

Exposé zum Promotionsvorhaben im Rahmen des kooperativen Graduiertenkollegs  
„Ressourceneffizienz und Werkstoffe“

**Florian Tomaschko, MBA & Eng.**

**Ressourceneffizienz durch Digitalisierung – Bewertungsmethodik zur Identifikation  
von Ressourceneffizienzstellgrößen innerhalb von Fertigungsprozessen unter  
Betrachtung des Aufwand-Nutzen-Verhältnisses**

Ressourceneffizienz ist ein entscheidender Wettbewerbsfaktor für produzierende Unternehmen. Materialaufwendungen haben an dem Gesamtumsatz eines Unternehmens durchschnittlich etwa einen Anteil von 56 % (Statistisches Bundesamt 2019). Zugleich erfordern die Knappheit und die Importabhängigkeit von Rohstoffen sowie die mit der Rohstoffgewinnung und der Fertigung von Halbzeugen und Produkten verbundenen Umweltwirkungen ein effizientes Wirtschaften mit Produktionsfaktoren. Durch die digitale Transformation der Produktion (Industrie 4.0) soll die industrielle Produktion mit moderner Informations- und Kommunikationstechnik intelligent verzahnt werden, um die Produktivität der Wertschöpfung zu steigern. Dies eröffnet gleichfalls die Möglichkeiten die Effizienz und die Organisation der Produktion zu verbessern. Eine besondere Rolle spielt dabei die Vernetzung der Produktion und die Abbildung eines sogenannten Cyber-Physischen-Systems (CPS) bzw. Digitalen Zwilling<sup>1</sup>. Letzterer ist ein virtuelles und computerbasiertes Gegenstück des physischen Systems (Hübschle 2017; Tao et al. 2018). Die Digitalisierung der Produktion liefert von der Feldebene der Prozesse bis zur Betriebsebene Daten, die zur Steigerung der Ressourceneffizienz genutzt werden können. Ressourceneffizienz wird dabei als Nutzen (Produkt, Dienstleistung, funktionelle Einheit) im Verhältnis zum Aufwand (Rohstoffe, Energie, Wasser, Abfälle) definiert (VDI 4800). Auf Basis der Prozess- und Betriebsdaten sowie ergänzender Mess- und Sensorikdaten lassen sich die Wert- und Stoffströme als digitaler Schatten bzw. Zwilling abbilden, um Fertigungsprozesse realdaten-basiert und kontinuierlich hinsichtlich Ressourceneffizienz zu analysieren und zu steuern. Dabei gilt es die relevanten Wert- und Stoffstromdaten (Werkstoff-, Auftrags-, Fertigungs-, Maschinen-, Roh-, Hilfs- und Betriebsstoffdaten) als ggfs. auch weitere Einflussgrößen (z.B. Temperatur, Luftdruck) zu

---

<sup>1</sup> Die Begriffe werden in der Literatur nicht eindeutig definiert. Cyberphysisches Produktionssystem ist ein Oberbegriff für die oftmals als Synonym verwendeten Begriffe digitaler Zwilling (Digital Twin), digitaler Schatten (Digital Shadow) und digitales Modell (Digital Model). Entsprechend dem Integrationslevel des virtuellen und computerbasierten Gegenstücks und dem physischem System wird indes zwischen Digital Model (digitales Abbild eines bestehenden/geplanten physischen Systems ohne automatisierten Datenfluss), Digital Shadow (digitales Abbild mit uni-direktionalem, automatisierten Datenfluss vom physischem System ins Modell) und Digital Twin (digitales Abbild mit bi-direktionalem, automatisierten Datenfluss zwischen physischem System und Abbild einschließlich der Nutzung zur Steuerung) unterschieden (Kritzinger et al. 2018).

identifizieren sowie deren kausale Abhängigkeiten und Signifikanzen für die Prozesse zu ermitteln.

Ein Literaturreview zeigt, dass cyber-physische Produktionssysteme in der Produktion derzeit meist nicht über einen Konzeptstatus hinausgehen; zu vereinzelt Fragestellungen der Digitalisierung der Produktion existieren Fallstudien mit verschiedenen Anwendungen (Kritzinger et al. 2018). Uhlemann et al. 2017 beschreibt ein Konzept zur digitalen Abbildung von Wert- und Stoffströmen. Darüber hinaus existieren verschiedene Ansatzpunkte zur Vorgehensweise der Digitalisierung der Produktion. Ein Großteil der entwickelten Ansätze baut indes auf einer Reifegradbewertung auf und entwickelt je nach Produktionsstand Konzepte für die Maschinenvernetzung (Siedler und Aurich 2018; Morlock et al. 2016). Andere Vorgehensweisen fokussieren auf den „nicht digitalen“ Kernprozess, arbeiten Effizienzsteigerungen aus und überführen den Prozess anschließend in ein digitales, ganzheitliches Produktionssystem (Dombrowski und Richter 2016).

Daraus ergibt sich, dass diese Ansätze lediglich die reine Vorgehensweise zur Prozessvernetzung oder ausschließlich den möglichen Nutzen dieser Technologien betrachten. Hinsichtlich einer ganzheitlichen Betrachtung der Ressourceneffizienz und möglicher Potentiale durch Digitalisierung einer Prozesskette sind keine Ansätze bekannt. Viele Ansätze konzentrieren sich lediglich auf Energiewertströme (Swat et al. 2015; Thiede et al. 2017; Haag 2013). Darüber hinaus gilt es Methoden zur Bewertung des Verhältnisses von Nutzen und Aufwand von digitalen Wert- und Stoffstrom-Systemen (weiter) zu entwickeln. Denn bei einer ausschließlich auf die Nutzen-Seite konzentrierten Betrachtung besteht das Risiko, dass der gesamtgesellschaftliche bzw. unternehmensspezifische Aufwand den generierten Nutzen übersteigt (VDI 4800; Schebek et al. 2017). Weiterhin werden, ergänzt durch die oben beschriebenen Vorgehensweisen, bereits eine Vielzahl an Maschinen-, Betriebs- und Sensordaten erfasst, die daraus entstehende Datenfülle („BIG-DATA“) wird in Unternehmen oftmals nicht konsequent genutzt. Somit werden Potentiale nicht ausgeschöpft (Colangelo et al. 2016). Ursächlich ist die fehlende Fokussierung auf die wesentlichen Daten, d.h. auf die wesentlichen Einflussfaktoren, die einen Fertigungsprozess bestimmen (Hübschle 2017).

Das Promotionsvorhaben untersucht daher, welchen realen Beitrag Digitalisierungstechnologien in der Produktion zur Steigerung der Ressourceneffizienz leisten können. Die empirische Umsetzung und Analyse basiert auf ausgewählten Prozessen der Holzfertigung und -verarbeitung. Das Vorhaben lässt sich anhand der folgenden Leitfragen konkretisieren:

- Welche Methoden existieren für die Modellierung von Wert- und Stoffströmen und wie lassen sie sich im Kontext der Digitalisierung der Produktion erweitern?
- Welche Daten bilden die realen Stellgrößen zur Ressourceneffizienz innerhalb eines Fertigungsprozesses ab? Welche Methoden bestehen, um die relevanten Stellgrößen eines Fertigungsprozesses bzw. einer Wertschöpfungskette zu identifizieren und wie lassen sie sich im Umfeld der Digitalisierung anwenden?
- Welche Methoden existieren bzw. wie lässt sich das Aufwand-/Nutzen-Verhältnis für den Einsatz digitaler Technologien für Ressourceneffizienzfragestellungen innerhalb von Fertigungsprozessen bewerten?
- Wie lassen sich die gewonnenen Erkenntnisse auf andere Fertigungsprozesse in der industriellen Praxis übertragen (z.B. Metall-, Kunststoff- und Elektroindustrie)?

Ziel des Promotionsvorhabens ist es, im Kontext der Aufwand-Nutzen-Analyse zur Ressourceneffizienz-Bewertung ein methodisches Vorgehensmodell für einen digitalen Schatten bzw. Zwilling für Wert- und Stoffströme von Fertigungsprozessen zu entwickeln und zu validieren. Basierend auf betrieblichen Informations- und Maschinensteuerungssystemen sowie ausgewählter Sensorik und IOT-Technologien (Internet of Things) wird ein Holz-Fertigungsprozess zur Herstellung von Kastenmöbeln (Holzindustrie) als cyber-physisches-System herangezogen. Die zu erfassenden Daten bilden die Basis zur Prozessparametrisierung und zur Darstellung des benötigten Erfassungs- und Verarbeitungsaufwandes. Aus den gewonnenen Erkenntnissen wird ein quantitatives Bewertungsmodell zur Abschätzung der Ressourceneffizienz (Aufwand/Nutzen) entwickelt. Die Bewertungsmethodik soll „reale“ Ressourceneffizienzpotentiale bereits innerhalb des Transformationsprozesses, d.h. bei der Entwicklung und Umsetzung eines cyber-physischen Systems aufzeigen und unter Einbindung bereits bestehender Sensoren und Daten die entscheidenden Stellgrößen zur Ressourceneffizienz innerhalb von Fertigungsprozessen abbilden. Im Anschluss wird die Methodik hinsichtlich ihrer Übertragbarkeit auf Fertigungsprozesse der Metall-, Kunststoff- oder Elektroindustrie analysiert.

## Literaturverzeichnis

- Colangelo, E.; Pira, A.; Noack, A.; Bauernhansl, T. (2016), Schritte zu Big Data in der Produktion, in: Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb, Jahrgang 111 12, S. 851-854.
- Dombrowski, U.; Richter, T. (2016), Ganzheitliche Produktionssysteme und Industrie 4.0, in Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb, Jahrgang 111 12, S. 771-774.
- Haag, H., (2013), Eine Methodik zur modellbasierten Planung und Bewertung der Energieeffizienz in der Produktion, in Stuttgarter Beiträge zur Produktionsforschung, Stuttgart.
- Hübschle, K. (2017), Big Data – Vom Hype zum realen Nutzen in der industriellen Anwendung, in Industrie 4.0 Potentiale erkennen und umsetzen, Würzburg, S. 189-212.
- Kritzinger, W.; Karner, M.; Traar, G.; Henjes, J.; Sihn, W. (2018), Digital Twin in manufacturing: A categorical literature review and classification, IFAC-Papers Online, 51 (11), p. 1016-1022.
- Morlock, F.; Wienbruch, T.; Leineweber, S.; Kreimeier, D.; Kuhlenkötter, B. (2016), Industrie 4.0-Transformation für produzierende Unternehmen, in Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb, Jahrgang 111 5, S. 306-309.
- Schebek, L.; Kannengießner, J.; Campitelli, A.; Fischer, J.; Abele, E.; Bauerdick, C.; Anderl, R.; Haag, S.; Sauer, A.; Mandel, J.; Lücke, D.; Bogdanov, I.; Nuffer, A.-K.; Steinhilper, R.; Böhner, J.; Lothes, G.; Schock, C.; Zühlke, D.; Plociennik, C.; Bergweiler, S. (2017), Ressourceneffizienz durch Industrie 4.0, VDI ZRE (Hrsg.), Berlin.
- Siedler, C.; Aurich, J. (2018), Digitale Transformation eines Produktionssystems, in Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb, Jahrgang 113 7-8, S. 514-517.
- Statistisches Bundesamt (2019), Kennzahlen der Unternehmen des Verarbeitenden Gewerbes 2017, unter <https://www.destatis.de/DE/Themen/Branchen-Unternehmen/Industrie-Verarbeitendes-Gewerbe/Tabellen/kennzahlen-verarbeitendes-gewerbe.html;jsessionid=0BBBC26097B1E0A2EE2B0A4EA3F057E7B.internet721> (abgerufen am 04.07.2019).

- Swat, M.; Rebschläger, A.; Trapp, K.; Stock, T.; Seliger, G.; Bähre, D. (2015), Investigating the energy consumption of the PECM process for consideration in the selection of manufacturing process chains, ScienceDirect, CIRP 29, p. 585-590.
- Tao, F., Cheng, J.; Qi, Q.; Zhang, M.; Zhang, H.; Sui, F. (2018), Digital twin-driven product design, manufacturing and service with big data, International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 94 (9-12), p. 3563-3576.
- Thiede, S.; Posselt, G.; Herrmann, C. (2017), Industrie 4.0 und die Steigerung der Energieeffizienz in der Produktion, in Handbuch Industrie 4.0, S. 279-292, München.
- Uhlemann, T. H.-J.; Schock, C.; Lehmann, C.; Freiburger, S.; Steinhilper, R. (2017), The Digital Twin. Demonstrating the Potential of Real Time Data Acquisition in Production Systems. In Procedia Manufacturing, 9, p. 113–120.
- VDI 4800 (2016), Ressourceneffizienz – Methodische Grundlagen, Prinzipien und Strategien, Blatt 1.

### **Kontakt**

Florian Tomaschko (MBA & Eng.)  
TH Rosenheim  
FG Sustainable Engineering & Management  
[florian.tomaschko@th-rosenheim.de](mailto:florian.tomaschko@th-rosenheim.de)  
<http://sem.fh-rosenheim.de/>

### **Betreuende Professoren**

Prof. Dr. Siegfried R. Horn  
Universität Augsburg

Prof. Dr.-Ing. Sandra Krommes  
TH Rosenheim