

## Optimierung von Prozessen und Werkzeugmaschinen durch Bereitstellung, Analyse und Soll-Ist-Vergleich von Produktionsdaten

Jan Hofmann, Lars Eberhardt, Moritz Heusinger, Alexander Dobhan, Bastian Engelmann, Frank-Michael Schleif

### Short Facts

Förderkennzeichen: OBerA-IKK 530/10  
Projektlaufzeit: 01.04.2018 – 31.03.2021

## 1 EINLEITUNG

Mit einem Umsatz von 103 Milliarden Euro ist die Metallindustrie eine der größten deutschen Industriebranchen. Diese ist von volatilen Marktbedingungen und hohem Wettbewerb geprägt [1][2]. Kleine und mittlere produzierende Unternehmen (sogenannte KMU) sehen zunehmend gravierende Probleme bei der Einhaltung von Lieferterminen bedingt durch hohe Durchlaufzeiten in der Produktion [3]. Neben kaufmännischen Planungssystemen zur Erstellung von Produktionsplänen nutzen Unternehmen als Planungsgrundlage weiterhin Excel mit 31 % und manuelle Prozesse mit 10 % [4]. Gleiches gilt für Produktwechsellvorgänge auf Maschinen (Rüsten). Aufgrund dieser Aspekte ist es notwendig, die Rentabilität der KMU in der Metallindustrie zu steigern. Das wird durch effiziente Produktionsplanung und -steuerung, sowie der daraus resultierenden hohen Reaktionsfähigkeit und Flexibilität realisiert. Daher ist die Produktionsplanung auf die Markt- und Kundenanforderungen und die Anlageneffektivität auf ein hohes und stabiles Niveau auszurichten [5]. Hier bietet die Erfassung von Echtzeitdaten eine adäquate Reaktion auf die genannten Anforderungen. Ebenfalls liefert sie großes Potenzial für die Produktionsplanung und -steuerung, um die Disposition und Koordination von Arbeitsaufträgen zu optimieren. Weiterhin werden Störgrößen oder unvorhergesehene Planungsabweichungen reduziert [4][6]. Zusätzlich ist eine erhöhte Transparenz und Verbesserung menschlicher Entscheidungsprozesse notwendig. Dies kann durch datengetriebene Methoden unterstützt und sichergestellt werden [7].

Ein Ansatz zur Optimierung des Produktionsergebnisses kann durch die Erhöhung der Anlagenproduktivität selbst realisiert werden. Dazu muss die Verfügbarkeit der Anlagen durch Lokalisierung und Reduzierung von Verlusten erhöht werden. Die Umrüstungsprozesse tragen stark negativ zur Verfügbarkeit einer Produktion bei. Eine Steigerung der Gesamtanlageneffektivität (overall equipment effectiveness oder kurz OEE) in einer Fertigungsumgebung ist jedoch möglich durch eine intelligente Nutzung von Sensordaten mit Techniken wie z. B. Machine Learning (ML).

## 2 DAS FORSCHUNGSPROJEKT OBerA

Das Projekt OBerA (Optimierung von Prozessen und Werkzeugmaschinen durch Bereitstellung, Analyse und Soll-Ist-Vergleich von Produktionsdaten) wurde initiiert, um metallverarbeitende Unternehmen aus dem Mittelstand bei der Digitalisierung ihrer Systemlandschaft zu unterstützen. Das Projektkonsortium besteht aus fünf produktionsorientierten Unternehmen aus der Region Franken. Zusätzlich fungiert die Firma Siemens als Technologiepartner, die Firmen Heisab und Heitec als Spezialisten für Softwareentwicklung und Prozessverbesserung. Die Hochschule für angewandte Wissenschaften agiert als akademischer Partner. In der

folgenden Tabelle 1 werden die Produktionsfirmen und Partner des OberA-Projekts dargestellt. Diese sind kleine und mittelständische Unternehmen (KMU) mit unterschiedlichen Produktionscharakteristika. Die Absicht war es, ein breites Spektrum von unterschiedlichen Unternehmen und somit exemplarisch für die Region Nordbayern, abzubilden.

Tabelle 1: Partner des OBERA-Konsortiums

Unternehmen	Umsatz Mio. €	Anzahl Angestellte	Branche	Charakteristik
Franken	10–50	200	Werkzeuge zum Bohren, Fräsen, Gewindeschneiden	Kleinserien und Serienfertigung
Kritzner	10–50	100	Automatisierung und Automobil	Einzel- und Kleinserienfertigung
Pabst	6–10	60	Automobil und Luftfahrt	Einzel- und Kleinserienfertigung
Brehm	10–50	100	Medizinische Implantate	Einzel- und Serienfertigung
Siemens	> 600	3.000	Elektronikmotoren	Serienfertigung
Heisab	10	25	Prozessverbesserung und Digitalisierung	Unternehmensberatung
Heitec	130	1.000	Softwareentwicklung	Unternehmensberatung
FHWS	–	600	Hochschule	Forschung

Zu Beginn des Projekts wurden bei allen Partnern Anwendungsfälle (Use Cases) identifiziert. Ziel war es, dass jedes Unternehmen mindestens einen Anwendungsfall bearbeitet. Die Anwendungsfälle müssen einen Nutzen im Rahmen des Projektauftrags stiften, sowie innerhalb der Projektlaufzeit umgesetzt werden können. Anschließend wurden die Fokusthemen und Anwendungsfälle den Unternehmen zugeordnet, welche in folgender Tabelle 2 dargestellt sind.

Tabelle 2: Anwendungsfälle der Partner des OBERA-Konsortiums

Fokusthema	Unternehmen	Anwendungsfall (Use Case)
Rüsten	Pabst	Erkennung von Rüstphasen, Rüststatusmonitor
	Siemens	ERP-basiertes Analysetool für historische Umrüstzeiten aus vergangenen Aufträgen
Produktionsplanung	Brehm, Franken	Optimierte Produktionsplanung
	Brehm, Franken, Kritzner, Siemens	Transparenz der Maschinenzustände
	Siemens	Bedienung mehrerer Maschinen mit Bedienerführung
Werkzeugverwaltung	Brehm, Franken, Kritzner, Siemens	Werkzeugverschleißerkennung
	Brehm, Kritzner	Anforderungen an eine Werkzeugverwaltungssoftware
Automatisierung durch Künstliche Intelligenz	Franken, Siemens	Prozessautomatisierung durch Anwendung von Künstlichen Neuronalen Netzen

Aus Tabelle 2 geht hervor, dass die vier Fokusthemen Rüsten, Produktionsplanung und Werkzeugverwaltung und Künstliche Intelligenz identifiziert und entsprechende Use Cases abgeleitet wurden. Insgesamt wurden 10 Use Cases definiert. Exemplarisch werden hier die Use Cases 1 bis 4 vorgestellt (siehe Tabelle 3). Wie in Tabelle 3 zu erkennen ist, werden die Use Cases 1 bis 3 thematisch dem Rüsten zugeordnet und Use Case 4 der Fertigungsplanung.

Tabelle 3: Themen mit Use Cases

ID	Thema	Use Case
1	Rüsten	Detektion von Rüstphasen
2	Rüsten	Transparenz durch Soll-Ist-Abgleich der Rüstvorgänge in einem Rüstmonitor
3	Rüsten	Rüstautomatisierung über eine Rüstmatrix
4	Fertigungsplanung	Mittelstandgerechte Optimierung der Produktionsplanung

### 3 USE CASES

#### 3.1 Use Case 1–3 (Rüsten)

##### 3.1.1 Use Case 1: Automatisierte Erkennung von Rüstphasen

Im Use Case 1 wurde die automatisierte Erkennung von Rüstphasen bei der Firma Pabst umgesetzt. Zunächst wurde bei der Firma Pabst ein standardisiertes Sensorsetup in der Fertigung an einer Fräsmaschine installiert, das in nachfolgender Abbildung 1 visualisiert ist.

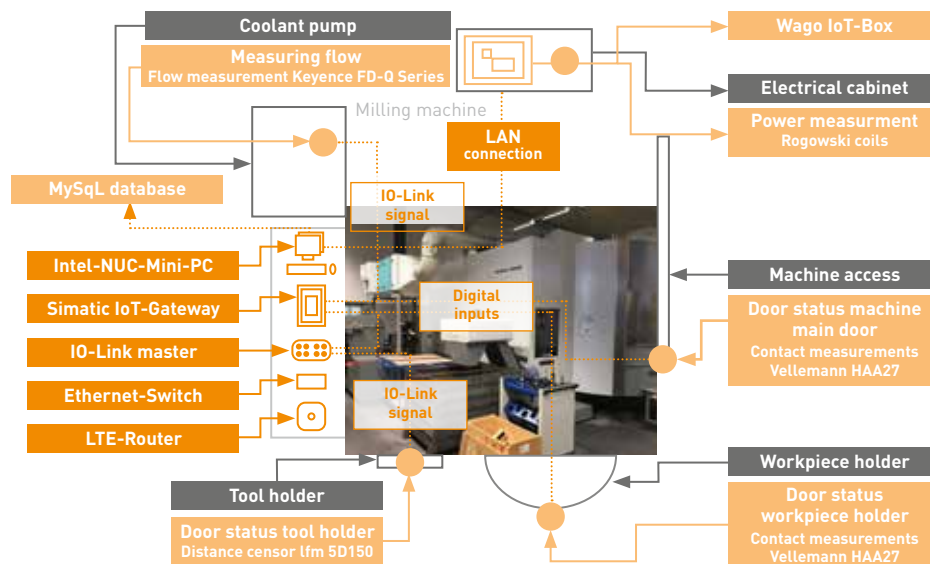


Abbildung 1: Sensorsetup an einer Fräsmaschine der Firma Pabst

Um die Daten der fünf installierten Sensoren an der Maschine zu erfassen, wird ein LTE-Router und ein Ethernet-Switch eingesetzt, die den Internetzugang aller Sensoren ermöglichen. Tabelle 4 zeigt die eingesetzten Sensoren bei der Firma Pabst:

Tabelle 4: Sensoren des Sensorsetups

Sensor	Messobjekt	Messart
Ifm 5D150	Türstatus Werkzeugträger	Distanzmessung
Keyence FD-Q Series	Kühlmitteldurchfluss	Durchflussmessung
Velleman HAA27	Türstatus Werkstückträger	Kontaktmessung
Velleman HAA27	Türstatus Maschinenhaupttüre	Kontaktmessung
Wago IoT-Box 9466	Maschinenleistung	Leistungsmessung

Sowohl der Sensor Ifm 5D150, welcher den Türstatus des Werkzeugträgers via Distanzmessung misst, als auch der Keyence FD-Q, der den Kühlmitteldurchfluss misst, sind mit einem IO-Link-Master (automatisiertes Kommunikationssystem) verbunden, der die Kommunikation mit allen angeschlossenen IO-Link-Geräten steuert. Die Kontaktschalter Velleman HAA27, welche den Türstatus von Werkstückträger und Maschinenhaupttüre via Kontaktmessung erfassen, sind an das Simatic IoT2040-Gateway (Internet of Things – Gateway als Bindeglied zwischen dem Sensornetzwerk und der LAN- bzw. Internet-Welt) angeschlossen. Das Gateway liest die digitalen Signale, die von den Kontaktschaltern erzeugt werden, ein und stellt diese im lokalen Netz oder im Internet zentral zur Verfügung. Die Wago IoT-Box misst die Maschinenleistung, hat eine eingebaute SPS (Speicherprogrammierbare Steuerung) und kann Daten mit verschiedenen Methoden senden. Alle genannten Geräte sind in der Lage, Datennachrichten über das MQTT-Protokoll (Message Queue Telemetry Transport Protokoll) zu übertragen. Das MQTT-Protokoll ist ein Client-Server-Protokoll, bei dem die Clients dem Server Nachrichten senden, welche über Zusatzinformationen hierarchisch eingestuft werden. Zuletzt wird ein PC benötigt, um die verschiedenen Datennachrichtenthemen der einzelnen Sensoren zu abonnieren. Für diesen Fall wird ein Intel NUC Mini-PC verwendet, auf dem die Anwendung Node-RED installiert ist. Node-RED ist eine Plattform zur Integration von IoT-Geräten in Kombination mit einer grafischen Programmiersprache. Sie bietet eine komfortable Möglichkeit, die verschiedenen Themen der Datennachrichten zu abonnieren und die Daten in ein nutzbares Format umzuwandeln. Schließlich werden alle Daten in einer SQL-Datenbank (Structured Query Language) gespeichert.

Dieses Setup erlaubt es, mit den oben beschriebenen Sensordaten ein ML(Machine Learning)-Modell für unterschiedliche Rüstphasen zu trainieren. Zur Detektion von Rüstphasen konnte bei der Firma Pabst eine Erkennung von Rüstvorgängen mit einer Genauigkeit von aktuell 93 % erreicht werden. Insgesamt zeigen die Ergebnisse aus dem Use Case, dass es mit dem trainierten ML-Modell möglich ist, in einer Serienproduktion, »Produktions-« und »Umrüstphasen« auf einem zuverlässigen Niveau zu unterscheiden.

### 3.1.2 Use Case 2: Rüstmonitor

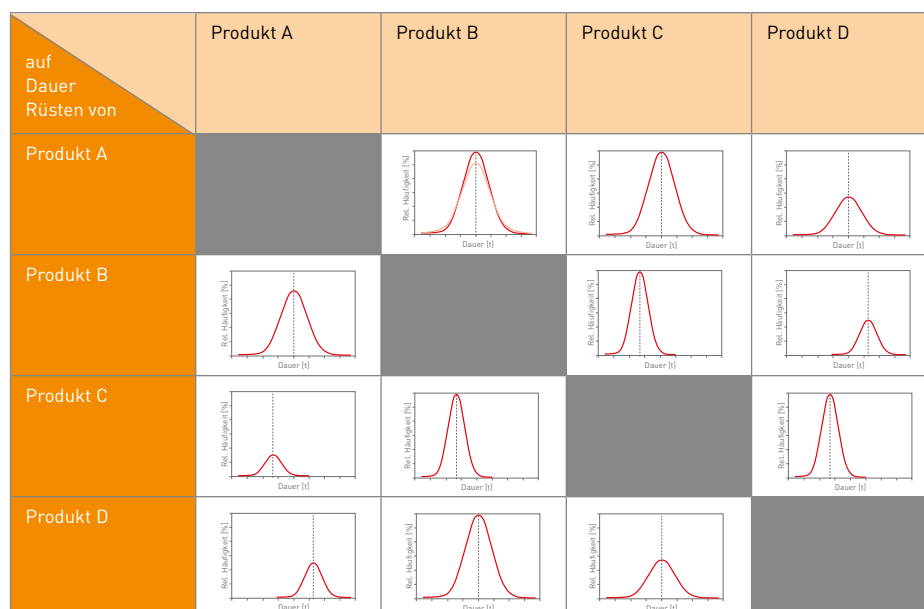
Bei der Firma Pabst wurde im Use Case 2 ein Konzept für einen sogenannten Rüstmonitor entwickelt. Ziel war es, mit Hilfe dieses Rüstmonitors die Transparenz der Rüstvorgänge herzustellen, den Rüstprozess zu verbessern und vergleichbar zu gestalten. Dazu wurde ein Soll-

Ist-Abgleich der Rüstvorgänge vorgenommen. Dieser Abgleich konnte durch den Vergleich der Ist-Werte der und der Soll-Werte aus dem ERP-System ermöglicht werden. Anhand des Abgleichs der Daten kann das System fortlaufend aktualisiert und ein Frühwarnsystem für ein Abweichungsmanagement aufgebaut werden.

### 3.1.3 Use Case 3: Rüstautomatisierung über eine Rüstmatrix von Siemens

Mit dem Use Case 3 wurde bei der Firma Siemens eine Auswertung der vergangenen Rüstvorgänge mittels einer sogenannten Rüstmatrix geschaffen (siehe Tabelle 5). Eine Rüstmatrix stellt die Dauer der Rüstvorgänge für alle möglichen Abfolgen von Produkten in tabellarischer Form dar. Mittels der zurückgemeldeten Rüstzeiten können die Häufigkeitsverteilungen der Rüst Dauern ermittelt werden. Über die Auswertung der Verteilungen können dann die im ERP vorliegenden Vorgabezeiten aktualisiert werden.

Tabelle 5: Prinzipdarstellung einer Rüstmatrix



Die Datenermittlung erfolgt kontinuierlich mit jedem Fertigungsauftrag. Folglich muss eine Veränderung der zugrunde liegenden Verteilung ebenfalls überwacht werden. Insgesamt konnte die Rüsttransparenz deutlich verbessert werden und wertvolle Informationen für Optimierungen z.B. in klassischen Rüstworkshops ermittelt werden. Zukünftig ist geplant, die automatische Erkennung des Rüststart und -stopps (s. Use Case 1) in diesen Use Case zu integrieren.

### 3.2 Use Case 4: Fertigungsplanung

Mit Use Case 4 wurde bei der Firma Franken der Fokus auf die Fertigungsplanung gelegt. Die Anforderung bestand darin, eine flexible und nachvollziehbare Fertigungsplanung zu implementieren. Um die Akzeptanz der Mitarbeitenden für das neue Verfahren zu erlangen, war es von besonderer Wichtigkeit, das Setting so einfach wie möglich zu halten und keine hochkomplexen mathematischen Systeme einzuführen. Ziel war es, die Komplexität so zu reduzieren, dass die Fertigungsplanung in einem KMU praxistauglich ist und dennoch ein logisches und umfassendes Verfahren, bezogen auf die wichtigsten Punkte, etabliert werden kann.

Im ersten Schritt wurde analysiert, welche Parameter Einfluss auf die Fertigungsplanung haben. Dafür wurde die Literatur der letzten Jahre sondiert und diese mittels einer Metaanalyse auf gemeinsame Parameter untersucht. Im Ergebnis wurden, die drei Parameter Bearbeitungszeit, Schlupfzeit (Lieferdatum – aktuelles Datum – Bearbeitungszeit) und die Lagerreichweite als die Parameter identifiziert, die sich in allen Modellen wiederfinden.

Die ermittelten Faktoren wurden über einen prioritätsbasierten Ansatz verknüpft. Dieses Vorgehen ist nahe am intuitiven Verständnis der Werk- und Fertigungsplanenden. Gleichzeitig wird eine hohe Flexibilität ermöglicht, ohne auf höhere Mathematik zurückgreifen zu müssen. Zusätzlich wurden die identifizierten Parameter bei der Firma Franken um drei individuelle Anforderungen erweitert. Anforderung eins war die »Reservierung«, d.h. es muss unterscheidbar sein, ob ein Produktionslos reserviert ist oder nicht. Anforderung zwei war der »Prioritätsauftrag«. Dies sind Aufträge, die auf Veranlassung der Geschäftsführung beschleunigt gefertigt werden müssen. Anforderung drei war der »Schaftdurchmesser«, welcher ein sogenanntes Rüststeuerkennzeichen ist. Die hohe Flexibilität und Einfachheit der Formel sorgen dafür, dass diese ohne Problem individuell ergänzt werden kann, in diesem Fall um die neuen drei Attribute. Diese Erweiterung ist skalierbar und unternehmensunabhängig jederzeit erweiterbar.

Das prioritätsbasierte Modell konnte erfolgreich bei der Firma Franken eingeführt werden und befindet sich derzeit im ersten Praxistest. Die Fertigungsplanenden können die Prioritäten über eine Eingabemaske in SAP eintragen. Die Berechnung des Fertigungsvorschlags erfolgt anschließend vollautomatisiert. Die gefundene Reihenfolge wird unter Zuhilfenahme des Rüststeuerkennzeichens (Schaftdurchmesser) iterativ auf die Maschinen verteilt. Hierbei wird die Liste stets neu berechnet, je nachdem welche Maschine als nächstes frei wird. Durch dieses Vorgehen konnte eine rüstopoptimale Fertigungsplanung implementiert werden. Bei Übergang zwischen Aufträgen mit zwei gleich großen Schäften ist die Wahrscheinlichkeit hoch, dass wenig Rüstzeit anfällt. Bei einer Rüstung von unterschiedlichen Schaftgrößen ist hingegen ein signifikant hoher Zeitbedarf für den Rüstvorgang zu prognostizieren. Daher ist es wünschenswert gleiche Schaftgrößen nacheinander zu produzieren.

Insgesamt deuten die Rückmeldungen während der Testphase auf eine hohe Akzeptanz des dargestellten Ansatzes hin, weil es in der Systematik dem intuitiven Vorgehen der Fertigungsplaner entspricht und gleichzeitig erhebliche Erleichterungen schafft. Erste Tests haben bereits gezeigt, dass das Verfahren dabei hilft, den Rüstaufwand zu reduzieren, das Personal zu entlasten und letztlich deutliche Zeitgewinne innerhalb der Fertigung zu generieren.

#### 4 AUSBLICK

Insgesamt wurden im OBERA-Projekt viele Use Cases mit KMU-relevanten Aufgabenstellungen erfolgreich umgesetzt, wie exemplarisch durch die Use Cases 1 bis 4 gezeigt wurde. Mit Use Case 1 wurden nach der erfolgten Detektion von Rüstphasen die rüstbezogenen Daten des mobilen IoT-Setups für die Erstellung eines Rüsterkennungssystems eingesetzt. Ziel ist zukünftig die automatische Erkennung des Rüststarts und -stopps von Fertigungsaufträgen. Die aktuell realisierte Genauigkeit von 93 % soll mit zusätzlichen Sensoren wie z. B. Indoor-GPS und den internen Daten der Maschinensteuerungen in der Restlaufzeit des Projekts weiter gesteigert werden. Im Ergebnis von Use Case 2 wurde die benötigte Transparenz durch einen Soll-Ist-Abgleich der Rüstvorgänge im Rüstmonitor erreicht. Zukünftig sollen diese Daten in eine Visualisierung im Sinne des o.g. Rüstmonitors münden und an die erstellte Rüstmatrix aus Use Case 3 exemplarisch angebunden werden. Die Ergebnisse bei der Firma Pabst fließen

aktuell in den Soll-Ist-Vergleich sowie die automatische Rüstmatrix ein. Die Programmierung des Rüstmonitors wird nach heutiger Planung ebenfalls innerhalb der Projektlaufzeit abgeschlossen. In der Fertigungsplanung soll im Use Case 4 der Praxistest bei der Firma Franken weiter verifiziert werden. Sollten dafür genügend Daten für weitere sinnvolle Formelparameter vorliegen, soll eine Auswahlliste erstellt werden, damit weitere Firmen die Formel baustellenbasiert über Vorschläge individuell und eigenständig zusammensetzen können. Es ist das erklärte Ziel, dieses Verfahren als einen der Standards, innerhalb der metallverarbeitenden Branche zu etablieren und somit aktiv die Digitalisierung in der Fertigungsplanung zu unterstützen und zu forcieren.

Insgesamt wird übergreifend an praxistauglichen Demonstratoren gearbeitet, die bis zum Projektende realisiert werden. Zusammenfassend kann gesagt werden, dass das Projekt OberA die metallverarbeitenden Unternehmen aus dem Mittelstand bei der Digitalisierung ihrer Systemlandschaft erfolgreich unterstützt. Dies wird durch die Optimierung von Prozessen und Werkzeugmaschinen erreicht, welche wiederum durch Bereitstellung, Analyse und Soll-Ist-Vergleich von Produktionsdaten ermöglicht wird. Daraus lässt sich nachweislich ein Mehrfachnutzen ableiten. Zum einen haben die Firmen selbst sowie das metallverarbeitende Gewerbe im Allgemeinen einen Nutzen von den Maßnahmen, da sie einerseits ihre Prozesse effizienter gestalten und andererseits neue Mitarbeitende einstellen können. Zum anderen wird eine Verbesserung der Standortbedingung in Bayern erreicht.

#### LITERATURVERZEICHNIS

- [1] **Statistisches Bundesamt** (2018), »Umsatz der Deutschen Metallindustrie in den Jahren 2005 bis 2017«, verfügbar in: <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/237217/umfrage/umsatz-der-metallindustrie-in-deutschland/>
- [2] **Nyhuis, P.; Münzberg, B.; Kennemann, M.** (2009), »Konfiguration und Regulierung von PPC«, *Prod.-Nr. Eng.* 2009, 3, S. 287–294.
- [3] **Schuh, G.; Gottschalk, S.; Höhne, T.** (2007), »Hochauflösendes Produktionsmanagement. Im Fortschritte in Produktionsmanagementsystemen. Nachhaltige Produktions- und Servicelieferketten«, in Prabhu, V.; Taisch, M.; Kiritsis, D. (Hrsg.), Springer, Berlin, S. 439–442.
- [4] **Schuh, G.; Prote, J.; Luckert, M.; Schmidhuber, M.** (2018), »Potenzial von Echtzeitdaten für die Produktion, Ergebnisse einer Studie des Werkzeugmaschinenlabors WZL der RWTH Aachen«, *Werkstattstechnik online* 108(4), S. 198–203.
- [5] **Heins, M.; Nyhuis, P.; Pachow-Frauenhofer, J.** (2008), »Zustandsbeschreibung von Produktionsanlagen. Methodik zur Abbildung einer nachhaltigen Verfügbarkeitsverbesserung«, *Werkstattstechnik Z. Ind. Fert.*, S. 622–627.
- [6] **Tempelmeier, H.** (2014), »Produktionsplanung in Supply-Chains der Verbrauchsgüterindustrie«, 1. Aufl.; Apprimus-Verlag: Aachen

- [7] Schuh, G.; Potente, T.; Wesch-Potente, C.; Weber, A. R.; Prote, J. P. (2014), »Kollaborationsmechanismen zur Produktivitätssteigerung im Kontext von Industrie 4.0«, *Procedia CIRP* 2014, 19, S. 51–56.