

FRAUNHOFER AUSTRIA RESEARCH

Doktorarbeit: Entwicklung eines Algorithmus zur parameterbasierten Optimierung von Produktionsreihenfolgen unter Einbeziehung von Werkzeug- und Maschinenzuständen

Dipl.-Ing. Matthias Karner

Produktionsoptimierung | Industrial Engineering

Fraunhofer Austria Research GmbH

Theresianumgasse 27

1040 Wien

Tel: +43 1 504 69 44

Tel: +43 1 58801 33040



Quelle: mckinsey

Motivation

Maschinenzustand und Produktionsprogramm

vgl. Hao et al. 2017

vgl. Doleschal und Klemmt, 2015

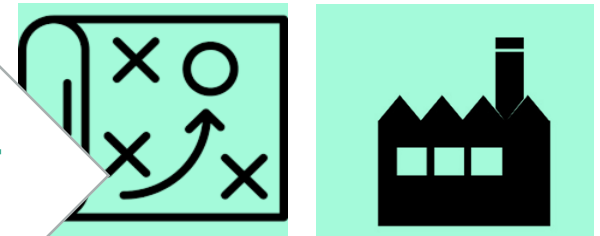
Maschinenzustand



Maschinenzustand verändert sich **produktabhängig**.

Produktqualität ist **maschinenzustandsabhängig**.

Produktionsprogramm



vgl. Arrazola et al., 2013



WMBPRO

AGENDA

Einleitung

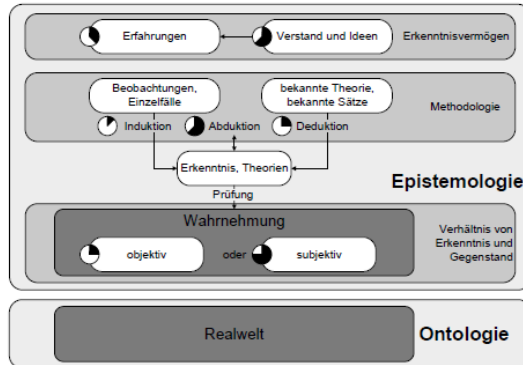
State Of The Art

Entwicklung einer
WMBPRO

Anwendung und
Validierung

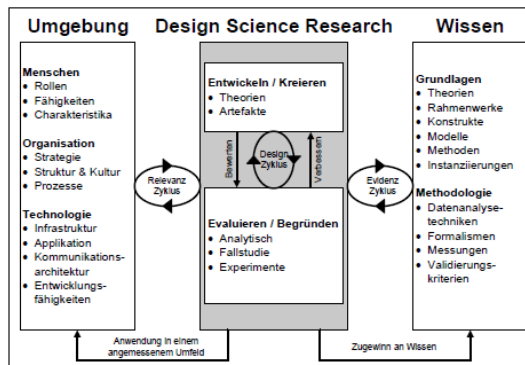
Einleitung

wissenschaftstheoretische Grundpositionen



- **Ontologie**
 - **Epistemologie**
- }
- Konstruktivismus**

Auswahl der wissenschaftstheoretischen Grundpositionen in Anlehnung an Becker et al. (2003)



- **Dreizyklische Methodologie:**
- Relevanzzyklus („Business Need“)
- Design Zyklus (iterativer Entwicklungsprozess)
- Evidenzzyklus (Wissenszugewinn)

Forschungsmethodologie in Anlehnung an „Design Science“ nach March & Smith (1995), van Aken (2004, 2005), Hevner et al. (2004) und Hevner (2007)

Einleitung

Forschungsdesign | Forschungsfragen



- Welche Ansätze zur Integration von Werkzeug- und Maschinenzuständen und der Produktionsfeinplanung gibt es in der Literatur?

State of the Art Recherche

- Wie können Werkzeug- und Maschinenzustandsinformationen in die Produktionsfeinplanung integriert werden?

Methodenentwicklung

- Welcher Nutzen resultiert aus einer werkzeug- und maschinenzustandsbedingten Produktionsreihenfolgeoptimierung?

Methodenvalidierung

Integration CM & PPS = Forschungslücke?



- Literaturrecherche nach **vordefinierten Schlüsselwörtern** (Kombinationen mittels logischer Konnektoren) in **Scopus und Springer Link**
- Voranalyse (Titel bzw. Titel + Abstract): aus 5.335 initialen Treffern wurden 195 als relevant eingestuft, von denen **156 relevante Publikationen analysiert** wurden.
- Analyseergebnis: **Literaturlücke bestätigt** (wenig Arbeiten die CM-Daten in PPS integrieren), erste Ansätze (Halbleiterindustrie) vgl. **Kao et al. (2018)**

ID	Schlüsselwort
C1	„Process Condition“
C2	„Machine Condition“
C3	„Tool Condition“
C4	„Condition Monitoring“
C5	„Condition based Monitoring“ OR „Condition-based Monitoring“
C6	„Condition“ AND „Maintenance“
P1	„Production Planning and Control“ OR „PPC“
P2	„Production Planning“
P3	„Production Control“
P4	„Scheduling“
P5	„Production Scheduling“

Entwicklung der WMBPRO

Entwickeltes Vorgehensmodell



- Ableiten des Werkzeug- bzw. Maschinenzustandes in Form von **Healthpoints**
- Auswahl geeigneter **Sensorik und Signalverarbeitung**

1

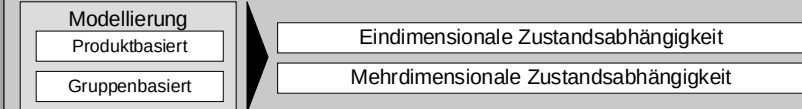
Erfassung der Werkzeug- und Maschinenzustände



- Modellierung der **Zustandsabhängigkeiten** (HP_{min}, HP_{max}, ΔHP)
- Anwenden einer produktbasierten bzw. gruppenbasierten **Modellierungsmethode**.

2

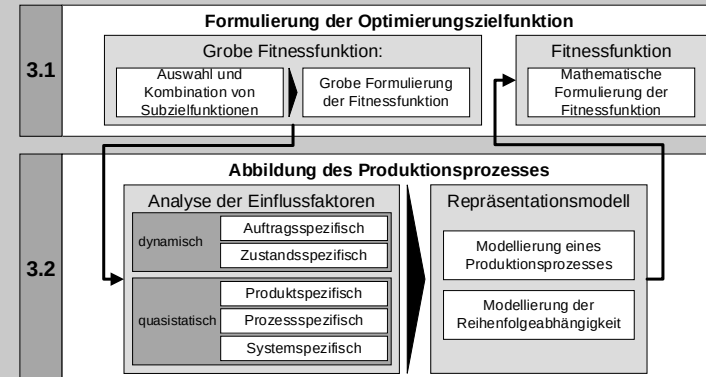
Modellierung der Zustandsabhängigkeiten



- Formulierung des **Werkzeug- und Maschinenzustands-Bedingten Produktions-Reihenfolge-Optimierungsproblems**
- Auswahl einer geeigneten **Optimierungszielfunktion**: Was ist das Ziel der Optimierung (z.B. logistische Zielgrößen)?
- Abbildung des Produktionsprozesses in Form eines **mathematischen Repräsentationsmodells**.

3

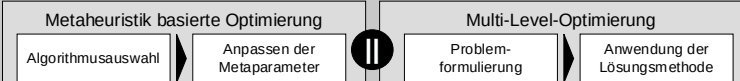
Modellierung der WMBPRO



- Formulierung des **Optimierungsalgorithmus**:
(i) Metaheuristik oder (ii) Multi-Level-Optimierung (Zustandsgruppen)

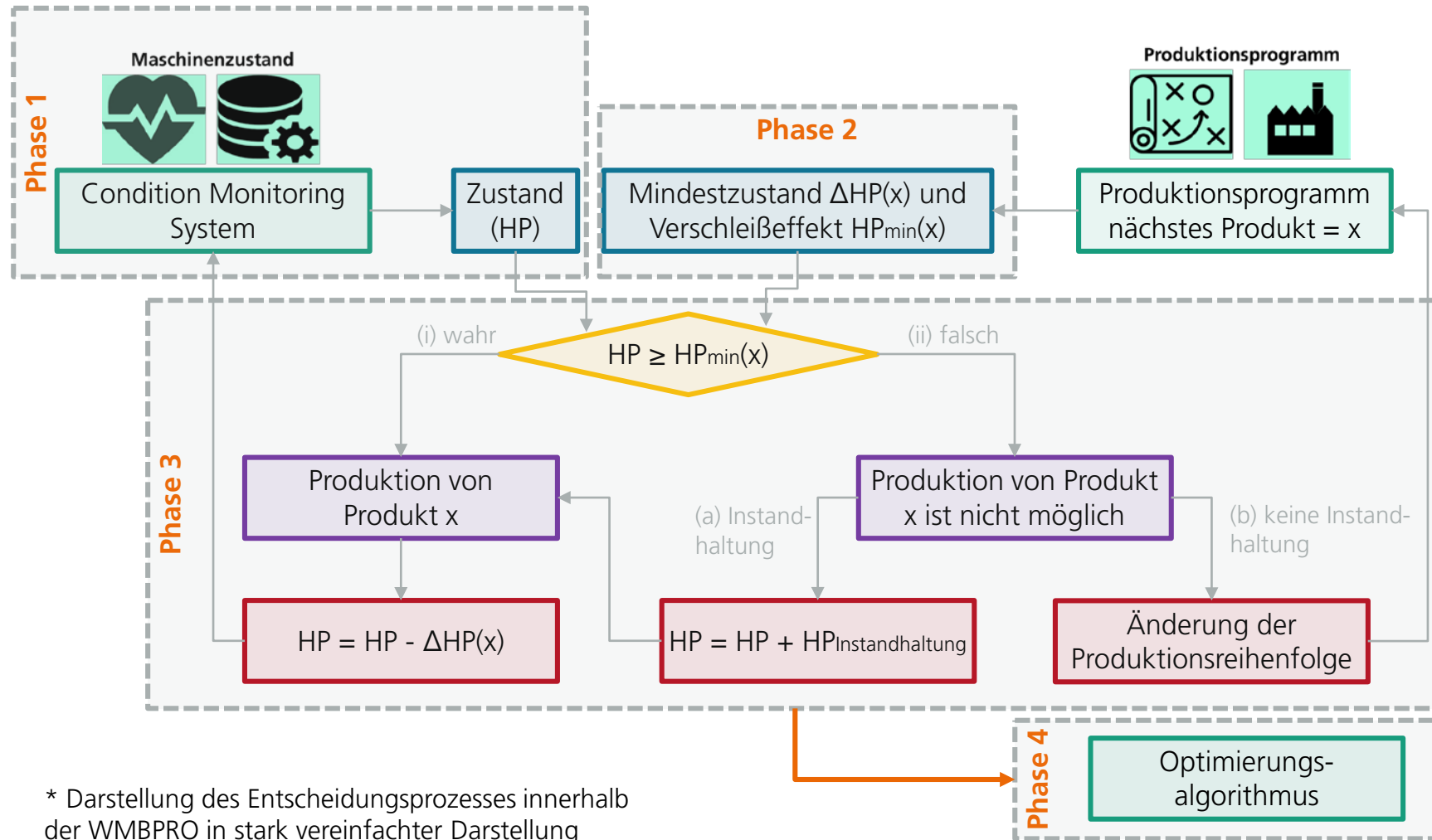
4

Formulierung des Optimierungsalgorithmus



Entwicklung der WMBPRO

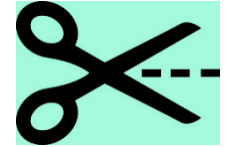
Ergebnis aus der Anwendung des Vorgehensmodells*



* Darstellung des Entscheidungsprozesses innerhalb der WMBPRO in stark vereinfachter Darstellung

Anwendung und Validierung

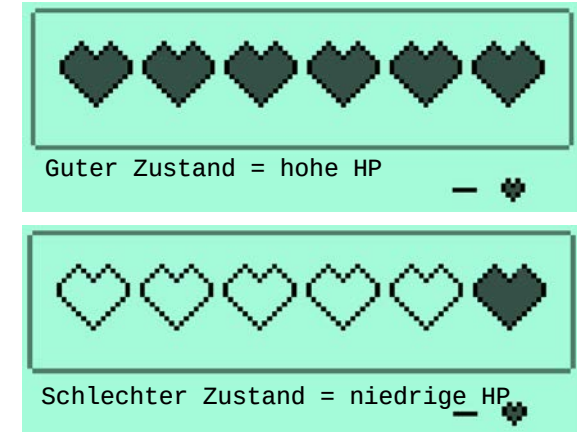
Fallbeispiel: Tafelblechschere



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



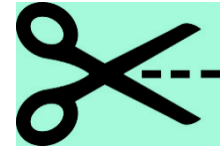
Beispielbild einer Tafelblechschere



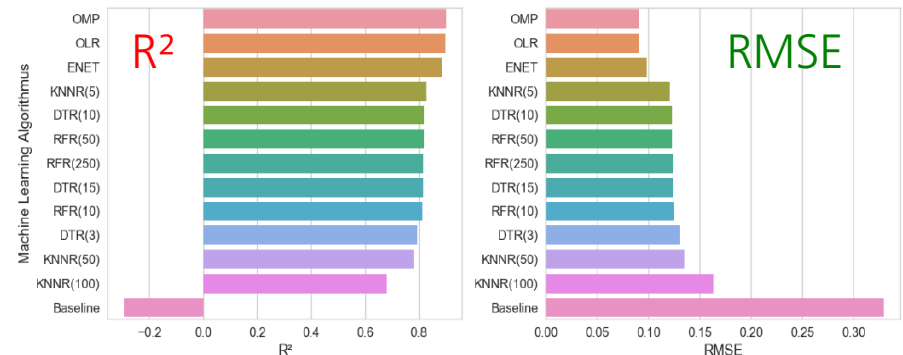
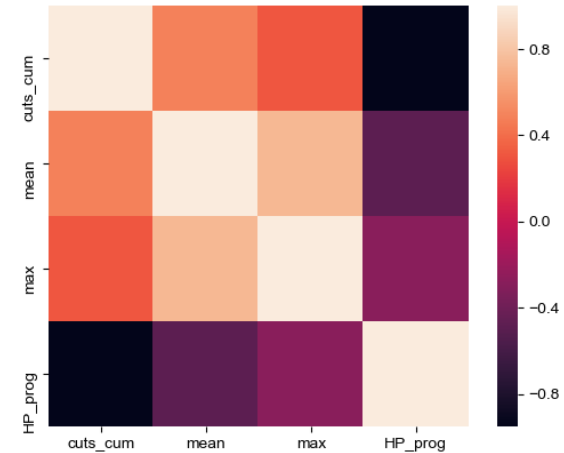
Zustandsabhängigkeit der Produkte an der Pilotanlage

Anwendung und Validierung | Fallstudie 1

Phase 1: Erfassung des Werkzeugzustandes



- Zustandsüberwachung:
 - **M**achine-**L**earning Modell → Messung der Healthpoints (**HP**) des Scherenmessers
- **Ground-Truth** == qualitative **Zustandsbeurteilungen** von Prozessexperten
- Sensoren: Schnitzzähler, Schwingungssensor
- Training unterschiedlicher ML-Modelle
- Das beste ML-Modell OMP erzielt ...
 - eine **Accuracy*** von **90.1 %** und
 - einen **R^2** 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)

Phase 2

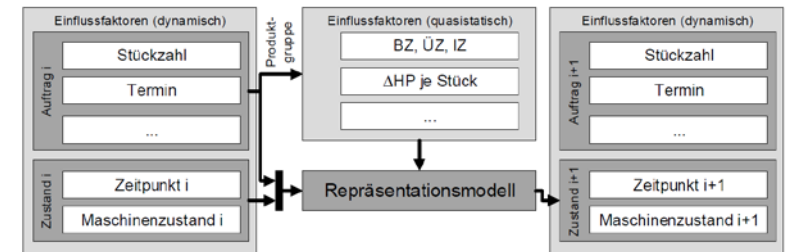
- Kategorisierung der Produkte (Legierung-Dicken-Kombination)
- Modellierung der Zustandsabhängigkeiten:
 - Datenanalyse der Messwerte
 - Ableiten von HP_{min} , HP_{max} , ΔHP

eindimensionale Zustandsabhängigkeiten

Produkt-kategorie	HP _{min}	HP _{max}	ΔHP ₁
P ₁	HP _{min_1}	HP _{max_1}	ΔHP _{_1}
...	...	...	...
P _m	HP _{min_m}	HP _{max_m}	ΔHP _{_m}

Phase 3

- 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



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

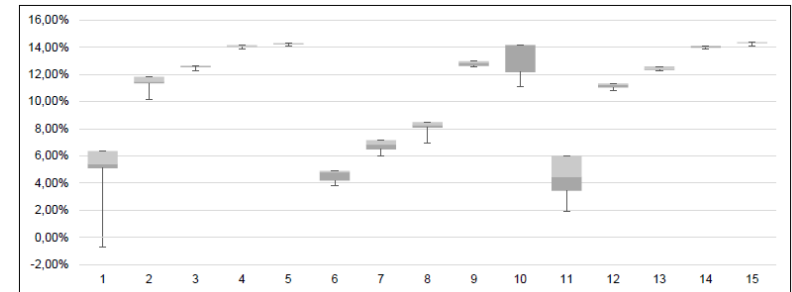
* Der Zustand ist dabei (i) der physische Werkzeugzustand und (ii) der organisatorische Zustand (z.B. Zeitpunkt) des Produktionssystems.

Anwendung und Validierung | Fallstudie 1

Phase 4 (Formulierung des Optimierungsalgorithmus), Nutzenquantifizierung

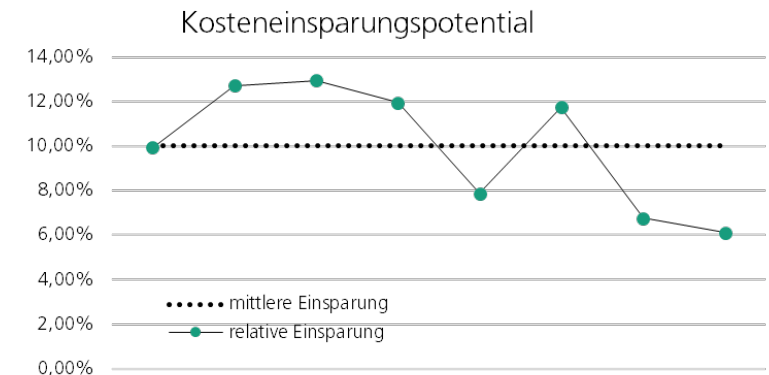
Phase 4

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



Nutzen

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



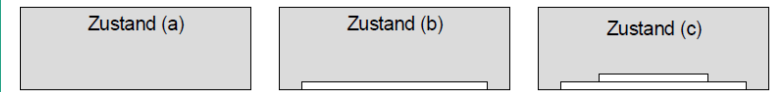
Anwendung und Validierung | Fallstudie 2

Zusammenfassung der Ergebnisse

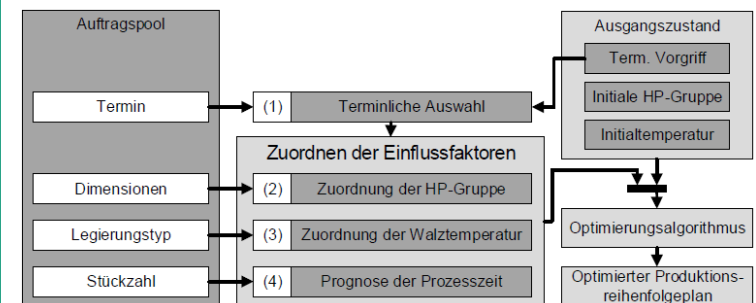


- Prozess: Duo Walzgerüst
- Zustandsabhängigkeit: Breite
- Abbildung der Zustandsabhängigkeit als Breitengruppen → Diskretisierung der Healthpoints
- produktionstechnisches Effizienzkriterium als Optimierungsziel: Minimierung der Aufheiz- und Abkühlungszyklen des vorgelagerten Ofens
- Nutzen einer Multi-Level-Optimierung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

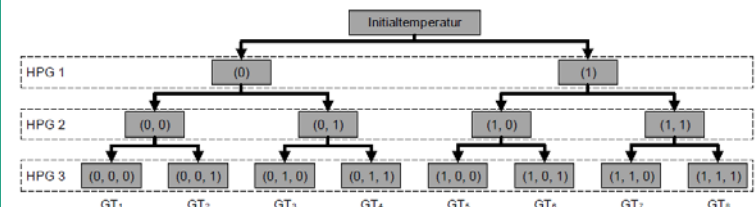
Zustandsabhängigkeit



Modellierung des Produktionsprozesses



Multi-Level-Optimierung

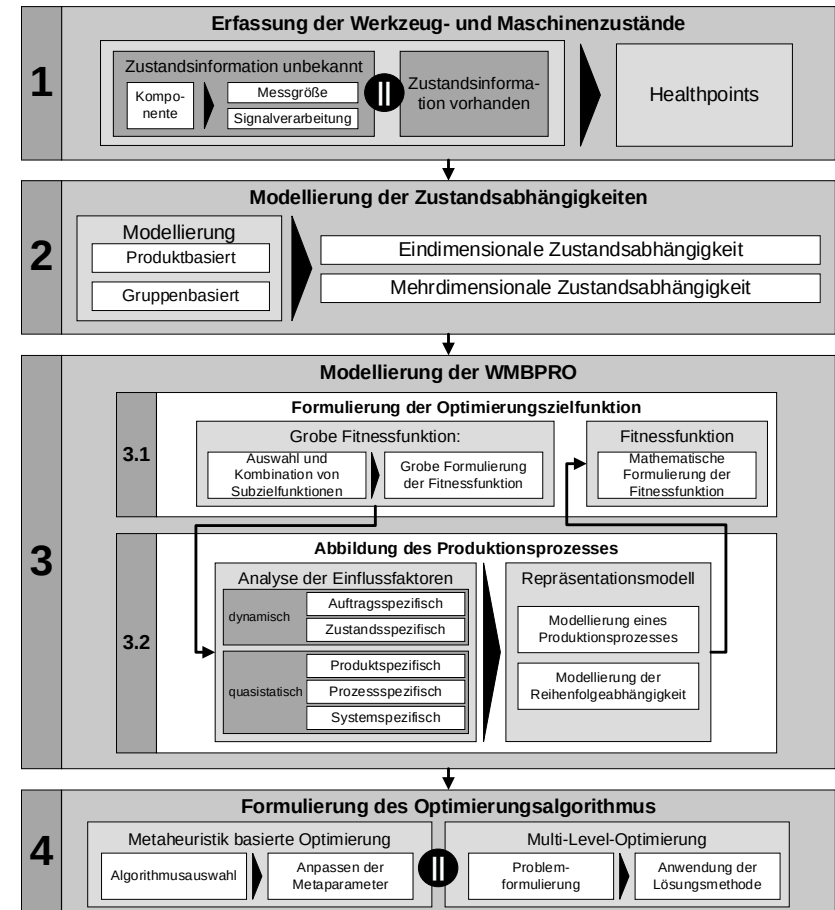


Conclusio

Zusammenfassung der Ergebnisse



- Die identifizierte **Forschungslücke** der integrativen Betrachtung von CM und PPS wird **adressiert**
- Durch die Entwicklung eines Vorgehensmodells wird zudem **Praxisorientierung** angestrebt → die **Instanziierung** von WMBPRO wird möglich
- Das Vorgehensmodell **erfüllt** die definierten **Anforderung** und entwickelt Modelle zur zustandsbedingten PRO
- In den durchgeführten Fallstudien erzielen die WMBPROs einen Nutzen in der Praxis:
 - Fallstudie 1: **10,01 %** Optimierung der logistischen Zielgrößen
 - Fallstudie 2: Erhöhung der Energieeffizienz um **16,34 %**



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 für 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., Gebraeel, 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.
- **Harjunkski**, 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.
- **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., 54(10), 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 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, Jianlin (2017): Review of job shop scheduling research and its new perspectives under Industry 4.0. In: J Intell Manuf 34 (3).



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
Produktionsoptimierung & Industrial Engineering

+43 (0) 676 888 616 - 44

matthias.karner@fraunhofer.at