer-Gesellschaft

Führende Organisation für angewandte Forschung in Europa

72 Institute, 80 Forschungseinrichtungen in Europa

Ca. 25.000 Mitarbeiter

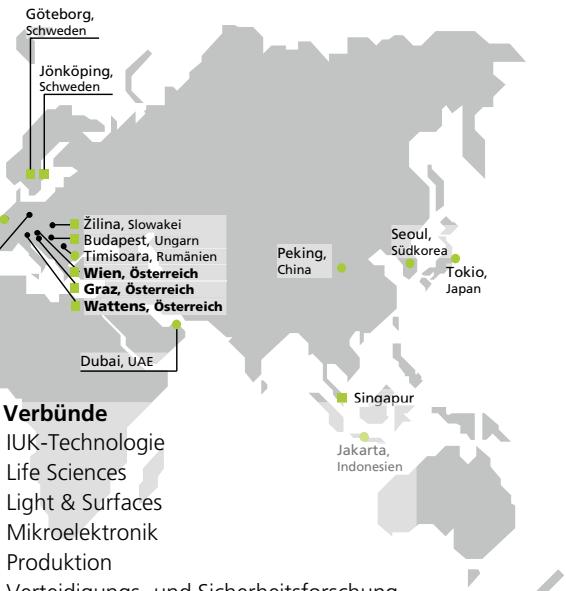
2,3 Mrd. € Forschungsvolumen p.a.

Projektmumsatz zu 2/3 aus Industrie- und  
1/3 aus öffentl. Forschungsprojekten



12.000 Projekte  
(Industrie und  
öffentliche)  
3.000 Kunden  
aus der Wirtschaft

■ = Forschung  
● = Repräsentanz



## 7 Verbünde

- IUK-Technologie
- Life Sciences
- Light & Surfaces
- Mikroelektronik
- Produktion
- Verteidigungs- und Sicherheitsforschung
- Werkstoffe, Bauteile – MATERIALS

© Fraunhofer Austria, Matthias Karner

3



## Fraunhofer Austria Research GmbH 100% Tochter der Fraunhofer-Gesellschaft



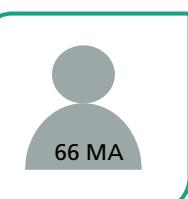
- Geschäftsbereich  
**»Produktions- und Logistikmanagement«**
  - Excellence in Operations Management
  - Industrie 4.0 Anwendungen
  - Wertschöpfungssysteme der Zukunft



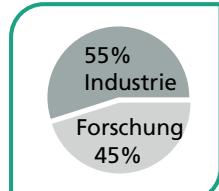
- Geschäftsbereich  
**»Visual Computing«**
  - Digitale Gesellschaft
  - Virtuelles Engineering
  - Visuelle Entscheidungshilfen



- Fraunhofer Innovationszentrum  
**»Digitale Transformation der Industrie«**
  - Digitalisierung der Industrie
  - Industrial Data Engineering
  - Smart Data Analytics



€  
4,4 Mio p.a.



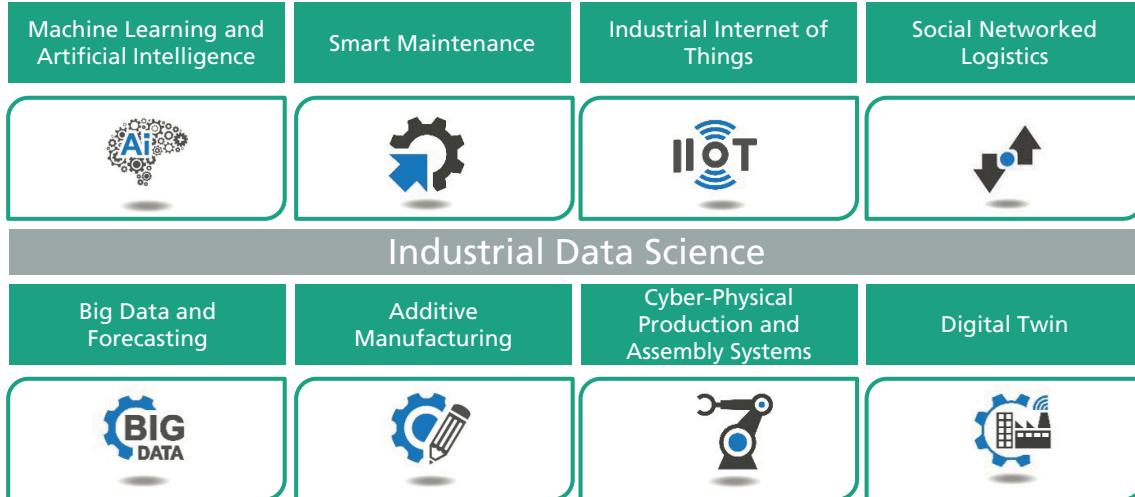
© Fraunhofer Austria, Matthias Karner

4



# Geschäftsbereich Produktions- und Logistikmanagement

## Forschungs- und Innovationsschwerpunkte

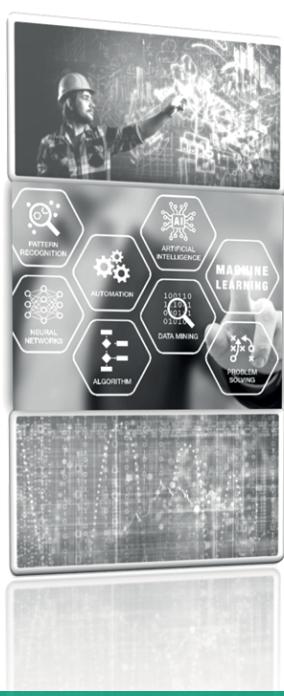


© Fraunhofer Austria, Matthias Karner

5



## Agenda



### ■ **Fraunhofer Austria** Kurzvorstellung

### ■ **Datenbasierte Instandhaltung** Potentiale und Herausforderungen

### ■ **Nutzen von Condition Monitoring zur Effizienzsteigerung in der Produktionsplanung** Best Practice Beispiel anhand eines KMU

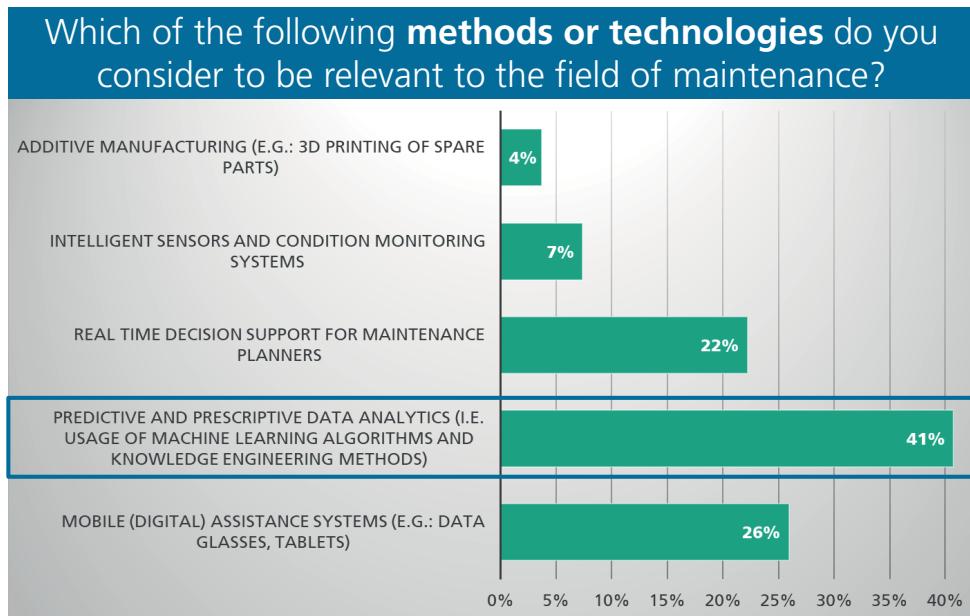
© Fraunhofer Austria, Matthias Karner

6



# Datenbasierte Instandhaltung

## Wo liegt der Fokus?



Quelle: Hannover Messe 2018, Umfrage Fraunhofer Austria

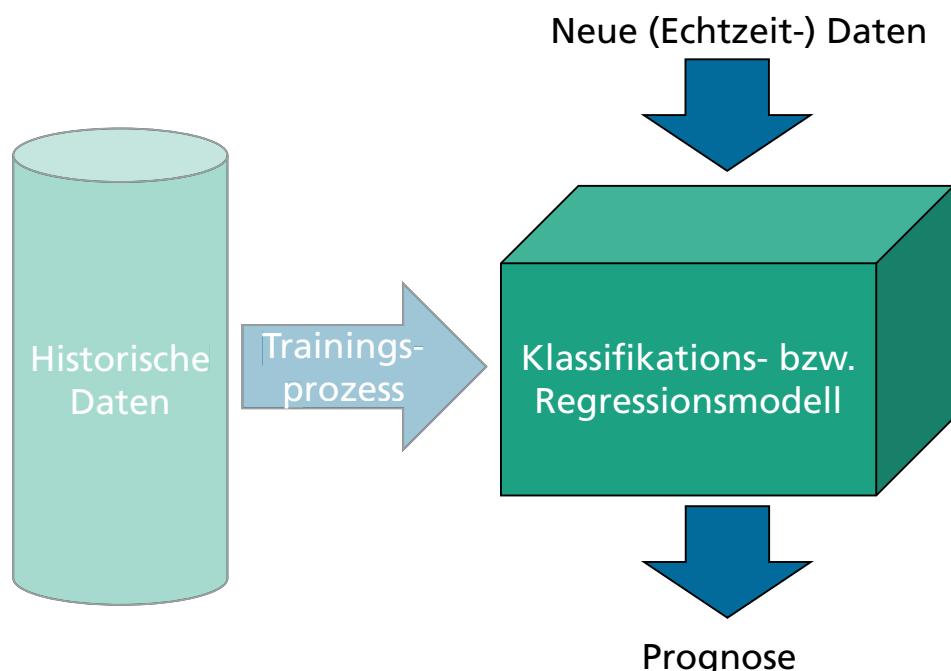
© Fraunhofer Austria, Matthias Karner

7



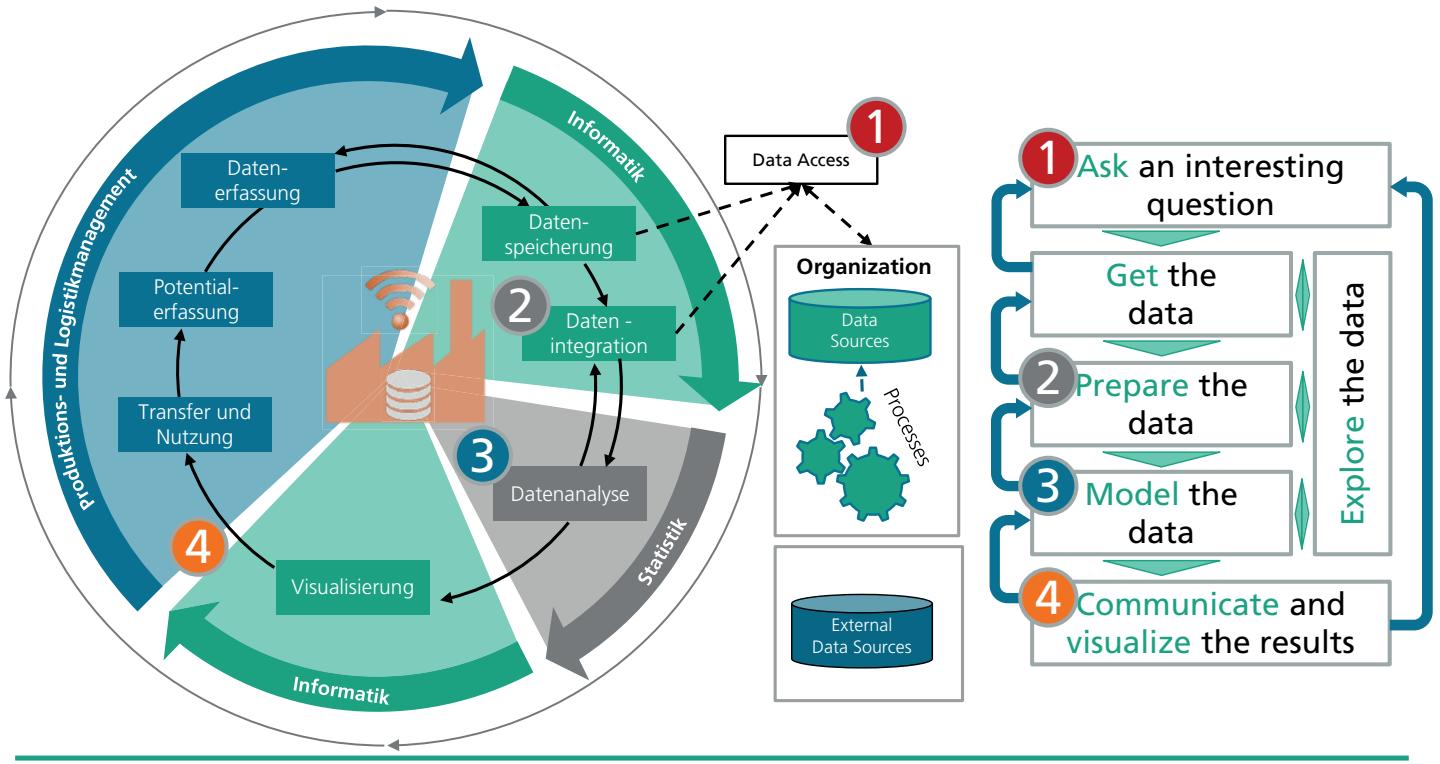
# Datenbasierte Instandhaltung

## Machine Learning | Prozess beim Supervised Learning



# Datenbasierte Instandhaltung

CRISP-DM (Cross-Industry Standard Process for Data Mining)

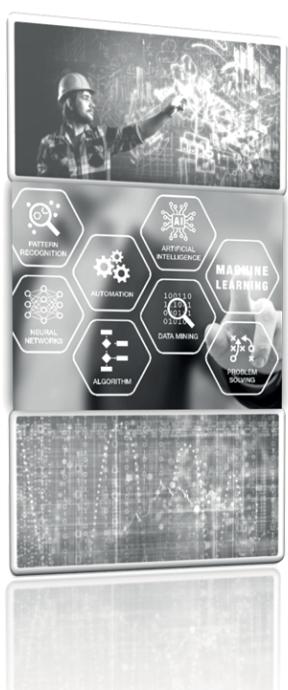


© Fraunhofer Austria, Matthias Karner

9



## Agenda



### Fraunhofer Austria Kurzvorstellung

### Datenbasierte Instandhaltung Potentiale und Herausforderungen

### Nutzen von Condition Monitoring zur Effizienzsteigerung in der Produktionsplanung Best Practice Beispiel anhand eines KMU

© Fraunhofer Austria, Matthias Karner

10



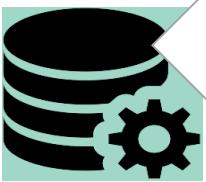
# Motivation

## Maschinenzustand und Produktionsprogramm

vgl. Hao et al. 2017

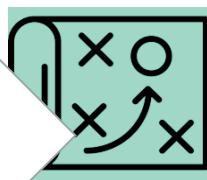
vgl. Doleschal und Klemmt, 2015

### Maschinenzustand



Maschinenzustand verändert sich **produktabhängig**.  
Produktqualität ist **maschinenzustandsabhängig**.

### Produktionsprogramm



vgl. Arrazola et al., 2013

**WMBPRO**

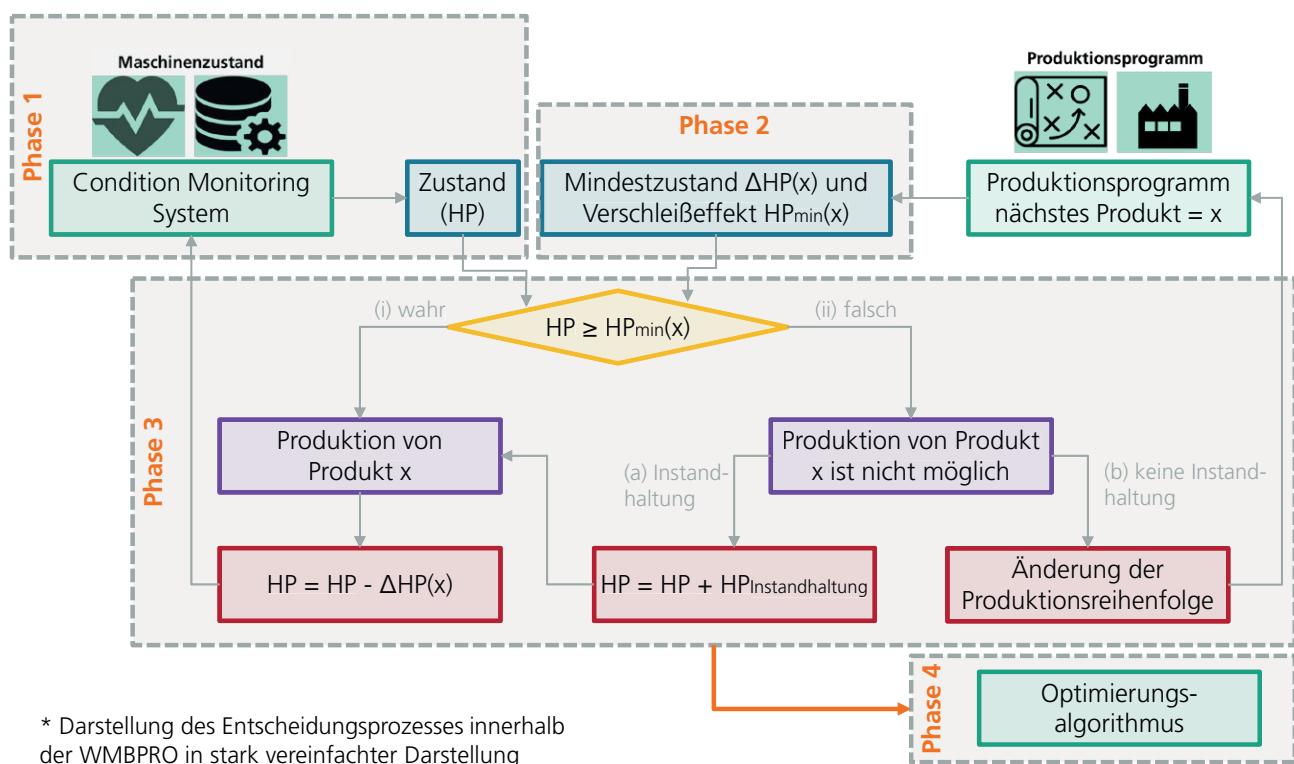
© Fraunhofer Austria, Matthias Karner

11



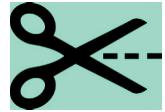
## Entwicklung der WMBPRO

Ergebnis aus der Anwendung des Vorgehensmodells\*



# Anwendung und Validierung

## Fallbeispiel: Tafelblechscheren



- Anlage == Bottleneck
- Eigenschaften der Arbeitsstation
  - Max. Abmaße: 6.000 mm
  - Verschiedene Produkte: ca. 300
- Zustandsabhängigkeit: Scherenmesser
- Ausgangssituation: manuelle Zustandsbewertung
- Ziele:
  - objektive Zustandserfassung
  - Optimierte Produktionsreihenfolgen



Beispielbild einer Tafelblechscheren



## Zustandsabhängigkeit der Produkte an der Pilotanlage

Publikation: Karner et al. (2019)

© Fraunhofer Austria, Matthias Karner

15

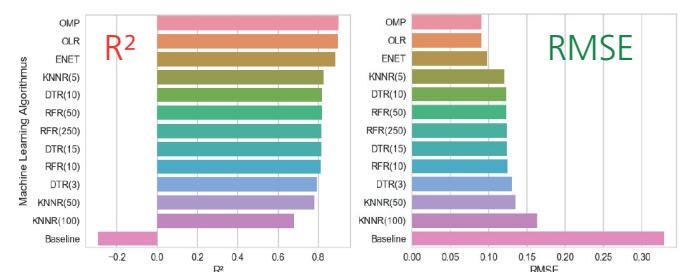
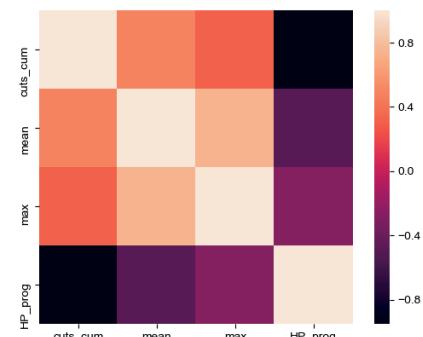


# Anwendung und Validierung | Fallstudie 1

## Phase 1: Erfassung des Werkzeugzustandes



- Zustandsüberwachung:
  - Machine-Learning Modell → Messung der Healthpoints (**HP**) des Scherenmessers
- Ground-Truth == qualitative Zustandsbeurteilungen von Prozessexperten
- Sensoren: Schnittzähler, Schwingungssensor
- Training unterschiedlicher ML-Modelle
- Das beste ML-Modell OMP erzielt ...
  - eine Accuracy\* von 90.1 % und
  - einen R<sup>2</sup> von 0.90.



\* Die Accuracy basiert auf dem normierten RMSE.

Das ML-Modell erzielt 90 % der Prognosegüte von Prozessexperten.

# Anwendung und Validierung | Fallstudie 1

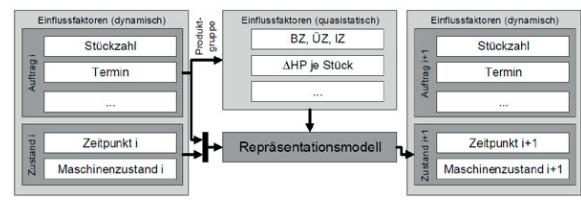
Phase 2 (Modellierung der Zustandsabhängigkeit), Phase 3 (Modellierung der WMBPRO)

- Kategorisierung der Produkte (Legierung-Dicken-Kombination)
- Modellierung der Zustandsabhängigkeiten:
  - Datenanalyse der Messwerte
  - Ableiten von  $HP_{min}$ ,  $HP_{max}$ ,  $\Delta HP$

eindimensionale Zustandsabhängigkeiten

Produkt-kategorie	HPmin	HPmax	$\Delta HP_1$
P1	HPmin_1	HPmax_1	$\Delta HP_1$
...	...	...	...
Pm	HPmin_m	HPmax_m	$\Delta HP_m$

- Das Repräsentationsmodell berechnet den Folgezustand\* basierend auf Startzustand und quasistatischen Einflussfaktoren.
- Dabei besteht eine sequentielle Reihenfolgeabhängigkeit:
  - Startzustand von Auftrag  $S_{i+1}$  ist abhängig vom Endzustand von Auftrag  $S_i$



$$F(\vec{x}) = w_1 \cdot S_1(\vec{x}) + w_2 \cdot S_2(\vec{x}) + w_3 \cdot S_3(\vec{x}) + w_4 \cdot S_4(\vec{x})$$

\* Der Zustand ist dabei (i) der physische Werkzeugzustand und (ii) der organisatorische Zustand (z.B. Zeitpunkt) des Produktionssystems.

© Fraunhofer Austria, Matthias Karner

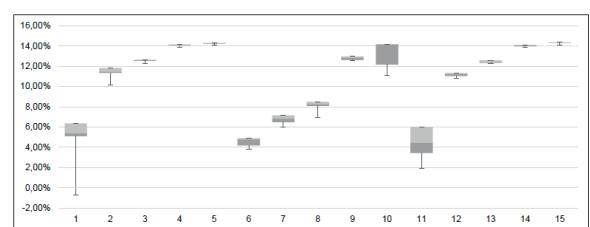
18



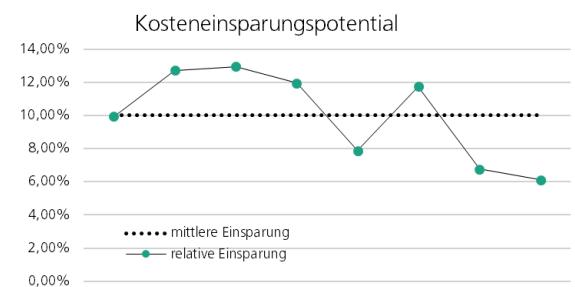
# Anwendung und Validierung | Fallstudie 1

Phase 4 (Formulierung des Optimierungsalgorithmus), Nutzenquantifizierung

- Lösung des Optimierungsproblems unter Einsatz von Metaheuristiken
- Vergleichsstudie: Hill-Climbing (HIC), Genetischer Algorithmus (GA), Simulated Annealing (SA)



- Nutzenquantifizierung: Zeitraum über 8 Monate
- Verbesserung der Fitnessfunktion um 10 % im Vergleich zur manuellen PRP; Weitere Verbesserungen:
  - Verbesserte Prognostizierbarkeit
  - Erhöhte Transparenz und Objektivität



# Anwendung und Validierung | Fallstudie 2

## Zusammenfassung der Ergebnisse

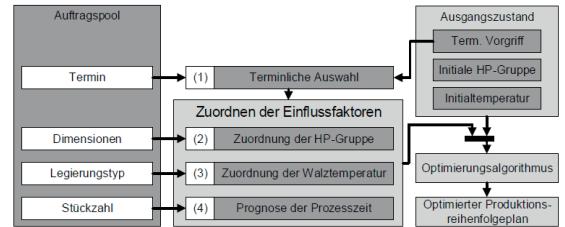


- Prozess: Duo Walzgerüst
- Zustandsabhängigkeit: Breite
- Abbildung der **Zustandsabhängigkeit** als **Breitengruppen** → Diskretisierung der Healthpoints
- produktionstechnisches Effizienzkriterium als Optimierungsziel: **Minimierung** der **Aufheiz-** und **Abkühlungszyklen** des vorgelagerten Ofens
- Nutzen einer **Multi-Level-Optimierung** (exakte Lösung des diskretisierten Lösungsraums)
- **Erzielter Nutzen:** 16,34 % erhöhte Energieeffizienz

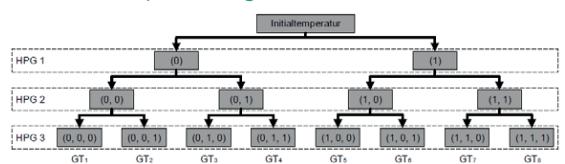
### Zustandsabhängigkeit



### Modellierung des Produktionsprozesses



### Multi-Level-Optimierung



© Fraunhofer Austria, Matthias Karner

20



# Conclusio

## Zusammenfassung der Ergebnisse



- Weiterer Nutzen von CM neben der Instandhaltung
- Integration CM & PPS → **realitätsnahe Abbildung der Produktion**
- Komplexe Reihenfolgeabhängigkeiten abbildbar
- Fallstudien erzielen die einen praktischen Nutzen:
  - Fallstudie 1: **10,01 %** Optimierung der logistischen Zielgrößen
  - Fallstudie 2: Erhöhung der Energieeffizienz um **16,34 %**

## WMBPRO zur Integration von CM & PPS

# Vorstellung Dissertation

## Literaturübersicht (Auszug)

- **Abedinnia**, Hamid; **Glock**, Christoph H.; **Schneider**, Michael D. (2017): Machine scheduling in production. A content analysis. In: Applied Mathematical Modelling 50, S. 279–299.
- **acatech**. (2015): Smart Maintenance for Smart Factories: Mit intelligenter Instandhaltung die Industrie 4.0 vorantreiben. acatech POSITION.
- **Ali**, J. B., **Fnaiech**, N., **Saidi**, L., **Chebel-Morello**, B., **Fnaiech**, F. (2015): Application of empirical mode decomposition and artificial neural network for automatic bearing fault diagnosis based on vibration signals. Applied Acoustics, 89, 16–27.
- **Arrazola**, P. J., **Özel**, T., **Umbrello**, D., **Davies**, M., und **Jawahir**, I. S. (2013). Recent advances in modelling of metal machining processes. CIRP Annals, 62(2):695–718.
- **Becker**, Jörg, **Holton**, Roland, **Knackstedt**, Ralf, & **Niehaves**, Björn (2003): Forschungsmethodische Positionierung in der Wirtschaftsinformatik. Epistemologische, ontologische und linguistische Leitfragen. Arbeitsberichte des Instituts für Wirtschaftsinformatik, Westfälische Wilhelms-Universität Münster.
- **Benbouzid**, M. El Hachemi (2000): A review of induction motors signature analysis as a medium for faults detection. In: IEEE transactions on industrial electronics 47 (5), S. 984–993.
- **Delgado-Arredondo**, P. A., et al. (2017): Methodology for fault detection in induction motors via sound and vibration signals. Mechanical systems and signal processing, 83, 568–589.
- **Doleschal**, D. und **Klemmt**, A. (2015). Yield integrated scheduling using machine condition parameter. Proceedings of the 2015 Winter Simulation Conference, Seiten 2953–2963.
- **Hao**, L., **Bian**, L., **Gebrael**, N., und **Shi**, J. (2017). Residual life prediction of multistage manufacturing processes with interaction between tool wear and product quality degradation. IEEE Transactions on Automation Science and Engineering, 14(2):1211–1224.
- **Harjunkoski**, Iiro; **Maravelias**, Christos T.; **Bongers**, Peter; **Castro**, Pedro M.; **Engell**, Sebastian; **Grossmann**, Ignacio E. et al. (2014): Scope for industrial applications of production scheduling models and solution methods. In: Computers & Chemical Engineering 62, S. 161–193.
- **Hevner**, Alan R. (2007): A Three Cycle View of Design Science Research. Scandinavian Journal of Information Systems, 19(2).
- **Hevner**, Alan R., **March**, Salvatore T., **Park**, Jinsoo, & **Ram**, Sudha (2004): Design Science in Information Systems Research. MIS Quarterly, 28(1).
- **Irfan**, Muhammad; **Saad**, Nordin; **Ibrahim**, Rosdiazli; **Asirvadam**, Vijanth S. (2017): Condition monitoring of induction motors via instantaneous power analysis. In: Journal of Intelligent Manufacturing 28 (6), S. 1259–1267.
- **Kao**, Y. T., **Dauzère-Pérès**, S., **Blue**, J., & **Chang**, S. C. (2018). Impact of integrating equipment health in production scheduling for semiconductor fabrication. Computers & Industrial Engineering, 120, 450–459.
- **Karner**, M., **Glawar**, R., **Sihl**, W., & **Matyas**, K. (2019). An industry-oriented approach for machine condition-based production scheduling. Procedia CIRP, 81, 938–943.
- **Karner**, Matthias; **Sihl**, Wilfried (2018). Einsatz von Zustandsüberwachungssystemen zur Entscheidungsunterstützung in der Produktionsplanung der variantenreichen Fertigung. In: GITO-Verlag.
- **Karner**, Matthias; **Glawar**, Robert; **Sihl**, Wilfried; **Matyas**, Kurt (2018). Integrating Machine Tool Condition Monitoring and Production Scheduling in Metal Forming. In: Proceedings of MOTSP Primosten, Croatia.
- **Lee**, Jay; **Wu**, Fangji; **Zhao**, Wenyu; **Ghaffari**, Masoud; **Liao**, Linxia; **Siegel**, David (2014): Prognostics and health management design for rotary machinery systems—Reviews, methodology and applications. In: Mechanical systems and signal processing 42 (1), S. 314–334.
- **Li**, Z., **Ierapetritou**, M. G. (2008): Reactive scheduling using parametric programming, AIChE J., 5410, 2610–2623.
- **March**, Salvatore T., & **Smith**, Gerald F. (1995): Design and natural science research on information technology. Decision Support Systems, 15(4), 251–266.
- **Matyas**, K., **Nemeth**, T., **Kovacs**, K., **Glawar**, R. (2017): A procedural approach for realizing prescriptive maintenance planning in manufacturing industries, CIRP Annals - Manufacturing Technology, 66, 461–464.
- **Nandi**, Subhasis; **Toliyat**, Hamid A.; **Li**, Xiaodong (2005): Condition monitoring and fault diagnosis of electrical motors—A review. In: IEEE transactions on energy conversion 20 (4), S. 719–729.
- **Nguyen**, S., **Mei**, Y., **Zhang**, M. (2017): Genetic programming for production scheduling: a survey with a unified framework, Complex & Intelligent Systems, 1–26.
- **Ruiz-Cárcel**, C., **Jaramillo**, V. H., **Mba**, D., **Ottewill**, JR, **Cao**, Y. (2016): Combination of process and vibration data for improved condition monitoring of industrial systems working under variable operating conditions, Mechanical systems and signal processing, 66, 699–714.
- **Schuh**, Günther; **Reuter**, Christina; **Hauptvogel**, Annika; **Brambring**, Felix (2014): Cyber-physische Produktionssteuerung.
- **Tranfield**, David, **Denyer**, David, & **Smart**, Palminder (2003). Towards a Methodology for Developing Evidence-Informed Management Knowledge by Means of Systematic Review. British Journal of Management, 14(3), 207–222.
- **van Aken**, Joan Ernst. (2004): Management research based on the paradigm of the design sciences: The quest for field-tested and grounded technological rules. Journal of management studies, 41(2), 219–246.
- **van Aken**, Joan Ernst. (2005): Management Research as a Design Science: Articulating the Research Products of Mode 2 Knowledge Production in Management. British Journal of Management, 16(1), 19–36.
- **Zhang**, Jian; **Ding**, Guofu; **Zou**, Yisheng; **Qin**, Shengfeng; **Fu**, Jinlian (2017): Review of job shop scheduling research and its new perspectives under Industry 4.0. In: J Intell Manuf 34 (3).



© Fraunhofer Austria, Matthias Karner

22



 **Fraunhofer**  
AUSTRIA

Fraunhofer Austria Research GmbH  
Geschäftsbereich  
Produktions- und Logistikmanagement

Theresianumgasse 7 | 1040 Wien

Tel.: +43 1 504 69 06  
Fax: +43 1 504 69 10 90

office@fraunhofer.at  
www.fraunhofer.at

Follow us on



**Dipl.-Ing. Matthias Karner**

Wissenschaftlicher Mitarbeiter  
Instandhaltung und Anlagenmanagement

+43 (0) 676 888 616 - 44  
matthias.karner@fraunhofer.at