



HOCHSCHULE
MITTWEIDA

Wissenschaftliche Berichte

SCIENTIFIC REPORTS

Digitalisierung in Industrie und Gesellschaft –

Arbeiten und Leben im Umfeld der 4. Industriellen Revolution, Nr. 3, 2018



25TH INTERDISCIPLINARY SCIENTIFIC CONFERENCE MITTWEIDA OCTOBER, 24-25, 2018

Digitalisierung in Industrie und Gesellschaft - Arbeiten und Leben im Umfeld der 4. Industriellen Revolution

Impressum

Herausgeber:

Hochschule Mittweida
University of Applied Sciences
Der Rektor - Prof. Dr. phil. Ludwig Hilmer
Der Prorektor Forschung - Prof. Dr.-Ing. Uwe Mahn

Redaktion dieser Ausgabe:

Referat Forschung - Hochschule Mittweida
University of Applied Sciences

Leiter der Tagungsgruppen:

Industrie 4.0 - Fertigung, Automation, Qualitätssicherung

Prof. Dr.-Ing. Leif Goldhahn
Prof. Dr.-Ing. habil. Alexander Winkler
Prof. Dr.-Ing. Marco Gerlach

Multisensorielle Prozess- und Systemüberwachung

Prof. Dr.-Ing. Michael Kuhl
Prof. Dr.-Ing. Jörg Hübler

Integrierte Produktentwicklung und additive Fertigung

Prof. Dr.-Ing. Jörg Matthes
Prof. Dr.-Ing. René Ufer
Prof. Dr.-Ing. Dr. h.c. Horst Exner

Mobilität: elektrisch - vernetzt - autonom

Prof. Dr.-Ing. Christian Schulz

Vertrauen und Transparenz in der digitalen
Kommunikation

Prof. Dr. phil. Janis Brinkmann
Prof. Dr. Tamara Huhle

Blockchain - das Internet der Werte

Prof. Dr.-Ing. Andreas Ittner

Virtuelle Welten

Prof. Dr. rer. nat. Marc Ritter
Prof. Alexander Marbach

Moderne Methoden der Lärminderung an Fahrzeugen,
Verkehrswegen und Industrieanlagen

Prof. Dr.-Ing. Jörn Hübel
Dr. rer. nat. Detlef Schulz

Digitalisierung und Studium Generale

Prof. Dr. rer. nat. habil. Stefan Busse
PD Dr. phil. Gunter Süß

Postanschrift:

Hochschule Mittweida
University of Applied Sciences
Referat für Forschung
Postfach 1457
D-09644 Mittweida

Erscheinungsweise:

unregelmäßig

Druck:

WIRmachenDruck GmbH

Schutzgebühr:

15 Euro

Bild:

#195379842 © BillionPhotos.com - Fotolia.com

Die Scientific Reports/Wissenschaftliche Berichte als
Wissenschaftliche Zeitschrift der Hochschule Mittweida-
University of Applied Sciences lösen die bisherigen
Scientific Reports mit allen Volume I-III ab und erscheinen
mit Nr. 1, 1998 ab November 1998 in neuem Layout und
in neuer Zählung.

Bisher 2018 erschienen:

Messtechnische Überwachung von Stauanlagen
Nr. 1, 2018

Vom Facharbeiter zur Promotion
Durchlässig. Innovativ. Digital.
Nr. 2, 2018

Für den Inhalt der Beiträge sind die Autoren verantwortlich.

Sehr geehrte Damen und Herren,

die 25. wissenschaftliche Konferenz steht diesmal unter dem Leitthema „**Digitalisierung in Industrie und Gesellschaft – Arbeiten und Leben im Umfeld der 4. Industriellen Revolution**“ und greift damit ein Themenfeld auf, welches aktueller denn je ist. Arbeitsabläufe wie die Entwicklung von Produkten und Prozessen bis hin zu ganzen Fertigungsabläufen sind im Begriff sich komplett zu ändern. Die Entwicklung erfolgt heute nicht mehr auf dem Papier, sondern komplett digital am PC oder gar der Cloud. *Simulation ist Digitalisierung!* Simulation und Digitales Arbeiten macht viele neue Prozesse, wie zum Beispiel den 3D-Druck, Blockchain oder autonomes Fahren überhaupt erst möglich. Wer bessere Produkte oder Prozesse auf den Markt bringen möchte, kann dies durch Simulation erreichen. Wer aus seinen Produkten und Prozessen das **Optimum** herausholen will, **muss** Simulation einsetzen! Ich glaube, wir können uns heute nicht mehr mit guten oder besseren Produkten und Prozessen zufriedengeben. Wir müssen nach dem besten Produkt und dem besten Prozess Ausschau halten und damit auf Simulation und Digitales Arbeiten setzen. Immer wichtiger wird dabei der Faktor Mensch, der die digitale Transformation von privaten und beruflichen Veränderungen meistern muss, damit die Gesellschaft insgesamt von der Digitalisierung profitiert. Die interdisziplinäre Zusammenarbeit bei der Entwicklung neuer Technologien und Verfahren sowie soziale und mediale Aspekte wirken daher immer stärker zusammen.

Die Forschungsfelder der Hochschule Mittweida haben sich in den letzten Jahren sehr stark hin zu Forschungsfeldern im digitalen Umfeld gewandelt. Auch die Art des Forschens ist anders geworden. Aber nicht nur die Forschung an der Hochschule ist von der Digitalisierung betroffen auch in der Lehre werden neue Lehrmethoden, wie Blended Learning zunehmend eingesetzt. Die Digitalisierung verändert aber auch das Hochschulmanagement und führt nicht zuletzt zu völlig neuen Methoden im wissenschaftlichen Transfer. Alle vier Handlungsfelder der Hochschule: Bildung, Forschung, Management und Transfer können nur gemeinsam die digitale Transformation beschreiten. Charles Darwin hat einmal gesagt, *„Es ist nicht die stärkste Spezies die überlebt, auch nicht die intelligenteste, sondern eher diejenige die am ehesten bereit ist sich zu verändern.“* Ich denke, an der Hochschule Mittweida ist man hier auf einem guten Weg.

Mehr als 80 wissenschaftliche Beiträge bilden die Basis für ein gefülltes Konferenzprogramm über zwei Tage in 13 Tagungsgruppen, Workshops und Symposien. Mit der Zusammenführung von Teilnehmern aus Wissenschaft und Wirtschaft werden interdisziplinäre Forschungsansätze, die Bildung von Netzwerken und Kooperationen weiter vorangetrieben. Der breitgefächerte Teilnehmerkreis eröffnet Ihnen gute Chancen für einen fruchtbaren Gedankenaustausch mit Fachkollegen und Experten. Das erfolgreiche Konzept der 1971 ins Leben gerufenen Konferenz basiert auf dem Dialog zwischen Hochschule und Unternehmen fern von Alltag und Hektik. Wir freuen uns daher, die Konferenz in diesem Jahr bereits zum 25. Mal ausrichten zu können.

Ich wünsche Ihnen eine erkenntnisreiche Lektüre.

Herzliche Grüße aus Mittweida



Prof. Dr.-Ing. Uwe Mahn

Tagungsleiter der 25. IWKM

Inhaltsverzeichnis

INDUSTRIE 4.0 - FERTIGUNG, AUTOMATION, QUALITÄTSSICHERUNG

Digitale Planung , Virtual Reality

Digital Engineering - der digitale Zwilling entlang des Anlagenlebenszyklus	2
Sebastian Möser, Marlene Eisenträger, Sergii Skryuttskyi, Simon Adler Fraunhofer Institut für Fabrikbetrieb und -automatisierung IFF Magdeburg	
Anforderungen und Lösungsansätze zur Entwicklung von virtuellen Bedienkonzepten am Beispiel Trainingsfabrik 4.0	6
Leif Goldhahn, Dorit Bock, Katharina Müller-Eppendorfer Hochschule Mittweida	
Weiterentwicklung der Prozessplanung im Rahmen von Industrie 4.0	10
Kai Kittner, Bernd Stimper Eberspächer Exhaust Technolgy Wilsdruff GmbH Wilsdruff	
Time standard stetting in assembly	14
Izabela Kutschenreiter-Praszkiewicz University of Bielsko-Biala, Poland	
Mathematische Optimierung der Teileanordnung in der Kommissionierung	18
Philip Sehr, Sven Bendzioch, Oliver Niggemann Hochschule Ostwestfalen-Lippe	
Eine sich selbst organisierende Produktion im empirischen Vergleich mit einer zentral geplanten Produktion	22
Martin Krockert, Torsten Munkelt, Mario Strucks HTW Dresden	
Komplexitätsbewältigung in der Smart Factory - Beitrag zur Absicherung des vernetzten, adaptiven Produktionssystems	26
Samuel Horler, Egon Müller Technische Universität Chemnitz	
Ressourceneffiziente Fertigungsprozesse Workshop der Nachwuchsforschergruppe „MoQuaRT – Modelle und Qualifizierungskonzepte zur ressourceneffizienten Teilefertigung“	
Untersuchungen zum Einfluss von Wendeschneidplattengeometrien sowie diverser Bearbeitungsstrategien auf die Energieeffizienz beim Spanen	31
Eckhard Wißuwa, Rico Krumbiegel Hochschule Mittweida	
Messtechnische Erfassung des Medienverbrauchs und Simulation einer Werkzeugmaschine zur Verbesserung der Energieeffizienz	35
Silvio Hund, Mathias Rudolph HTWK Leipzig	
Ressourceneffiziente Gestaltung nasschemischer Beschichtungsprozesse	39
Michael Markus Hochschule Mittweida	
Qualifizierungskonzept für die ressourcenorientierte Teilefertigung	43
Leif Goldhahn, Robert Eckardt, Christina Pietschmann, Sebastian Roch Hochschule Mittweida	

Adaptive Automation

Qualitätssicherung mittels durchgängiger Informatik und Automation in der Roboter-Integrierten Fertigung	48
Martin Hiersemann, Rolf Hiersemann, Christian Brenner, Heiko Veit, Thomas Ulbricht Hiersemann Prozessautomation GmbH	
Virtuelle Identifikation und Reglerinbetriebnahme	54
Henry Kirchner, Holger Schlegel, Matthias Putz TU Chemnitz	
Einsatz der Microsoft Hololens für die Planung und Programmierung von Industrierobotern	58
Niels-Lennart Brandt, Udo Triltsch Ostfalia Hochschule für angewandte Wissenschaften	
Möglichkeiten der Verbesserung von roboterbasierten Handhabungsprozessen durch intelligente Werkstücke	62
Christian Thormann, Alexander Winkler Hochschule Mittweida	
Prozessüberwachung in der Smart Factory am Beispiel eines Gastro-Kaffeevollautomaten	66
Nanno Peters, Udo Triltsch Ostfalia Hochschule für angewandte Wissenschaften	
The parallel robot with integrated vision system and their usage in automated production systems - equipment for high productivity	70
Vladimír Bulej ¹ , Manfred Eberth ² , Ján Stanček ¹ , Juraj Uriček ¹ , Ivan Kuric ¹ , Joanna Korzekwa ² ¹ University of Zilina, Slovak Republic; ² University of Silesia in Katowice	
Demonstrator für einen kooperativen Mensch-Roboter Arbeitsplatz in der Montage	74
Kathrin Bothe, Leif Goldhahn, Alexander Winkler Hochschule Mittweida	

Smart Quality

Datendurchgängigkeit, ein Ansatz Konstruktion, Fertigung und Messtechnik digital zu verknüpfen	78
Julius Wack, Sophie Gröger TU Chemnitz	
Quantifizierung und Automatisierung von Strahlprozessen	82
Peggy de Witt, Matthias Rehm, Holger Schlegel, Matthias Putz	
Impelementation of diagnostics of production line	86
Miroslav Císar, Ivan Kuric, Ivan Zajačko University of Zilina	

MULTISENSORIELLE PROZESS- UND SYSTEMÜBERWACHUNG

Anwendungen der Prozess- und Systemüberwachung

Analyse und Optimierung von Mensch-Maschine-Interaktionen mittels virtueller Technologien	91
Christoph Allmacher, Manuel Dudczig, Tim Maier, Philipp Klimant TU Chemnitz	
Anforderungen an zerstörungsfreie Qualitäts- und Prüfprozesse	95
Antje Zösch imq - Ingenieurbetrieb GmbH	

Faktor Mensch und Assistenzsysteme

Mobiles Assistenzsystem für Instandhalter	99
Michael Wächter, Thomas Löffler Technische Universität Chemnitz	
Methodenwerkzeug für die Gestaltung von Mensch-Maschine-Schnittstellen	103
Michael Kuhl ¹ , Sabine Krause ² , Marlene Kluge ² ¹ Hochschule Mittweida ² Fraunhofer-Institut für Werkzeugmaschinen und Umformtechnik IWU	
Arbeitsbegleitende Erhebung und Auswertung von Vitaldaten als Element der Gesundheitsförderung im Arbeitsprozess	107
Torsten Merkel, Marcel Zinke Westfälische Hochschule Zwickau	

Datenakquise und -analyse / Embedded Systems + Integrierte Sensorik

Prozessdatenüberwachung in Kettenfördersystemen	111
Jens Sumpf, Ralf Bartsch, Jens Strobel, Marcus Bona TU Chemnitz	
Monitoringsysteme für Maschinenelemente der Antriebstechnik	115
Jörg Hübler Hochschule Mittweida	
Digitalisierung - Treiber für automatisierte Inspektionssysteme	119
Michael Hoffmann, Thomas Wiener, Alexander Pierer, Martin Naumann Fraunhofer Institut für Werkzeugmaschinen und Umformtechnik	
Herstellung elektrisch leitfähiger Strukturen auf technischen Textilien mittels Freiformtechnologie	124
Hagen Bankwitz, Jörg Hübler Hochschule Mittweida	
Realisierung eines Prüfstandsystems zum reproduzierbaren Testen moderner automatisierter Fahrzeuge	128
Thomas Pfaff, Axel Pätzold, Ullrich Scheunert FusionSystems GmbH	
Entwicklung einer Technologie-Plattform zum Nachrüsten von Industrie 4.0 Funktionen für den Mittelstand	132
Martin Neumann, Patrick Bräuer, André Lange EDC Electronic Design Chemnitz GmbH	

INTEGRIERTE PRODUKTENTWICKLUNG UND ADDITIVE FERTIGUNG

Integrierte Produktentwicklung

Automatisierung und Digitalisierung von Prozessen führt zu Produktivitätssteigerungen	136
Björn Schuster, Tobias Korb, Tobias Nentwich N+P Informationssysteme GmbH	
Erfolgreiche Etablierung des PLM-Gedankens in Unternehmen	139
René Ufer Hochschule Mittweida	
Integrierte Werkstoffmodelle für CAE Anwendungen	142
Uwe Diekmann ¹ , Birgit Awiszus ² , René Ufer ³ , Jeannette Boll ² , Lucas Dann ⁴ ¹ Matplus GmbH, ² TU Chemnitz, ³ Hochschule Mittweida, ⁴ thinkstep AG	

Additive Fertigung metallischer Werkstoffe

- Selective laser melting of AlSi10Mg: Experimental and statistical analysis** 145
Gennaro Salvatore Ponticelli¹, Matthias Horn², Robby Ebert², Horst Exner²
¹University Niccolò Cusano, Roma; ²Hochschule Mittweida
- Draht- und pulverbasierte additive Fertigung zur Herstellung von eigenschaftsoptimierten Halbzeugen** 150
Marcel Graf¹, Sebastian Härtel¹, André Hälsig², Kevin Höfer², Birgit Awiszus¹, Peter Mayr²
¹TU Chemnitz, Professur Virtuelle Fertigungstechnik; ²TU Chemnitz, Professur Schweißtechnik
- Entwicklung und Herstellung von Mikro-Wärmeübertragern mittels Lasermikrosintern** 155
Stefan Gronau, Martin Erler, Matthias Horn, Robby Ebert, Horst Exner
Lasereinstitut Hochschule Mittweida
- Virtualisierung additiver Fertigungsprozesse für das Rapid Tooling** 159
Martin Rambke, Tobias Mussehl
Ostfalia Hochschule für angewandte Wissenschaften

Additive Fertigung nichtmetallischer Werkstoffe

- Hochgeschwindigkeits 3D-Druck zur Herstellung von Prothesenelementen** 163
Jörg Matthes, Claudius Petzold, René Göbler
Hochschule Mittweida
- Entwicklung einer Biegehilfe für Orbita-Implantate auf Basis eines anatomisch-statistischen Modells** 167
Hans-Martin Dörfler¹, Peter Schulze¹, Thomas Hierl²
¹HTWK Leipzig
²Helios Vogtland-Klinikum Plauen
- PARAKNOT3D – Ein hybrides Konzept für Leichtbaustrukturen in der Architektur** 171
Martin Dembski, Cristoph Dijoux, Alexander Stahr
HTWK Leipzig
- Analyse und Kritik des großformatigen 3D-Druckens im Baubereich und Perspektiven zukünftiger Lösungen** 175
Thomas Wiedemann
HTW Dresden

MOBILITÄT: ELEKTRISCH-VERNETZT-AUTONOM

- Multisensorsysteme im automatisierten und autonomen Fahrzeug** 179
Jan Thomanek
IAV GmbH Chemnitz/Stollberg
- Steigerung der Energieeffizienz durch Intelligente Verkehrssysteme** 183
Christian Andrä
Sächsische Energieagentur - SAENA GmbH
- Ladetechniken und Integration von Elektroautos in das Stromnetz** 185
Jérémie Foulquier
Hochschule Mittweida
- ÖPNV und autonomes Fahren - Stand und Perspektiven, auch aus regionaler Sicht** 188
Ulrich Reichel
REGIOBUS Mittelsachsen GmbH
- ATLAS-Demonstrationsanlage für autonomes Fahren auf der Schiene** 192
Christian Schulz
Hochschule Mittweida

VERTRAUEN UND TRANSPARENZ IN DER DIGITALEN KOMMUNIKATION

Subjektive Glaubwürdigkeitskonzepte von Politikjournalisten in Deutschland	197
Lisa Kleine, Falk Tennert SRH Fernhochschule Riedlingen	
Entwicklung eines Crossmedialen Wissensmanagementsmodells für die Bürgerbeteiligung auf kommunaler Ebene	210
Christoph M. Brinkmann Hochschule Mittweida	
(In-)Transparenz der Argumentation von Kleinparteien im Wahlkampf auf Facebook	214
Janine Hentschke Universität Hohenheim	
Softwaregestützte Akzeptanzgenerierung für Infrastrukturprojekte	218
Stefanie Walter TU Bergakademie Freiberg, Hochschule Mittweida	

BLOCKCHAIN - DAS INTERNET DER WERTE

Blockchain in dezentralisierten Energiemärkten	223
Tobias Teich, Daniel Kretz, Tim Neumann, Andy Hermann Westfälische Hochschule Zwickau	

VIRTUELLE WELTEN

Workshop: Virtuelle Welten	228
Marc Ritter, Alexander Marbach, Daniel Stockmann, Manuel Heinzig, Rico Thomanek, Christian Roschke Hochschule Mittweida	

MODERNE METHODEN DER LÄRMMINDERUNG AN FAHRZEUGEN, VERKEHRSWEGEN UND INDUSTRIEANLAGEN

Minderung der akustischen Wirksamkeit von Schalldämpfer-Systemen durch Körperschallausbreitung	230
Christian Schulze ¹ , Paul Lindner ¹ , Jörn Hübelt ¹ , Mirko Ruhnau ¹ , Dominik Hennig ¹ , Jan Troge ² , Tom Georgi ² , Dag Levermann ³ ¹ Gesellschaft für Akustikforschung Dresden mbH, ² Fraunhofer IWU, ³ Luhe-Stahl GmbH	

DIGITALISIERUNG UND STUDIUM GENERALE

Digitale Kompetenz als 4. Kulturtechnik oder als Querschnittskompetenz? Implikationen für die Gestaltung von Lehr-/Lernkonzepten im Studium Generale	236
Ramona Kusche Hochschule Mittweida	

POSTERBEITRÄGE

Ein Objekt-Tracking-Verfahren zur Verfolgung von Personenbewegungen in Überwachungsbereichen	242
Benny Platte, Rico Thomanek, Christian Roschke, Tony Rolletschke, Frank Zimmer Hochschule Mittweida	

Computergestützte Lehr- und Lernumgebung für die Planung von Prozessen der Serienfertigung	247
Henning Zeidler, Thomas Geipel, Stefan Nitzsche, Anton Zelenskyi Technische Universität Bergakademie Freiberg	
Schliessenanlagenberechnung: Anwendung von Methoden aus der operations research im Schlosserhandwerk	251
Albert Seidl ¹⁾ , Günter Dolezel ²⁾ ¹⁾ Hochschule Magdeburg-Stendal, ²⁾ Handwerkskammer für München und Oberbayern	
Twittersphäre in Sachsen – Akteure , Themen und Regionen	255
Kristina B. Helle ¹⁾ , Franziska Günther ²⁾ , Richard Vogel ¹⁾ , Kristan Schneider ¹⁾ , Marc Ritter ¹⁾ ¹⁾ Hochschule Mittweida, ²⁾ Technische Universität Dresden	
Technologieerschließung des Innenhochdruckumformens für KMU	259
Thomas Burkhardt ¹⁾ , Stefan Liebl ¹⁾ , Kristin Massalsky ¹⁾ , Ralph Riedel ²⁾ , Nadine Göhlert ²⁾ , Philipp Wilsky ²⁾ , Riccardo Prielipp ²⁾ ¹⁾ ICM – Institut Chemnitzer Maschinen- und Anlagenbau e.V. ²⁾ Technische Universität Chemnitz	

MCF-FORUM

Innovative Pfade der Nachhaltigkeitsberichterstattung: Mehr Transparenz und Glaubwürdigkeit durch Digitalisierung?	264
Claudia Hösel, Christina Hesse Hochschule Mittweida	
The Social Bit - wie Content Marketing Vertrauen etabliert	268
Clemens Sebastian Arnold Chemmedia AG	

***Industrie 4.0 –
Fertigung, Automation,
Qualitätssicherung***

DIGITAL ENGINEERING – DER DIGITALE ZWILLING ENTLANG DES ANLAGENLEBENSZYKLUS

Sebastian Möser, Marlene Eisenträger, Sergii Skryuttskyi, Simon Adler
Fraunhofer Institut für Fabrikbetrieb und -automatisierung IFF,
Sandtorstraße 22, 39106 Magdeburg

Im Zeitalter von Industrie 4.0, selbstlernenden Systemen und datengetriebenen Services bildet die durchgängige Nutzung von miteinander vernetzten Modellen im Produktentstehungsprozess eine zentrale Grundlage für die zukünftige Wettbewerbsfähigkeit der deutschen Industrie. Die zunehmende digitale Transformation von Maschinen und Produkten und der damit einhergehenden Einführungen von smarten Diensten stellt jedoch gerade traditionelle Maschinenbauer vor große Herausforderungen. Für das Zusammenspiel der einzelnen Domänen im Entwicklungsprozess sowie für die durchgehende und konsequente Datennutzung in der späteren Betriebsphase gibt es bisher nur unzureichende Lösungen. Mittels der am Fraunhofer IFF entwickelten kollaborativen Entwicklungsumgebung VINCENT und EMELI wird eine neue Lösung der systemübergreifenden und interdisziplinären Datennutzung aufgezeigt. Konsistenz, Datendurchgängigkeit und die Verknüpfung und Ausnutzung vorhandener etablierter Umgebungen (u.a. PDM, PLM und CAX) stehen maßgeblich im Vordergrund.

1. Einleitung

Die industrielle Automatisierung und der Betrieb von Produktionsanlagen sehen sich aufgrund der zunehmenden Digitalisierung derzeit großen Veränderungen gegenüber [1]. Maschinen sollten eine flexible Produktion ermöglichen, sobald sie als Cyber Physical Systems (CPS) ausgerüstet sind [2]. Diese CPS verbindenden Maschinen, einige Module oder sogar jedes funktionsrelevante Teil mit einem digitalen Gegenstück. Es gibt mehrere Initiativen, um einige Teile der so genannten »Industrie 4.0« anzusteuern, die versuchen, Lösungen zu finden, wie reale und digitale Darstellungen miteinander verbunden werden können, während Nachteile für die Zuverlässigkeit des Produktionssystems vermieden werden [3]. Der Digitale Zwilling ist ein Hauptaspekt von Industrie 4.0 und wird in Abschnitt 2 definiert. Der digitale Zwilling liefert digitale Daten, die vom Hersteller genutzt werden können, aber auch in Betriebsphase relevant sein können. Gegenwärtige Maschinen verwenden speicherprogrammierbare Steuerungen (SPS), die digitale Statusdaten erzeugen. Heutzutage bekommen die digitalen Daten mehr Aufmerksamkeit und die Unternehmen beginnen zu verstehen, dass die digitalen Daten selbst zu Produkten werden, die Mehrwert bringen, zum Beispiel für Optimierungen oder als Befähiger für neue Geschäftsmodelle [4].

Um zusätzliche Anstrengungen und Kosten zu vermeiden und die Vorteile des digitalen Zwillings so früh wie möglich zu nutzen, sollte der digitale Zwilling als integraler Bestandteil des Engineering-Prozesses verstanden werden. Derzeit fehlen Werkzeuge, um den digitalen Zwilling parallel zum Engineering-Prozess zu erstellen und damit auch Möglichkeiten zur Verbesserung des Engineering-Prozesses. [5]

Als Lösung präsentieren wir das Virtual Engineering System VINCENT zur Unterstützung von Ingenieuren und Programmierern. Es erstellt und nutzt den digitalen Zwilling für Produktionssysteme. Der Digitale Zwilling ermöglicht eine frühe Zusammenarbeit

zwischen den unterschiedlichen Entwicklungsdomänen und bringt eine Maschine virtuell in Betrieb vor der Montage. Die Verwendung des digitalen Zwillings im Engineering bedeutet nicht nur die Verwendung von Software, sondern auch die Implementierung einer neuen Engineering-Methodik.

Die Implementierung neuer Methoden und Entwicklungsumgebungen ist gerade für kleine und mittlere Unternehmen (KMU) von entscheidender Bedeutung. Die konsequente Nutzung von Daten aus der Entwicklungsphase bis hin zur Betriebsphase und dem Rückspielen von Informationen sind maßgebliche Enabler für Industrie 4.0. Nur hierdurch lassen sich, nach Meinung der Autoren, neue Geschäftsmodelle für den Maschinenbau sinnvoll etablieren

2. Digitaler Zwilling

Der Begriff "digitaler Zwilling" wird vor allem in den letzten acht Jahren konsequent verwendet. Rosen et. al [6] zeigen, dass der technische Zwilling auf das Apollo-Programm der NASA zurückgeht, wo zwei Raumfahrzeuge gebaut wurden, um die Bedingungen von einem zum anderen zu spiegeln. Negri et. al [7] gaben 2010 einen Überblick über die Definitionen für den digitalen Zwilling. Der Begriff änderte sich im Laufe der Zeit und dem jeweiligen Problembereich. Nachfolgend finden Sie eine zusätzliche Definition für den digitalen Zwilling aus Sicht des Fraunhofer IFF.

Digitale Daten können in einer quasistatischen Wissensbasis und dynamischen Statusdaten unterschieden werden. Die Wissensbasis ist wie ein Lebenszyklus-Datensatz (Lebenslaufakte), der Prozessdaten aus dem Engineering wie Dokumente oder Simulationen enthält. Produktionssysteme haben Sensoren, Aktoren und Daten von der SPS. Ihre dynamischen Statusdaten ändern sich häufig im Laufe der Zeit. Ein Produkt kann auch einen eigenen digitalen Zwilling haben. Für passive Produkte, wie geschweißte Teile, verfügt der Digitale Zwilling nicht über direkt vom Produkt bereitgestellte Statusdaten, sondern über eine große erweiterbare Wissensba-

sis, die alle Daten aus Produktion, Simulation und Nutzung des Produkts enthalten können.

Basierend auf dieser Unterscheidung lautet die Definition für den digitalen Zwilling wie folgt: Ein digitaler Zwilling ist ein digitales Modell eines realen Objekts, das Lebenszyklusdatensätze und dynamische Statusdaten enthält, die in Echtzeit synchronisiert werden. Das Modell wird verwendet, um Wissen zu gewinnen, das auf das reale Objekt übertragen werden kann.

Das Hauptziel des digitalen Zwillings ist die Gewinnung von Wissen aus den gesammelten Daten über den gesamten Lebenszyklus. Somit müssen die Eigenschaften des digitalen Zwillings Anforderungen erfüllen, die sich aus den benötigten Informationen und geplanten Analysen ergeben. Um einen digitalen Zwilling aufzubauen, der dem realen Modell im Detail entspricht, ist die Integration des Modells als zentraler Kommunikationsbestandteil notwendig.

3. Virtual Engineering

Im klassischen Ingenieurwesen arbeiten die erforderlichen Fachdisziplinen Maschinenbauingenieur, Elektroingenieur und Programmierer sequenziell nacheinander und werden vom Management koordiniert. Heutzutage haben Unternehmen hohe Anforderungen an flexible Produktionssysteme, da der Lebenszyklus von Produkten sich zunehmend verkürzt. Flexibilität ist die Fähigkeit eines Systems, sich selbständig an externe oder interne Änderungen anzupassen, um vorgegebene Produktionsziele zu erreichen. Die zunehmende Flexibilität führt zu zusätzlichen Anforderungen. Mittels den Methoden des „Virtual Engineerings“ kann die Kommunikation und die Zusammenarbeit zwischen den einzelnen Fachdisziplinen, zur Erzeugung eines digitalen Zwillings, parallelisiert und unterstützt werden.

Wichtiger Bestandteil des Virtual Engineering ist das Requirement Engineering, das aus Anforderungsspezifikation und Anforderungsänderungsmanagement besteht. Model-based Systems Engineering (MBSE) versucht, diese Aspekte zu erfassen. Beschreibende Modellierungssprachen wie SysML [8] können verwendet werden, um die funktionalen Eigenschaften und Anforderungen zu spezifizieren.

Im Mittelpunkt des hier vorgestellten Virtual-Engineering-Ansatzes steht die eindeutige Identifikation aller relevanten Teile. Daher sollte schon während der Entwicklung jedes Teil innerhalb einer Maschine eindeutig definiert werden. Im klassischen Engineering ist die Geräte-Identifikationsnummern (EID)/ Betriebsmittelkennzeichnung (BMK) für Teile bei der Elektroplanung oder SPS-Programmierung definiert. Die Syntax der EID ist für die Methode unwichtig, kann aber unterstützt werden, wenn sie einer funktionalen oder strukturellen Semantik folgt [9]. Es gibt verschiedene unternehmensspezifische Strategien, welcher Teil einer Maschine eine EID erhält. Zum Beispiel wie jedes Teil, funktionsrelevante Teile, Teile die eine Energieversorgung haben, oder Teile die eine Service-Relevanz haben können.

Nachfolgend wird die durch das Fraunhofer IFF vorgeschlagene Variante für die Erstellung eines „digitalen Zwillings“ dargestellt. Das CAD-Designkonzept ist meist eine statische virtuelle Darstellung des Produktionssystems. In VINCENT kann der Konstrukteur semantische Gruppenteile und -baugruppen definieren, Randbedingungen setzen und Achsen definieren. Gleichzeitig kann er den spezifischen Ablauf (Kinematik) des Produktionssystems erstellen. Somit dient das virtuelle Modelle in VINCENT als Kommunikation zwischen den einzelnen Disziplinen. Der definierte Ablauf, inkl. möglicher Prozesse sowie Haupt- und Untersequenzen wird anschließend vom Steuerungstechniker detailliert beschrieben und mit fachspezifische Informationen ergänzt.

Die Prozesse und Sequenzen beschreiben Abhängigkeiten im Kontrollfluss und bilden die Grundlage für die Generierung eines SPS-Programmcodes. Dieser Code enthält Abhängigkeiten, Timings und setzt Übergangsänderungen, enthält jedoch nicht die programmierbaren Aspekte der realen Hardware. Mit dem virtuellen animierten Produktionssystem ist es für den SPS-Programmierer viel einfacher, detaillierte Konstruktionsentscheidungen zu verstehen, die während der Entwicklung getroffen wurden. Wenn die reale Hardware bekannt ist, kann er die gegebenen Einschränkungen präzisieren und den teilweise generierten SPS-Code verwenden. Was mit detaillierten Timings, Hardware-Kontrolle und Sicherheitsaspekten verfeinert wird. Dieser Code kann mit einer Soft-SPS emuliert werden, ist aber normalerweise auf einer realen Hardware-SPS implementiert. Diese SPS steuert nicht nur die reale Maschine und Hardware, sondern auch die digitale Modelldarstellung. Der SPS-Code kann mit der realen Maschine und ihrem digitalen Zwilling getestet werden.

Dieses Vorgehen ermöglicht völlig neuen Möglichkeiten bei der Inbetriebnahme von Produktionsanlagen. Einzelne Baugruppen/ Module können real sowie virtuell in einer „Anlage“ getestet werden.

Dieser Workflow ist vereinfacht und ermöglicht zusätzliche Funktionalitäten, um eher komplexe Produktionssysteme zu beschreiben.

Der Engineering Model Linkier (EMELI) ist ein wichtiger Datenkern (Abbildung 1) für das virtuelle Engineering.

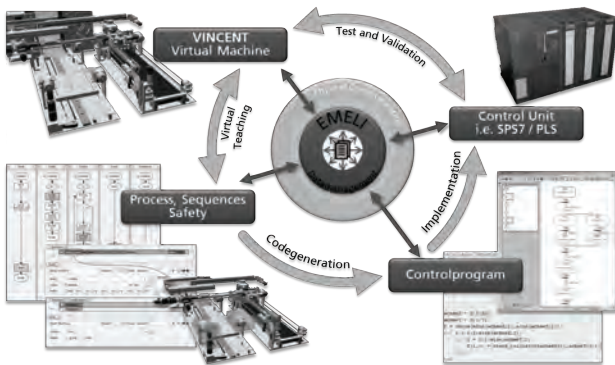


Abbildung 1: Zusammenspiel VINCENT – EMELI

Jede Disziplin hat ihr spezifisches Wissen und setzt entsprechende Expertenwerkzeuge ein. Jedes Expertensystem hat ein Modell von domänenspezifischen Details als Repräsentation des komplexen Produktionssystems. Diese Modelle sind keine digitalen Zwillinge, da sie nur Teilaspekte des Systems enthalten. Darüber hinaus sind sie hauptsächlich unabhängig voneinander und repräsentieren den jeweiligen aktuellen Entwicklungszustand des Systems. Sie werden verwendet, um domänenspezifische Aspekte wie die mechanische Struktur, Softwareaspekte, Elektronik, Pneumatik oder spezifische Robotiklösungen zu entwickeln. Zusätzlich kann jedes System seine eigene Identifikationsmethode besitzen.

Um einen vollwertigen digitalen Zwilling eines Produktionssystems zu bauen, das sogar in der Lage ist die Entwicklungsschritte zu verwalten, bietet EMELI drei Hauptaspekte.

1) Verbindung von Identifikatoren

EMELI enthält eine Datenbank, die die Identifikatoren der verschiedenen Expertensysteme verbindet. Jedes System kann seine eigenen Details in der Modelldarstellung haben. Die Konstruktionsstückliste (eBOM) enthält Artikelinformationen für Komponenten. Die Service-Stückliste (sBOM) basiert auf dem eBOM, enthält aber typischerweise für jedes Teil einzeln eine Kennung/ Identifikator. Üblicherweise enthält keines der jeweiligen Engineeringssysteme eine der Stücklisten vollständig (z. B. der Inhalt des Elektroplans ist nicht in seiner Vollständigkeit in der mechanischen Struktur dargestellt). EMELI bietet ein Frontend zur Definition aller Beziehungen mit geringem Aufwand beim Engineering, wenn eine automatische Verknüpfung nicht möglich ist.

2) Verbindung von Anwendungen

EMELI stellt eine Anwendungsprogrammierschnittstelle (API) bereit, die es externen Anwendungen ermöglicht, Daten zu senden und abzurufen und

Informationen auszutauschen. Durch die Verbindung von VINCENT / EMELI sowie externer Applikationen (z. Bsp. PDM/PLM) kann zu jedem Bauteil zusätzliches Wissen aus den jeweiligen Expertentools abgerufen bzw. zusätzliche bereitgestellt werden. Dieses ermöglicht einen ganz neuen Umgang und Darstellung der komplexen Wirk- und Steuerungszusammenhängen einer Produktionsanlage.

3) Definition von Eigenschaften

EMELI ermöglicht den Austausch und die Speicherung einfacher Schlüsseleigenschaften (Meta-Daten) für jede Information einer domänenspezifischen Einheit (z. B. Artikel-ID des Sensors in CAD). Gleichzeitig kann die Weiterverarbeitung einer jeder Information auf Grundlage eines definierten Regelwerkes unterstützt und auf Vollständigkeit kontrolliert werden. Kanten (verknüpfte Paare von Elementen, Bsp. Sensor – SPS Adresse) können mit Anmerkungen versehen werden.

Abhängig von den Domänen, die in EMELI vertreten sind, ist es möglich, Informationen von einer Domäne zu seinen Domänennachbarn zu übertragen, wie zwischen den mechanischen, elektrischen und funktionalen Nachbarteilen. Ziel dieser Methode ist die konsequente Nutzung einmal bekannter Daten und Zusammenhängen. Je nach eingesetzten Werkzeugen lassen sich automatisierte Prozesse anstoßen, zum Beispiel die teilweise Erstellung von Elektroplänen.

4. Datennutzung

Der digitale Zwilling ist keine Simulation, sondern eine synchronisierte Datenzuordnung von Lebenszyklus- und Statusdaten des realen Produktionssystems. Die Statusdaten können während des Betriebs durch Softsensoren (berechnete Werte basierend auf aktuellen Daten von realen Sensoren) ergänzt werden. Abbildung 2 zeigt den grundlegenden Datenfluss. Die Statusdaten des Produktionssystems werden über einen Datenhub verteilt. Der Hub speichert alle Daten für eine spätere Analyse.

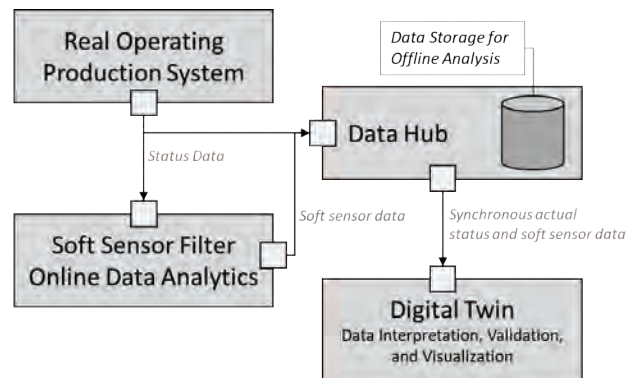


Abbildung 2: Datennutzung und Synchronisation

Die Statusdaten werden auch von dem Soft-Sensor-Filter weitergeleitet, der eine Online-Analyse durchführt, die z. B. Datenfaltung, Schwellenwertbildung oder maschinenbasiertes Lernen verwendet. Diese

Soft-Sensordaten werden als zusätzliche Daten an den Hub weitergegeben und können auch innerhalb des digitalen Zwilling verwendet werden. EMELI enthält die Beziehung zwischen der EID und dem Sensor, der die Daten für die Berechnungen bereitstellt.

Mit EMELI und dem vorgestellten Daten-Hub kann der digitale Zwilling Wartungs- und Betriebspersonal mit Assistenzfunktionen unterstützen. Dies ist nicht nur ein Vorteil, sondern auch eine Voraussetzung, um den digitalen Zwilling am Leben zu erhalten. Aufgrund von Wartungen, Optimierungen und Nachrüstungen ändert sich das Produktionssystem im laufenden Betrieb und der digitale Zwilling wird obsolet. Das Assistenzsystem VASSIST bietet Funktionalitäten zur Unterstützung des Betriebspersonals und zur Durchführung struktureller Veränderungen (Anpassung sBOM). Aufgrund der Unterstützung von Statusdaten und der Möglichkeiten, Know-how mit EMELI und damit der Struktur des Produktionssystems in Beziehung zu setzen, interessiert sich das Betriebspersonal für die Aktualität der digitalen Daten. Jeder Komponente kann individuell unterschiedliche Informationen zugewiesen werden. Man unterscheidet hier zwischen Stammdaten bzw. individuellen Daten durch den jeweiligen Verbauplatz.

5. Produktdatenmanagementsysteme

Produktdatenmanagementsysteme sind bei der vorgestellten Methode der wesentliche Backbone. Die Daten werden aus den einzelnen Expertensystemen strukturiert abgelegt und zusätzlich über EMELI mit Vincent verbunden. Durch die Bereitstellung dieser Daten auch in der Betriebsphase bzw. Anreicherung dieser Daten mit Informationen aus dem Betrieb, erhalten die übergeordneten Systeme einen neuen Stellenwert.

6. Zusammenfassung

Das vorgestellte Software-Framework wurde getestet und dazu verwendet, Maschinen für die diskrete Produktion (24/7) zu entwickeln. Durch die konsequente Ausnutzung vorhandener Daten konnte die Entwicklungszeit maßgeblich reduziert werden. Den wirklichen Wert konnte die Methode aber bisher in der Betriebsphase erzielen. Die erzeugten Daten durch die Steuerung / durch den Bediener der Anlage bieten viel Potential für Verbesserungen und neue Geschäftsmodelle. Der digitale Zwilling kann für den deutschen Maschinenbau ein wesentlicher Unterschied zu anderen Mitbewerbern auf dem Weltmarkt darstellen.

Danksagung

Diese Arbeit wurde durch das Fraunhofer Leitprojekt ML4P - »Maschinelles Lernen für die Produktion« unterstützt. Darüber hinaus wurde dieser Beitrag im der FuE-Richtlinien (FuE-Projekt AsMo, Zuwendungsbescheid-Nr. 1704/00048) vom Ministerium für Wirtschaft, Wissenschaft und Digitalisierung des

Landes und dem Europäischen Fond für regionale Entwicklung (EFRE) gefördert und von der Investitionsbank Sachsen-Anhalt betreut. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autoren.



Literaturverzeichnis

- [1] A. J. Isaksson, I. Harjunkoski and G. Sand, „The impact of digitalization on the future of control and operations,“ *Computers & Chemical Engineering*, pp. 1-8, 2017.
- [2] J. Lee, B. Bagheri and H.-A. Kao, „A Cyber-Physical Systems architecture for Industry 4.0-based manufacturing systems,“ *Manufacturing Letters*, No. 3, pp. 18-23, 1 2015.
- [3] T. H.-J. Uhlemann, C. Schock, C. Lehmann and S. Freiburger, „The Digital Twin: Demonstrating the Potential of Real Time Data Acquisition in Production Systems,“ *Procedia Manufacturing*, pp. 113-120, 2017.
- [4] S. Mamonov and T. M. Triantoro, „The strategic value of data resources in emergent industries,“ *International Journal of Information Management*, pp. 146-155, 2018.
- [5] B. Schleich, N. Anwer, L. Mathieu and S. Wartzack, „Shaping the digital twin for design and production engineering,“ *CIRP Annals*, No. 1, p. 141–144, 2017.
- [6] R. Rosen, G. Wichert, G. Lo and K. D. Bettenhausen, „About The Importance of Autonomy and Digital Twins for the Future of Manufacturing,“ *IFAC-PapersOnLine*, Bd. 48, pp. 567-572, 2015.
- [7] E. Negri, L. Fumagalli and M. Macchi, „A Review of the Roles of Digital Twin in CPS-based Production Systems,“ *Procedia Manufacturing*, Bd. 11, pp. 939-948, 2017
- [8] S. Friedenthal, A. Moore and R. Steiner, *A Practical Guide to SysML, Second Edition: The Systems Modeling Language (The MK/OMG Press)*, Morgan Kaufmann, 2011.
- [9] DIN, „DIN EN 81346-2 - Industrielle Systeme, Anlagen und Ausrüstungen und Industrieprodukte - Strukturierungsprinzipien und Referenzkennzeichnung,“ 2010.

ANFORDERUNGEN UND LÖSUNGSANSÄTZE ZUR ENTWICKLUNG VON VIRTUELLEN BEDIENKONZEPTEN AM BEISPIEL TRAININGSFABRIK 4.0

Leif Goldhahn, Dorit Bock, Katharina Müller-Eppendorfer
 Hochschule Mittweida, Fakultät Ingenieurwissenschaften, Institut InnArbeit - Zentrum für innovative
 Arbeitsplanung und Arbeitswissenschaft, Technikumplatz 17, 09648 Mittweida

Ein Bedienkonzept definiert Interaktionen zwischen Maschinenbediener und Anlagenkomponenten und stellt dem Benutzer eine Bedienoberfläche mit relevanten Informationen (z. B. Bauteil, Maschinendaten) zur Verfügung. Durch virtuelle Bedienkonzepte können bspw. Bedienabläufe, die ergonomische Bedienung, die Nachvollziehbarkeit der Fehleranzeige und -bezeichnung visualisiert und geprüft sowie die Trainingsszenarien zum Anlernen und zur Erhöhung der Bediensicherheit unterstützt werden. Auch lässt sich bereits vor der Auslieferung der Maschine anhand dieser Trainingsszenarien die Maschinenbedienung in Landessprache erlernen. Virtuelle Bedienkonzepte sind essentiell, da Änderungen im realen Bedienkonzept kaum praktikabel sind [1].

Zur Umsetzung von virtuellen Bedienkonzepten wird eine Maschinenumgebung als Referenz benötigt. Hierfür steht die Trainingsfabrik 4.0 zur Verfügung. Es erfolgen zunächst die Modellaufbereitung und die Erstellung ausgewählter Animationen für die Trainingsfabrik 4.0.

1. Einleitung

Die Unternehmen des Maschinen- und Anlagenbaus arbeiten intensiv an der Integration zukünftiger Technologien, Prozesse und Innovationen sowie kundenspezifischer Lösungen. Es wird neben einer Erhöhung der Bediensicherheit und der Vermeidung von Fehlern auch die Speicherung von vorhandenem Wissen der Maschinenbediener gefordert. Die Anlagen werden größtenteils als Sondermaschinen oder als kundenbezogen angepasste Maschinen ausgeliefert.

Desto wichtiger wird es, die Bedienstellen, -situationen und -abläufe an diesen Anlagen bereits in der Projektierungs- und Realisierungsphase zu planen und bewusst zu gestalten. Auch zeitintensive Prozesse, wie die Bedienschulungen sollen möglichst parallel zum Aufbau bzw. zeitnah vor Inbetriebnahme der Anlage erfolgen.

Ein modernes Hilfsmittel für eine sinnvolle Bewältigung derartiger Probleme ist die Virtual-Reality-Technologie. Mit dieser Technologie soll der Bediener in die Lage versetzt werden, bereits vor der

Inbetriebnahme der Anlage mit dem virtuellen Modell der Anlage realitätsnah zu interagieren. Die Erstellung von Konzepten und Demonstrationen zur Bedienung von virtuellen Anlagen soll im Projekt Saxony⁵ erfolgen und durch mehrsprachige Bedienoberflächen (Bedienung in Landessprache) sowie multimediale Anleitungen unterstützt werden.

Im vorliegenden Beitrag werden die Schritte Anforderungsanalyse, Modellaufbereitung und erste Animationen beschrieben.

2. Anforderungsanalyse für ein virtuelles Bedienkonzept

Für die Entwicklung des virtuellen Bedienkonzeptes am Beispiel der Trainingsfabrik 4.0 erfolgt in einem ersten Schritt die Anforderungsanalyse (Bild 1), in der u. a. das Vorgehen nach VDI/VDE 3699 Blatt 2 Berücksichtigung findet. Auf Basis dieser Richtlinie sind die im Bild dargestellten Fragen zu klären. Für ein bestmögliches Ergebnis, werden die Fragen teilweise parallel oder iterativ durchlaufen.[2,3]

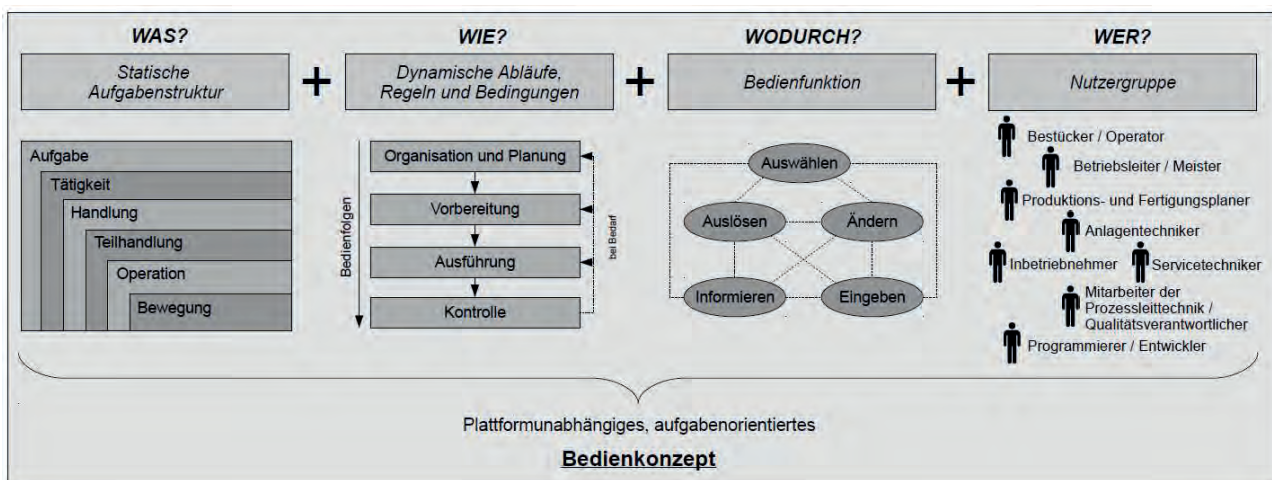


Bild 1: Vorgehen bei der Gestaltung von Bedienkonzepten [3]

Es existieren zahlreiche weitere Normen, welche Anforderungen an Bedienkonzepte bspw. im Hinblick auf deren Ergonomie stellen. Die Norm DIN EN 614-1 fordert die Unterstützung des Benutzers auf eine Weise, die die psychischen Fähigkeiten weder unter- noch überfordert. Die Funktionen der Anlage müssen für den Benutzer leicht verständlich sein. Er muss die Kontrolle über die Anlage haben, die Anlage soll sich erwartungskonform verhalten, fehlertolerant sein, dem Benutzer einen angemessenen Grad an Entscheidungsfreiheit lassen, die Entwicklung vorhandener und den Erwerb neuer Fertigkeiten zulassen und flexibel genug sein, um sich dem Benutzer anpassen zu können. [4]

Bei optischen und akustischen Signalen ist außerdem darauf zu achten, dass diese mit einer verringerten Intensität einzusetzen sind, um ein Erschrecken bei der Wahrnehmung zu vermeiden. [5]

Zudem sollten jegliche Meldungen, Buttons u. ä. am Anzeigegerät den ergonomischen Leitsätzen der Norm DIN EN 894-2 entsprechen, explizit Abschnitt 4.2 „Arbeitswissenschaftliche Anforderungen an Bediengeräte“ [6, S. 68]. So sollen im Beispiel am virtuellen Bedienpanel eindeutige visuelle Signale wie bspw. Messgrößen oder Fehlermeldungen angezeigt, Navigationen ausgeführt sowie Betriebszustände dargestellt werden.

Die VDI/VDE 3699 Blatt 2 nennt des Weiteren folgende zehn Anforderungen, denen eine Mensch-

Maschine-Schnittstelle gerecht werden muss:

- keine Bevormundung des Menschen durch die Technik,
- der Mensch ist der Maßstab,
- den Benutzer / die Benutzerin einbeziehen,
- das Notwendige zum richtigen Zeitpunkt bereitstellen,
- alle Ereignisse darstellen, die ein Eingreifen erfordern,
- nur wahre Informationen anzeigen,
- Informationen situationsangepasst anzeigen,
- Eindeutigkeit sicherstellen,
- für Einheitlichkeit sorgen,
- Bedienoptionen und -konsequenzen auf Bildschirm darstellen („Blindflüge“ ausschließen).

Anhand der recherchierten Anforderungen, woraus sich bspw. eine ergonomische Bedienung sowie eine nachvollziehbare Fehleranzeige und -behebung ableiten lassen, wird ein optimales Bedienkonzept entwickelt (Bild 2). Die zu entwickelnden Trainingsszenarien mit den virtuellen Modellen sollen durchführbar und selbsterklärend sein. Neben diesen Anforderungen an ein (virtuelles) Bedienkonzept ist es wichtig, auch die reale Darstellung der Bedienoberfläche zu berücksichtigen, um dem Bediener die Wiedererkennung in der realen Umgebung so einfach wie möglich zu machen.

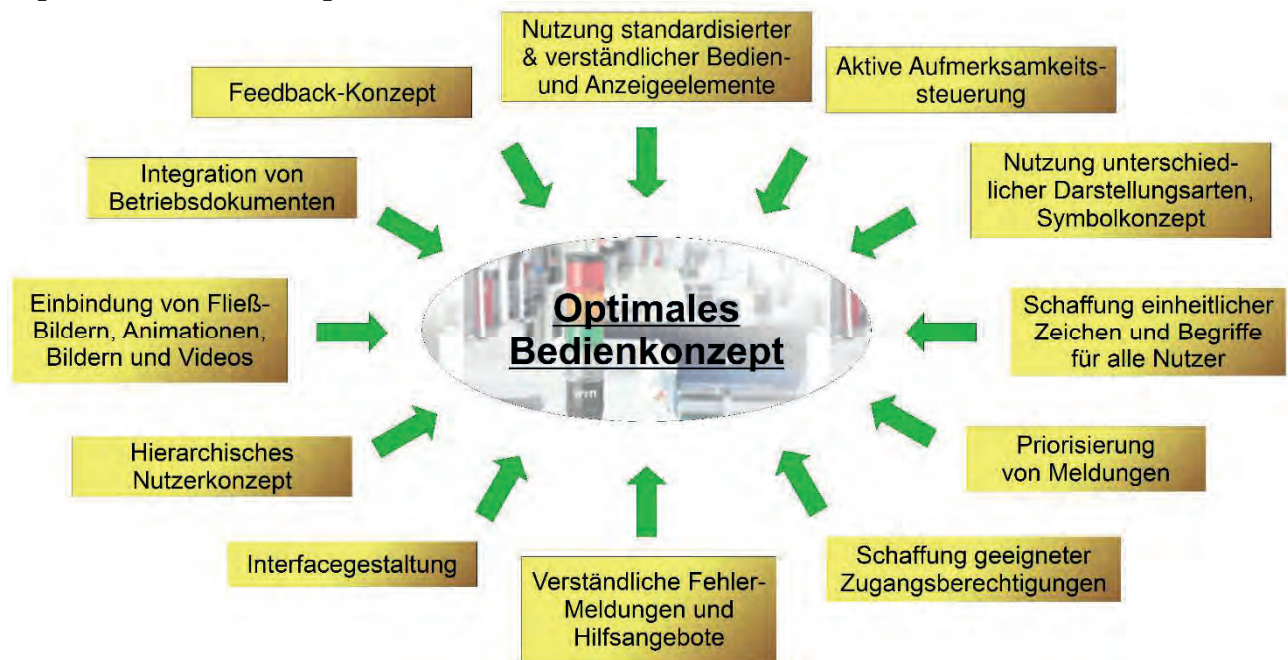


Bild 2: Anforderungen an ein optimales Bedienkonzept [7]

3. Modellaufbereitung und Animation des Demonstrators Trainingsfabrik 4.0

Zur Gestaltung einer realistischen Simulation der funktionsfähigen, virtuellen technischen Anlage „Trainingsfabrik 4.0“ (Bild 3) werden die CAD-Modelle der darin enthaltenen Maschinen zur Visualisierung benötigt. Die Anlage wurde als Flexibles Fertigungssystem projiziert und enthält die

Komponenten: CNC-Drehmaschine, CNC-Fräsmaschine, Kollaborativer Roboter, Automatisches Hochregallager, Bandförderstrecke mit By-Pass sowie manueller Arbeitsplatz.

Die Maschinenmodelle werden zunächst im CAD-Programm (z. B. SolidWorks) aufbereitet. Dabei werden bspw. zusätzliche Geometrien angelegt, welche für die möglichst realitätsnahe

Bewegungssimulation benötigt werden und ggf. Konstruktionsfehler beseitigt. Anschließend werden die einzelnen Modelle mit einem geeigneten Format (z. B. VRML) exportiert und in die Virtual Reality-Software IC.IDO der ESI-Group importiert.

„Innerhalb dieser Software muss nun ein kinematisches Modell der Maschine aufbereitet werden, um so der Realität entsprechende Bewegungen darstellen zu können.“ [8]

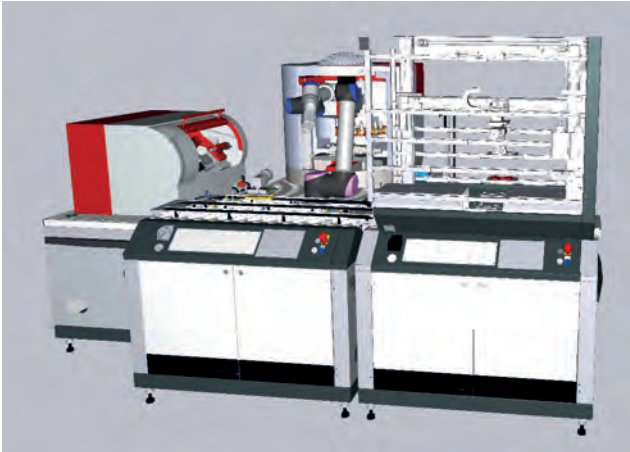


Bild 3: Virtuelles Modell Trainingsfabrik 4.0

Am Beispiel der Baugruppe „automatisiertes Hochregallager der Trainingsfabrik 4.0“ soll diese Animationserstellung nachfolgend vorgestellt werden. Die Animation wurde im Rahmen einer studentischen Projektarbeit [9] realisiert. Dabei wurden die Prozesse:

- Einlagern in das Hochregal und
- Auslagern aus dem Hochregallager

simuliert und animiert. Hierfür wurden verschiedene Varianten hinsichtlich Lagerpositionen (kürzester Weg oder numerische Reihenfolge) und Einlagerungsstrategien mittels verschiedener Bewertungskriterien (z. B. Taktzeit, Ausnutzung der Lagerfläche) untersucht.

Zur Animationserstellung des Hochregallagers (Bild 4) ist es notwendig, dass in IC.IDO importierte Modell weiter aufzubereiten. Dazu gehört eine sinnvolle Strukturierung des Modells in Unterbaugruppen sowie das Minimieren des Rechenaufwandes, durch Ausblenden nicht benötigter Bauteile /-gruppen. Anschließend erfolgt eine Einteilung der Simulationsobjekte des Hochregallagers in Hinblick auf statische (z. B. Achsportalbahn) oder dynamische (z. B. Achsportalquerverbindung) Baugruppen. Die Simulationsfähigkeit der Baugruppen wird nun durch Zuweisung von Eigenschaften (z. B. dynamisch, collidable und Melt-Offsets zur Verhinderung der Anfangskollisionen) hergestellt.

Nach dem Abschluss dieser Vorbereitungen werden anhand der festgelegten kinematischen Kette die Bewegungscharakteristiken der Elemente des Hochregals inklusive aller Bewegungseinschränkungen angelegt. Es erfolgt die Festlegung der Koordinatensysteme (Definition der Lage der Bewegungsachsen – sog. Joint Locations) für

Elemente / Baugruppen, um translatorische und /oder rotatorische Bewegungen für diese erstellen zu können. Es ist notwendig, die Joint-Locations als fest, rotatorisch bzw. translatorisch (fixed, hinge, prismatic) zu definieren, um den Freiheitsgraden der Bewegungen der realen Baugruppen zu entsprechen. Das Ziel dieser Aufgabe ist es, ein realitätsnahes Bewegungsverhalten in der Simulation zu erhalten.

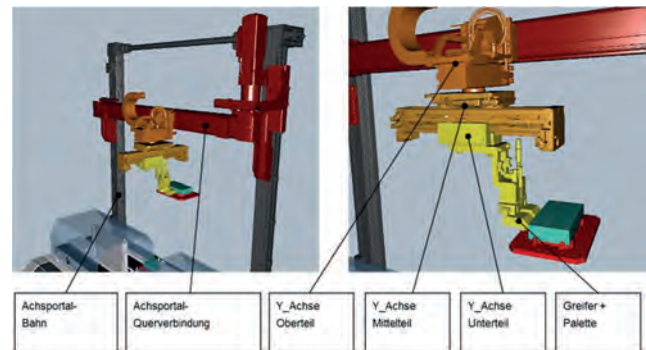


Bild 4: Ausschnitt virtuelles Modell Hochregallager [9]

4. Komponenten eines Bedienkonzeptes und deren virtuelle Darstellung

Im vorliegenden Projekt ist es geplant, mit einem virtuellen Bedienpanel zu arbeiten. Dies bedeutet, dass nur der Bediener in der Realität vorhanden ist und alle Anlagen- und Bedienkomponenten in der Virtualität abgebildet werden. Dafür werden Interaktionsgeräte (Flystick, Masterbrille, Controller) und Trackingsoftware (DTrack von Advanced Realtime Tracking GmbH) verwendet.

Die Maschinenmodelle und Szenarien werden in der Software IC.IDO bearbeitet bzw. realisiert, wie bereits im vorherigen Abschnitt beschrieben. Neben diesen Aufgaben, muss auch das Bedienpanel vorbereitet werden, mit welchem der Nutzer Interaktionen durchführen kann. Dafür sind verschiedene Schritte notwendig:

- Modellierung einer Bedienoberfläche, auf welcher die erforderlichen Tasten dargestellt und bedient werden können
- Auslösen einer Reaktion durch Tastendruck
- Implementierung / Umsetzung der auszulösenden Reaktionen (z. B. State-Wechsel zu einer anderen Ansicht bzw. Starten einer Animation)

Für die Implementierung der auslösenden Reaktion gibt es die zwei Varianten:

- IDO.Script und
- IC.IDO Funktion Behavior Panel.

Mittels IDO.Script ist es möglich, verschiedene Anweisung mittels der Programmiersprache Python zu implementieren. Dies setzt Programmierkenntnisse voraus und ist sehr aufwendig, da bspw. sämtliche Bewegungen manuell berechnet und erstellt werden müssen (vgl. []).

Alternativ kann die Funktionalität des IC.IDO

Behavior Panel benutzt werden. Mit diesem Panel lassen sich ereignis- und zeitabhängige Informationen anzeigen bzw. auslösen. Dabei wird diese Funktionalität (Event View) zum Erstellen und Verwalten von animationssteuernden Ereignissen / Reaktionen genutzt. [10]

Darüber hinaus muss für die Interaktion mit dem realen Benutzer eine Anpassung des Bedienpanels (Bild 5) erfolgen. Die Tastengröße erweist sich insbesondere virtuell als sehr schwierig bedienbar. Möglichkeiten wären eine Vergrößerung des virtuellen Bedienpanels oder die Arbeit mit einem realen Bedienpanel.

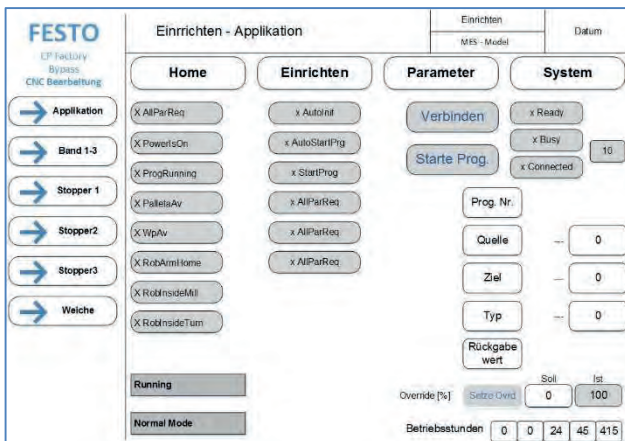


Bild 5: nachmodelliertes Bedienpanel [11]

5. Fazit und Ausblick

Für eine ansprechende Mensch-Maschine Schnittstelle in Form eines virtuellen Bedienpanels ist es essentiell dem Bediener ein realitätsnahes und selbsterklärendes Umfeld anzubieten.

Die Umsetzung erfordert weitere Schritte. Zum einen müssen für die ausgewählten Trainingsszenarien weitere Animationen erstellt und das hier beschriebene Bedienkonzept umgesetzt werden, welches der Bediener auch mit geringen Erfahrungen der Virtual Reality-Technik nutzen kann. In den nächsten Schritten erfolgt die Einbindung von Simulationen am Beispiel Trainingsfabrik 4.0. Danach kann mit der Erprobung der ersten Trainingsszenarien durch Maschinenbediener begonnen werden, um die Praxistauglichkeit der Trainingsszenarien zu überprüfen.

Danksagung



Die Autoren danken dem Bundesministerium für Bildung und Forschung für die finanzielle Unterstützung sowie dem Projektträger Jülich für die Betreuung des Forschungsprojektes „Smart University Grid Saxony⁵ - Wissensströme intelligent vernetzen (Saxony⁵)“.

Literaturverzeichnis

- [1] L. Goldhahn, D. Bock: Bedienkonzepte maschineller Anlagen und deren virtuelle Validierung. In: R. Neugebauer, M. Putz, P. Klimant (Hrsg.): VAR² 2017 – Realität erweitern. Tagungsband, 4. Fachkonferenz zu VR/AR-Technologien, Chemnitz. TU Chemnitz, ISBN 978-3-00-058419-0 (2017), S. 129 - 136
- [2] VDI/VDE Richtlinie 3699 Blatt 2, Prozessführung mit Bildschirmen – Grundlagen. Berlin, Beuth (2014)
- [3] Goldhahn, L.; Bock, D.: Modellierung von Bedienhandlungen in Virtual Reality-Umgebungen. Scientific Reports. Wissenschaftliche Zeitschrift der Hochschule Mittweida (2015) Nr. 2, S. 13–16
- [4] DIN EN 614: Deutsches Institut für Normung e.V. (DIN), Sicherheit von Maschinen – Ergonomische Gestaltungsgrundsätze – Teil 1: Begriffe und allgemeine Leitsätze (2009) und Teil 2: Wechselwirkungen zwischen der Gestaltung von Maschinen und den Arbeitsaufgaben (2008), Berlin, Beuth (2008)
- [5] DIN EN 981: Deutsches Institut für Normung e.V. (DIN). Sicherheit von Maschinen – System optischer und akustischer Gefahrensignale und Informationssignale, Deutsche Fassung, Berlin: Beuth (2009)
- [6] DIN EN 894-2: Deutsches Institut für Normung e.V. (DIN). Sicherheit von Maschinen – Ergonomische Anforderungen an die Gestaltung von Anzeigen und Stellteilen – Teil 2: Anzeigen, Berlin, Beuth (2009)
- [7] L. Goldhahn, D. Bock, R. Sewohl, C. Thümer: Skript-basierte Animation von Bedienhandlungen. In: Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb (ZWF), Carl Hanser Verlag, München, Heft 3, 2015, S. 88-93
- [8] S. Roch, S.: Simulation von Fertigungssystemen in Virtual Reality. Varianten zur Animationserstellung und Ablaufbeschreibung an Beispiel-Modellen. Bachelorarbeit. Hochschule Mittweida (2016)
- [9] T. Wetela, D. W. N. Hofmann, J. Trützschler: Simulation und Animation eines Teilablaufes im Modell der neuen Trainingsfabrik 4.0 mit Virtual Reality - Paletten-Handling im Hochregallager, Projektarbeit, Hochschule Mittweida (2018)
- [10] IC.IDO 12.0 Reference Manual IDO.Explore, ESI Group (2018)
- [11] D. Liang: Simulationsbasierte Animation der robotergestützten Beschickung einer Drehmaschine mit zugehöriger Interaktion mittels virtuellem Bedienpanel, Bachelorarbeit, Hochschule Mittweida (2018)

WEITERENTWICKLUNG DER PROZESSPLANUNG IM RAHMEN VON INDUSTRIE 4.0 (DEVELOPMENT OF COMPONENT PROCESS PLANNING IN THE CONTEXT OF INDUSTRY 4.0)

Kai Kittner, Bernd Stimper

Eberspächer Exhaust Technology Wilsdruff GmbH, Global Manufacturing Engineering Commercial Vehicle,
Hühndorfer Höhe 33, 01723 Wilsdruff

Abstract

Die Vorstellungen, was unter dem Begriff Industrie 4.0 möglich ist, sind gewaltig. Überwältigend und umwälzend, wenn diese Vorstellungen Realität werden. Dennoch, der aktuelle Stand zeigt erhebliche Defizite auf dem Weg zur digitalisierten Industrie. Zu nennen sind dahingehend Probleme in der horizontalen und vertikalen Datenintegration, maßgeblich die Schnittstellen zwischen den vielfältigen Programmen, bereits erfasste Datenmengen, die ungenutzt bleiben und der abstrakter werdende Arbeitsprozess, insbesondere in Bezug zu neuen notwendigen Berufsfeldern wie Data-Scientist. Die Eberspächer Exhaust Technology GmbH Wilsdruff steht ebenso vor den Herausforderungen und versucht durch eine konsequente Prozesskettenanalyse, genau dort in Richtung Industrie 4.0 zu gehen, wo Qualität gesteigert und Nacharbeit vermieden werden können. Ansatzpunkt sind die umformtechnischen Komponenten von Abgasanlagen, deren gesteigerte Qualität in Bezug zur Maßhaltigkeit eine Kostenersparnis aufzeigt. Ein Schlüssel dahingehend ist der Übergang von der deterministischen Prozessplanung von Komponenten hin zur stochastischen Planung.

The imaginations and opportunities of industry 4.0 are enormous. Spectacular and revolutionary, if it becomes reality. But, the actual situation in production digitalization shows deficits in horizontal and vertical data integration, it means interfaces between the different software programs, generated but unused data and a getting more and more abstract work process, especially with new fields of work, e.g. data scientist.

The Eberspächer exhaust technology GmbH Wilsdruff is faced the same challenges. Through a consequent process analysis, the company tries to improve the forming component quality and therewith a reduction of rework costs. A key for a better component quality is the transition from a deterministical process planning up to a statistical process planning.

1 Einführung

Die Firma Eberspächer ist in ihrem Geschäftsfeld Exhaust Technology ein bedeutender, in Europa der größte, Lieferant für LKW-Abgasanlagen. Hauptwerk für diese Abgasanlagen ist das Werk in Wilsdruff. In diesem werden täglich ca. 700 Abgasanlagen (engl. ATS - After treatment system) hergestellt, **Abbildung 1**. Diese Abgasanlagen kommen in LKW der Marken, Volvo, Iveco, Mercedes und Scania zum Einsatz. Kernelemente einer solchen Abgasanlage sind die Katalysatoren, der sogenannte DOC, der DPF und der SCR. Diese Kernkomponenten werden in One-Box-Systemen verbaut, das heißt, anders als im PKW Bereich sind alle Katalysatoren und der Endschalldämpfer in einer Box verbaut. Neben den Kernkomponenten gehören weitere Komponenten zu einem ATS, beispielsweise Strukturbauteile, Gasführungskomponenten und weitere kleinere Bauteile, wie Halterungen.



Abbildung 1: Abgasnachbehandlungssysteme (ATS) für LKWs aus dem Werk Wilsdruff [1]

Kerntechnologie ist neben dem Canning (Herstellungsprozess der Katalysatoreinheiten) das MAG-Schweißen zum Verbinden der einzelnen Blechkomponenten zum Gesamtsystem. Der Schweißprozess ist qualitätsimmanent, da einerseits in ei-

nem Großteil der Bereiche Gasdichtheit gefordert wird und andererseits diese festigkeitsrelevant sind. Das stellt einen hohen Anspruch an den Schweißprozess, aber auch an die Qualität der Umformkomponenten.

Im Wechselspiel zwischen Maßhaltigkeit der Umformkomponenten und der Qualität des Schweißprozesses besteht ein hohes Potential für zukünftige Einsparungen und Qualitätsverbesserungen. Dabei besteht einerseits der Ansatz der Einsparung von Kosten hinsichtlich der iterativen Einarbeitung der Umformwerkzeuge und andererseits in der Reduzierung der Nacharbeit durch fehlerhafte Schweißungen.

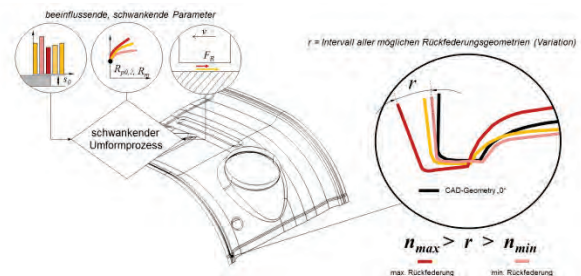


Abbildung 2: Darstellung der Kernproblematik Rückfederung an Umformkomponenten und deren fluktuativer Charakter durch beeinflussende, schwankende Parameter

Nach wie vor stellt die Rückfederung, **Abbildung 2**, von Blechumformkomponenten und die damit verbundene Maßhaltigkeit der Bauteile eine der größten Herausforderungen in der Prozesskette dar. Das Rückfederungsverhalten besser analysieren zu kön-

nen und daraus Handlungsempfehlungen abzuleiten, ist eine wesentliche Entwicklungsinitiative im Haus Eberspächer. Zusammen mit weiteren Projekten, im Rahmen der Schwerpunkte durchgängige, digitale Prozesskette und Industrie 4.0 ergibt sich ein komplexes Tätigkeitsfeld, um die Entwicklungsprozesse effizienter und schließlich die Fertigungsprozesse kostengünstiger zu gestalten. Im Einzelnen sind das folgende Tätigkeitsfelder, die im Rahmen der Abteilung Manufacturing Engineering bearbeitet werden:

- Integrated Feasibility Forming Concept
- Übergang von der deterministische Umformsimulation hin zu einer stochastischen
- Empfehlungsableitungen aus der verbesserten Vorhersage der Bauteilqualität
- Herstellung der Datenkonsistenz zwischen verschiedenen Bereichen in der Produktentstehung

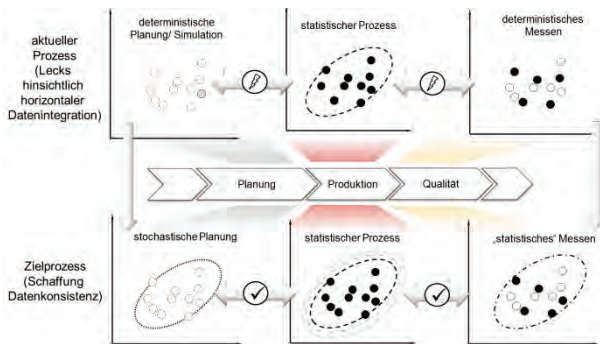


Abbildung 3: Entwicklung innerhalb des Produktentstehungsprozess mit dem Fokus einer einheitlichen horizontalen Datenebene [2]

In [2] wurde maßgeblich die Wichtigkeit einer Datenkonsistenz zwischen den Bereichen Produktion, Entwicklung und Qualität aufgezeigt, **Abbildung 3**. Ferner konnte herausgearbeitet werden, welchen qualitativen Unterschied zwischen einer deterministischen Rückfederungssimulation und einer stochastischen Rückfederungssimulation besteht und die sich daraus ergebende Konsequenz und Notwendigkeit den Übergang zur stochastischen Simulation vorzunehmen. Mit Hilfe einer verbesserten stochastischen Umformsimulation stehen in der Prozesskette verschiedene Möglichkeiten zur Einflussnahme zur Verfügung. Dabei können die Maßnahmen das Bauteil betreffen oder Baugruppen betreffend sein, **Abbildung 4**. Weiterhin können die Maßnahmen bereits präventiv im Entwicklungsprozess erfolgen oder operativ während des gesamten Produktlebenszyklus, wenn bspw. Werkzeuge und Vorrichtungen bereits erstellt wurden, was allerdings aus Kostensicht zu vermeiden ist.

Für eine Vermeidung von Kosten im laufenden Prozess stellt die stochastische Simulation im Entwicklungsprozess die effizienteste Methode dar. Dahingehend stehen der Einsatz der stochastischen Simulation und die Ableitung geeigneter Maßnahmen, **Abbildung 4**, im Fokus der Untersuchungen. Beispielfhaft soll im nächsten Abschnitt anhand eines

Bauteils die Arbeitsweise dargelegt werden.

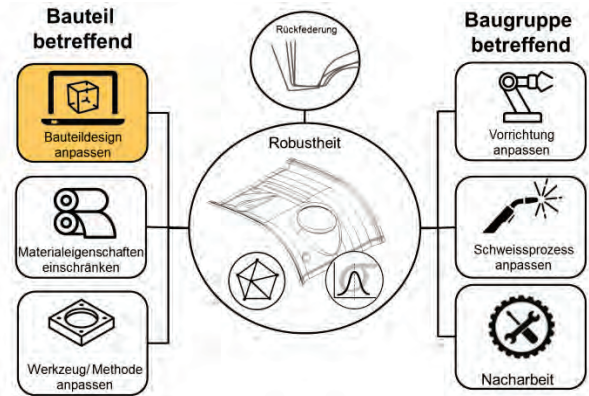


Abbildung 4: Maßnahmen zur Beeinflussung des Bauteils und der Schweißqualität

2 Untersuchungen und Ergebnisse

Als Beispielbauteil wurde eine Außenschale, **Abbildung 5**, ausgewählt. Diese Art Bauteile umschließen alle inneren Bauelemente einer Abgasanlage, verleihen Stabilität, regulieren durch evtl. vorhandene Zwischenschalen und Isolation den Temperaturhaushalt der Abgasanlage und dienen dem Anbringen von Halterungen und anderen Anbauelementen. Durch ihre Verwendung und der damit verbundenen geometrischen Struktur weisen diese Außenschalen meist eine U- oder L-förmige Gestalt auf, mit wenigen Formelementen und sind, parallel durch die Größe der Bauteile (Halbmeter-Bereich), sehr anfällig für Rückfederungseffekte und damit für eine mangelhafte Maßhaltigkeit.

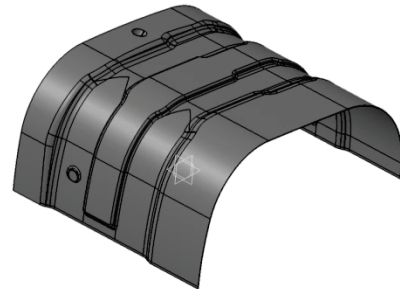


Abbildung 5: Beispielbauteil, Außenschale, U-förmig

Entsprechend der Herstellmethode wurde eine numerische Simulation erstellt, anschließend erfolgte die stochastische Simulation. Für die numerische Umformsimulation wurde das Programm Autoform R7 verwendet, für die stochastische Simulation wurde das Zusatzmodul Sigma benutzt. Es wurden folgende Parameter für die stochastischen Untersuchungen herangezogen:

- Reibung
- Blechdicke
- Mechanische Eigenschaften
 - Streckgrenze
 - Zugfestigkeit.

Als Auswertegrößen der stochastischen Simulation wurden die Größen

- Nominelle Rückfederung (Rückfederung der Mittelpunktsimulation)
- Variation (Differenz größte und kleinste Rückfederung an einem Punkt)
- Prozessfähigkeitsindex, c_p -Wert (indirekt gewähltes Kriterium für die Standardabweichung) genutzt.
 - Der c_p -Wert ist dimensionslos wie folgt in der Literatur definiert:

$$c_p = \frac{odG - udG}{6\sigma} \quad (1)$$

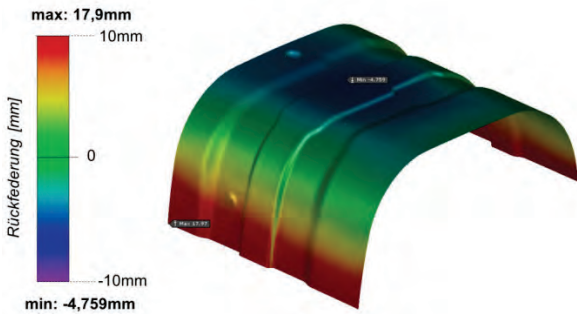


Abbildung 6: nominelle Rückfederungssimulation, freie Rückfederung, skaliert +10 mm/-10 mm, mit Maximum- und Minimum Wert

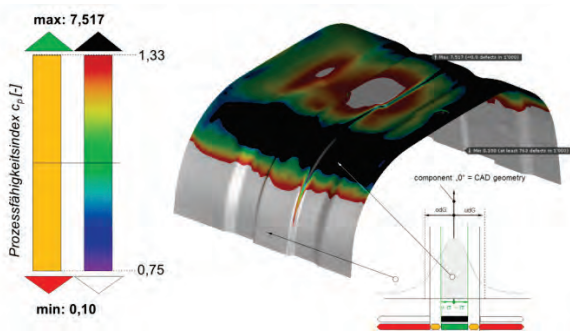


Abbildung 7: Auswertekriterium c_p -Wert, skaliert 1,33/0,75, mit Minimum- und Maximum Werten, „out of range“ - Skale (oberhalb obere Grenze: schwarz, unterhalb untere Grenze: weiß)

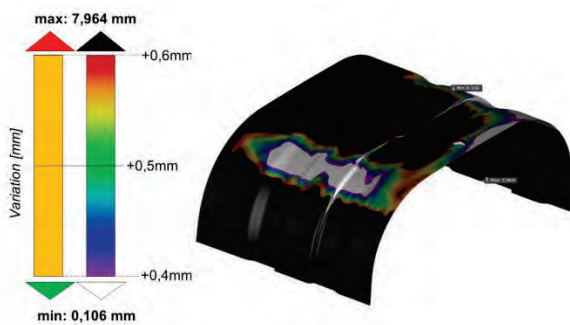


Abbildung 8: Auswertekriterium Variation, skaliert +0,6 mm/+0,4 mm (kleinster möglicher Wert = 0), mit Minimum- und Maximum Werten, „out of range“ - Skale (oberhalb obere Grenze (+0,6 mm): schwarz, unterhalb untere Grenze (+0,4 mm): weiß)

Dabei sind odG (obere definierte Grenze) und udG (untere definierte Grenze) die entsprechend bei Eberspächer definierten Toleranzwerte bei Blechformkomponenten. In Verbindung mit dem ebenfalls definierten Wert für σ lässt sich ein erforderlicher c_p -Wert von $\geq 1,33$ festlegen, bei dem ein stabiler Prozess zu erwarten ist. Im Folgenden werden die Ergebnisse für eine stochastische Simulation des Ausgangsbauteils dargestellt und erläutert, **Abbildungen 6-8**.

Aus den Ergebnissen ist deutlich erkennbar, dass das Bauteil sehr starken Schwankungen unterworfen ist. Dies betrifft auf der einen Seite den oberen mittleren Bereich, ein „Durchhängen“ der Flächenformelemente und die Schenkel des „U“s mit einem sehr starken Aufspringverhalten. Neben dem nominell starken Aufspringverhalten zeigt sich auch eine starke Fluktuation der Ergebnisse, an dem geringen c_p -Wert und der großen Spannbreite der Ergebnisse. Für solche Ergebnisse ist absehbar, dass es zu Problemen im Zusammenbau kommt und Nacharbeit einkalkuliert werden muss. Rein aus prozesstechnischer Sicht ist für das Bauteil keine verbesserte Herstellmethode ableitbar. Aus diesem Grund erfolgt hier der Ansatzpunkt einer Bauteilanpassung. Dabei werden in das Bauteil Verstärkungselemente eingebracht. Einerseits sind das Verstärkungssicken in den Radienbereichen und andererseits Verprägungen im oberen, mittleren Bereich der Außenschale. Prinzipiell wirken die Formelemente in zweifacher Hinsicht. Erstens erhöhen die Verstärkungselemente durch ihre Geometrie den Widerstandsmoment/ das Trägheitsmoment – eine geometrische Versteifung. Und zweitens kommt es durch die Formelemente zu einer Abstreckung des Materials und damit zu einer werkstoffseitigen Verfestigung.

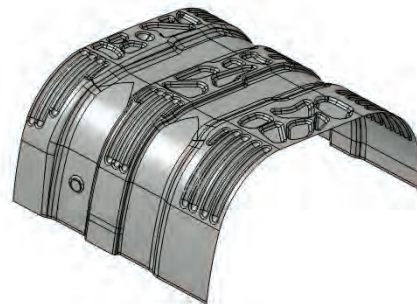


Abbildung 9: Beispielbauteil mit angepasster Geometrie, Außenschale, U-förmig

Die Formelemente sind dabei so in das Bauteil eingebracht, dass sie der jeweiligen Biege-/Rückbiegerichtung entgegenwirken. Im Bereich der großen Radien, im Übergang des oberen ebenen Bereiches hin zu den Schenkeln des „U“s ist das gut nachvollziehbar. Die Formänderung wirkt während der Umformung nahezu im reinen Biegen nach unten. Die Rückfederung erfolgt nach der Entlastung annähernd ideal nach oben. Die Versteifungssicken wirken hier unmittelbar der Rückfederung entgegen, genau in der Richtung wie die Umformung/ Rückfederung erfolgt. Im oberen ebenen Bereich ist das Rücksprungverhalten nicht eindeutig zu klassifizieren.

ren, da der Bereich einerseits durch seine Formelemente selbst, aber auch durch die Biegeradien des „U“s beeinflusst wird. Insgesamt kann die Aussage zugelassen werden, dass die Biegeradien ein höhere Festigkeit besitzen als der obere mittlere Bereich und die Biegebereiche bei der Rückfederung den oberen mittleren Bereich zum „Einfallen zwingen“, da dieser weniger verfestigt ist. Daraus folgt, dass der obere Bereich „gestärkt“, das heißt durch Formelemente stärker verfestigt werden muss. Allerdings stellt das Einbringen von Formelementen einen schwer kalkulierbaren Einfluss auf das Gesamtrückfederungsverhalten dar. Was zur Stabilisierung gedacht ist, kann unter ungünstigen Umständen zu entgegengesetzten Effekten und damit zu einer erhöhten Rückfederung führen. Sehr häufig kommt es bei Einbringen von Formelemente zur Verdrehung des Bauteils. Aus diesem Grund wurde an dieser Stelle ein unregelmäßiges Muster gewählt. Dieses neigt zwar ebenfalls zu einer Rückfederung.

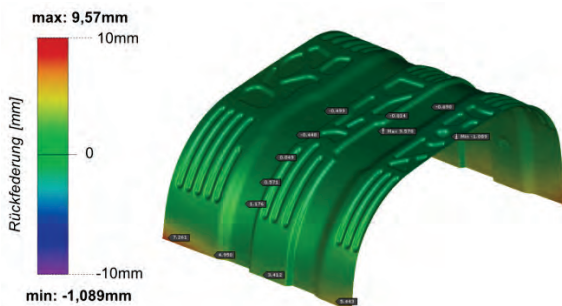


Abbildung 10: nominelle Rückfederungssimulation, freie Rückfederung, skaliert +10 mm/-10 mm, mit Maximum- und Minimum Wert

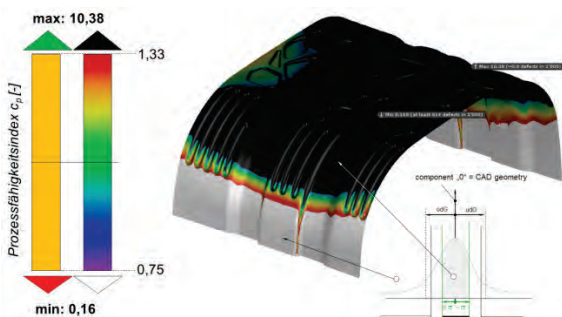


Abbildung 11: Auswertekriterium c_p -Wert, skaliert 1,33/0,75, mit Minimum- und Maximum Werten, „out of range“ - Skala (oberhalb obere Grenze: schwarz, unterhalb untere Grenze: weiß)

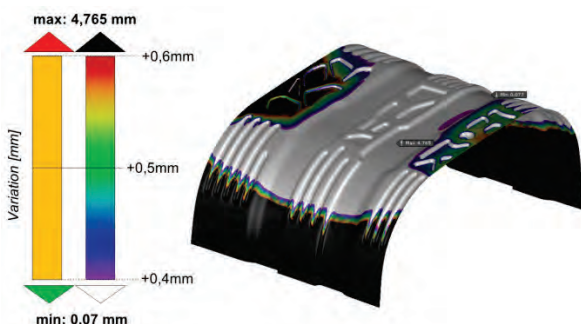


Abbildung 12: Auswertekriterium Variation, skaliert +0,6 mm/+0,4 mm (kleinster möglicher Wert = 0), mit Minimum- und Maximum Werten, „out of range“ - Skala (oberhalb obere Grenze (+0,6 mm): schwarz, unterhalb untere Grenze (+0,4 mm): weiß)

Jedoch können sich durch die Unregelmäßigkeit keine bevorzugten Biege-/Rückbiegelinien ausbilden bzw. heben sich diese gegenseitig wieder auf. Damit bleibt der obere Bereich weitestgehend formstabil. Die entsprechenden Ergebnisse durch die Anpassung des Bauteils kann den folgenden Bildern, **Abbildungen 10-12**, entnommen werden.

Es ist eine Verbesserung der Ergebnisse erkennbar. Die nominelle Rückfederung ist deutlich zurückgegangen. Gegenüber der Ausgangssituation ist der Maximalwert der Rückfederung um 10 mm gesenkt worden. Die Schwankungsbreite der Ergebnisse konnte verbessert werden von ursprünglich ca. 8 mm auf jetzt 4,7 mm. Zusätzlich zeigt sich, dass der Bereich in dem eine Schwankung oberhalb von 0,6 mm auftritt deutlich kleiner und insbesondere der obere flache Bereich sehr stabil ist mit geringerer Schwankung. Weiterhin ist auch die Schwankung, in Form der Standardabweichung deutlich zurückgegangen. Auch hier ist der Bereich, der als stabil klassifiziert ist und oberhalb eines c_p -Wertes von 1,33 liegt deutlich größer als in der Ausgangsanalyse.

Komplett konnte die Rückfederung nicht in die erforderlichen Grenzen reduziert werden. Dahingehend muss für den Serienprozess mit Abweichungen gerechnet werden. Diese Abweichungen müssen dann im Schweißprozess durch die Schweißvorrichtung, im Speziellen durch das Spannkonzent, ausgeglichen werden. In analoger Weise zum Spannkonzent in der Schweißvorrichtung hat die Bauteilmessung mit gleichem Spannkonzent zu erfolgen.

3 Zusammenfassung

Im dargelegten Artikel wurde aufbauend auf vorangegangenen Arbeiten der Übergang von der deterministischen Simulation zur stochastischen Simulation im Planungsprozess dargelegt. Insbesondere die Beeinflussung der Blechkomponentenqualität durch eine Bauteilanpassung in Form von Verstärkungselementen war Inhalt dieses Beitrags. Der Rückfederung konnte nicht in allen Bereichen entgegengewirkt werden, konnte aber reduziert werden, bei gleichzeitiger Steigerung der Stabilität des Bauteils sowie geringerer Streubreite. Die Maßhaltigkeit kann durch ein entsprechendes Spannkonzent in den Schweißvorrichtungen weiter verbessert werden, deren Auslegung durch die stochastische Simulation zukünftig besser möglich ist.

4 Literaturverzeichnis

- [1] Eberspächer internal, 2018
- [2] K. Kittner; B. Stimper: Robustness - Practice Report: Make Forming Processes more Stable, Materials Science Forum, Vol. 918, pp. 95-102, 2018; DOI: <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/MSF.918.95>

TIME STANDARD SETTING IN ASSEMBLY

Izabela Kutschenreiter-Praszkiewicz

University of Bielsko-Biala, Willowa Street No. 2, Bielsko-Biala, 43-300 Poland

One of the directions in which companies are developing concerns ordering customized products online. Modularity in products and production processes allows to achieve the goals related to offering reconfigurable output. Assembly is a crucial stage of the production process related to customized products. One of important indicators of product assemblability is time standard for product assembly. The aim of this article is to present some methods of time standard setting in assembly. MTM (Method Time Measurement) was applied as the basic method of time standard setting, and was compared with a knowledge base for assembly time standard proposed in the article.

1. Introduction

Assembly is one of important stages of the production process is assembly which can concern products, as well as tools and equipment in changeover. In case of multi-assortment production process, it is necessary to reorganize workstations and evenly assign assembly tasks to given workstations. Assembly process can be: manual, hard automated or flexible automated [4]. The aim of the article is to show methods of time standard setting which are useful in assembly planning. Specific goals of the article are focused on finding common attributes useful in assembly tasks characteristics and changeover, as well as finding value intervals useful in assembly description. Shortening the product lifecycle, new product development and product customization bring about the development of modular reconfigurable assembly line. The development of flexible assembly lines requires standards related to typical assembly tasks and tools. Reconfiguration and balancing assembly lines needs a knowledge base related to time standards. This article presents an example of typical tasks, tools and time standards for planning product assembly and changeover.

2. Assembly planning

Many customers are no longer satisfied with mass-produced goods. They demand customization and rapid delivery of innovative products [1], so the meaning of assembly in production process is growing.

Researchers have discussed assembly design and planning which is focused on reducing time and costs.

Shao et al [3] present a model of the production process which uses a components and processes library which can be reused. Based on this idea, typical assembly tasks are defined and their characteristics can be described. Zhu et al. [6] have built a synthetic model of the assembly process with several sub-models. Assembly process sub-models are presented in figure 1.

Another model of the design process related to assembly has been developed by Qiao et al [2], who have built a unified assembly information model for manufacturing design, which took into consideration: product structure – e.g. product function model, de-

tailed design; data type (which included: assembly design info. – assembly connection, assembly hierarchy; assemblability info. – assembly technical and economical index; assembly process info. – assembly fixture design, tolerance allocation; assembly simulation – parameters simulation, ergonomic verification; assembly inspection – measuring point selection, measurement placement, measure process planning), and service scenario.

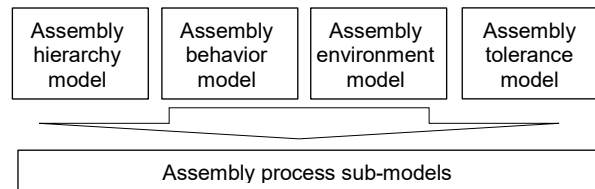


Fig. 1. Assembly process sub-models (based on [6])

Stages of the decision taking procedure in case of modular assembly lines design were formulated by Tracht et al. [5] and included:

- Data preparation, which involves: defining the requirements, estimating the target cycle time, creating assembly schedule(s),
- Clustering: defining the degree of automation for each assembly operation, clustering assembly operations to assembly stations, determining the assembly method, selecting assembly devices and tools,
- Basic design: defining the degree of modularity and geometric dimensions of basic- and sub-modules, designing links of assembly stations (transfer units), designing materials and tools supply, considering the ergonomic design,
- Advanced design: designing control architecture, designing interfaces, considering safety regulations,
- Review: checking compatibility of the individual module designs, checking compatibility of modules and assembly devices, checking compliance with the budget,
- Compilation: compiling results.

An assembly line can be designed for a new product or can be redesigned due to [5] e.g.: altering the product variant, increasing or decreasing product demand, introducing a new product.

The decision stages of the assembly line reconfiguration process in short and mid-term includes the following steps [5]:

- Change of variant, including: comparing the old and the new assembly operations; maintaining, switching or exchanging modules and assembly devices on different levels of modularity; adjusting and reprogramming system components.
- Capacity expansion: defining new target cycle time (parallelization or / and rebuilding workstations), selecting a new system layout, combining and reprogramming system components.

Assembly process planning for new products, or in the case of altered product demand of already manufactures products changing requires cycle time assessment. For that purpose, different time standard setting methods can be used.

3. An assembly time standard knowledge base

One of the fundamental methods of time standard setting is MTM, which is useful for assembly planning and improvement. MTM divides the assembly process into movements, which include:

- hand motions: reaching, grasping, moving, positioning, releasing, applying pressure, disengaging, turning, cranking
- body, foot, leg motions
- eye movements, eye focus

Time consumption of these movements depends on different attributes and their values. In MTM, each basic movement depends of various attributes and value intervals. Assembly planning and cycle time calculation will be easier with the use of common products (parts and components being assembled), process and environment characteristics (fig. 2). For that purpose, basic movements should be connected into typical tasks with common characteristics.

The proposed method of extracting common characteristics of assembly tasks includes the following stages:

- acquiring assembly tasks examples
- analysing assembly tasks examples
- extracting a typical motion sequence
- extracting important attributes and their values the for motion sequence
- setting time standard for a specific motion sequence

The presented approach will be useful for assembly planning with separate environment, product and process characteristics.

4. An algorithm for assembly time standard setting

An algorithm according to which it is possible to determine time standards for assembly is presented in figure 3.

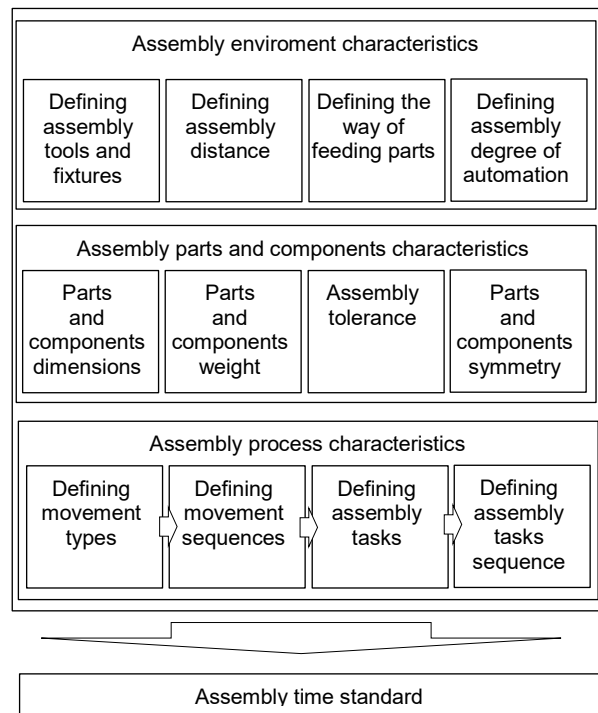


Fig. 2. A model for assembly time standard setting

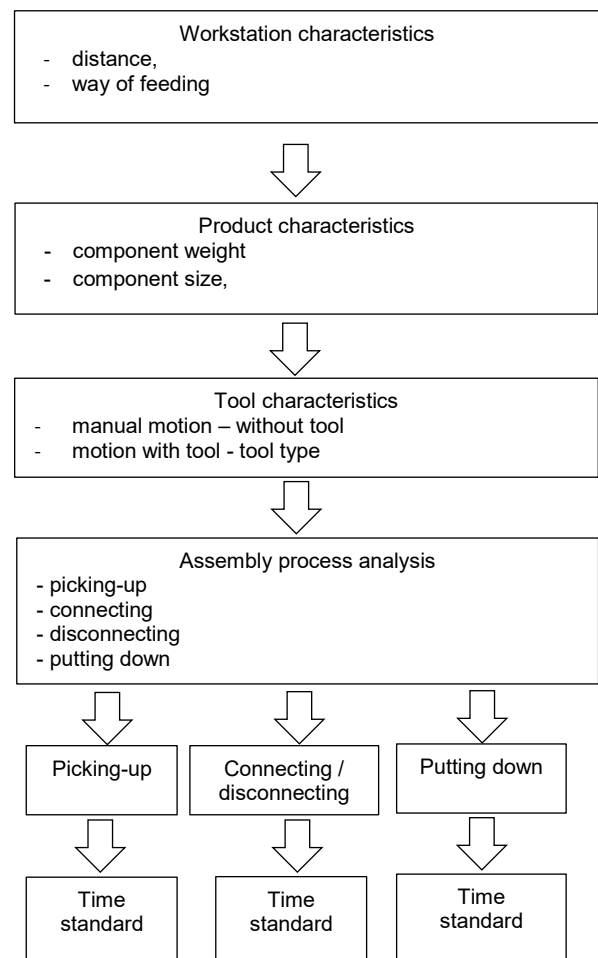


Fig. 3. An assembly time standard setting algorithm

A knowledge base developed according to this algorithm can be used for effective assembly planning.

The proposed approach defines typical assembly tasks, such as: picking-up, connecting, disconnecting, putting down.

The characteristic of typical assembly tasks was presented in table 2.

Tab. 2. Characteristic of typical assembly tasks

No.	Typical task	Influencing factors
1	Picking-up / putting down	- type of movement, - component weight, - component size,
2	Connecting / disconnecting	- type of movement, - component weight, - component size, - tool type

5. An example of time standard setting

In the presented example, the workstation being analysed is toy car assembly. Parts and components are delivered in boxes and foil [12].

Workstation characteristic included distance and the way of feeding. The distance between a worker and the assembled parts are approximately 40 cm.

The assembled product was a toy car which consists of several elements and components. The example analyzed the activity of element unpacking.

In the presented example the assembly process was characterised by the following influencing factors:

- type of movement, divided into:
 - a – linear or nearly linear manual movement, over the distance between 20-80 cm
 - b – manual manipulation, the distance up to 20 cm
 - c – manual screwing,
 - d – movement over the distance above 80 cm
- part weight / size, divided into two categories:
 - a – up to 1 kg or 20 cm, the parts are easy to manipulate
 - b – above 1 kg or 20 cm, there are some difficulties with manipulating the parts
- the tools, which were specified:
 - a – no tool,
 - b – screw,
 - c – pliers,
 - d – knife,
 - e – Allen key,
 - f – flat key,
 - g – hammer,
 - h – screwdriver.

An example of time standard setting was presented in table 1.

Tab. 1 Sample analysis

No.	Technological operation	Assembly process description	Type of movement (a-linear manual movement, b-manual manipulation, c- manual screw	Movement distance [cm]	Part weight [kg] size [cm] (a – up to 1 kg, / 20 cm b- above 1 kg / 20 cm)	Tool (a-no tool, b-screw, c-pliers, d-knife, e- Allen key, f-flat key, g-hammer, h-screwdriver	MTM code	Time standard
1	Removing part from the foil	Picking-up part	a	30	a	a	R40B G1A M40B	33,2
		Connecting /disconnecting	a	30	a	a	G2 M40B	21,2
		Putting down	a	30	a	a	M40B RL1	17,6

Comparison of MTM and assembly knowledge base sample was presented in figure 4.

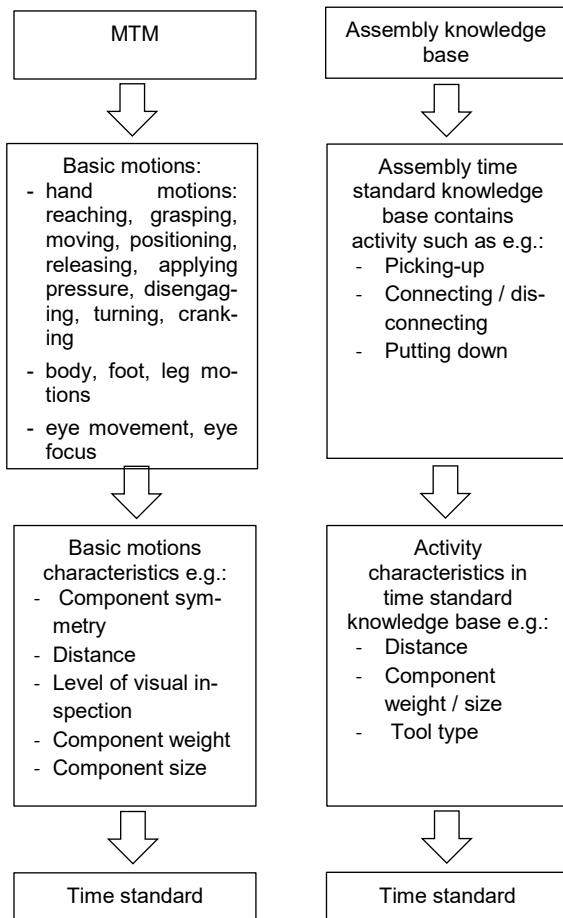


Fig. 4. MTM and assembly time standard knowledge base sample comparison

6. Conclusions

Some scientific problems solved in the article were focused on:

- grouping basic human motions into standard activities in the assembly process,
- setting standard tools definition useful in assembly,
- time standard calculation with the use of the MTM,
- creating a knowledge base which contains assembly task characteristics, assembly workstation characteristics, assembly tools characteristics and time standards.

The effectiveness of the time standard setting method useful in planning is not sufficient.

There is a gap among the methods of time standards setting, and we lack of an effective method for time standard setting for planning human motions.

A time standard setting algorithm was developed in the article which contains workstation characteristics, product characteristics, assembly process characteristics and tools characteristics.

The presented approach includes:

- assembly manual task definition
- typical tools characteristic
- typical assembly workstation characteristic
- finding attributes which characterise assembly tasks
- defining attributes value useful in assembly tasks characteristic
- time standards setting for defined assembly tasks
- building knowledge base

The article presented sample of knowledge base useful in assembly of multi-variant products. The time standard setting method developed in the article improves MTM effectiveness. Developing a knowledge base which contains workstation characteristics, tool characteristics and time standards would aid assembly planning process.

7. Literature references

- [1] Kim K-Y, Nnaji B., 2006, Virtual assembly analysis enhancing rapid prototyping in collaborative product development. Published in: *Rapid Prototyping: Theory and Practice*. Kamrani, Ali K., Nasr, Emad Abouel (Eds.) Springer-Verlag US
- [2] Qiao L., Han F., Bernard A., 2011, A Unified Assembly Information Model for Design and Manufacturing. Published in: A. Bernard (ed.), *Global Product Development*, © Springer-Verlag Berlin Heidelberg
- [3] Shao G., Brodsky A., Miller R., 2018, Modeling and optimization of manufacturing process performance using Modelica graphical representation and process analytics formalism. *Journal of Intelligent Manufacturing*, 29: 1287–1301 <https://doi.org/10.1007/s10845-015-1178-6>
- [4] Shina S. G., 1991, *Concurrent Engineering and Design for Manufacture of Electronics Products* © Van Nostrand Reinhold
- [5] Tracht K., Hogueve S., 2011, Decision Making During Design and Reconfiguration of Modular Assembly Lines. 4th International Conference on Changeable, Agile, Reconfigurable and Virtual Production (CARV2011), Montreal, Canada
- [6] Zhu W., Lai X., Lin Z., 2004, Research of virtual prototyping for auto-body sheet metal assembly. X.T. Yan et al. (eds.), *Perspectives from Europe and Asia on Engineering Design and Manufacture* © Springer Science+Business Media New York
- [7] <https://www.bing.com/videos/search?q=monta%5%bc+samochoodu&&view=detail&mid=244E03276D87959625D5244E03276D87959625D5&&FORM=VRDGAR> access 24.05.2018

MATHEMATISCHE OPTIMIERUNG DER TEILEANORDNUNG IN DER KOMMISSIONIERUNG

Philip Sehr, Sven Bendzioch, Oliver Niggemann
Hochschule Ostwestfalen-Lippe, Liebigstraße 87, D-32657 Lemgo

Kurzfassung

Produkte bestehen aus einer zunehmenden Anzahl unterschiedlicher Teile. Dieser Trend hängt mit einer steigenden Variantenanzahl und der Integration zusätzlicher Produktfunktionen zusammen. Dadurch steigen die Anforderungen an Kommissionierprozesse in der Montage. Es stellt sich daher die Frage der optimalen Anordnung der Teile, um unnötige Gehwege beim Kommissionieren zu vermeiden. Im Rahmen des Beitrages wird ein Optimierungsalgorithmus vorgestellt, mit dem Bauteile so klassifiziert werden, dass Gehwege reduziert werden können.

1. Einleitung, Problemstellung und Zielsetzung

Durch immer stärker individualisierte Produkte bis hin zur Losgröße Eins sowie die Integration von zusätzlichen Produktfunktionen steigt die Varianten- und die Teileanzahl in der Montage an. Damit erhöht sich nicht nur die Auftragszeit für das Fügen von Teilen zu einem Produkt, sondern auch die Zeit, die vor dem Zusammenbau des Produktes für eine Kommissionierung der Bauteile benötigt wird. Hier kann eine ungünstige Anordnung der Teile unnötige Laufwege zur Folge haben und damit – betrachtet über einen längeren Produktionszeitraum – zu erhöhten Beanspruchungen für den Menschen und höheren Produktionskosten.

Diese Problematik soll anhand einer Fallstudie untersucht werden. Diese Fallstudie untersucht ein Arbeitssystem eines Herstellers von variantenreichen Serienmaschinen. In diesem System werden unterschiedliche Pneumatik-Baugruppen vielfach in Losgröße Eins montiert. Dazu werden zunächst die einzelnen Teile einer Baugruppe aus einem Durchlaufregal von dem Beschäftigten kommissioniert. Ein besonderes Merkmal des Arbeitssystems ist, dass eine Reihe von Teilen in einer Mehrzahl von Baugruppen benötigt wird. In der betrieblichen Praxis ist die Frage aufgekomen, ob eine optimierte Anordnung der Bauteile den Laufwegaufwand bei der Kommissionierung verringern kann.

Ziel der Fallstudie ist es, eine Methode zu entwickeln, die das Arbeitssystem in Sub-Systeme unterteilt. Dabei sollen Bauteile, die in gemeinsamen Baugruppen montiert werden, möglichst im gleichen Sub-System bereitgestellt werden. Die Aufteilung soll so die Kommissionierwege reduzieren und die zur Kommissionierung benötigte Zeit verringern. Dabei soll kein Bauteil an mehreren Lagerplätzen in unterschiedlichen Sub-Systemen bereitgestellt werden.

2. Grundlagen

2.1 Optimierung von Kommissioniersystemen

Die Vorteile, die sich aus geringeren Laufwegen in der Kommissionierung ergeben, sind bereits seit langem bekannt. Daher gibt es bereits zahlreiche Methoden, mit denen Kommissionierprozesse optimiert werden können. Bei der Methode von Korte et. al. werden prozentual Anteile von Artikeln gemäß ihrer

Nachfrage in einem Vier-Zonen-Kommissioniersystem umgelagert [1]. Jaikumar et. al. haben eine Methode entwickelt, bei der Artikel mit hoher wahrscheinlicher Kundennachfrage näher an den Ein/Ausgabepunkt gelagert werden sollen. Diese Umlagerung soll während Phasen langsamerer Produktion durchgeführt werden [2]. Kofler et. al. haben eine mathematische Methode entwickelt, welche die Affinität der Teile und ihre Zugriffshäufigkeit in einem Score-Wert für die Güte des Lagersystems zusammenfasst [3]. Dieser Score dient als Grundlage für die Optimierung, die mit Hilfe von Lokaler Suche und Simulated Annealing durchgeführt wird.

Für die hier behandelte Problemstellung ist keine der genannten Methoden direkt anwendbar, da hier ein Kommissioniersystem in mehrere Sub-Systeme unterteilt werden soll, anstatt ein System in seiner Gänze zu optimieren. Allerdings sind einige Elemente von Kofler et. al. übertragbar.

2.2 Modellansatz zur Optimierung

Eine Datenmenge in zwei oder mehrere Cluster aufzuteilen, ist ein Partitionierungsproblem, das in der Mathematik oft mit Hilfe eines gewichteten Graphenmodells gelöst wird. Dieses besteht aus einer Menge an Knotenpunkten, die durch gewichtete Kanten mit einander verbunden sind. Als Gewichtung wird hier oft ein mathematischer Ähnlichkeits- oder Distanz-Koeffizient verwendet. Ziel der Optimierung ist es, einen Schnitt durch den Graphen zu ermitteln, der in Summe möglichst wenig gewichtete Kanten durchtrennt. Kannan et.al. haben dargestellt, dass bei der Suche nach der optimalen Lösung Unterschiede zwischen dem mathematischen Optimum und der praktischen Anwendbarkeit auftreten können [3]. Wenn beispielsweise ein Cluster 98% Prozent der Knoten enthält und das andere nur 2%, kann diese Lösung mathematisch optimal aber dennoch für die praktische Anwendung ungeeignet sein. Zur Lösung dieses Problems haben Ding et.al ein Verfahren entwickelt, das bei der Aufteilung der Daten sowohl die Kanten zwischen den Clustern als auch die innerhalb der Cluster berücksichtigt [4].

3 Entwicklung des Optimierungsverfahrens

3.1 Datengrundlage für das Verfahren

Die Menge der im Kommissioniersystem bereitgestellten Teile V und die daraus gefertigten Baugruppen U werden zu einer Matrix $P \in \mathbb{R}^{|U| \times |V|}$ zusammengefügt. Jedes Element P_{ij} der Matrix P gibt die Anzahl der Zugriffe auf Bauteil v_j für die Produktion von Baugruppe u_i . Die Zugriffshäufigkeit bezieht sich dabei nicht auf die Verwendung der Bauteile in der Stückliste, sondern auf das Produktionsvolumen der entsprechenden Baugruppe u_i .

3.2 Optimierungsgröße

Für den hier vorliegenden Fall ist die Verwendung eines Distanzmaßes gemäß Abschnitt 2.2 nur bedingt geeignet. Bei zwei unterschiedliche Baugruppen u_1 und u_2 die aus den gleichen Bauteilen bestehen, allerdings verschieden oft produziert werden, gilt für die entsprechenden Zeilenvektoren der Matrix P : $u_1 = r \times u_2, r \in \mathbb{N}$. Die euklidische Distanz zwischen u_1 und u_2 wird dann wie folgt berechnet:

$$d(u_2) = |r - 1| \times \sqrt{(\sum_{i=1}^n (u_{2i}^2))}$$

Die euklidische Distanz zwischen u_1 und u_2 ist proportional zu der Differenz der jeweiligen Produktionsmengen. Obwohl beide Baugruppen die gleichen Teile verwenden und somit im selben Teil des Arbeitssystems gelagert werden sollten, würde eine große euklidische Distanz diese bei der Partitionierung unter Umständen in verschiedene Cluster einteilen.

Ein ähnliches Problem ergibt sich bei der Verwendung eines Ähnlichkeitsmaßes, wie z.B. dem Jaccard-Koeffizienten, als Gewichtung des Graphen. Dieser ist für binäre Daten geeignet und kann somit das Produktionsvolumen der Baugruppen nicht mit einbeziehen. Da Distanz- oder Ähnlichkeitsmaße für diesen Fall ungeeignet sind, muss eine alternative Optimierungsgröße verwendet werden.

Teilt man die produzierten Baugruppen und die Bauteile in zwei Gruppen gemäß Abbildung 1 ein, lässt sich eine Optimierungsgröße für die Partitionierung ableiten. Abbildung 1 stellt den Fall einer idealen Aufteilung für ein Produktionssystem dar. Die Baugruppenmengen U_1 und U_2 werden hierbei jeweils ausschließlich aus Bauteilen der Mengen V_1 bzw. V_2 produziert. Dies bedeutet, dass Elemente der Matrix P mit $P_{ij} > 0$ nur innerhalb der markierten Bereiche eins und zwei auftreten. Dem zufolge wäre auch das Kommissioniersystem auf diese Weise teilbar ohne Laufwege zwischen den einzelnen Teilen zu erhalten. Im Umkehrschluss wirkt sich jedes Element der Matrix P mit $P_{ij} > 0$ innerhalb der Bereiche drei und vier auf die Anzahl der Laufwege zwischen den Teilen des Kommissioniersystems aus. Die Summe dieser „Überschneidungen“ ist das Hauptkriterium der Optimierungsgröße für das Partitionierungsverfahren.

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m P_{ij} \quad , u_i \in U_1 \wedge v_j \in V_2 \vee u_i \in U_2 \wedge v_j \in V_1$$

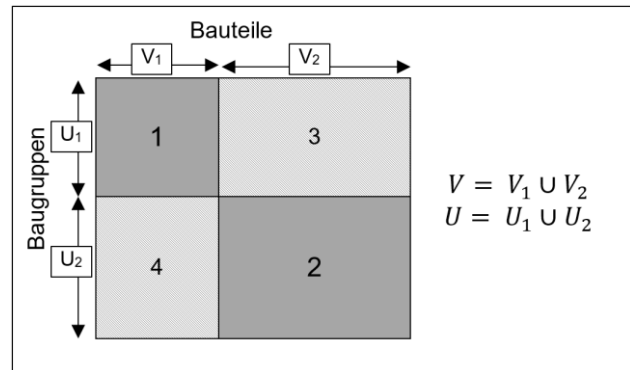


Abbildung 1: Strukturelle Übersicht der Matrix P bei idealer Aufteilung

Damit die Aufteilung der Artikel in Lagerbereiche einen praktischen Mehrwert bietet, müssen einige Lösungen ausgeschlossen werden. Wie in Abschnitt 2.2 beschrieben, sind Aufteilungen mit einem Extrem unausgeglichenes Größenverhältnis, zwar mathematisch unter Umständen optimal aber praktisch nicht sinnvoll. Aus diesem Grund arbeitet das Optimierungsverfahren, neben den „Überschneidungen“ mit Nebenkriterien, die die Größe der einzelnen Cluster beschränken. Hierfür wird, neben dem gewünschten Größenverhältnis, ein Toleranzbereich angegeben.

3.3 Lösungsansatz

Für die Lösung eines Partitionierungsproblems gibt es viele algorithmische Ansätze. Eine weit verbreitete Methode ist die iterative Optimierung. Hierbei wird mit einer gültigen Startaufteilung begonnen, die dann schrittweise verändert wird. Hat die Optimierungsgröße für diese Veränderung einen besseren Wert als zuvor, wird diese Aufteilung übernommen. Diese Methode hat den Nachteil, dass nur lokale Minima gefunden werden und der Algorithmus schnell konvergiert. Um dieses Problem zu verhindern, kann Simulated Annealing verwendet werden. Das Prinzip stammt aus der statistischen Mechanik und simuliert den Abkühlvorgang von Metallen. Kirkpatrick et.al. haben ein Optimierungsverfahren entwickelt, das Simulated Annealing in Kombination mit dem Metropolis-Algorithmus verwendet [5,6]. Später wurde dieses Verfahren auf das Partitionierungsproblem angewendet [7].

Für jedes Optimierungsverfahren wird ein Wert benötigt, um die Qualität der Optimierung zu quantifizieren. Während der Optimierung wird dieser Wert, je nach Ausrichtung, minimiert oder maximiert. Da sich dieser Wert aus mehreren Faktoren zusammensetzt, wird er über eine mathematische Funktion berechnet. Diese Funktion heißt Optimierungsfunktion. Das Hauptkriterium für die Optimierungsfunktion sind die „Überschneidungen“, die bei der Aufteilung des Kommissioniersystems auftreten. Wie im vorherigen Schritt erläutert, werden die Größenvorgaben und die Größentoleranz als Nebenkriterium in die Optimierungsfunktion eingebracht. Für die Optimierungsfunktion $C(x)$ gilt:

$$C(x) = A o(x) + B s_1(x) + C s_2(x)$$

$$\text{mit } x = \{U_1, U_2, V_1, V_2\}$$

Die Funktionen $s_1(x)$, $s_2(x)$ bilden das Größenverhältnis der Cluster auf einen normierten Zahlenwert ab. Für die Gewichtung wird eine quadratische Funktion verwendet, die ihren Scheitelpunkt in der Mitte des Toleranzbereiches hat, damit die Optimierungsfunktion für Aufteilungen am Rand des Toleranzbereiches schlechtere Werte liefert. Die Funktion $o(x)$ bildet in ähnlicher Weise die Überschneidungen auf einen normierten Zahlenbereich ab. Die Optimierungsfunktion wird zunächst für C_{ist} der Aufteilung berechnet und anschließend für die optionale Tauschoperation C_{Tausch} . Die Partitionierungsfunktion berechnet aus $\Delta C = C_{\text{ist}} - C_{\text{Tausch}}$ eine Wahrscheinlichkeit für die Tauschoperation mit:

$$Z(\Delta C) = e^{-\frac{\Delta C}{k_b T}}, \Delta C \geq 0$$

T simuliert dabei die Temperatur beim Abkühlvorgang und nimmt Einfluss auf die Wahrscheinlichkeit für eine Veränderung der Anordnung. Die Temperatur wird schrittweise verringert, was Tauschoperationen wenig häufig auftreten lässt. Ist $\Delta C < 0$, ist $Z(\Delta C) > 1$, wodurch gute Optimierungsentscheidungen in jedem Fall durchgeführt werden. Während des Optimierungsvorganges wurde ein Temperaturverlauf von 50 auf 0 Grad simuliert, sodass die Wahrscheinlichkeit für schlechte Tauschoperationen stetig abnimmt und ein finales Minimum erreicht wird. Abbildung 2 zeigt den Verlauf der Kostenfunktion $C(x)$ während der Optimierung.

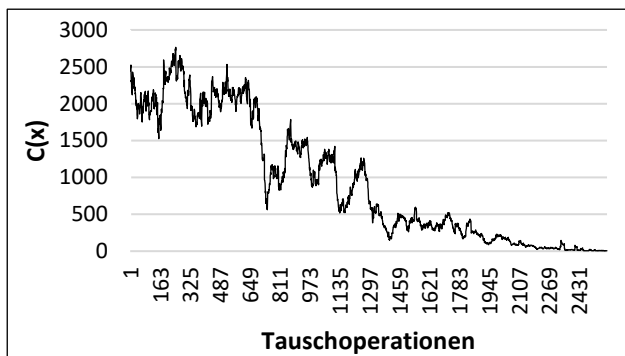


Abbildung 2: Verlauf der Kostenfunktion $C(x)$ während der Optimierung

Wie in der Abbildung dargestellt, werden ca. 2000 Tauschoperationen benötigt, bevor die Temperatur weit genug gesunken ist und keine Tauschoperationen mehr durchgeführt werden. Die steigenden Flanken der Grafik repräsentieren dabei „schlechte“ Optimierungsentscheidungen, die helfen ein lokales Minimum zu verlassen.

3.4 Kaskadierung für drei oder mehr Cluster

Um das Kommissioniersystem auch in mehr als zwei Sub-Systeme unterteilen zu können, wird der Algorithmus kaskadiert angewendet. Für eine Einteilung in drei Teile werden zwei Partitionierungsschritte benötigt. Nach Abschluss des ersten Schrittes ist das

System in zwei Teile unterteilt (Abbildung 3a). Bevor der zweite Schritt gestartet wird, wird der Grenzpunkt G berechnet, der in einer entsprechend sortierten Matrix die Grenze zwischen beiden Teilen markiert. Im zweiten Partitionierungsschritt wird dann nur der Bereich 2_1 der Matrix betrachtet, während Bereich 1 unverändert bleibt. Das Ergebnis ist in Abbildung 3b dargestellt.

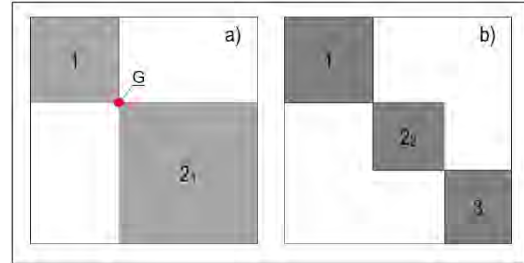


Abbildung 3: Kaskadierung des Optimierungsalgorithmus für mehr als zwei Cluster

4. Fall Studie

4.1 Use Case

Für die praktische Evaluierung wird das oben erwähnte Arbeitssystem aus der Fallstudie verwendet. In dem Arbeitssystem werde Pneumatik-Baugruppen manuell montiert. Insgesamt werden hier 83 verschiedene Baugruppen montiert, die aus insgesamt 147 unterschiedlichen Bauteilen zusammgebaut werden. Wegen der großen Teileanzahl und dem daraus folgenden erhöhten Lageraufwand besteht das Materiallager in diesem Arbeitssystem aus einer U-förmigen Anordnung mehrerer Regale. Um die Größe des Arbeitssystems zu verringern, soll es in kleinere Sub-Systeme unterteilt werden. Um die praktischen Vor- und Nachteile verschiedener Aufteilungen zu untersuchen, soll das Arbeitssystem einmal in zwei und einmal in drei Sub-Systeme unterteilt werden. Betrachtet wird für die Partitionierung die Jahresproduktionsmenge.

4.2 Aufteilung in zwei Cluster

Für die Aufteilung der Bauteile des Arbeitssystems in zwei Sub-Systeme ergab sich die Aufteilung gemäß den Tabellen 1 und 2.

	Größe [%]	Bauteile [Stck.]	Baugruppen [Stck.]
Cluster 1	38,10%	56	20
Cluster 2	61,90%	91	63

Tabelle 1: Größenaufteilung für 2 Sub-Systeme

Insgesamt gibt es 44 Punkte $P_{ij} > 0$ in der Matrix, die Überschneidungen darstellen (714 bei Berücksichtigung des Produktionsvolumens), allerdings nur insgesamt 28 Bauteile, da mehrere Überschneidungen in einer Spalte der Matrix das gleiche Bauteil repräsentieren.

	Cluster 1	Cluster 2
Cluster 1	0	4/210
Cluster 2	40 / 504	0

Tabelle 2: Überschneidungen zwischen den Clustern der Aufteilung gemäß Tabelle 1

Bei der Aufteilung des Arbeitssystems wurde eine Größertoleranz von $\pm 25\%$ verwendet, um mehr Tauschoperationen zu erlauben und so bessere Ergebnisse zu erzielen. Dies führt aber auch zu einem leichten Ungleichgewicht in der Größenverteilung.

Durch dieses Ungleichgewicht müssen in einem Montagearbeitsplatz 91 Bauteile bereitgestellt werden, was an einem Standard-Montagearbeitsplatz unter Umständen nicht möglich ist.

4.3 Aufteilung in drei Cluster

Für die Aufteilung der Bauteile des Arbeitssystems in drei Sub-Systeme ergab sich die Aufteilung gemäß den Tabellen 3 und 4.

	Größe [%]	Bauteile [Stck.]	Baugruppen [Stck.]
Cluster 1	29,93	44	20
Cluster 2	29,93	44	22
Cluster 3	40,14	59	41

Tabelle 3: Größenaufteilung für 3 Sub-Systeme

	Cluster 1	Cluster 2	Cluster 3
Cluster 1	0	1/64	3/146
Cluster 2	5/50	0	51/2349
Cluster 3	16/61	43/2851	0

Tabelle 4: Überschneidungen zwischen den Clustern der Aufteilung gemäß Tabelle 3

Bei dieser Aufteilung gibt es 119 Überschneidungen zwischen den drei Sub-Systemen (5521 bei Betrachtung des Produktionsvolumens). Diese werden durch 57 verschiedene Bauteile repräsentiert. Es liegt nah, dass die Anzahl der Überschneidungen bei einer Aufteilung in drei Sub-Systeme höher ist als bei zwei Sub-Systemen, allerdings ist hier die Größenverteilung gleichmäßiger. Hinzu kommt, dass die einzelnen Cluster an sich ebenfalls kleiner sind. Sie können somit auch besser an Standard-Montagearbeitsplätzen bereitgestellt werden.

4.4 Diskussion

Bei Betrachtung der Ergebnisse wird deutlich, dass der hier vorgestellte Ansatz sich zur Aufteilung eines Kommissioniersystems durchaus eignet. Es ist allerdings zu beachten, dass das Verfahren von vielen Koeffizienten abhängt, die dem Anwendungsfall angepasst werden müssen. Die hier vorgestellten Ergebnisse stellen eine gleichmäßige Gewichtung zwischen allen Kriterien her. Es ist somit denkbar, dass auch eine Lösung mit weniger überschneidenden Teilen gefunden werden kann, die ein weniger ausbalanciertes Größenverhältnis hat.

5. Zusammenfassung

Das hier vorgestellte Optimierungsverfahren wurde entwickelt, um das Materiallager von Arbeitssystemen in der manuellen Montage zu partitionieren. Dabei sollten die Überschneidungen zwischen den Clustern, also die Laufwege in der Kommissionierung, gering gehalten werden. Das Optimierungserfahren verwendet im Ansatz Simulated Annealing nach dem Ansatz von Kirkpatrick et.al. Dabei wurden sowohl die Optimierungsgröße, wie in Abschnitt 3.2 beschrieben, als auch das Größenverhältnis der Cluster zueinander, in die Optimierungsfunktion integriert. Das Verfahren wurde auf die Daten eines Herstellers von variantenreichen Serienmaschinen angewendet. Das hier betrachtete Kommissioniersystem wurde in zwei bzw. drei Sub-Systeme unterteilt, um den Kommissionieraufwand zu verringern.

Um den Algorithmus zu verbessern werden alternative Optimierungsfunktionen untersucht. Ferner soll das Problem mit weiteren Partitionierungsalgorithmen gelöst werden, um die Qualität der Ergebnisse besser beurteilen zu können.

Zur Verifizierung der Ergebnisse wird der betrachtete Anwendungsfall praktisch im Unternehmen umgesetzt. Weitere Untersuchungen werden hier die Vor- und Nachteile der Aufteilung des Kommissioniersystems aufzeigen.

Literaturverzeichnis

- [1] D. Korte, K. Wehking, Effiziente Reorganisationsmaßnahmen in manuellen Kommissioniersystemen (2016)
- [2] R. Jaikumar, M. Solomon, Dynamic Operational Policies in an Automated Warehouse, (1990)
- [3] M. Kofler, A. Beham, S. Wagner, M. Affenzeller, W. Achleitner, Slotting Strategien zur Wegoptimierung in dynamischen Logistikzentren, (2012)
- [4] R. Kannan, S. Vempala, A. Vetta, On Clustering: Good, Bad and Spectral, Journal of the ACM, Vol. 51, No.3, May 2004, p497-515
- [5] C.H.Q. Ding, X. He, H. Zha, M. Gu, H. D. Simon, A Min-Max Cut Algorithm for Graph Partitioning and Data Clustering, IEE 2001
- [6] N. Metropolis, A. W. Rosenbluth, M. N. Rosenbluth, A. H. Teller, E. Teller, The Journal of Chemical Physics 21, 1087 (1953)
- [7] S. Kirkpatrick, C. D. Gelatt, Jr., M.P. Vecchi, Optimization by Simulated Annealing (1983)
- [8] S. Kirkpatrick, Optimization by Simulated Annealing: Quantitative Studies, Journal of Statistical Physics, Vol.34, No.5/6, 1984

Das Vorhaben "Montexas4.0" (Förderkennzeichen 02L15A260) wird im Rahmen des Programms „Arbeit in der digitalisierten Welt“ vom BMWF und dem ESF gefördert.

EINE SICH SELBST ORGANISIERENDE PRODUKTION IM EMPIRISCHEN VERGLEICH MIT EINER ZENTRAL GEPLANTEN PRODUKTION

Martin Krockert, Torsten Munkelt, Mario Strucks

Hochschule für Technik und Wirtschaft Dresden, Friedrich-List-Platz 1, 01069 Dresden

Abstract DE: Industrie 4.0 propagiert Selbstorganisation in der Produktion, um flexibler zu produzieren, um schneller und besser auf Störungen und Abweichungen zu reagieren als eine zentral geplante Produktion und um den hohen Rechenaufwand zu reduzieren, den zentrale Planung gemeinhin verursacht. Aktuelle Produktionsplanungssysteme planen allerdings noch immer zentral. Der Beitrag beschreibt den Aufbau und die Funktionsweise einer sich selbst organisierenden Produktion und vergleicht diese Produktion empirisch mit einer zentral geplanten Produktion. Der Vergleich erfolgt anhand technischer Ersatzziele der Produktionsplanung und -steuerung. Um Vergleichbarkeit zu gewährleisten, verwenden beide Produktionen die gleiche Datenbasis und die gleichen Parameter und ist die zentrale Planung ebenfalls selbst implementiert worden. Die sich selbst organisierende Produktion zeitigt im Vergleich zur zentral geplanten Produktion vielversprechende Ergebnisse – insbesondere dann, wenn Störungen und Abweichungen auftreten.

1. Einleitung

Aktuelle ERP-, APS- und ME-Systeme planen die Produktion zentral. Sie unterbreiten „naiven“ Ressourcen Vorgaben, und die Ressourcen melden zurück, in wie weit sie die Vorgaben erfüllt haben. Entsprechend der Rückmeldungen planen die Systeme erneut – zumeist zeitgesteuert nach jedem Tag oder jeder Schicht. Industrie 4.0 nimmt Abstand von zentraler Planung und propagiert Selbstorganisation in der Produktion, welche in mehr Flexibilität, sofortiger Reaktion auf Störungen und Abweichungen und geringeren Rechenaufwand resultieren soll [1].

Der vorliegende Beitrag bestätigt die These, dass eine sich selbst organisierende Produktion möglich ist. Er vergleicht eine sich selbst organisierende Produktion mit einer zentral geplanten und weist empirisch nach, dass die sich selbst organisierende Produktion mindestens ebenso gute Ergebnisse liefert wie die zentral geplante oder sogar bessere [2], wenn die Produktion nicht wie vorgesehen abläuft.

2. Selbstorganisation und Produktion

Selbstorganisation ist immer die Fähigkeit eines Systems. Ein System besteht aus einer Menge von Komponenten, welche interagieren und sich von der Umwelt des Systems unterscheiden. [3] Für Selbstorganisation liegen viele verschiedene Definitionen vor, z. B. „Ein sich selbst organisierendes System ist ein System, das seine Struktur aufgrund seiner Erfahrung ändert und an seine Umwelt anpasst.“ [4] Bestimmte, wichtige Eigenschaften sich selbst organisierender Systeme werden immer wieder aufgeführt [5, 6, 7]:

1. Offenheit: Das System tauscht Materie, Energie oder Informationen mit seiner Umwelt aus.
2. Anpassungsfähigkeit: Das System passt sich an Veränderungen in seiner Umwelt an.
3. Autonomie: Das System und seine Komponenten verarbeiten äußere Einflüsse entsprechend ihrer internen Funktionsweise.
4. Pfadabhängigkeit: Die bisherige Entwicklung des Systems beeinflusst sein zukünftiges Verhalten mehr als seine Umwelt.
5. Emergenz: Durch der Interaktion seiner Komponenten entwickelt das System Strukturen, die sich nicht durch die einfache Funktionsweise der

Komponenten erklären lassen.

6. Indeterminismus: Die Entwicklung des Systems ist schwer vorherzusagen ist, weil sie von zufälligen Ereignissen abhängt bzw. gleiche Eingaben zu unterschiedlichen Entwicklungen führen.

Produktion, selbst ein System, verhält sich im Allgemeinen ebenfalls nicht deterministisch, weshalb analytische Methoden zu ihrer Analyse oftmals fehlschlagen und die hiesige Produktion empirisch mittels ereignisdiskreter Simulation analysiert wird.

3. Die virtuelle Produktion

Um die sich selbst organisierende und die zentral geplante Produktion zu vergleichen, wurde eine virtuelle Produktion erstellt. Sie produziert zwei Arten von Holzspielzeug. Jedes Spielzeug besteht aus einer dreistufigen Stückliste mit 30 Materialien. Jedes Material wird in 1 bis 3 Arbeitsgängen hergestellt. Transportzeiten zwischen den Maschinen werden bislang nicht berücksichtigt, könnten aber als eigenständiger Arbeitsgang modelliert werden.

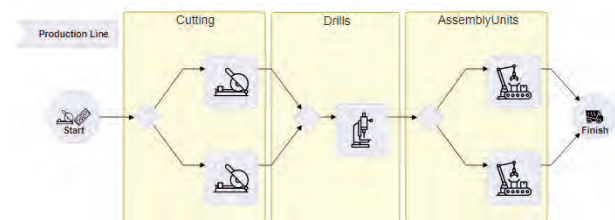


Abbildung 1: Die Produktionslinie zur Herstellung des Holzspielzeugs umfasst zwei Sägen, eine Bohrmaschine und zwei Montagearbeitsplätze.

Während der Simulation treffen neue Kundenaufträge mit exponentialverteilter Zwischenankunftszeit ein, wie es auch von [8, 9] vorgeschlagen wird. Die zu simulierende Zeit der Produktion beträgt zwei Wochen, wobei die Produktion ununterbrochen produziert. Um die Flexibilität der Produktion auf die Probe zu stellen, ist die Bearbeitungsdauer der Arbeitsgänge nicht fix, sondern lognormalverteilt, wie von [10] empfohlen.

4. Eine sich selbst organisierende, agentenbasierte Produktion

Die „intelligenten“ Ressourcen und Materialien der Industrie 4.0 legen Agenten nahe, so dass die sich selbst organisierende Produktion auf ihnen basiert.

Abbildung 2 stellt die Agenten und ihre Kommunikation dar. Zu Beginn existieren der Systemagent (SA), die Lageragenten (LAen), der Verzeichnisagent (VA), die Maschinenagenten (MAen) und die Kommunikationsagenten (KAen). Der SA dient zur Kommunikation des Systems mit seiner Umwelt. Ein KA verwaltet eine Maschinengruppe. Der VA vermittelt KAen an Produktions(auftrags)agenten (PAen).

Wenn ein Kundenauftrag eintrifft, legt der SA einen neuen (Kunden)auftragsagenten (AA) an (1). Der AA legt für jede Kundenauftragsposition Dispositionsagenten (DA) an (2), welche die Produkte aus der Position repräsentieren. Jeder DA fragt den entsprechenden LAen, ob das Material verfügbar ist (3). Falls nicht und Fremdfertigung vorliegt, bittet der LA den SA, das Material zu bestellen (4). Dann informiert der LA den DA über die Verfügbarkeit (5). Ist Material verfügbar, sendet der DA dem AA eine Fertigmeldung (6). Sonst legt der DA einen PAen für das Material an (7). Der PA legt für jede seiner Stücklistenpositionen einen neuen DAen an, und der beschriebene Ablauf beginnt erneut, bis alle Stücklisten vollständig aufgelöst worden sind. Im Rahmen der Stücklistenauflösung kann optional eine Rückwärtsterminierung erfolgen. Jeder PA fordert für jeden seiner Arbeitsgänge einen KA vom VA an (8), und letzterer gibt einen passenden KA zurück (9). Nun sendet der PA eine Anfrage an den KA (10), wann die Maschinen den Arbeitsgang ausführen können. Der KA leitet die Anfrage an jeden seiner MAen weiter (11). Jeder MA errechnet eine Startzeit aufgrund seiner aktuellen Auslastung und gibt sie als Angebot an den KAen zurück (12), der sich für das beste Angebot entscheidet, eine Bestätigung an den entsprechenden MAen sendet (11) und den anfragenden PAen über die Startzeit des Arbeitsganges informiert (13). Der MA ordnet den Arbeitsgang entsprechend seiner Startzeit in seine Warteschlange ein, entfernt diejenigen Arbeitsgänge aus der Warteschlange, die sich durch den neu eingeordneten Arbeitsgang verschieben, und bittet die KAen dieser Arbeitsgänge, neue Anfragen einzuholen (12), weil so andere MAen bessere Angebote unterbreiten können. Weicht die Bearbeitungszeit eines Arbeitsganges von seiner Vorgabezeit ab, greift derselbe Mechanismus zur Neuordnung nachfolgender Arbeitsgänge, so dass die sich selbst organisierende Produktion immer sofort auf Abweichungen reagiert, worin einer ihrer großen Vorteile besteht.

Nachdem eine Maschine einen Arbeitsgang verrichtet hat, sendet ihr MA eine Fertigmeldung an den KAen (12), der die Meldung an den PAen des Arbeitsganges weiterleitet (13), woraufhin der PA den Status des nachfolgenden Arbeitsganges auf „bereit“ setzt, so dass ihn Maschinen bearbeiten können. Wenn kein nachfolgender Arbeitsgang existiert, sendet der PA seine Fertigmeldung an seinen DAen (11) und informiert den LAen über eingehendes Material (15).

Der LA versorgt denjenigen DAen mit dem Material (5), der es am dringendsten benötigt. Nachdem alle DAen eines PAen ihre benötigten Materialien erhalten haben, beginnt die Produktion des PAen, und der beschriebene Ablauf beginnt erneut, bis das Endprodukt fertiggestellt worden ist und der Kundenauftrag erfüllt werden kann.

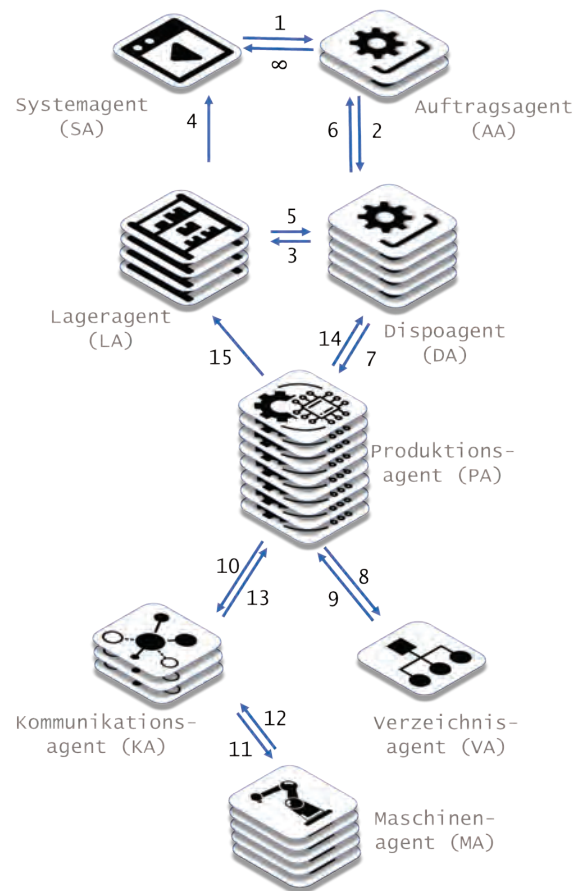


Abbildung 2: Konzept der sich selbst organisierenden Produktion

5. Ergebnisse der empirischen Untersuchung

5.1 Test unter Idealbedingungen

Tabelle 1 beinhaltet die für die Simulation verwendeten Parameterwerte. Die Produktion erreicht nach 24 Stunden ihren stationären Zustand. Für den ersten Lauf wurden die Parameter so gewählt, dass beide Produktionen gute Ergebnisse liefern.

Tabelle 1: Parameter, deren Beschreibung und Werte für die [z]entral geplante und die sich [s]elbst organisierende Produktion.

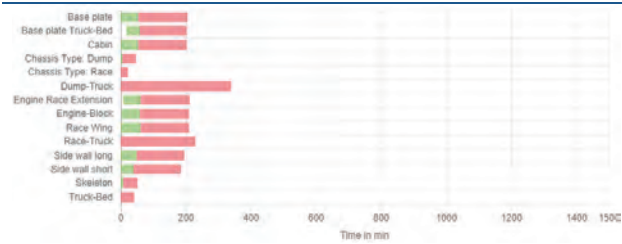
	Beschreibung	Typ	Werte
Abweichung	Abweichung der Bearbeitungszeit eines Arbeitsgangs	z+s	0/20/40 %
Losgröße	Losgröße der Materialien	z	1/5/10 Stk.
Planungshorizont	Zeitbeschränkung in der Aufträge berücksichtigt werden	z	8/24/32 h
Planungsintervall	Zeitintervall zur Neuplanung von alten und neuen Aufträgen	z	8/24 h
Auftragsdauer	Ø Dauer vom Auftrags- eingang zum Liefertermin	z+s	48/72 h

Für eine ausgeglichene Produktion sorgten 20 % Abweichung der Bearbeitungszeiten, Losgröße 1, ein Planungshorizont von 32 Stunden, ein Planungsintervall von 24 Stunden und eine durchschnittliche Lieferzeit von 72 Stunden. Beide Produktionen erreichten eine Termintreue von 100 % und eine durchschnittliche Maschinenauslastung von 80 %. Deutlich unterschieden sich jedoch die durchschnittlichen Durchlaufzeiten: Während die zentral geplante Produktion eine durchschnittliche Durchlaufzeit von nur vier Stunden aufwies, wurden die Endprodukte von der sich selbst organisierenden Produktion in durchschnittlich acht Stunden gefertigt. Verursacht wird die höhere Durchlaufzeit durch längere Liegezeiten der einzelnen Zwischenerzeugnisse, die sich wiederum auf zwei Ursachen zurückführen lassen: Erstens beginnt die sich selbst organisierende Produktion so früh wie möglich mit der Produktion, und zweitens versucht der von der zentralen Planung verwendete Giffler-Thompson-Algorithmus, die Arbeitsgänge so eng wie möglich zusammenzuhalten.

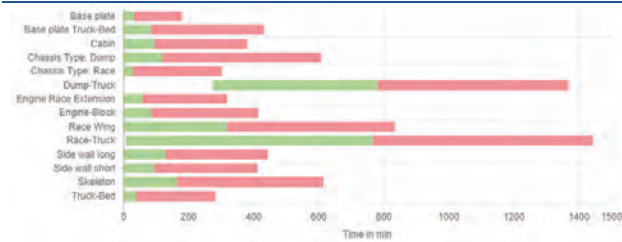
Tabelle 2: Liegezeiten der Materialien: Grün entspricht den unteren, Rot den oberen 50 % der gemessenen Werte. Der Median liegt an der Grenze von Grün zu Rot.

Liegezeit bei ±20% Abweichung der Bearbeitungszeit

... in der zentral geplanten Produktion



... in der sich selbst organisierenden Produktion



5.2 Test unter Stress

Um die Flexibilität der Produktionssysteme unter sub-optimalen Bedingungen zu testen, wurden der Planungshorizont der Produktion auf 24 Stunden begrenzt und die Lieferzeiten auf durchschnittlich 48 Stunden herabgesetzt. Auch mit diesen Parametern erreichten beide Produktionssysteme eine durchschnittliche Maschinenauslastung von 80 %. Die Durchlaufzeit veränderte sich kaum, jedoch hielt die zentral geplante Produktion nur 14 % der Liefertermine ein, wohingegen die sich selbst organisierende Produktion weiterhin 100 % der Termine einhielt. Tabelle 3 zeigt die Ergebnisse der Simulation in Bezug auf die Termintreue. Die sich selbst organisierende Produktion war nicht nur in der Lage, sich den Bedingungen anzupassen und 100 % der Termine zu halten, sondern produzierte auch 41 Produkte mehr.

Tabelle 3: Termintreue der Produkte mit 20% Abweichung der Arbeitsgangdauer und durchschnittlich 48 Stunden Lieferzeit.

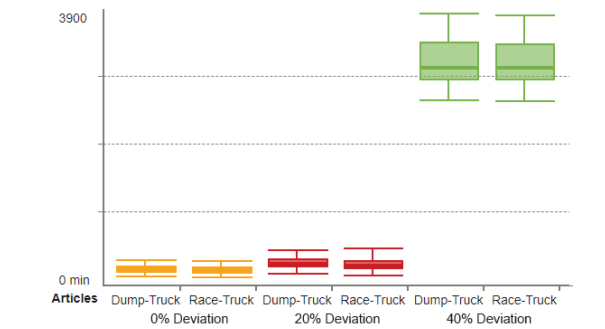
Parameter	Ergebnisse	
	Zentral geplant	selbstorganisierend
Termintreue in [%]		
Menge in [Stk.]	385	423
Max/Min Abweichung vom Liefertermin [min]	-320/385	-1431/-7

Um die Termintreue der zentral geplanten Produktion zu verbessern, wurden sowohl fixe Losgrößen auf 5 und 10 festgelegt als auch die Planungsintervalle auf 8 Stunden herabgesetzt. Keine der Maßnahmen zeitigte den erhofften Erfolg, da die Kundenaufträge immer noch schneller und unregelmäßiger eintrafen, als dass die zentrale Planung sie verarbeiten konnte.

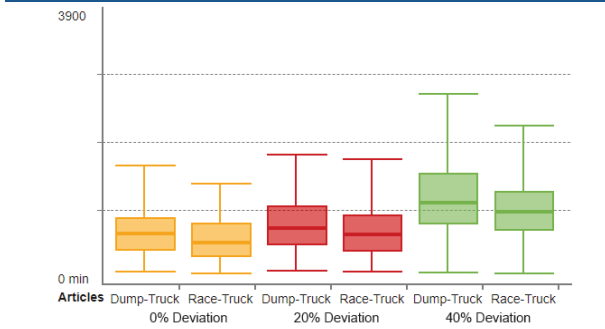
Tabelle 4: Vergleich der Durchlaufzeiten von links nach rechts mit 0%, 20% und 40% Bearbeitungszeitabweichung

Durchlaufzeit bei ±20% Abweichung der Bearbeitungszeit

... in der zentral geplanten Produktion



... in der sich selbst organisierenden Produktion



Während der Produktion treten viele Störungen auf, z. B. Krankheit des Personals, Maschinenausfall, Qualitätsmängel usw. Alle Störungen lassen sich in einer sich verändernden Bearbeitungszeit ausdrücken. Daher variiert die Bearbeitungszeit zufällig um ±20 % und ±40 %. Tabelle 4 zeigt, dass die sich selbst organisierende Produktion mit den Abweichungen der Bearbeitungszeit umgehen konnte und selbst bei ±40 % Abweichung noch 94 % aller Termine einhielt. Die zentral geplante Produktion hingegen stellte bei ±40 % Abweichung kein einziges Produkt rechtzeitig fertig. Die Durchlaufzeit in der zentral geplanten Produktion stieg von 200 Minuten (bei ±20% Abwei-

chung) auf über 3.000 Minuten (bei $\pm 40\%$ Abweichung) im Durchschnitt. Im Gegensatz dazu stiegen die Durchlaufzeiten in der sich selbst organisierenden Produktion moderat auf im Durchschnitt nur 1100 Minuten zu Herstellung eines Produktes (bei $\pm 40\%$ Abweichung).

In weiteren Tests wurde versucht, die Durchlaufzeit der sich selbst organisierenden Produktion zu verringern, wofür der Start der Produktionsaufträge verzögert wurde, bis die Differenz aus dem gewünschten Fertigstellungszeitpunkt und der maximalen Durchlaufzeit aus dem vorangegangenen Simulationslauf erreicht oder unterschritten wurde. Dadurch wurde im Durchschnitt eine ähnlich gute Laufzeit erzielt wie bei der zentral geplanten Produktion (siehe Tabelle 5).

Tabelle 5: Vergleich der Durchlaufzeiten - [gelb] zentral geplante und [rot] sich selbst organisierende Produktion

Vergleich der Durchlaufzeiten bei 20 % Abweichung der Bearbeitungszeit und verzögertem Produktionsstart

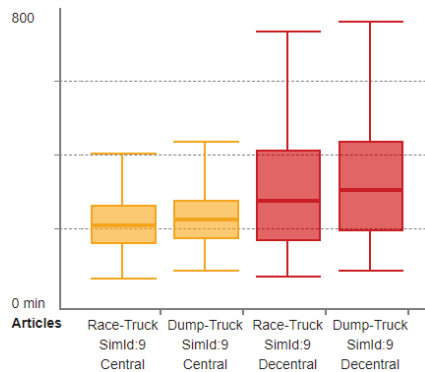
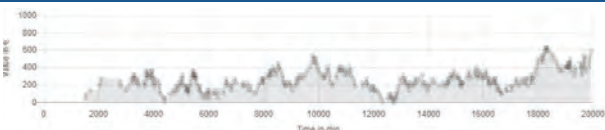


Tabelle 5 zeigt, dass sich die Quartile der sich selbst organisierenden Produktion mehr als doppelt so weit ausdehnen wie die der zentral geplanten Produktion. Um diesem Effekt entgegenzuwirken und noch bessere Ergebnisse zu erzielen, werden zukünftig bestimmte Prioritätsregeln getestet und belastungsorientierte Mechanismen etabliert.

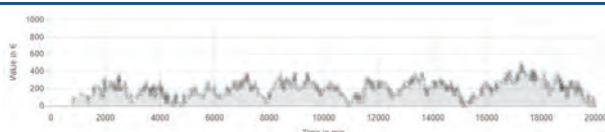
Tabelle 6: Lagerbestandsentwicklung über der Zeit.

Vergleich der Lagerbestände bei 20 % Abweichung der Bearbeitungszeiten . . .

. . . in der zentral geplanten Produktion



. . . in der sich selbst organisierenden Produktion



Wie Tabelle 6 zeigt, konnten mit dem verzögerten Start nicht nur die Durchlaufzeiten deutlich reduziert, sondern auch der Wert der durchschnittlichen Lagerbestände während der Produktion verringert werden.

6. Zusammenfassung

Das Ziel der Forschung bestand darin, ein Konzept einer sich selbst organisierenden Produktion zu erstellen, sie prototypisch zu entwickeln und empirisch zu untersuchen, wofür die sich selbst organisierende Produktion gegen weit verbreitete und viel genutzte zentrale Planungsalgorithmen antrat. Die Ergebnisse zeigen nicht nur, dass eine sich selbst organisierende Produktion möglich ist, sondern auch, welche Vor- und Nachteile eine solche Produktion mit sich bringt. Während die zentral geplante Produktion den ursprünglichen Plan nicht einhielt, reagierte die sich selbst organisierende Produktion sofort auf Veränderungen und passte ihre Bearbeitungsreihenfolgen an. Der Nachteil der sich selbst organisierenden Produktion liegt in längeren und stärker streuenden Liege- und Durchlaufzeiten.

Literaturverzeichnis

- [1] H. Lasi, „Industrie 4.0,“ Wirtschaftsinformatik, pp. 261-264, 04 04 2014.
- [2] B. Scholz-Reiter, M. Görges und T. Philip, „Autonomously controlled production systems—Influence of autonomous,“ in CIRP Annals - Manufacturing Technology, Bremen, 2009.
- [3] W. F. Buckley, Society - a Complex Adaptive System: Essays in Social Theory, Amsterdam: Gordon and Breach, 1998.
- [4] W. Clark und B. Farley, „Simulation of self-organizing systems by digital computer,“ Transactions of the IRE Professional Group on Information Theory, Bd. 4, Nr. 4, p. 8, 1954.
- [5] S. Camazine, J.-L. Deneubourg, N. R. Franks, J. Sneyd, T. Guy und B. Eric, Self-Organization in Biological Systems, Woodstock: Princeton University Press, 2003.
- [6] M. Köhler-Bußmeier, „Koordinierte Selbstorganisation und selbstorganisierte Koordination,“ Hamburg, 2010.
- [7] S. Kauffman, At Home in the Universe: The Search for the Laws of Self-Organization and Complexity, Oxford : Oxford University Press, 1996.
- [8] J. Košturiak und M. Gregor, Simulation von Produktionssystemen, Wien: Springer Verlag, 1995.
- [9] I. N. Bronstein, K. A. Semendjajew, M. Gerhard und H. Mühlig, Taschenbuch der Mathematik, Frankfurt am Main: Harri Deutsch, 2016.
- [10] S. Völker, Reduktion von Simulationsmodellen zur simulationsbasierten Optimierung in der Termin- und Kapazitätsplanung, Frankfurt am Main: Peter Lang Verlag, 2003.

KOMPLEXITÄTSBEWÄLTIGUNG IN DER SMART FACTORY - BEITRAG ZUR ABSICHERUNG DES VERNETZTEN, ADAPTIVEN PRODUKTIONSSYSTEMS

Samuel Horler, Egon Müller

Technische Universität Chemnitz, Professur Fabrikplanung und Fabrikbetrieb, Erfenschlager Str. 73, 09125 Chemnitz

Aus der in Wissenschaft und Industrie umfassend erforschten vierten industriellen Revolution resultieren diverse Herausforderungen, um diese neue Art der Produktion von der Prototypen-Phase, hin in einen nutzbringenden industriellen Einsatz zu überführen. Während viele technologische Lösungen als marktreif bezeichnet werden können, bleiben gleichzeitig Aufgaben der Planung und Organisation ungelöst. Dieser Beitrag fokussiert das Produktionssystem der Smart Factory als elementares Gestaltungselement der Fabrikplanung und führt in eine Systematik ein, mit der dieses bezüglich ihrer Struktur abgesichert werden kann. Dazu werden eingangs Einflüsse aus der Systemumwelt sowie interne Verhaltenseinflüsse der Produktion identifiziert, welche die in der Planung und im Betrieb zu bewältigende Komplexität ansteigen lassen. Anschließend wird ein aus fünf Subsystemen bestehendes Lenkungsmodell vorgestellt, welches den methodischen Kern einer strukturellen Absicherung des Produktionssystems bildet und auf die Maximierung der strukturellen Fitness abzielt.

1. Einleitung

Bereits in der Vergangenheit sahen sich produzierende Unternehmen Makrotrends gegenübergestellt, welche entscheidende Einflüsse auf die Art und Rahmenbedingungen der Produktion ausübten. Neben einigen nur temporär relevanten Trends, wurden als wesentliche Veränderungstreiber in jüngerer Vergangenheit insbesondere die weiter voranschreitende Globalisierung, die hohe Volatilität und Dynamik der Märkte sowie ein Wertewandel hin zur Individualisierung und Nachhaltigkeit identifiziert [1, 2]. In jüngerer Vergangenheit wird die digitale Transformation der Wertschöpfung als der wesentliche Lösungsansatz für diese Herausforderungen angesehen [3, 4]. Mit dem Schlagwort 'Industrie 4.0' wurde ein Zukunftsprojekt initiiert, welchem bereits durch das Synonym 'Vierte industrielle Revolution' die nötige Signifikanz beigemessen wurde. Die Industrie 4.0 wird durch die freie und selbstständige Vernetzung aller beteiligten Instanzen der Wertschöpfungskette charakterisiert. Im Kern zeichnet sich diese durch den Umgang mit hoch individuellen Kundenprodukten sowie die Selbstorganisation der cyber-physischen Fabrikobjekte (CPS) aus [5, 6]. Der Mensch nimmt indes immer mehr die Rolle des Problemlösers auf allen Ebenen der Fabrik ein - in manuellen Tätigkeiten wird er hingegen durch technische Hilfsmittel unterstützt oder teilweise ersetzt [5].

Ein zentrales Konzept, das den Ort der zukünftigen Wertschöpfung beschreibt, ist die 'Smart Factory'. Es wird ein Produktionssystem definiert, welches die Optimierung des Fabrikbetriebs durch Verbesserung und Beschleunigung der Kommunikation anstrebt und gleichzeitig den Menschen bei der Ausführung seiner Aufgaben kontextbezogen unterstützt. [5] Dieses Verhalten ermöglicht es, den Anforderungen nach hoch individualisierten Kundenprodukten bei gleichzeitig hohen Stückzahlen zu begegnen. Der klassische Produktlebenszyklus verringert sich im Extremfall so weit, dass er nur noch ein individuelles Produkt umfasst. Die daraus folgende Verkürzung der Prozesslebenszyklen wird durch die Selbstorganisation der Smart Factory realisiert, wodurch eben-

falls die Fabrikausrüstung (Fabriklebenszyklus) beeinflusst wird.

Nicht nur die Betriebsphase, sondern auch die Planung und Organisation der Produktionsstätte wird von diesen einschneidenden Veränderungen betroffen sein. Es resultieren zahlreiche neuartige Anforderungen, welche durch klassische Planungsvorgehen nicht abgedeckt werden können. [7, 8] Dieser Beitrag zielt darauf ab, die internen (endogenen) und externen (exogenen) Anforderungen an zukünftige Produktionssysteme aufzuzeigen sowie den Bedarf nach einer ganzheitlichen Absicherung der Struktur des Produktionssystems darzulegen. Mit dem Modell der Fitnesslandschaften sowie dem Lenkungsansatz des lebensfähigen Systems, werden anschließend zwei Lösungsansätze vorgestellt, mit denen diesen Herausforderungen begegnet werden kann.

2. Problemstellung – Steigende endogene und exogene Komplexität

Aus allgemeiner Sicht, wird ein Produktionssystem als ein soziotechnisches System definiert, welches Input (z.B. Methoden, Material, Energie) in wertschöpfenden und assoziierten Prozessen (z.B. Fertigung, Montage) zu Output (z.B. Produkte, Reststoffe) transformiert [9]. Neben dem Gebäude- sowie dem Ver- und Entsorgungssystem, bildet damit das Produktionssystem den dritten essenziellen Pfeiler eines Fabriksystems [10]. Auf die Fabrik und insbesondere auf das Produktionssystem wirken wesentliche Komplexitätstreiber, hervorgerufen durch die angedeuteten Trends und Einflüsse aus dem Umfeld einer Fabrik (Bild 1).

Zum einen entstehen Komplexität und Dynamik bzgl. der sich verändernden Kundenanforderungen und insbesondere der Produktvarianz. Der Trend hin zur 'Production on demand', einer damit einhergehenden Reaktionsschnelligkeit sowie geforderten Innovationsfähigkeit, tragen zu unvorhersehbaren Produktionsprogrammen bei. Zukünftig wird zudem der Zusammenarbeit in Kooperationsnetzwerken eine erhöhte Relevanz beigemessen, wobei einzelne Unternehmen definierte Dienste im Netzwerk anbieten. Außerdem erhöht sich durch disruptive technologische

Innovationen die Gefahr von strategischen Fehlentscheidungen im Unternehmen. Diese exogene Komplexität mündet in einer benötigten Leistungskomplexität, welche an die Funktionen der Fabrik, repräsentiert durch die angebotenen Dienste der Smart Factory, gestellt werden. Aus den Anforderungen dieser Dienste erfolgt deren Umsetzung durch die Struktur des Produktionssystems.

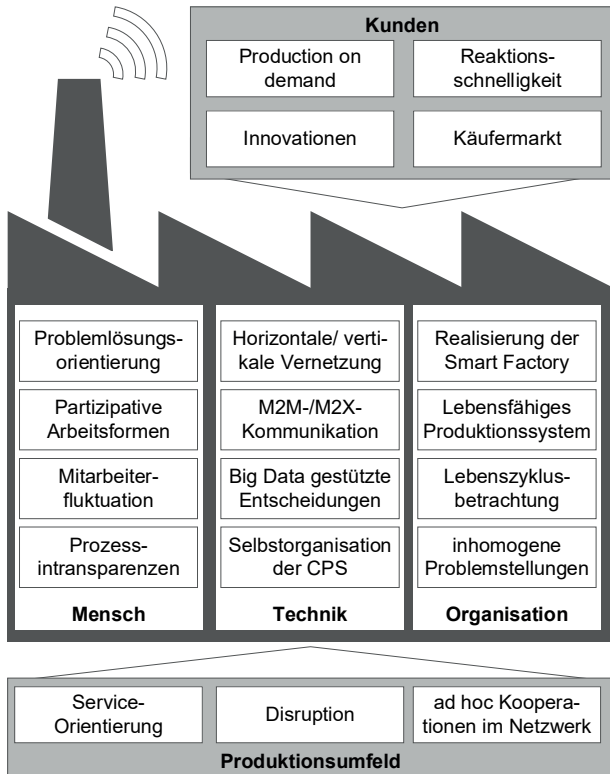


Bild 1: Erhöhte Komplexität mit Wirkung auf die Struktur des Smart Factory Produktionssystem

Aus interner Perspektive (endogene Komplexität) können Einflüsse auf künftige Produktionssysteme aus Sicht des Menschen, der Technik sowie der Organisation identifiziert werden. Technologisch kommen in der Smart Factory cyber-physische Systeme zum Einsatz, die durch einen definierten Grad an Selbstorganisation eine adaptive Fertigung realisieren und damit die eigentliche Fertigungssteuerung der Produkte an Bedeutung verliert. Dadurch gewinnt neben der statischen Strukturkomplexität die Verhaltenskomplexität, hervorgerufen durch die autonomen Einheiten, an Bedeutung. Als Folge können Prozesse durch den Menschen weniger leicht erkannt und analysiert werden. Daten, ob historische oder in Echtzeit aufgenommene, sind als wertvolle Ressource zu sehen, um daraus Entscheidungen abzuleiten. Der Wandel der Arbeitswelt hin zu partizipativen Arbeitsformen, ermöglicht die Integration von Problemlösungsaktivitäten und damit die Erschließung von dezentralem Potenzial bei Mitarbeitern in der Fabrik.

Organisatorisch resultiert aus diesen neuen Gegebenheiten eine erhöhte Interdisziplinarität während der Planung sowie des Betriebs des Produktionssystems, was wiederum den Entwicklungsprozess einer Produktion hin zur Smart Factory erschwert und inhomogene Problemstellungen generiert.

Insgesamt kann diese Art von Produktionssystem als komplex und lebensfähig charakterisiert werden, da es sich an wandelnde Umstände in seiner Umgebung anpasst, Erfahrungen aufnimmt und diese verwertet, seine Identität bewahrt sowie sich fortlaufend weiterentwickelt [11]. Nach Malik [11] müssen derartige Systeme einer strategischen Lenkung über ihren Lebenszyklus hinweg unterzogen werden. Nach dem Gesetz von Ashby kann ein System mit einer gegebenen Komplexität nur mit einem mindestens ebenso komplexen System kontrolliert werden [12]. Dieses Gesetz der erforderlichen Varietät besagt demnach, dass Systeme zur Beherrschung und Lenkung von Komplexität ebenso viele Zustände wie das Originalsystem bereithalten müssen.

3. Strukturelle Absicherung des Produktionssystems

Als ein Teil der Unternehmensstrategie, wird die Produktionsstrategie in der Literatur als „Leitlinie zur Umsetzung der Unternehmensziele in Produktions- und Entwicklungsziele zur Steigerung des Kundennutzens“ definiert [13]. Das Ziel besteht demnach in der anforderungsgerechten Auslegung des Produktionssystems aus struktureller und methodischer Sicht.

Der vorliegende Beitrag rückt die Struktur des Produktionssystems in den Fokus der Betrachtung. Eine einheitliche Definition des Begriffes besteht in der Fachliteratur nicht. In diesem Beitrag wird sich an die Definition der Autoren Kobylika und Hildebrand angelehnt, nach welchen die Fabrikstruktur die Art und Anzahl der technischen und personellen Ressourcen eines Fabriksystems sowie deren zeitlichen und räumlichen Relationen untereinander beschreibt [14, 15].

Bild 2 stellt die strukturelle Gliederung eines Produktionssystems dar. Demnach sind folgende Inhalte für die technischen und personellen Ressourcen sowie deren Organisation gezielt auszulegen:

- ≠ Einsatz von Fertigungstechnologien
- ≠ Dimensionierung von Ressourcen
- ≠ Zeitliche Struktur (Prozesse)
- ≠ Räumliche Struktur (Layouts)

Für die umfassende Beschreibung der Struktur, ist zudem in Material-, Informations- und Energieflüsse zu unterscheiden.

Aus den in Abschnitt 2 dargestellten Anforderungen, wird geschlussfolgert, dass eine Absicherung der Struktur des komplexen, adaptiven Produktionssystems notwendig wird. Nur so kann eine Konfiguration des Produktionssystems gefunden werden, die den externen Anforderungen, unter Nutzung neuartiger interner Gegebenheiten, bestmöglich entspricht. Dementsprechend besteht der Bedarf nach einem methodischen Ansatz für die Ableitung von Produktionsstrategien.

Eine systematische Literaturrecherche ergab, dass im aktuellen Stand der Wissenschaft und Technik bisher keine Ansätze existieren, welche die gestellten Anforderungen in Gänze berücksichtigen. In den Forschungsfeldern der Wandlungsfähigkeit, der Fabrik-

planung, der Digitalen Fabrik und Digitalen Transformation sowie des Komplexitätsmanagements existieren jedoch spezifische Artefakte, welche als Grundlage für die Forschung dienen sollen.

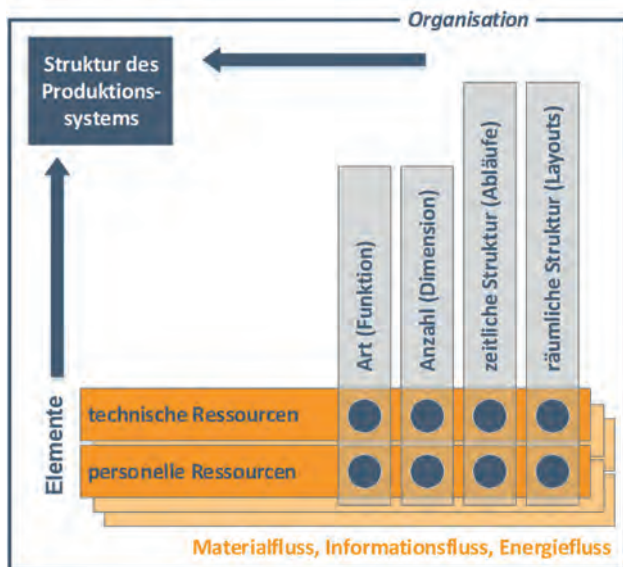


Bild 2: Struktur eines Produktionssystems (Darstellung i.A.a. [15])

Für die strukturelle Absicherung der Produktionssystems, wurden folgende Lösungsansätze herausgearbeitet:

- ≠ Definition des Smart Factory Produktionssystems als komplex und lebensfähig
- ≠ Absicherung auf Grundlage normierter, sozio-technischer Struktureinheiten
- ≠ lebenszyklusorientierte Betrachtung
- ≠ Komplexitätsbeherrschung durch Systemstrukturen (Lenkungsstrukturen, Verhaltensstrukturen der CPS)
- ≠ Komplexitätsbeherrschung durch Problemlösen (konstruktivistisch, evolutionär)

4. Strukturelle Fitness und Fitnesslandschaft

Ein Modell, wie sich eine Population komplexer adaptiver Systeme entwickelt und welche Formen von Strukturen langfristig überleben, wurde von Kauffman entwickelt [16]. Das NK-Modell der 'Fitness-Landschaft' stellt einen Zusammenhang her zwischen verschiedenen Kombinationen alternativer Systemstrukturen und deren Beitrag zur Sicherung des Systemfortbestandes. Das Ausmaß, mit dem eine bestimmte Struktur den Fortbestand sichert, wird als organisationale 'Fitness' bezeichnet. Gemeint ist damit der Grad an Leistungsfähigkeit im Sinne einer Überlebensfähigkeit. Eine Fitness-Landschaft wird über einen mehrdimensionalen Raum aufgespannt, in dem jede mögliche Eigenschaft eines Systems durch eine einzelne Dimension abgebildet wird. Die Ausprägungen dieser Eigenschaften stellen die Wahlmöglichkeiten für die Systemgestaltung dar. Eine Kernfrage ist, wie sich ein Suchvorgang gestaltet, um ein höheres Niveau an Fitness zu erreichen. [17]

McCarthy überträgt das Modell der Fitnesslandschaften auf die Fertigung [18]. Bezugnehmend auf dessen

Ausführungen, ist die strukturelle Fitness hier als eine Eigenschaft der Struktur des Produktionssystems zu verstehen, über einen längeren Zeitraum gegenüber Veränderungen ihrer Umwelt anpassungsfähig zu sein und gleichzeitig die wirtschaftliche Wertschöpfung sicherzustellen. Dies bedarf der Voraussetzung, dass relevante Veränderungen erkannt werden und geeignete Maßnahmen zur Anpassung ausgewählt und umgesetzt werden können [18].

Bei diesem Modell steht N für eine Folge von Elementen, wobei jedes Element eine Fähigkeit (Capability) des Produktionssystems darstellt. Für jede Capability existiert eine Reihe von Zuständen, welche deren Ausprägungen im jeweiligen System charakterisiert. Jede Konfiguration eines Produktionssystems wird von den gewählten Zuständen beschrieben und ist Teil einer N -dimensionalen Landschaft. Der Parameter K beschreibt den Grad der Konnektivität zwischen den Systemelementen (Capabilities). Für $K=0$ gestaltet sich die Landschaft verhältnismäßig glatt, mit einem globalen Gipfel der höchsten Fitness (Bild 3, oben). Erhöht sich K bis hin zum Maximum $K=N-1$, dann wird die Landschaft zunehmend zerklüftet und die Anzahl der Gipfel steigt an (Bild 3, unten).

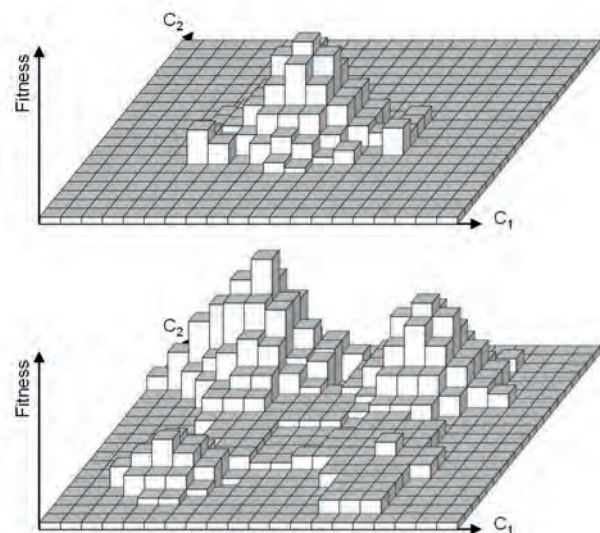


Bild 3: Zweidimensionale Fitnesslandschaften ($N=2$)

Bei der Auslegung eines Produktionssystems muss das Ziel folglich immer darin bestehen, den Zustand maximaler Fitness zu erreichen. Das Modell der strukturellen Fitness stellt hier also die obersten Leitlinien zur Verfügung, spannt gleichzeitig eine mehrdimensionale Fitness-Landschaft auf und dient als Wegweiser für die Optimierung des Fitness-Grades.

5. Kybernetisches Lenkungsmodell

Auf Grundlage der Problemkonstellation sowie des Standes der Wissenschaft, wurde das in Bild 4 illustrierte kybernetische Lenkungsmodell abgeleitet. Folgende Kernaufgaben soll dieses Modell unter Berücksichtigung operativer, taktischer sowie strategischer Gesichtspunkte erfüllen:

- ≠ Gestaltung der Lenkung der dezentralen Fertigungssteuerung

- ≠ Gestaltung der Fabrikstruktur auf Basis der Fitness-Anforderungen
- ≠ Entwicklung der Capabilities im Abgleich mit übergeordneten und externen Anforderungen (Fitness-Landschaft)

Diese Aufgaben werden von einer zentralen Lenkungs-systematik zur strukturellen Absicherung adressiert. In seinen Ausführungen zur Managementkybernetik stellt Beer das Modell lebensfähiger Systeme (viable systems) vor [19]. Das Modell entstammt einer Analogie-betrachtung zur Funktionsweise des zentralen Nervensystems des Menschen und basiert auf verschiedenen Gestaltungsprinzipien. Es fußt auf dem Grundgedanken, dass jedes lebensfähige System aus fünf Einzelsystemen besteht, welches jeweils Lenkungsaufgaben zugeordnet sind und damit die Lebensfähigkeit des Gesamtsystems ermöglichen.

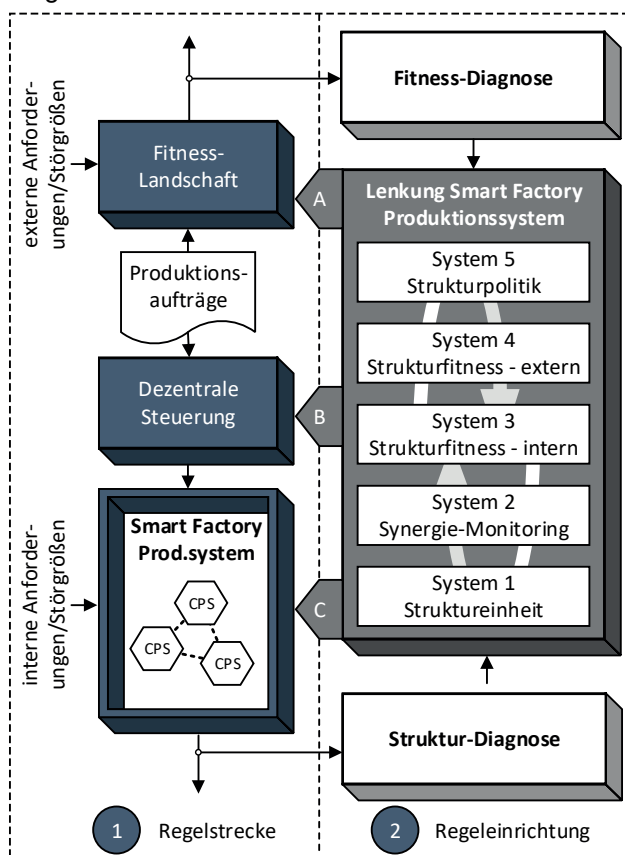


Bild 4: Lenkungsmodell Smart Factory Produktionssystem

Übergeordnet besitzt das Modell also die Funktion der Stelleinrichtung bei gleichzeitiger Erarbeitung von Zielgrößen für die strukturelle Auslegung. In Anlehnung an das Viable System Model, besteht die Aufgabe in der Lenkung von abgegrenzten, autonomen Einheiten eines Systems. Unter der Maßgabe, dass auch das Struktursystem als komplex und adaptiv betrachtet werden kann, ergeben sich fünf Einzelsysteme, die ausgehend von der Lenkung der Struktureinheiten (System 1) bis hin zur Fitness der Gesamtstruktur (System 5) die operative, taktische und strategische Lenkung der Fabrikstruktur vollziehen:

- ≠ System 1: Strukturelle Lenkung durch bestmög-

liche individuelle Ausgestaltung der Struktureinheiten

- ≠ System 2: Lenkung der zeitlichen Struktur zwischen den Struktureinheiten im Sinne größtmöglicher Synergieausnutzung
- ≠ System 3: Lenkung der räumlichen Struktur unter Einbezug von dezentraler Selbstorganisation und übergeordneten Leitlinien
- ≠ System 4: Erfassung, Aufbereitung und Integration externer struktureller Entwicklungen
- ≠ System 5: Lenkung der gesamtstrukturellen Fitness und Bereitstellung von Leitlinien

Diesen Zeithorizonten können wiederum die Kernaufgaben Gestaltung der Lenkung der Fertigungssteuerung, die Gestaltung der Fabrikstruktur sowie deren Entwicklung zugeordnet werden. Die enthaltenen Aufgaben sind organisatorisch in unterschiedlichen Einheiten des Unternehmens verankert. Dieses Modell der Strukturlenkung stellt demnach die personifizierte Schnittstelle des kybernetischen Lenkungsmodells zur Produktion sowie zur Unternehmensumwelt dar. Über die Lenkungseingriffe (A, B, C in Bild 4) finden Anpassungen der Regelstrecke statt.

6. Zusammenfassung und Forschungsbedarf

Durch vielfältige interne und externe Herausforderungen steigen sowohl die endogene als auch die exogene Komplexität bei der Auslegung und während des Betriebs von Produktionssystemen. Insbesondere die steigende Dynamik innerhalb dieses Systems sowie der Transformationsprozess hin zur Smart Factory, lassen einen Ansatz zur Absicherung der Struktur des Produktionssystemes notwendig werden. Im vorliegenden Beitrag wurden die zugrunde liegenden Anforderungen aufgezeigt sowie zwei wesentliche Lösungsansätze konkretisiert. Mit dem Modell der Fitnesslandschaften wird es möglich, die interne mit der externen Komplexität zu harmonisieren. Ein aus fünf Systemen bestehendes zentrales Lenkungsmodell stellt die dafür notwendigen Verfahren bereit.

Insgesamt bilden diese Ausführungen die Säulen für eine weitere Detaillierung des Ansatzes. Zu nennen ist im Kern folgender offener Forschungsbedarf:

- ≠ Entwicklung einer übergeordneten Messmethode für die strukturelle Fitness sowie Verfahren zur Manipulation des Fitness-Grades
- ≠ Detaillierung des Modells der strukturellen Lenkung sowie dessen Zusammenspiel mit der modellbasierten Problemlösung des Reglers

Literaturverzeichnis

- [1] M. Schenk, S. Wirth, and E. Müller, Fabrikplanung und Fabrikbetrieb: Methoden für die wandlungsfähige, vernetzte und ressourceneffiziente Fabrik, 2nd ed. Berlin [u.a.]: Springer Vieweg, 2014.
- [2] C.-G. Grundig, Fabrikplanung: Planungssystematik - Methoden - Anwendungen, 6th ed, 2018.

- [3] B. Vogel-Heuser, T. Bauernhansl, and M.t. Hompel, Eds, Handbuch Industrie 4.0 Bd.4: Allgemeine Grundlagen, 2nd ed.: Springer-Verlag GmbH Deutschland, 2017.
- [4] H. Kagermann, W. Wahlster, and J. Helbig, Umsetzungsempfehlungen für das Zukunftsprojekt Industrie 4.0: Abschlussbericht des Arbeitskreises Industrie 4.0, 2012.
- [5] Lucke and Dominik, "Smart Factory," in Digitale Produktion, E. Westkämper, D. Spath, C. Constantinescu, and J. Lentjes, Eds, Berlin [u.a.]: Springer Vieweg, 2013, pp. 251–269.
- [6] V. Gruhn, "Cyber-Physical Systems: Intelligenz ist eine Summe von Eigenschaften," Industrie 4.0 Management, no. 6, pp. 7–11, 2016.
- [7] J. C. Aurich, C. Steimer, H. Meissner, and N. Menck, "Einfluss von Industrie 4.0 auf die Fabrikplanung: Auswirkungen der besonderen Charakteristika cybertronischer Produktionssysteme auf die Fabrikplanung," wt Werkstattstechnik, vol. 105, no. 4, pp. 190–194, 2015.
- [8] S. Horler and E. Müller, "Strukturplanung zukünftiger Produktionssysteme - Die erforderliche Transformation für die Planung und den Betrieb der Smart Factory," Industrie 4.0 Management, no. 3, pp. 47–55, 2017.
- [9] P. Nyhuis, G. Reinhart, and E. Abele, Eds, Wandlungsfähige Produktionssysteme: Heute die Industrie von morgen gestalten. Hannover, Garbsen: Technische Informationsbibliothek u. Universitätsbibliothek; PZH Produktionstechnisches Zentrum, 2008.
- [10] H. Hopf, Methodik zur Fabrikssystemmodellierung im Kontext von Energie- und Ressourceneffizienz. Wiesbaden: Springer Vieweg, 2016.
- [11] F. Malik, Strategie des Managements komplexer Systeme: Ein Beitrag zur Management-Kybernetik evolutionärer Systeme, 11th ed. Bern: Haupt, 2015.
- [12] W. R. Ashby, An Introduction to Cybernetics. London: Chapman & Hall Ltd, 1970.
- [13] N. Akca and A. Ilas, Produktionsstrategien - Überblick und Systematisierung: Arbeitsbericht Nr. 28. Essen: Institut für Produktion und Industrielles Informationsmanagement, 2005.
- [14] A. Kobyłka, Simulationsbasierte Dimensionierung von Produktionssystemen mit definiertem Potential an Leistungsflexibilität: Dissertation TU Chemnitz. Wissenschaftliche Schriftenreihe des IBF, Heft 24, Chemnitz, 2000.
- [15] T. Hildebrand, Theoretische Grundlagen der bausteinbasierten, technischen Gestaltung wandlungsfähiger Fabrikstrukturen nach dem PLUG+PRODUCE Prinzip. Chemnitz, 2005.
- [16] S. A. Kauffman, The Origins of Order: Self-Organization and Selection in Evolution. New York, Oxford, Toronto, Delhi, Bombay, Calcutta: Oxford University Press, 1993.
- [17] A. Grübner, Bewältigung marktinduzierter Komplexität in der industriellen Fertigung: Theoretische Ansätze und empirische Ergebnisse des International Manufacturing Strategy Survey. Frankfurt am Main, New York: P. Lang, 2007.
- [18] I. P. McCarthy, "Manufacturing strategy: understanding the fitness landscape," in International Journal of Operations & Production Management, 2004, pp. 124–150.
- [19] S. Beer, Brain of the firm: The managerial cybernetics of organization ; companion volume to "The heart of enterprise", 2nd ed. Chichester u.a.: Wiley, 1995.

UNTERSUCHUNGEN ZUM EINFLUSS VON WENDESCHNEIDPLATTENGEOMETRIEN SOWIE DIVERSEER BEARBEITUNGSSTRATEGIEN AUF DIE ENERGIEEFFIZIENZ BEIM SPANEN

Eckhard Wißuwa, Rico Krumbiegel

Hochschule Mittweida, Fakultät Ingenieurwissenschaften, Technikumplatz 17, D-09648 Mittweida

Ein Musterteil aus C45 mit diversen Formelementen wird durch das Fertigungsverfahren Drehen mit Werkzeugen unterschiedlicher renommierter Werkzeughersteller bearbeitet. Die gefahrenen Schnittwerte entsprechen dem Bereich der Werkzeugherstellerempfehlung. Während der Schnittzeit von 15 min wurden die Zerspankraftkomponenten am Werkzeug sowie die benötigte Gesamtleistung der Werkzeugmaschine ermittelt. Das umfangreiche Datenmaterial wurde hinsichtlich folgender Fragestellung ausgewertet:

- Unterscheiden sich die diversen Werkzeughersteller mit ihren spezifischen Wendeschneidplattengeometrien sowie Beschichtungssystemen im Hinblick auf den Werkzeugverschleiß und die benötigte Leistung für das Zerspanen? Wie groß ist der Unterschied?
- Welchen Einfluss üben die Kühlschmierstoffstrategien Nassbearbeitung und Minimalmengenschmierung (MMS) im Vergleich zur Trockenbearbeitung hinsichtlich der notwendigen Leistung beim Spanen sowie der Gesamtleistung der Werkzeugmaschine aus?

1. Einleitung

Nach wie vor werden noch viele Werkstücke durch spanende Verfahren hergestellt. Dabei ist eine effiziente Arbeitsweise einerseits notwendig, um im nationalen sowie internationalen Wettbewerb bestehen zu können und andererseits zwingend erforderlich, um eine verantwortungsbewusste nachhaltige Fertigung umzusetzen. Dabei nimmt u.a. der Verbrauch von Energie bzw. Leistung eine Schlüsselstellung ein. Vielfältige Aktivitäten beschäftigen sich mit einer energieeffizienten spanenden Bearbeitung. Deren Fokus liegt z.B. in der Optimierung der Werkzeugmaschine sowie ihren Komponenten, der Maschinenlaufzeit und des Spanungsprozesses [1], [2]. Innerhalb dieser Untersuchung allerdings, liegt der Schwerpunkt auf dem Vergleich von Drehwerkzeugen renommierter Hersteller sowie Kühlschmierstoffzuführstrategien und deren Auswirkung auf die benötigte Leistung für die Zerspanung sowie Gesamtleistung der Werkzeugmaschine.

2. Vorgehensweise Versuchsreihe 1

Zur Durchführung der Versuche ist ein Musterteil (Bild 1) aus C45 ausgewählt wurden, das diverse Formelemente enthält, die durch das Fertigungsverfahren Drehen hergestellt werden.

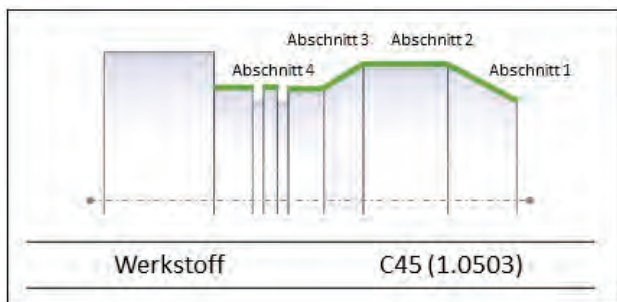


Bild 1: Musterwelle

Die eingestellten Bearbeitungsparameter (Bild 2)

liegen im Bereich der Herstellerempfehlung. Zur Anwendung der Versuche kam eine CNC-Drehmaschine CTX alpha 500 der Firma DMG Mori AG zum Einsatz.

Werkzeughersteller	A	B	C
Wendeschneidplatte			
Bezeichnung (DIN ISO 1832)	VCMT160404	VBMT160404	
Schneidstoff	Hartmetall		
Beschichtung	TiCN+Al ₂ O ₃ +TiCN+TiN		TiN+TiCN+Al ₂ O ₃ +ZrCN
Anwendungsgruppe (DIN ISO 513)	P01-P30	P25 (P15-P35)	P20-P30
Schnittwerte			
v _c [m/min]	250-150 m/min	475-395 m/min	350-150 m/min
f [mm]	0,05-0,25 mm	0,07-0,25 mm	0,07-0,30 mm
a _p [mm]	0,50-2,50 mm	0,23-2,70 mm	0,30-3,0 mm
Klemmhalter (DIN 4983)	SVJCL2020K16	SVJBL2020K16	

Bild 2: Versuchswerkzeuge

Im Bild 3 ist der Versuchsaufbau mit der räumlichen Anordnung der Messgeräte und Auswerteeinheit dargestellt. Die Aufnahme der Zerspankraftkomponenten, die während der Bearbeitung entstehen, erfolgte mit einem 3-Komponenten-Dynamometer (Kistler Instrumente AG).

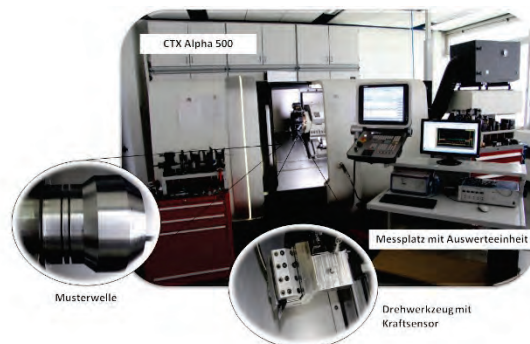


Bild 3: Versuchseinrichtung

Der entstehende Werkzeugverschleiß wurde unter den Bedingungen einer Trockenbearbeitung in Form der Verschleißmarkenbreite beim Längsdrehen des Werkstoffes C45 ermittelt. Dabei kamen Werkzeuge

der Hersteller A, B und C gemäß nachstehender Schnittwerte zum Einsatz:

- Vorschub $f = 0,16 \text{ mm}$,
- Schnitttiefe $a_p = 1,00 \text{ mm}$,
- Schnittgeschwindigkeit $v_c = 150 \text{ m/min}$, 250 m/min und 350 m/min .

Während einer Gesamtlaufzeit von $t_c = 15 \text{ min}$ erfolgt nach $0,5 \text{ min}$, 5 min , 10 min sowie 15 min die Verschleißferrfassung am Werkzeug. Die Versuche wurden dreimal wiederholt.

3. Ergebnisse und Diskussion

Alle getesteten Wendeschneidplatten weisen einen geringen Werkzeugverschleiß auf. Das bestätigt sich mit der maximalen gemessenen Verschleißmarkenbreite nach 15 min Bearbeitungszeit, die unterhalb von $0,2 \text{ mm}$ liegt. Dennoch resultieren aus der unterschiedlichen Werkzeug-Topografie bzw. Beschichtungssystemen Schwankungen des gemittelten Freiflächenverschleißes, die sich im Bereich zwischen $0,057 \text{ mm}$ bis $0,150 \text{ mm}$ befinden. Die Wendeschneidplatten des Anbieters B erweisen sich bei dieser Untersuchung als am verschleißresistentesten. Dies zeigt sich anhand der Bilder 4 bis 6, in denen die Verschleißmarkenbreiten in Abhängigkeit der Schnittzeit dargestellt sind.

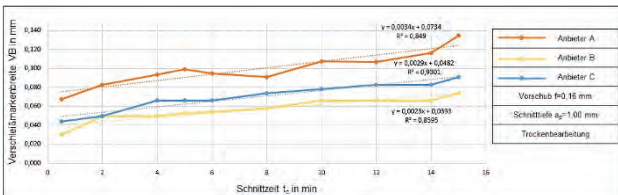


Bild 4: Ausbildung der Verschleißmarkenbreite bei $v_c = 150 \text{ m/min}$

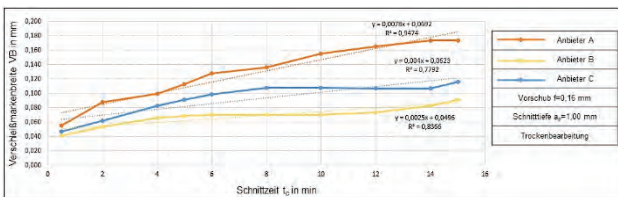


Bild 5: Ausbildung der Verschleißmarkenbreite bei $v_c = 250 \text{ m/min}$

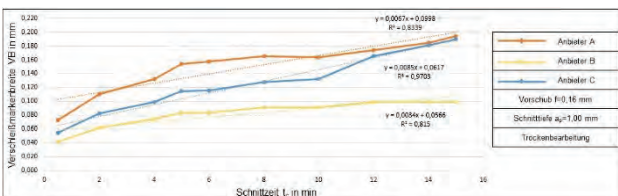


Bild 6: Ausbildung der Verschleißmarkenbreite bei $v_c = 350 \text{ m/min}$

Deutliche Unterschiede sind in den Anstiegen der Verschleißentwicklung zu erkennen. Während beim Hersteller B der Verschleiß über alle drei Schnittgeschwindigkeiten relativ moderat ansteigt, nimmt die Verschleißmarkenbreite bei A und C stärker zu. Beispielsweise unterscheidet sich der

Verschleiß bei einer Schnittgeschwindigkeit von 350 m/min und Bearbeitungszeit von 15 min im Vergleich zwischen Anbieter B und C um $0,091 \text{ mm}$. Gleiches gilt für Anbieter A dessen Verschleiß bei diesen Versuchsbedingungen gegenüber C um $0,099 \text{ mm}$ mehr zunahm. Der Verlauf der in den Bildern 4 bis 6 dargestellten Graphen, zeigt in den ersten 30 s einen starken Anstieg, der den Initialverschleiß darstellt. Durch lineare Regression der ermittelten Messwerte konnten Geradengleichungen erzeugt werden. Der Anstieg dieser Gleichungen gibt den mittleren Verschleißzuwachs der Wendeschneidplatten im untersuchten Bereich wieder. Aus der Betrachtung der Anstiege geht hervor, dass der Verschleiß pro Minute bei den Anbietern A und C, durchschnittlich um $0,002\text{-}0,003 \text{ mm}$ mehr zunimmt als bei der Wendeschneidplatte des Anbieters B. Basierend auf dem Regressionsmodell kann unter der Annahme der Modellgrenzen des stabilen Verschleißfortschrittes z.B. für Anbieter B eine Einsatzzeit der Wendeschneidplatte bis zum Erreichen der $0,2 \text{ mm}$ Verschleißmarkenbreite von 69 min ($v_c = 150 \text{ m/min}$) postuliert werden. Die Wendeschneidplatte von Anbieter A könnte unter den gleichen Bedingungen nur 37 min eingesetzt werden. Unter dem Gesichtspunkt der Ressourceneffizienz erweist sich die Wendeschneidplatte des Anbieters B somit als Ressourcen schonender.

Neben der Analyse des Verschleißverhaltens richtete sich der Fokus, auf die verbrauchte Wirkleistung in der Zerspaltung, der hier vorliegenden Musterteilkontur (siehe Bild 1). Die in dieser Untersuchung angewendeten Schnittwerte und erzielten Ergebnisse sind in Bild 7 dargestellt.

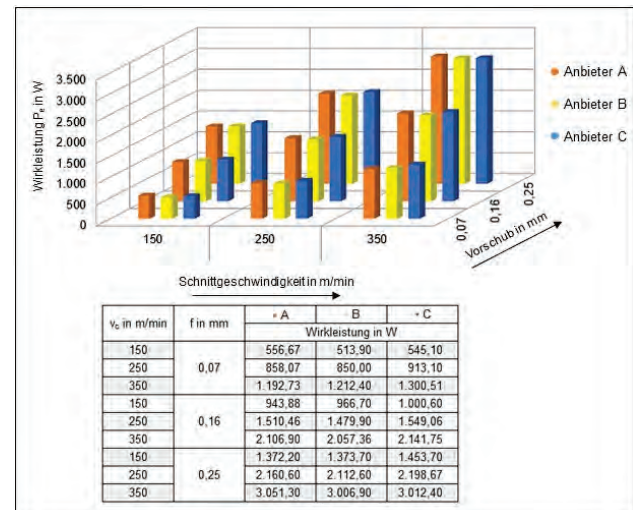


Bild 7: Wirkleistungen Anbieter

Ermittelt wurde die Wirkleistung P_e mit Hilfe der aufgenommenen Schnitt- und Vorschubkräfte anhand der Formel 1-1 [3].

$$P_e = P_c + P_f = F_c * v_c + F_f * v_f \quad (1-1)$$

Die erzielten Ergebnisse sind im Bild 7 zusammengefasst und zeigen zum einen die Abhängigkeit der Wirkleistung von zunehmender Schnittgeschwindigkeit und zum anderen des

ansteigenden Vorschubs. Deutlich ist zu erkennen, dass der größere Bedarf an Leistung mit der Zunahme des Vorschubs einhergeht. Vergleicht man die Werkzeuge der Hersteller untereinander ergeben sich geringe Unterschiede für die notwendige Zerspanungsleistung. Obwohl die Wendeschneidplatten letztendlich über verschiedene Geometrien und Topografie sowie Beschichtungssysteme verfügen, liegen die Abweichungen der minimalen und maximalen Wirkleistung unabhängig von Schnittgeschwindigkeit und Vorschub zwischen durchschnittlich 4-8%.

Während der Versuchsdurchführung erfolgte die Aufnahme der Gesamtleistung, die die Werkzeugmaschine benötigte. Anhand dieser ermittelten Leistungsdaten konnte in Bezug auf die Energiekosten eine Hochrechnung durchgeführt werden. Diese ergab bei einem angenommenen Strompreis von 17,2 Cent/kWh [4], dass die Kosten für eine Bearbeitung von 15 min letzten Endes um 0,01 € schwanken.

Weiterhin ist festzustellen, dass die Unterschiede bei der Bearbeitung hinsichtlich der benötigten Zerspanungsleistung nicht dominant groß sind.

4. Vorgehensweise Versuchsreihe 2

In Anlehnung an die Versuchsreihe mit Drehwerkzeugen unterschiedlicher Anbieter folgten Untersuchungen bezüglich des Einsatzes verschiedener Kühlschmierstoffstrategien. Darin wurden die drei am häufigsten in der spanenden Bearbeitung zur Anwendung kommenden Zuführvarianten: Minimalmengenschmierung, konventionelle Nassbearbeitung und Trockenbearbeitung getestet. Es kamen für die Versuche, die im Bild 2 dargestellten Wendeschneidplatten des Anbieters A zur Anwendung.

Für die Zerspanung der Musterwelle (Bild 1) mittels konventioneller Nassbearbeitung wurde ein teilsynthetischer und wassermischbarer Kühlschmierstoff verwendet, welcher mit Hilfe eines Schlauchsystems an der Werkzeugaufnahme bei einem anliegenden Druck von 12 bar zur Wirkstelle geführt wurde. Bei Anwendung der Minimalmengenschmierung hingegen ist ein externes MMS-System LUBRILEAN® Basic im Einsatz gewesen, dass die Werkzeugschneide mit einem synthetischen Universalschmierstoff auf Esterbasis gekühlt hat.

5. Ergebnisse und Diskussion

Mit Hilfe dieser Untersuchungen konnte festgestellt werden, dass die Nassbearbeitung gegenüber der Trockenbearbeitung sowie Minimalmengenschmierung ca. 12-15 % mehr Gesamtleistung, unabhängig von den eingestellten Schnittwerten, über alle Bearbeitungen hinweg verbraucht. Dies zeigt sich in dem Bild 8, worin die Gesamtleistung in Abhängigkeit der Schnittgeschwindigkeit und des Vorschubs dargestellt ist. Der höhere Verbrauch

liegt allein an der integrierten Kühlschmierstoffpumpe, die ca. 800-1.000 W Leistung benötigt. Vergleicht man die Trockenbearbeitung und Minimalmengenschmierung ergeben sich bei der MMS durchschnittlich 0,5-1,2 % höhere Gesamtleistungen, welche auf das extern benötigte MMS-System zurückzuführen sind.

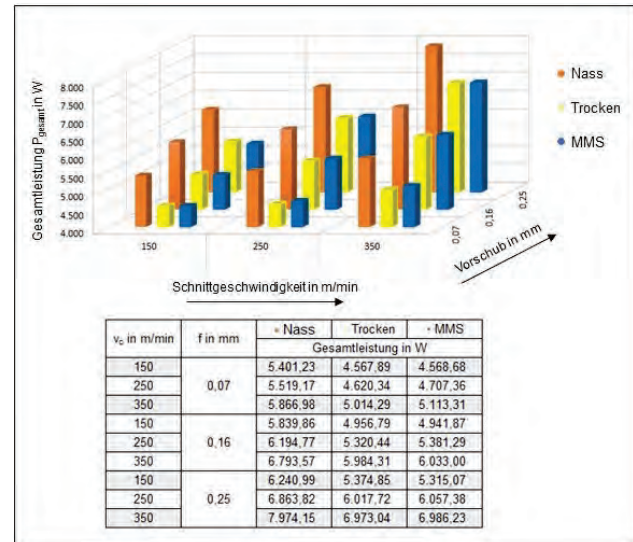


Bild 8: Gesamtleistung KSS-Varianten

Anders sieht es bei der aufgenommenen Wirkleistung aus, die zum Spanen des Materials benötigt wird. Darin sind wesentlich geringere Unterschiede zwischen den Kühlschmierstoffvarianten zu erkennen. Denn die Nassbearbeitung benötigt gegenüber der Trockenbearbeitung bzw. Minimalmengenschmierung nur ca. 1,0-3,0 % mehr Wirkleistung. Deren Ursache noch weiter untersucht werden muss. Vergleicht man die Minimalmengenschmierung mit der Trockenbearbeitung, sind hier sehr geringe Abweichungen abzuleiten wobei die Werte für die Trockenbearbeitung ca. 1,1 % höher liegen. Aus den Bildern 8-9 geht weiterhin hervor, dass auch hier die Zunahme der Gesamt- und Wirkleistung in Abhängigkeit des Vorschubs größer ist, als mit ansteigender Schnittgeschwindigkeit. Dies lässt sich auf den größer werdenden Spanungsquerschnitt zurückführen.

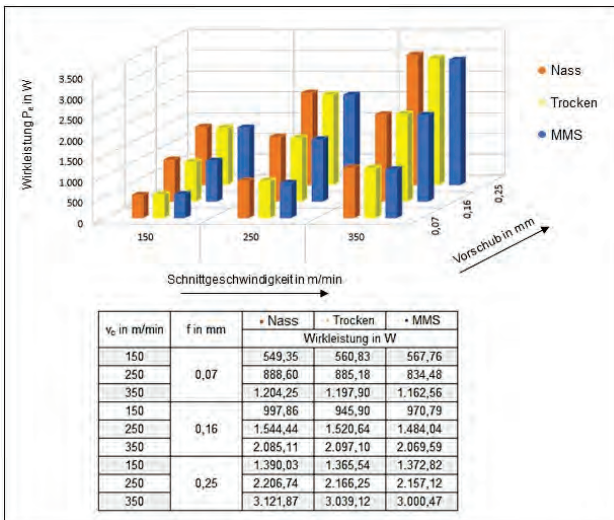


Bild 9: Wirkleistungen KSS-Varianten

Wie bereits in der ersten Versuchsreihe, ist auch hier unter Einbeziehung der Gesamtleistung eine Hochrechnung hinsichtlich Energiekosten erfolgt. Diese ergab einen durchschnittlich preislichen Unterschied von 0,04 € der Nassbearbeitung gegenüber der MMS und Trockenbearbeitung, bei einer Bearbeitungszeit von 15 min.

6. Zusammenfassung und Fazit

Grundsätzlich sind zunächst die ersten Ableitungen getroffen wurden, die zeigen mit welcher Methode es möglich ist Energie im Zerspanprozess einzusparen.

Mit Hilfe der beiden Versuchsreihen konnte nachgewiesen werden, welchen Einfluss Wendeschneidplatten und Kühlschmierstoffvarianten auf die Energie in der spanenden Bearbeitung haben. Darin sind die Unterschiede der eingesetzten Werkzeuge verschiedener Hersteller sehr gering, egal ob dabei die Gesamtleistung oder auch Wirkleistung betrachtet wird. Beim Vergleich der KSS-Varianten sind hingegen deutlichere Abweichungen erkennbar. Hier sind unter den getesteten Bedingungen die Trockenbearbeitung und Minimalmengenschmierung energiemäßig klar im Vorteil.

7. Ausblick

Nachdem die ersten Versuchsergebnisse vorliegen müssen weitere empirische Untersuchungen hinsichtlich der Werkzeuggeometrie sowie gezielter Kühlschmierstoffzufuhr erfolgen. Darüber hinaus werden die einzelnen Abschnitte der Musterwelle genauer untersucht, sprich das bisher erhaltene Datenmaterial wird bezüglich der Zerspanskräfte und Wirkleistungen in dem jeweiligen Bearbeitungsabschnitt ausgewertet, um weitere Erkenntnisse abzuleiten.

Danksagung

Die Autoren danken dem Europäischen Sozialfonds (ESF) und dem Freistaat Sachsen für die Förderung der Nachwuchsforscherguppe „Entwicklung innovativer Verfahrens- und Betriebsmittelmodelle sowie Qualifizierungskonzepte für die ressourceneffiziente Fertigung hochbeanspruchter Bauteile“ – MoQuaRT und dem Projektträger Sächsische Aufbaubank – Förderbank - (SAB).



Literaturverzeichnis

- [1] Kalhöfer, E.; Kress, J. (2013): Wege zu höherer Energieeffizienz in der spanenden Fertigung. Maschinenmarkt, Ausgabe 50/51, S. 24-29.
- [2] Gillhuber, A. (2017): Werkzeuge in die Industrie 4.0 einbinden. Maschinenmarkt, KW5, S. 26-29.
- [3] Paucksch, E.; Holsten, S.; Linß, M.; Tikal, F. (2008): Zerspantechnik – Prozesse, Werkzeuge, Technologien, 12. Vollständig überarbeitete und erweiterte Auflage, Vieweg + Teubner Verlag, Wiesbaden, S. 125ff.
- [4] Bundesverband der Energie-Abnehmer (BDEW), Stand Jan 2018, Online verfügbar unter: <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/252029/umfrage/industriestrompreise-inkl-stromsteuer-in-deutschland-zuletzt-geprueft-am-10.09.2018>

MESSTECHNISCHE ERFASSUNG DES MEDIENVERBRAUCHS UND SIMULATION EINER WERKZEUGMASCHINE ZUR VERBESSERUNG DER ENERGIEEFFIZIENZ

Silvio Hund, Mathias Rudolph
HTWK Leipzig, Karl- Liebknecht- Straße 134, 04277 Leipzig

In der Entwicklungsphase einer Maschine sind oft noch keine Informationen zu den genauen Verbrauchsprofilen vorhanden, insbesondere da diese individuell von den Bearbeitungsprozessen des Endanwenders abhängig sind. Klassisch werden aufwendige Messungen der Medienverbräuche (Luft, Kühlschmierstoff und Energie) durchgeführt, um die zuvor getroffenen Annahmen zu bestätigen. Aufgrund unzugänglicher Messstellen und unvollständiger Prozesskenntnisse existieren kaum Möglichkeiten, genaue Verbrauchsprognosen vorzunehmen. Im Rahmen der Projektkooperation mit einem lokalen Maschinenhersteller entstand ein vollständiges Simulationsmodell der Nebenaggregate einer Werkzeugmaschine. Mit diesem ist es möglich, begleitend zur Entwicklungsphase den Energieverbrauch einer Maschine oder Anlage zu simulieren, und so eine energieoptimale Auslegung vorzunehmen. Weiterhin kann das Modell zu einer Hardware- in the Loop Simulation (Kopplung mit realer Steuerung) verwendet werden, um fertigungstechnische Optimierungspotentiale in der Anwendungsphase zu identifizieren.

1 Einleitung

Die Abkehr von fossilen und nuklearen Energieträgern ist kennzeichnend für die sog. Energiewende. Eine tragende Säule des entsprechenden Beschlusses ist die Forcierung und Förderung des Ausbaus regenerativer Energieformen. Die gesetzten Ziele sind ambitioniert, so sollen bis zum Jahr 2025 schon 40 bis 45 % der Stromerzeugung aus erneuerbaren Energiequellen stammen. Die Auswirkung sind sieben Jahre nach dem Beschluss der Energiewende (2011) als anhaltende Energiepreissteigerung spürbar. Ursächlich hierfür ist unter anderem die EEG-Umlage, welche im Rahmen des Erneuerbaren-Energien-Gesetzes geschaffen wurde. Sie entfällt auf jede bezogene kWh Energie und belastet dadurch vor allem Privathaushalte sowie mittelständische und Kleinunternehmen, aber auch Unternehmen welche nicht unter Sonderregelungen fallen. Aktuell entspricht die Umlagenhöhe 6,79 ct/kWh [1].

Das Thema Energieeffizienz rückt damit weiterhin zunehmend in den Fokus des Maschinen- und Anlagenbaus. Betrachtet werden insbesondere die Lebenszykluskosten, welche zur Erhaltung der Betriebsbereitschaft vom ersten Tag an bis zum Tag nach der Entsorgung der Anlage anfallen. In Abhängigkeit vom Maschinentyp, dem Fertigungsverfahren und der Herstellermarke variieren diese Kosten sehr stark. Den Ausgangspunkt für die nachfolgenden Betrachtungen liefern aus diesem Grund die Resultate einer entsprechenden Voruntersuchung, welche in Abbildung 1 zusammengefasst dargestellt sind. Für einen ausgewählten Maschinentyp eines Leipziger Werkzeugmaschinenherstellers wurden die Kosten für einen Lebenszyklus von zehn Jahren betrachtet. Die wesentlichen Bestandteile bilden die Aufwände für Instandhaltung, Energie und die Aufbereitung sowie Entsorgung der Betriebsmedien, wie zum Beispiel von Kühlschmierstoff (KSS) oder Druckluft (DL). Im untersuchten Fall entsprechen die anfallenden Energiekosten rund 54 T€, was einen

Anteil von 18 % an den gesamten Lebenszykluskosten entspricht. Schätzungen zufolge könnte eine Kostenreduktion von ca. 30 % bereits durch eine Optimierung des Grundlastverhaltens einer Maschine erreicht werden [2]. Realisiert werden könnte diese Einsparung beispielsweise durch die Implementierung eines Standby-Managements für verbrauchsintensive Nebenaggregate (Pumpen, Kühlgeräte, Verdichter etc.). Weiterhin sind nach Angaben des Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung flächendeckende Energieeinsparpotentiale von schätzungsweise 15 % im gesamten verarbeitenden Gewerbe möglich [3, 4]. Daraus leitet sich ab, dass die Energieeffizienz im Maschinen- und Anlageneffizienz auch zukünftig einen signifikanten Beitrag zur Umsetzung der Energiewende leisten wird.

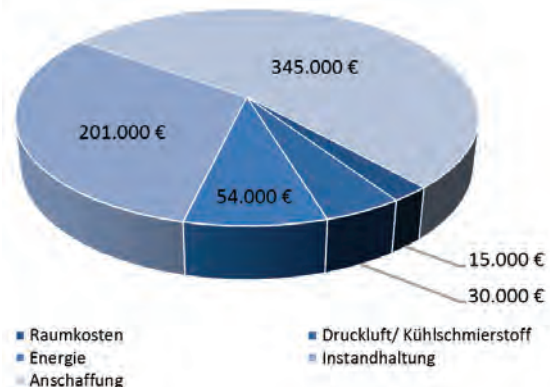


Abbildung 1: Lebenszykluskosten einer untersuchten Werkzeugmaschine bezogen auf zehn Jahre

2. Ausgangssituation und Problemstellung

Gesetzliche Regelungen, wie das EEG, aber auch Normungen wie die ISO 14955 [5], tragen - neben ökonomischen Interessen - dazu bei, dass das Thema Energieeffizienz im Bereich des Maschinen- und Anlagenbaus sowohl beim Hersteller als auch beim Endanwender zunehmend in den Vordergrund rückt. Obwohl die Notwendigkeit zur Einsparung von Energie in weiten Teilen der Industrie erkannt und die Schritte zur Effizienzerhöhung bekannt sind, hemmen

intransparente und heterogene Leistungsangebote die Nachfrage nach energieoptimierter Maschinenausrüstung oder entsprechender Serviceleistungen. Als ein wesentliches Handlungsfeld wird aufgrund dessen die Offenlegung des Energiebedarfs der Maschinenkomponenten beschrieben, aber auch die Darstellung der Lebenszykluskosten bei einer effizienteren Betriebsweise [2, 6].

Für die Hersteller ist damit die Motivation gegeben, den Medienverbrauch ihrer Maschinen bzw. Anlagen zu untersuchen. Wichtige Impulse setzen zudem die ausgeprägten Forderungen des Hauptkundenkreises (z. B. VW, Audi, Volvo), weitestgehend detaillierte Angaben/ Nachweise zum Medienverbrauch (Druckluft, Kühlschmierstoff, Energie) einer Anlage für eine konkrete Fertigungsaufgabe vorzuhalten. Diese Forderungen beziehen sich teilweise auf ältere Bestandsanlagen, vor allem aber auf Neuanschaffungen. Diese Informationen gelten damit kurz- bis mittelfristig - neben Präzision und Preis - als bedeutendes Investitionskriterium und können somit entscheidend für den Produkterfolg einer Werkzeugmaschine (WZM) sein.

Als problematisch erweist sich, dass die Anlagen oftmals als Sondermaschinen ausgeführt werden, d. h., die Entwicklung erfolgt anhand individueller Kundenanforderungen bzw. eines spezifischen Prozesses. Somit existieren vor der Inbetriebnahme einer Maschine keine exakten Informationen über das reale Verbrauchsverhalten der Nebenaggregate und Antriebe. Notwendige Anschlussmessungen werden durch unzugängliche Messstellen erschwert oder können aufgrund nicht vorhandener Hardware nur sehr eingeschränkt durchgeführt werden. Erhebliche Schwierigkeiten bereiten im Vorfeld der messtechnischen Untersuchung zudem aufwendige Vorbereitungsmaßnahmen. Für Bestandsmaschinen älteren Bauart müssen zunächst entsprechende Medienpläne zur Verfügung gestellt und studiert werden. Außerdem müssen zur Bestimmung der Volumenströme definierte Messbedingungen geschaffen werden. Dazu werden beispielweise Krümmungen oder Schlauchverbindungen durch gerade Rohrabschnitte ersetzt, mit dem Ziel laminare Strömungsverhältnisse zu schaffen, da Turbulenzen oder Luftbläschen die Messergebnisse verfälschen.

4. Lösungsansatz und Zielstellung

Als Lösungsansatz zur beschriebenen Problemstellung wird die rechnergestützte Simulation gesehen. Auf Basis verifizierter Berechnungsmodelle kann auch bei unbekannter oder fehlender Maschinenausrüstung eine hochaufgelöste Verbrauchsprognose für einen spezifischen Fertigungsvorgang gegeben werden. Weiterhin kann innerhalb der Simulationsumgebung mit unterschiedlichen Konfigurationen und Parametrierungen experimentiert werden, um die Bedingungen für einen optimalen Anlagenbetrieb zu ermitteln. Dieser Ansatz wurde in unterschiedlichen Projekten mit Erfolg angewandt, s. z. B. [7]. Eine flexible Anwendbarkeit dieser Methode konnte nachfolgend überprüft und bestätigt werden [8].

In Analogie hierzu bestand das Ziel der im Rahmen dieses Beitrages vorgestellten Projektkooperation mit einem lokalen Maschinenhersteller, ein virtuelles Abbild der Nebenaggregate einer beispielhaft ausgewählten WZM mittlerer Baugröße zu entwickeln, um den Energiebedarf zu simulieren. Die Modellgleichungen und Berechnungsvorschriften waren so zu wählen, dass diese aufwandsarm über schnell beziehbare Herstellerinformationen oder vorhandener Projektierungsdaten parametrisiert werden können. Die Anforderungen bestanden insbesondere darin, eine energieeffiziente Auslegung bereits in der Entwicklungsphase vorzunehmen sowie den Energieverbrauch für eine konkrete Fertigungsaufgabe ermitteln und optimieren zu können. Die Ergebnisse sollen zu einem späteren Zeitpunkt als Grundlage für mögliche Revisions- und Optimierungsmaßnahmen dienen. Die Praxistauglichkeit (Usability) besitzt höchste Priorität.

3. Messtechnische Untersuchung und Bewertung des Verbrauchs

Im Vorfeld der Modellbildung erfolgt in einer Analysephase die Identifikation verbrauchsrelevanter Nebenaggregate bzw. Funktionseinheiten der untersuchten WZM. Eine entsprechende Aufgliederung des Gesamtsystems WZM erlaubt es, die relevanten Verbrauchsanteile sowie das charakteristische Verbrauchsverhalten der einzelnen Nebenaggregate sichtbar zu machen. Ziel war es, durch eine entsprechende Priorisierung den Aufwand sowohl der weiterführenden messtechnischen Untersuchungen als auch der Modellbildung zu reduzieren. Gegenstand der Untersuchungen sind demzufolge diejenigen Funktionseinheiten der Medienverbrauch am höchsten ausfällt bzw. entsprechend das größte Einsparpotential vermutet wird.

Die Messungen erfolgten für eine konkrete Fertigungsaufgabe in zwei unterschiedlichen Betriebszuständen. Diese sind als „Produktionsmodus“ und „Wartemodus“ definiert. Die Ergebnisse dieser Untersuchung sind in Abbildung 2 dargestellt.

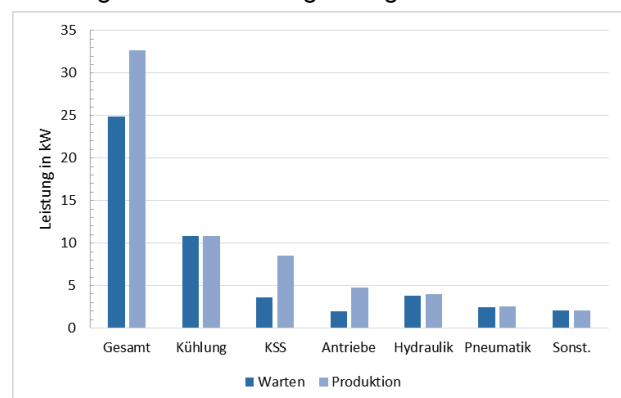


Abbildung 2: Darstellung der zustands- und komponentenspezifischen Einzelverbräuche an elektrischer Leistung

Es konnten fünf relevante Hauptverbraucher identifiziert werden, diese sind die KSS- und DL-Versorgung, das Hydrauliksystem, der Antriebsverband, und das Kühlaggregat. Alle irrelevanten Verbraucher, wie beispielsweise die Innenbeleuchtung,

sind in der Position „Sonstige“ zusammengefasst und wurden in den Untersuchungen vernachlässigt. Anhand dieser Ergebnisse konnten bereits erste Einschätzungen zum Verbrauchsverhalten und möglichen Einsparpotentialen getroffen werden. In beiden untersuchten Zuständen ist das Kühlaggregat der größte Verbraucher mit durchschnittlich 11 kW. Auffällig war vor allem, dass auch nach längeren Fertigungspausen kein temperaturabhängiges Energiemanagement erfolgte. Weiterhin konnte als zweitgrößter Verbraucher die KSS-Versorgung mit 3,6 kW Leistungsaufnahme im Wartezustand und rund 8,5 kW im Produktionsmodus identifiziert werden. Auf Basis dieser vorgenommenen Priorisierung wurden weiterführende messtechnische Untersuchungen durchgeführt, um beispielsweise die Volumenströme, Medientemperaturen und Druckverhältnisse im KSS-System zu bestimmen. Auf Basis der hier erzielten Ergebnisse können weitere Optimierungspotentiale erschlossen werden, welche sich beispielsweise durch unnötige Druckverluste oder überschüssige Fluidmengen ergeben. Außerdem sind diese für den Folgeschritt der Modellbildung von besonderer Bedeutung, da bspw. der Energieverbrauch der Pumpen von den Zustandsgrößen des Fluids abhängig ist.

Exemplarisch soll die Beschreibung des weiteren Vorgehens anhand der KSS-Versorgung erfolgen. Dieses System gliedert sich drei weitere Subkategorien mit einer Unterscheidung jeweils zwischen den Zuständen „Warten“ und „Produktion“, vgl. Abbildung 3.

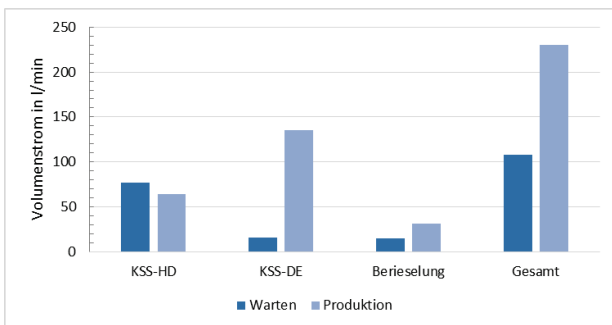


Abbildung 3: Durchschnittlicher Volumenstrom der KSS-Subsysteme

Die Hauptfunktion der Hochdruckausspülung (KSS-HD) ist die Reinigung des Schneidwerkzeugs, um damit der Verschleißflächenbildung entgegenzuwirken. Zurückbleibende Materialreste werden mittels hoher KSS-Drücke (35 bar) vom Werkzeug entfernt. Die Druckerhöhungsstation dient der Kühlmittelversorgung am Bearbeitungsspalt, welcher zwischen Werkzeug und Werkstück entsteht. Das Ziel besteht somit darin, die entstehenden Prozesstemperaturen über das Fluid abzuführen, ohne dass sich anliegende Aufbauten, Funktionselemente oder das Werkstück erwärmen. Die Berieselung dient ausschließlich der drucklosen Reinigung des Maschineninnenraums. Innerhalb des Bearbeitungszyklus werden pro Minute 231 Liter KSS verbraucht. Den größten Anteil am Gesamtschmierstoffverbrauch nimmt im Bearbeitungszustand die Kühlung des Bearbeitungsspalts mit rund 136 l/min ein. Auffällig ist, dass im Warte- sowie

im Bearbeitungszustand ein nahezu identischer Volumenstrom durch das Pumpenaggregat der Hochdruckausspülung erzeugt wird. Diese Menge wird im Wartemodus ungenutzt in das zentrale Bypass-System gefördert. Somit ergaben sich im Wartezustand erste Hinweise auf mögliche Einsparpotentiale, welche mit Hilfe der rechnergestützten Simulation quantifiziert werden sollten.

5. Modellbildung und rechen-technische Implementierung

Die Grundlage für die Modellierung bildeten physikalische Berechnungsvorschriften, welche das Realverhalten der Systemkomponenten nachbilden. Zur Ermittlung der Modellgüte wurden jeweils die realen Durchschnittswerte eines Bearbeitungsvorgangs mit den entsprechend berechneten Simulationsergebnissen verglichen. Ist das Modell entsprechend verifiziert, müssen zukünftig keine erneuten Messungen an der Maschine vorgenommen werden und es ist zudem möglich, entsprechende Prognoseberechnungen durchzuführen. Modelle mit hoher Auflösung verwenden in der Regel eine Vielzahl von Kennwerten etc., welche für praxisnahe Berechnungen nicht relevant sind. Vielmehr ist zu beachten, dass ein ausgewogenes Verhältnis zwischen Modellgüte und Modellentwicklungsaufwand besteht. Stellvertretend für alle Simulationsergebnisse kann mit Abbildung 4 gezeigt werden, dass die mittleren Abweichungen zwischen Simulation und Realität sehr gering ausfallen.

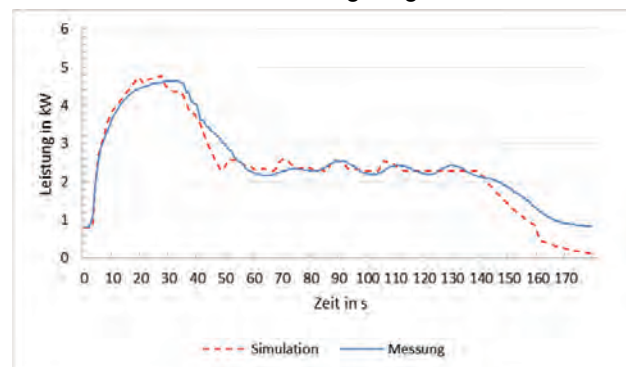


Abbildung 4: Leistungsaufnahme der Druckerhöhungsstation während eines Bearbeitungsvorgangs

Die Abbildung zeigt den Kurvenverlauf der simulierten Leistungsaufnahme der KSS-Druckerhöhungsstation. Die Abweichungsdifferenz liegt bei rund 5 %.

6. Integration und Darstellung der Effekte getroffener Effizienzmaßnahmen

Aufgrund von fertigungstechnischen Restriktionen ergaben sich die größten Einsparpotentiale nur im Wartezustand des KSS-Systems. Die entsprechend optimalen Betriebspunkte (KSS-Druck und Fördermenge) innerhalb des Bearbeitungszustands wurden in aufwendigen Fertigungsversuchen ermittelt. Die Einsparpotentiale wurden durch den Vergleich der Simulationsergebnisse vor und nach der rechen-technischen Integration der Effizienzmaßnahme quantifiziert. Beispielhaft ist in Abbildung 5 der im Ergebnis einer solchen Integration erhaltene Einsparpotential

des Leistungsverbrauchs der KSS-Hochdruckanlage und des Kühlaggregats für die beiden Zustände „Warten“ und „Produktion“ dargestellt.

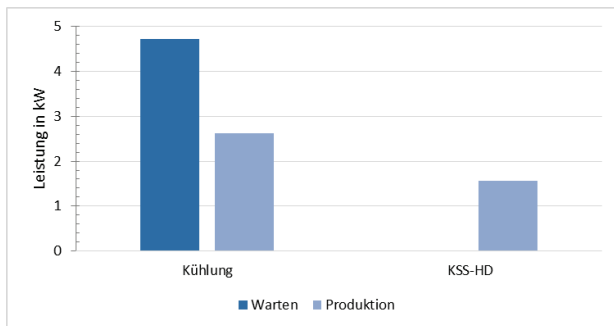


Abbildung 5: Simulationsergebnisse des Einsparpotentials der KSS-Hochdruckanlage und des Kühlaggregats

Für die Hochdruckausspülung wurde der Einsatz einer auf den Prozess abgestimmten Hochdruckpumpe simuliert. Hierzu wurde lediglich die Pumpenkennlinie des Herstellers in das Modell integriert. Selbst ohne den Einsatz eines Frequenzumrichters konnte für den Produktionsmodus eine Reduktion von rund 1,5 kW (36 %) erreicht werden. Die Einsparung der KSS-Menge beläuft sich im Wartezustand auf rund 37 l/min (48 %).

Im Fall des Kühlaggregats konnten die größten Einsparpotentiale durch die Integration von Kühlpausen erzielt werden. Die Grundlage für diese Einschätzung bildeten die messtechnischen Untersuchungen der Vor- und Rücklauftemperaturen am Kühlgerät. Die Temperaturdifferenz belief sich in den Bearbeitungspausen auf ca. 1 K. Dieses Resultat lässt darauf schließen, dass kaum Verlustleistung in Form von Wärme in dieser Phase abtransportiert werden muss. Von einer generellen Überdimensionierung wurde zunächst nicht ausgegangen, da das thermische Verhalten der Motoren bei einem durchgängigem drei Schicht- oder Vollastbetrieb in diesem Entwicklungsstadium schwer einzuschätzen ist. Die Einsparungen belaufen sich beim betrachteten Prozess in bedarfsarmen Phasen auf 4,7 kW (43 %) und im Produktionsmodus auf 2,6 kW (24 %).

7. Zusammenfassung und Ausblick

Im Rahmen der vorgestellten Arbeit wurde prototypisch die Medienverbräuche (Druckluft, Kühlschmierstoff, elektrische Leistung) einer Werkzeugmaschine untersucht, welcher sich zu diesem Zeitpunkt in einer frühen Testphase befand. Ziel war es, Einsparpotentiale zu identifizieren und zu quantifizieren, um die Resultate in den weiterführenden Entwicklungsprozess zur Verbrauchsoptimierung einzubeziehen. Um bereits in frühen Entwicklungsphasen verlässliche Aussagen zu den Verbräuchen einer Werkzeugmaschine treffen zu können, ist mit der der virtuellen Inbetriebnahme rechnergestützten Simulation ein praxistauglicher Lösungsansatz gegeben. Innerhalb der Entwicklungsumgebung wurde eine Simulation der verbrauchsintensiven Nebenaggregate durchgeführt und die Einsparpotentiale durch die Integration ausgewählter Verbesserungsmaßnahmen exemplarisch anhand des Kühlschmierstoffsystems aufge-

zeigt.

Zur Erweiterung des vorliegenden Ansatzes wird die Modellkopplung mit einer realen Maschinensteuerung angestrebt (Hardware in the Loop - HiL). Die HiL-Simulation erlaubt eine realitätsnahe hochgenaue zeitliche Auflösung des Verbrauchsprofils und damit eine exakte Quantifizierung der Verbräuche, bspw. dadurch, dass die Schaltzeitpunkte von Ventilen oder Frequenzstufen exakt ausgelöst werden. Diese mussten bisher in aufwendigen Zeitstudien am Objekt aufgenommen werden.

Literaturverzeichnis

- [1] Bundesnetzagentur: EEG-Umlage Was ist die EEG-Umlage und wie funktioniert sie? URL: <https://www.bundesnetzagentur.de/SharedDocs/FAQs/DE/Sachgebiete/Energie/Verbraucher/Energielexikon/EEGUmlage.html>. Abrufdatum 31.08.2018
- [2] Klocke, F., Kuhn, A., Michaelis, A., Neugebauer, R., Schenk, M., Spath, D., Weidner, E., Westkämper, E.: Untersuchung zur Energieeffizienz in der Produktion. URL: <http://edok01.tib.uni-hannover.de/edoks/e01fb09/59008982X.pdf>. Abrufdatum 02.09.2018
- [3] Mattes, K., Jäger, A., Kelnhofer, A., Gotsch, M.: Fraunhofer -Institut für System - und Innovationsforschung Energieeffizienz im Betriebsalltag. Chancen durch Energiemanagement und Qualifikation. URL: https://www.isi.fraunhofer.de/content/dam/isi/dokumente/modernisierung-produktion/erhebung2015/pi70_energieeffizienz.pdf. Abrufdatum 02.09.2018
- [4] Schröter, M., Weißfloch, U., Buschak, D.: Energieeffizienz in der Produktion – Wunsch oder Wirklichkeit? Energieeinsparpotenziale und Verbreitungsgrad energieeffizienter Techniken. URL: <https://www.isi.fraunhofer.de/content/dam/isi/dokumente/modernisierung-produktion/erhebung2009/pi51.pdf>. Abrufdatum 02.09.2018
- [5] ISO/TC 39 Machine tools: Environmental evaluation of machine tools 25.080.01 (2014) 14955. Berlin
- [6] Abold, R., Gerhardt, S.: Mittelstand scheut den Einsatz von Energieeffizienz Dienstleistungen. GfK Studie analysiert Marktpotenzial für EEDL. Nürnberg 2014
- [7] Eisele, C., Rudolph, M., Wachter, C.: Modellbildung und Simulation von Funktionsmodulen einer Werkzeugmaschine. Zur Verbesserung der Energieeffizienz. In: Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb 107 (2012) 10, 741-746
- [8] Rudolph, M., Wolf, M.: Einsparpotentiale ausschöpfen durch energieeffiziente Werkzeugmaschinen. In: Netzwerk-Nachrichten (2016) 1, S. 40–41

RESSOURCENEFFIZIENTE GESTALTUNG NASSCHEMISCHER BESCHICHTUNGSPROZESSE

Michael Markus

Hochschule Mittweida, Technikumplatz 17A, D-09648 Mittweida

Im Rahmen des Zieles einer ökologischen Fertigung, liegt viel Potenzial in der Optimierung des Ressourceneinsatzes. Durch die Nutzung nasschemisch erzeugter Metallschichten wird bereits ein Weg zum sparsamen Einsatz von Rohstoffen beschritten. Wenig legierte Eisenwerkstoffe können beispielsweise durch eine Beschichtung oberflächlich mit Eigenschaften eines hochlegierten Werkstoffes ausgestattet werden. Damit wird der Bedarf seltener bzw. unter aufwendigem Energieeinsatz aufbereiteter Legierungselemente verringert. Die Metallisierung von Kunststoffen liefert Bauteile mit einer für Metall typischen Haptik, bei wesentlichen Gewichtsvorteilen gegenüber einem Werkstück aus Metall. Gewichtsvorteile führen besonders im mobilen Einsatz zu einer Energieeinsparung. Folgerichtig kommen Beschichtungstechnologien heutzutage oft zum Einsatz. Darum lohnt es sich auch im ökologischen Sinne die Optimierung der Beschichtungsverfahren näher zu beleuchten. Rückgewinnung von Prozesswärme, Wärmebereitstellung durch Solarkollektoren oder Blockheizkraftwerke, Absenkung der Prozesstemperaturen, Substitution von Chemikalien und einzelnen Prozessschritten sind nur einige selten ausgeschöpfte Ansätze, die näher betrachtet und in ihren realisierbaren Verbesserungspotenzialen verglichen werden.

1. Einleitung

Im Fertigungsprozess fließen die verschiedensten Ressourcen ein. Bei der gesellschaftlichen Diskussion wird unter Ressourcenschonung hauptsächlich das Sparen von Rohstoffen wie Metallen, Erdölen aber auch pflanzlichen Erzeugnissen und die nachhaltige Nutzung von Energie gemeint. Doch was genau ist unter nachhaltiger Nutzung von Energie tatsächlich zu verstehen?

Bei der Betrachtung von Fertigungsprozessen (sowie auch allen anderen Prozessen des täglichen Lebens) ist zu sehen, dass neben den Materialressourcen tatsächlich immer Energie in Form von Primärenergieträgern (Kohle, Erdöl, Erdgas, usw.) oder elektrische Energie als qualitativ hochwertige Energieformen benötigt werden. Im Ergebnis ist der Output gewöhnlich durch ein Produkt und unkontrolliert an die Umgebung abgegebene Wärme gekennzeichnet. Wärme ist demnach eine Energieform mit niedriger Qualität. Eine nachhaltige Nutzung von Energie ist dadurch gekennzeichnet, dass bei der Umwandlung der Primärenergie auf dem Weg der Entropiezunahme so viel Energie wie möglich in das Endprodukt (Fertigungsgut) fließt und so wenig wie möglich als Wärme an die Umgebung abgegeben wird.

Die Nachhaltigkeit der Primärenergieträger wird bei dieser Betrachtung außen vorgelassen. Dieses Konzept verfolgt die Prämisse: Die sauberste Energie ist die, die nicht gebraucht (umgewandelt) wird.

Eine Anlage zur nasschemischen Beschichtung besteht im Allgemeinen aus den folgenden Verbrauchern:

- Heizung (für die Temperierung von Prozessbädern),
- Druckluftanlage (für Trocknung, Elektrolytbewegung, usw.),
- Gleichrichter (für Reinigung und Beschichtungsprozess),
- Transportsystem (Bandanlage oder Gestell-Anlage zum Warentransport),

- Beleuchtung (für Arbeitssicherheit und Abwasserbehandlungsanlage),
- Pumpen (für Fluide und Abgase),
- Kühlung,
- Analyse-,
- Steuerungs- und Rechentechnik.

Alle Verbraucher können über elektrische Energie betrieben werden. Doch dies ist keine nachhaltige Nutzung der Energie.

2. Strategisches Vorgehen

Um den Energieverbrauch zu minimieren ist eine systematische Analyse der vorhandenen Situation nötig. Diese gliedert sich in die drei Punkte: Erfassen, Bewerten und Maßnahmen festlegen. Die Phase der Erfassung umfasst die Ermittlung der tatsächlich auftretenden Verbräuche im Unternehmen, die Protokollierung der genutzten Anlagentechnik sowie dem Auseinandersetzen mit der aktuell gültigen Gesetzeslage. Auf der Grundlage dieser Daten kann die Bewertung nach kaufmännischen und technischen Gesichtspunkten erfolgen. Darauf aufbauend werden für den Status Quo alternative technische Konzepte erstellt. Die Entscheidung für die zur Umsetzung des Konzeptes zu treffenden Maßnahmen werden durch die Betrachtung der Wirtschaftlichkeit getroffen. [2] Für das eigene Unternehmen können dabei finanzielle Vorteile aus den folgenden Texten genutzt werden:

- StromStG (Stromsteuergesetz),
- EnergieStG (Energiesteuergesetz),
- EEG (Das deutsche Gesetz für den Ausbau erneuerbarer Energien, kurz: Erneuerbare-Energien-Gesetz),
- StromNEV (Stromnetzentgeltverordnung)
- Bilanzkreisvertrag der Fernleitungsnetzbetreiber für Gas, NCG (NetConnectGermany für West- und Süddeutschland) bzw. GASPOOL (für Nord- und Süddeutschland)

Bild 1 stellt eine Übersicht zur Verteilung des Gesamtenergiebedarfs eines typischen KMU der Galvanikbranche dar. [1]

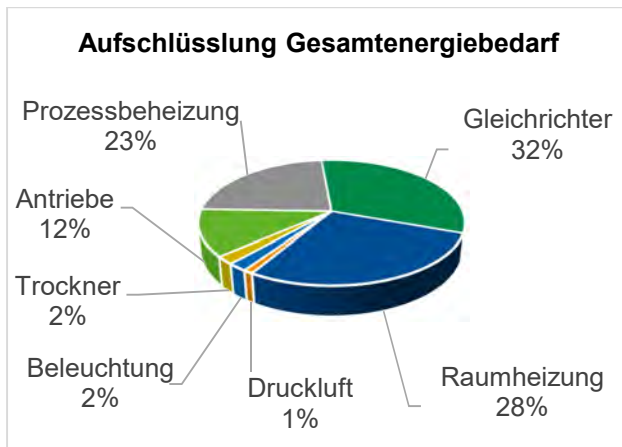


Bild 1: Anteile der Verbraucher am Gesamtenergiebedarf

3. Grundlegende Einzelmaßnahmen

Für technisch geeignete Veränderungen mit dem Ziel der besseren Energienutzung ist je nach Optimierungsstand des jeweiligen Unternehmens zunächst Wert darauf zu legen, möglichst Einsparpotenziale der einzelnen Verbraucher auszuschöpfen. Erfahrungsgemäß ist in vielen Betrieben durch folgende Einzelmaßnahmen bereits eine signifikant bessere Energienutzung möglich:

- Gleichstromversorgung
- Ab- und Zuluft
- Prozess- und Raumwärme
- Trocknung
- Druckluftnetz
- Beleuchtung

Die Gleichstromversorgung besteht aus Verstelleinheit, Transformator und Gleichrichter. Sie ist je nach Auslastung der Anlage mit aktueller Technik bei einem Wirkungsgrad zwischen 80% und 93% zu betreiben. Die im Optimalbetrieb gering wirkenden 7% Verlust führen in Anbetracht des hohen Anteils am Gesamtenergiebedarf zu großen Wärmemengen, die mit einem geeigneten Kühlsystem abgeführt werden müssen. Sollten noch Gleichstromquellen mit Selen-gleichrichtern im Betrieb vorhanden sein, wird an dieser Stelle darauf hingewiesen, dass diese mit einem Wirkungsgrad zwischen 75% und 85% wesentlich ineffizienter arbeiten. In den meisten Betrieben werden bei diesen Geräten aufgrund der alterungsbedingten Verschlechterung des Wirkungsgrades nur noch 60% der Primärenergie für den Prozess genutzt. [1,3]

Der zweitgrößte Posten ist der Energieverlust durch das Beheizen der Arbeitsstätten. Dieser kann mit den Mitteln automatischer, schnellschließender Tore sowie einer guten Gebäudedämmung verringert werden. In der Branche ist aufgrund der Bildung von gesundheitsschädlichen Aerosolen durch die verschie-

denen Prozessbäder an vielen Stellen eine Raumluftabsaugung nötig. Diese gibt in der Regel mit der Abluft viel Wärme an die Umgebung ab. Demzufolge ist eine Verringerung der Abluftmenge ein geeignetes Mittel um den Energiebedarf zu senken. Das hat den positiven Nebeneffekt, dass die Ventilatoren zur Luftmassenbewegung mit weniger Leistung betrieben werden können. Um dennoch die vorgeschriebenen Arbeitsplatzgrenzwerte der Luftverunreinigung einzuhalten, sind Teil- oder Vollabdeckungen der Elektrolytoberflächen eine gut umsetzbare Maßnahme. Die Verwendung einer kontrollierten Frischluftzufuhr eröffnet ebenfalls Energieeinsparpotenzial. Einerseits kann die Frischluft über Wärmetauscher durch die Abluft vorgewärmt werden. Andererseits führt eine Platzierung des Lufterlasses an Dauerarbeitsplätzen zu einer stetigen Frischluftversorgung und damit zur weiteren Verringerung der Abluftmenge. [1]

Der Energiebedarf für die Prozesswärme kann ebenfalls durch Wärmedämmung der Behälter verringert werden. In einigen Fällen lassen sich durch alternative Elektrolyte die Prozesstemperaturen um einige Kelvin verringern. Die damit zu erreichende Energieersparnis rechtfertigt das Risiko eines Prozesswechsels. Die Art der Wärmeerzeugung hat einen großen Einfluss auf die Nachhaltigkeit der Energienutzung. Ist ein Fernwärmenetz vorhanden, sollte die Versorgung in jedem Fall darüber realisiert werden. Steht dies nicht zur Verfügung, ist die nächst beste Alternative das Betreiben einer Erdgasheizung. Hier ist zu prüfen, ob eine Kraft-Wärme-Kopplung (KWK) in Form von Blockheizkraftwerken angebracht ist. [4]

Wegen der hohen Qualitätsansprüche vieler Kunden müssen die fertigen Werkstücke fleckenfrei ausgeliefert werden. Das macht einen Trocknungsprozess unerlässlich. Die dafür genutzten Anlagen werden oft auch heute noch elektrisch beheizt. Das ist möglichst durch ein gasbetriebenes Direktheizsystem im Umluft-Strom zu ersetzen. Alternativ ist es auch hier möglich, Abwärme anderer Prozesse über Wärmetauscher zum Vorwärmen zu nutzen. [1]

Die Druckluftanlage ist oft mit einem Anlagenwirkungsgrad von 5% eine Energievernichtung. Wenn es möglich ist, sollte demnach auf das Medium Druckluft verzichtet werden. Kleine bewegliche Kompressoren könnten, obwohl meist nicht so energieoptimiert, einen sporadisch auftretenden Bedarf effizienter decken. Sollten Anlagen jedoch zwingend dauerhaft anliegende Druckluft benötigen, gibt es auch hier oft Verbesserungspotenzial. Ein üblicher Ansatz ist die Reduktion der Leckageverluste von 30% bis 50% auf ein Maß von unter 10%. Weiteres Potenzial liegt auch in der Verringerung des Systemdrucks, soweit das möglich ist. Die Bereitstellung der Druckluft sollte aus Energieeffizienz-Gründen über mehrere kleine Kompressoren realisiert werden, statt von einem Großen. Damit ist es durch ausgereifte Steuerungen möglich, je nach Bedarf im jeweiligen Arbeitsbereich der Maschinen, nahe dem besten Wirkungsgrad zu arbeiten. Auch die Aufbereitung der Druckluft ist auf das nötigste Maß zu reduzieren. Ein regelmäßiger Filterwechsel wirkt sich ebenfalls positiv auf den Energiebedarf aus. [5]

Für die Beleuchtung gibt es dank LED-Technik auch effizienzsteigernde Konzepte. Neben dem verhältnismäßig geringen Energieverbrauch einer LED kann eine andere Eigenschaft der Leuchtmittel viel Strom sparen. Leuchtdioden entwickeln unmittelbar mit dem Einschalten ihre volle Leuchtkraft. Dadurch ist es möglich, Konzepte zu verfolgen, die nur Bereiche ausleuchten, wo sich tatsächlich jemand aufhält. Nach dem Motto „am wenigsten Verbrauch hat die Lampe, die aus ist“, kann auf diese Weise ebenfalls Energie gespart werden. Dafür ist eine Schaltung über Bewegungsmelder zu implementieren. Ferner ist durch moderne Lichtleitsysteme auch die Ausnutzung von Tageslicht ein gutes Mittel, um Beleuchtungskonzepte zu optimieren. [1, 6]

Die Liste erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit, zeigt aber, dass in vielen Unternehmen immer noch recht viele, bereits länger bekannte Potenziale nicht ausgeschöpft werden. Mit Amortisationszeiten zwischen 0,8 und 6,4 Jahren, rechnen sich diese Maßnahmen auch wirtschaftlich. [1, 2, 5, 6]

Aber selbst Unternehmen, die schon auf diesem Stand sind, können ihre Energie und damit den Ressourcenbedarf weiter senken. Das erfordert jedoch die Entwicklung eines individuellen, auf die Begebenheiten der jeweiligen Firma angepasstes Konzept.

4. Überprüfen alternativer Prozessvarianten

Die Anforderungen an Beschichtungen sind ausschließlich durch ihre Einsatzbedingungen vorgegeben. Die einzelnen Eigenschaften verschiedener Schichtsysteme überschneiden sich teilweise. Aufgrund laufender Forschungen entstehen Elektrolyte zur Erzeugung von Schichten mit immer besser werdenden Eigenschaften. Basierend auf diesem Wissen sollte für jedes Produkt regelmäßig überprüft werden, ob die eingesetzten Prozesse zeitgemäß sind. Existieren Alternativen mit geringerem Ressourceneinsatz und ebenfalls ausreichender Qualität ist eine Substitution dieser zu erwägen. Das obliegt in erster Linie nicht dem Beschichter der Lohngalvanik, sondern den Konstrukteuren und Entwicklern neuer Produkte. Dennoch ist es hilfreich, wenn durch Kommunikation und Alternativangebote immer wieder mögliche Veränderungen forciert werden. Das setzt jedoch besonders den Willen der Produzenten voraus, neue Technologien zu implementieren und bewährte Verfahren aus dem Sortiment zu nehmen.

Basierend auf praktischen Erfahrungen gibt es veröffentlichte Daten zum Energiebedarf einzelner Beschichtungsprozesse. Ein Beispiel aus der Praxis ist die Beschichtung eines Ventilschafths (Ventile im Verbrennungsmotor). Dieser unterliegt tribologischen, korrosiven und thermischen Beanspruchungen. Klassisch wurden die Ventile mit Hartchromschichten geschützt. Die Schichtdicke liegt aufgrund des für die Schicht üblichen Rissnetzwerkes meist bei 50 µm, um das Substrat vor Korrosion zu schützen. Die benötigte Energie pro m² für den Aufbau von einem µm Schicht liegt mit ca. 3,3 kWh relativ hoch. Ähnliche mechanische Eigenschaften bieten chemisch reduktiv abgeschiedene Nickelschichten. Diese zeigen je-

doch schon bei ca. 24 µm ausreichenden Korrosionsschutz. Im Beschichtungsprozess werden dafür nur 2,4 kWh/(m²µm) aufgewendet. Dafür müssen Chemikalien kontinuierlich zugegeben und regelmäßige Neuansätze der Elektrolyte (nach ca. 12 MTO) durchgeführt werden. Das macht einen globalen Energievergleich nur bedingt möglich. Der Vergleich über den Preis als Indiz für die eingeflossene Energie ist aufgrund verschiedener nötiger Zertifikate (REACH) ebenfalls verfälscht. Aber alleine die Einsparung der hochwertigen Metalle ist durch die dünneren Schichten als Ressourcenschonung zu betrachten. Weiterhin ist beim Verchromen der größte Energiebedarf in Form von elektrischer Energie zu decken, wohingegen beim Vernicklungsprozess der Bedarf hauptsächlich in thermischer Form durch die ca. 90°C Elektrolyttemperatur entsteht. Dieser ist zum großen Teil durch Abwärme vorhandener Verbraucher von z.B. Gleichrichtern zu decken.

Neben dem Prozessschritt „Oberflächenveredelung“ ist die Vorbehandlung als Ursache für Ressourcenverbräuche zu finden. Neben der Erwärmung von Spühlen und Entfettungsbädern kommt dabei die Aufbereitung der Abwässer für eine regelkonforme Einleitung ins lokale Abwassersystem (um eine Fremdentorgung zu vermeiden) als Verursacher zum Tragen. Jedes Aktiv-Bad, welches in einer Fertigungslinie entfallen kann, hilft demnach auch beim Verringern des Ressourceneinsatzes. Da jeder Vorbehandlungsschritt in dem jeweiligen Prozess seinen Nutzen hat, ist dieses Potenzial durch Substitution von bewährten Bädern möglich. Dabei sind nicht ausschließlich nasschemische Prozesse in Betracht zu ziehen, sondern auch Alternativen wie beispielsweise Open-Air-Plasma-Vorbehandlung.

5. Weiterführende spezielle Maßnahmen

In der Galvanik sind mit Gleichrichtern und Wasseraufbereitung (Ionentauscher) zwei der drei Baugruppen eines Elektrolyseurs bereits vorhanden. Einzig eine Elektrolysezelle sowie ein Reformierer (nur bei gewünschter Methanerzeugung) ist zu erweitern, um die im folgenden Konzept beschriebenen Potenziale zu realisieren. [7]

Photovoltaikanlagen liefern Gleichstrom. Dieser könnte ohne große Umwandlungsverluste mittels geeigneter Steuerung direkt zur Fertigung genutzt werden. Um dies zu realisieren und den Prozess sicher und effizient zu gestalten, sind jedoch eine Vielzahl an weiteren Vorkehrungen nötig. Diese werden im Folgenden an den verschiedenen möglichen Betriebszuständen erläutert.

1. Produktion läuft im Maximum und Sonne liefert maximalen Strom:

Ist die Fläche der Solarpanels so ausgelegt, dass sie diesen Betriebsfall abdecken kann, ist der Prozess bis zu dem Zeitpunkt stabil, wo sich die Wolkendecke oder der Einstrahlungswinkel der Sonne ändert. Das erfordert einen zusätzlichen Energiespeicher als Verbraucher sowie eine weitere Stromquelle. Als Strom-

quelle ist der vorhandene Gleichrichter eine Alternative (Steuerung erforderlich), die den fehlenden Energiebedarf aus dem Netz bereitstellen kann. Das ist auch nötig für den Produktionsbetrieb während der Stunden ohne Sonnenschein. Als Abnehmer könnte ein Batteriespeicher dienen. Dieser ist platzsparend und kann in Zeiten ohne Licht auch als Puffer verwendet werden. Die Verluste für Laden und Entladen betragen zusammen ca. 15%. Die Speicherkapazität ist durch die Batteriegröße begrenzt. Alternativ ist das Betreiben eines Elektrolyseurs (ebenfalls mit Gleichstrom betrieben) mit integriertem Reformierer zu bedenken, welcher überschüssige Energie in Methan (Erdgas) umwandelt. Diese kann im vielerorts vorhandenen Erdgasnetz eingespeist sowie lokal zwischengespeichert werden.

2. Produktion läuft im Maximum und Sonne liefert keinen Strom:

In diesem Fall wird die komplette Energie direkt aus dem Netz entnommen und dem Prozess durch den Gleichrichter zugeführt. Alternativ dazu ist eine Kraft-Wärme-Kopplung möglich. Diese gibt es zum Beispiel in der Festoxid-Brennstoffzellen-Bauweise und kann mit eventuell zwischengelagertem Methan bei einem elektrischen Wirkungsgrad von 50-65% betrieben werden.

3. Produktion steht und Sonne liefert maximalen Strom:

In diesem Fall besteht die Möglichkeit der Wechselrichtung und Netzeinspeisung. Alternativ kann der gesamte Strom jedoch auch wieder zu Methan umgewandelt und zwischengespeichert werden.

4. Produktion steht und Sonne liefert keinen Strom:

Dieser Fall ist für das Gesamtnetzkonzept der Bundesrepublik sehr interessant. In diesem Zustand könnte die Anlage dazu dienen, Spitzen in der Stromerzeugung durch Gleichrichter und Elektrolyseur zur Zwischenspeicherung in Methan umzuwandeln. Das Methan kann später je nach Marktlage wieder selbst verstromt oder als Brennstoff verkauft werden.

Alle anderen Betriebszustände der Anlage liegen innerhalb dieser vier Grenzfälle. Sie sind damit durch eine geschickte Steuerung realisierbar. Die Ressourcenschonung resultiert aus mehreren Punkten. Es werden Umwandlungsverluste von Gleich- zu Wechselstrom und entgegengesetzt verringert. Die Steuerung kann so gestaltet werden, dass zum Beispiel die Gleichstromversorgung im Bereich des optimalen Wirkungsgrads arbeitet. Die über die Geräte Gleichstromversorgung, Blockheizkraftwerk sowie Elektrolyseur erzeugte Abwärme liefert genügend Wärmeenergie, um große Teile der Prozess- sowie Raumwärme abzusichern. Es ist eine Möglichkeit gegeben die regenerativ erzeugte elektrische Energie zwischenzuspeichern und somit die Abschaltung von Grundlastversorgern zu fördern. Auch wenn die Umwandlungen verlustbehaftet sind, können immerhin zwischen 38% und 49% (Elektrolyse und Reformierung 75% Wirkungsgrad [8]; Brennstoffzelle 50%-

65% Wirkungsgrad) der elektrischen Energie mit recht kleinem Einsatz hochwertiger und seltener Elemente über einen längeren Zeitraum gespeichert bzw. durch das Erdgasnetz verteilt werden.

6. Zusammenfassung

An vielen Stellen gibt es Möglichkeiten zur Optimierung des Ressourceneinsatzes in der Fertigung. In der Praxis werden selbst die vorgestellten Einzelmaßnahmen oft noch nicht erschöpfend umgesetzt. Durch die Entwicklung alternativer Prozesse sowie Prozessschritte können bei klassischen Fertigungsstrecken durch Substitution ebenfalls Einsparpotenziale realisiert werden. Dafür ist eine fachübergreifende Kommunikation unverzichtbar. Weiterführende Konzepte können unter globaler Betrachtung der vorherrschenden Situation entwickelt werden. Dem Ziel eines Lebens auf der Erde, ohne von Reserven dieser zu zehren, kann durch Umsetzung dieser Möglichkeiten nähergekommen werden. Die Realisierung in der Industrie erfordert jedoch eine weitreichende Veränderung der bestehenden Rahmenbedingungen.

Danksagung

Der Autor dankt dem Europäischen Sozialfonds (ESF) und dem



Freistaat Sachsen für die Förderung der Nachwuchsforschergruppe „Entwicklung innovativer Verfahrens- und Betriebsmittelmodelle sowie Qualifizierungskonzepte für die ressourceneffiziente Fertigung hochbeanspruchter Bauteile“ –MoQuaRT und dem Projektträger der Sächsischen Aufbaubank – Förderbank - (SAB).

Quellen

- [1] Bayer. Landesamt für Umweltschutz (Hrsg.): „Effiziente Energienutzung in der Galvanikindustrie“; Augsburg 11/2003
- [2] Gildemeister (Fa.): Präsentation „Effizienzanalyse & Energiemonitoring“; 9/2018
- [3] Munk GmbH (Fa.): Datenblatt für Gleichrichter „PSP Family“; 2018
- [4] Bayer. Landesamt für Umweltschutz (Hrsg.): „Leitfaden für effiziente Energienutzung in Industrie und Gewerbe“; 11/2009
- [5] Kaeser Kompressoren SE (Fa.): Präsentation „Effiziente Druckluft“; 9/2018
- [6] Straightperformance GmbH (Fa.): Präsentation „Effiziente Beleuchtung“; 9/2018
- [7] H-Tec Systems GmbH (Fa.): Datenblatt „ME 100/350“; erhalten 2017
- [8] Internationales Wirtschaftsforum Regenerative Energien: „Forscher steigern Wirkungsgrad von Power-to-Gas Anlagen kräftig“; 2018
- [9] Internet: www.diebrennstoffzelle.de; 2000-2008; letzter Abruf: 8/2018

QUALIFIZIERUNGSKONZEPT FÜR DIE RESSOURCENORIENTIERTE TEILEFERTIGUNG

Leif Goldhahn, Robert Eckardt, Christina Pietschmann, Sebastian Roch

Hochschule Mittweida, Fakultät Ingenieurwissenschaften, InnArbeit – Zentrum für innovative Arbeitsplanung,
Technikumplatz 17, D-09648 Mittweida

Für die ressourcenorientierte Planung und Realisierung der Teilefertigung hochbeanspruchter Bauteile werden verfahrens-spezifische Teilmodelle und ein Gesamtmodell benötigt. Ein dafür spezifiziertes Qualifizierungskonzept soll nun die Modelle für die Fertigungsprozesse nutzbar machen. Arbeitsplaner, Meister, Werker und andere Akteure erhalten zielgerichtete Sensibilisierung, Motivation, methodische Anleitung und computergestützte Modelle von ausgewählten Betriebsmitteln und Fertigungsverfahren. Die methodisch-didaktisch unterstützte Weiterentwicklung, vorrangig kognitiver Fähigkeiten, Fertigkeiten und Kenntnisse ermöglicht auch die Anpassung und Anwendung der Modelle. In Abhängigkeit von der vorhandenen Mitarbeiterkompetenz und des Aufgabenbereiches werden im vorliegenden Arbeitsstand des Qualifizierungskonzeptes drei Stufen unterschieden und am Beispiel des Fertigungsverfahrens Drehen ausgeführt. Die ESF-Nachwuchsforschergruppe Modelle und Qualifizierungskonzepte zur ressourceneffizienten Teilefertigung leistet mit diesen Arbeiten einen wesentlichen Beitrag zur Ressourceneinsparung in der spanenden Fertigung.

1 Einleitung

Hohe Flexibilität, hohe Zuverlässigkeit und ein schnelles Reaktionsvermögen sind Eigenschaften, die in Zeiten des verschärften Wettbewerbs von den Kunden als selbstverständlich vorausgesetzt werden. Dies bedingt neben kurzen Innovationszyklen und kleinen Produktserien auch eine hohe Flexibilität der Mitarbeiter als Leistungs- und Wissensträger. Diese müssen mit möglichst geringen Einarbeitungszeiten an verschiedenen Maschinen einsetzbar sein. So müssen zunehmend technologisch planende und handwerklich Tätigkeiten bei der Maschineneinrichtung, -bedienung und der Durchführung der sich anschließenden manuellen Tätigkeiten zur Nachbearbeitung kombiniert werden. Auch die hohen Qualitätsanforderungen setzen umfangreiches Detailwissen der Mitarbeiter voraus. Dieser Umstand bedingt eine zunehmende Verantwortung der Mitarbeiter selbst und des Unternehmens gegenüber seinen Mitarbeitern. Diese müssen ihr vorhandenes Qualifikationsniveau durch die Anforderungen der verschiedenen Arbeitsplätze adäquat und möglichst zeitsparend anpassen und erweitern. [1]

Dazu kommen die gestiegenen Anforderungen der Kunden an ressourcenschonende Produkte oder Imageziele, die sich die Unternehmen setzen um konkurrenzfähiger zu sein. Der bewusste Umgang mit unternehmensinternen Ressourcen, also die effiziente Nutzung dieser bleibt somit als Herausforderung bestehen [2], [3], [4], [5], [6].

Da nur selten eine Neu- bzw. Umgestaltung der Fertigung und damit das Arbeiten in einer „Green Factory“ mit modernen Werkzeugmaschinen möglich ist, sind ressourceneffiziente Technologien, wie der Einsatz moderner Werkzeuge und intelligente Konzepte bei der technologischen Planung Mittel der Wahl. Damit wird grundsätzlich eine positive Beeinflussung der Energie- und Materialverbräuche geschaffen [7], [8], [9], [10].

Die Modellierung, die Selektion und die Applikation von Fertigungsverfahren aber auch die Spezifikation

des Rohmaterials sowie der entsprechenden Werkzeuge, können dazu beitragen, den Bedarf an notwendigen Ressourcen deutlich zu reduzieren. Dabei helfen Planungsalgorithmen und der Einsatz von fertigungs- und ressourcenrelevanter Informationen erweiterte multilingualer ERP-Systeme die effizienteste und den Zielkriterien (bspw. kurze Fertigungszeiten oder qualitätsgerechter Fertigung) konformsten Fertigungsvariante auszuwählen [11].

Es wird eine Vorgehensweise zur Entwicklung von Qualifizierungskonzepten für die ressourcenorientierte Teilefertigung vermittelt. Dabei werden in Abhängigkeit von der vorhandenen Mitarbeiterkompetenz und des Aufgabenbereiches entsprechende Qualifizierungskonzepte abgeleitet.

2 Grundlagen

Die Nutzung der unternehmensinternen Ressourcen wie Material, elektrische Energie oder Personal, sowie die Art und Weise ihres Zusammenwirkens bestimmen maßgeblich den Unternehmenserfolg. Die Fertigungsprozesse sind dabei abhängig von den Mitarbeiterkompetenzen und bestimmen den Qualifizierungsbedarf.

Fähigkeiten, Fertigkeiten und vorhandene Kenntnisse machen die Kompetenz eines Mitarbeiters aus [12], worauf ein Qualifizierungskonzept ausgerichtet bzw. angepasst wird.

Ein **Qualifizierungskonzept** ist ein modularisiertes, wissensbasiertes Baukastensystem zur methodisch-didaktischen Weiterentwicklung individueller Ressourcen von Mitarbeitern für Arbeitssysteme unter Berücksichtigung von organisatorischen und fachlichen Rahmenbedingungen.

Dieses wissensbasierte Baukastensystem setzt sich dabei aus intelligenten Bausteinen zusammen, die klassifiziert bspw. der Abgrenzung des Anwendungsbereichs dienen. Es soll bei der Ableitung eines Qualifizierungskonzeptes unterstützen.

Mit Hilfe von Qualifizierungskonzepten wird grundsätzlich der Aufbau und Erhalt von Wissen im Unternehmen, in diesem Beitrag vor allem in Bezug auf

spanende Fertigungsverfahren, sowie deren Interaktion bzw. dessen wechselseitigen Beeinflussungen, ermöglicht bzw. gefördert. Darüber hinaus besteht ein weiterer Mehrwert durch die Sensibilisierung aller im Unternehmen tätigen Personen, die zur Reduzierung der Ressourcenbedarfe beitragen können.

Die beteiligten Personen (Arbeitsvorbereiter /-planer, Meister, usw.) unterscheiden sich dabei grundlegend in ihrer Tätigkeit, ihrem Wissensniveau, ihren Fähigkeiten, Fertigkeiten und in der Bereitschaft Veränderungsprozesse zu unterstützen.

Innerhalb des Projektes *Modelle und Qualifizierungskonzepte zur ressourceneffizienten Teilefertigung* (MoQuaRT) arbeiten die Professuren Fertigungstechnik, Verfahrenstechnik und Produktionsinformatik interdisziplinär zusammen. Dabei ist das Ziel der Professur Produktionsinformatik die Analyse und Bewertung der Ressourcenverbräuche, die Entwicklung

von Betriebsmittelmodellen sowie Qualifizierungskonzepten für die ressourceneffiziente Fertigung hochbeanspruchter Bauteile.

Durch die Modelle, welche die Potenziale der ressourceneffizienten Fertigung herausarbeiten und veranschaulichen auf der einen Seite und den Qualifizierungskonzepten für den bewussteren Umgang mit Ressourcen auf der anderen Seite, soll wesentlich zur Ressourceneffizienz beigetragen werden (vgl. Bild 1).



Bild 1: Wirksystem Ressourceneffizienz

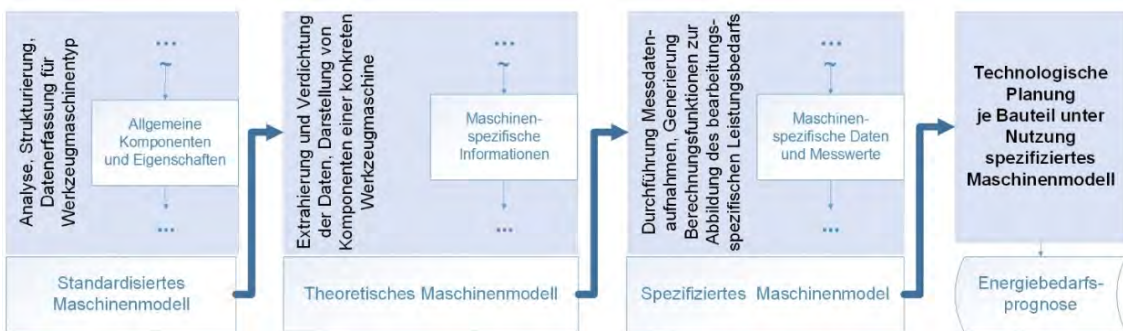


Bild 2: Teilmittelmodell spanender Fertigung am Bsp. elektrischer Energie

Dieser Beitrag widmet sich der spanenden Teilefertigung. Hierfür wurde ein Teilmittelmodell entwickelt, welches es erlaubt den elektrischen Energiebedarf für die spanende Bearbeitung zu bestimmen (siehe Bild 2). Mittels der ganzheitlichen, realitätsnahen Darstellung wird es möglich, diese Verbräuche zu analysieren und damit effektive Fertigungsprozesse hinsichtlich der Energie-, Material- und Zeitverbräuche zu planen.

Mit einem Qualifizierungskonzept sollen die so gewonnenen Erkenntnisse anschließend in eine speziell auf den Lerninhalt abgestimmten Lernumgebung integriert werden.

Das Bild 2 zeigt die wesentlichen Schritte zur Erarbeitung des spezifizierten Maschinenmodells, welches die modell- und funktionsbasierte energetische Bewertung der maschinenspezifischen Fertigungsaufgabe in Abhängigkeit vom Betriebszustand der Maschine zum Gegenstand hat. Grundlage hierfür sind die physischen Versuche zur Ermittlung maschinenspezifischer Daten und Messwerte. Hierfür ist eine detaillierte Auseinandersetzung mit den Fertigungsverfahren, Fertigungsoperationen bis auf die Ebene der Vorgangselemente erforderlich, um daraus die maschinenspezifischen Funktionen zu entwickeln, aus denen schließlich der elektrische Gesamtleistungs- bzw. Gesamtenergiebedarf resultiert.

Dieses schrittweise Vorgehen zum Aufbau eines solchen Teilmittelmodells dient der Sensibilisierung für die

Fertigungsprozesse und Ressourcenverbräuche und stellt somit ein mögliches Qualifizierungskonzept dar. Durch die gewonnenen Erkenntnisse sind somit Fertigungsvariantenvergleiche und die energetische Bewertung dieser möglich. Auch die Werkzeugmaschinenauswahl und die Werkzeugauswahl finden innerhalb dieses Vergleichs Beachtung.

3 Vorgehen zur Entwicklung von Qualifizierungskonzepten

Für die Entwicklung eines Qualifizierungskonzeptes sind zunächst die folgenden Fragen zu klären:

- Was soll gelernt werden?
- Wie soll gelernt werden?
- Wo und wann soll gelernt werden?

Was gelernt werden soll greift die konkreten Lerninhalte auf, die vermittelt werden sollen. Darüber hinaus ist die Art, die Aufteilung (Lernsystematik), die fachliche Tiefe der Wissensvermittlung hier von eminenter Bedeutung. [13]

Wie gelernt werden soll umfasst die einzusetzenden, bzw. zu entwickelnden sinnvollen Lernmittel. Diese sind so auszulegen, dass sie für den jeweils betrachteten Arbeitsprozess detailliert anwendbar sind. Entscheidend hierbei ist der Praxisbezug, der den Nutzen deutlich machen muss. Darüber hinaus ist die personelle und organisatorische Unterstützung (Lernbegleiter) von großer Bedeutung, aber auch die

Vermeidung von zu viel Theorie. [13]

Wo und wann gelernt werden soll beschreibt, welche Arbeitsplätze (auch virtuell) als potenzielle Orte zur Qualifizierung geeignet sind. Zu bewerten ist hierbei, ob e Arbeitsplatz als Ort zum Lernen geeignet ist oder mehrere Orte und deren zeitliche Anordnung (Reihenfolge) zur Erreichung des Qualifizierungsziels notwendig sind. [13]

Im nächsten Schritt ist zu klären, welche Merkmale bzw. Anforderungen die Qualifizierungskonzepte grundsätzlich erfüllen müssen, um praxistauglich zu sein. Diese müssen das Arbeiten mit dem Lernen verknüpfen können. Weiterhin müssen diese sich auf reale betriebliche Arbeits- oder Fertigungsaufträge übertragen lassen, was dadurch einen konkreten Nutzen für den Anwender erzeugt. Das Qualifizierungskonzept ist so auszulegen, dass es in Abhängigkeit von der Arbeitsaufgabe und dem jeweiligen Qualifizierungsniveau von einer Person oder einem Team durchgeführt, bzw. erreicht werden kann. Von wesentlicher Bedeutung ist, dass das zu entwickelnde Konzept über einen Handlungsspielraum verfügt, in dem sich der, bzw. die Anwender bewegen können, um ein selbstgesteuertes Qualifizieren fordern und

fördern zu können. [14]

Die aufgezeigten Merkmale dienen im weiteren Verlauf der Bewertung der Qualität des Konzeptes.

Aus den aufgezeigten grundlegenden Überlegungen heraus leitet sich das 3-Stufenkonzept ab, welches die nachfolgenden Inhalte umfasst:

- **Definition Anwendungsbereich**
- **Analyse Mitarbeiterkompetenz**
- **Ableitung Qualifizierungskonzept**

In der ersten Stufe wird die **Definition des Anwendungsbereichs des Qualifizierungskonzeptes** vorgenommen. Ziel ist es hierbei, genau das Qualifizierungskonzept zur Verfügung gestellt zu bekommen, welches die aufgezeigten Anforderungen für die aktuell zu qualifizierende Aufgabe am geeignetsten erfüllt. Die nachfolgende Tabelle 1 basiert auf dem einem morphologischen Schema und umfasst die wesentlichen Merkmale und deren Ausprägungen um den Anwendungsbereich der Qualifizierungskonzepte auf den wesentlichen Umfang einzugrenzen.

Die farbliche Hinterlegung in Tabelle 1 basiert auf der Eingrenzung des Anwendungsbereichs für das im Punkt 4 folgende Pilot-Beispiel.

Tabelle 1: Morphologie zur Definition von Anwendungsbereich und Anforderungen des Qualifizierungskonzeptes

Merkmal	Ausprägung				
	Metallverarbeitung	Kunststoffverarbeitung	Beschichtung	Montage	...
1 Branche	Kleinbetriebe	Mittelständische Unternehmen	Großbetriebe		
2 Firmengröße	Auftragsfertiger	Rahmenauftragsfertiger	Variantenfertiger	Lagerfertiger	
3 Auftragsabwicklungstyp	Einmalfertigung	Einzel- / Kleinserienfertigung	Serienfertigung	Massenfertigung	
4 Fertigungsart	kundenspezifisch	Standard mit kundenspezifischen Varianten	Standard mit allgemeinen Varianten	Standard	
5 Erzeugungsspektrum	Marketing	Vertrieb	Produktentwicklung	Fabrikbetrieb	...
6 Aufgabenbereich	Konstruktion	Arbeitsvorbereitung	Tellefertigung	Montage	...
7 Produktion	Arbeitsplaner	Meister	Werker	Studenten	Ingenieurwissenschaft
8 Zielgruppe	technisch-fachliche Kompetenz	organisatorische Kompetenz	soziale Kompetenz		
9 Kompetenz	Material	Energie	Personal	Betriebsmittel	...
10 Ressourcen	elektrisch	chemisch	mechanisch	thermisch	
11 Energieform	auditiv	visuell	haptisch	analytisch	
12 Lerntyp	arbeitsimmanent	arbeitsgebunden	arbeitsbezogen		
13 Lernmethoden	Literatur	interaktiv	softwaregestützt	visuell	...
14 Lernmedien					

Die Punkte 12-14 in der Tabelle 1 umfassen die Merkmale Lerntyp, Lernmethoden sowie Lernmedien und sollen beispielhaft das Prinzip der Auswahl eines nutzbaren Qualifizierungskonzeptes demonstrieren.

Qualifizierungsprozesse laufen grundsätzlich individuell ab. Deshalb ist ein Qualifizierungskonzept so zu gestalten, dass individualisierte, teilweise selbst organisierte Qualifizierungsprozesse ermöglicht werden. Diese sind u.a. vom Lerntyp abhängig. [15] Dazu ist ein Auszug der Lerntypen aufgeführt:

- Visueller (sehend lernen)
- Auditiv (hörend lernen)
- Haptisch (tastsinnorientiert lernen)

Keiner dieser Typen besteht allein. Grundsätzlich treten Mischformen auf, die Auswirkungen haben bzw. Berücksichtigung bei der Strukturierung und dem Aufbau des Qualifizierungskonzeptes finden.

Ein Qualifizierungskonzept muss, um dessen Inhalt zielführend und nachhaltig vermitteln zu können, so

aufgebaut sein, dass die Lernsituation der späteren Anwendungssituation möglichst ähnlich ist. Daher müssen entsprechend geeignete Lernmethoden ausgewählt werden. Diese können folgende sein:

- Arbeitsimmanentes Lernen,
- Arbeitsbezogenes Lernen oder
- Arbeitsgebundenes Lernen.

Arbeitsimmanentes Lernen umfasst den Sachverhalt, dass durch das Arbeiten im Prozess gelernt wird.

Das arbeitsbezogene Lernen beinhaltet nur geringe Beziehungen zwischen dem Lerninhalt und dem eigentlichen Arbeitsprozess.

Beim arbeitsgebundenen Lernen ist der Lerninhalt spezifisch auf den Arbeitsprozess abgestimmt, wobei aber eine klare Trennung zum Realprozess vorhanden ist. [16]

Dazu steht an der Professur Produktionsinformatik die Trainingsfabrik 4.0 mit umfangreicher Computer-

unterstützung (z. B. CAx- und ERP-Systeme) zur Verfügung, um die Qualifizierungskonzepte anwendungsorientiert in einer Fabrikumgebung testen zu können. Sie besteht aus den Komponenten: CNC-Drehmaschine, CNC-Fräsmaschine, Kollaborativer Roboter, Automatisches Hochregallager, Bauförderstrecke mit Bypass, manueller Arbeitsplatz. So kann mit virtuellen und realen Sub- und Gesamtsystemen eine praxisnahe und auf die Arbeitsaufgabe abgestimmte Weiterentwicklung und Sensibilisierung der jeweiligen Zielgruppen erreicht werden.

Die Analyse der Mitarbeiterkompetenz soll mithilfe einer Bewertungsmatrix eingeschätzt und dokumentiert werden. Durch die Auswahl der Aufgabenfelder (z.B. Arbeitsplanung) aus dem wissensbasierten Baukastensystem erhält der Anwender eine Eingrenzung der erforderlichen Mitarbeiterkompetenzen hinsichtlich der Ressourceneffizienz. Diese Eingrenzung lässt die Ableitung einer Kompetenzmatrix zur Einstufung des Qualifizierungsniveaus des Mitarbeiters zu. Hierbei gibt es grundsätzlich Unterschiede z. B. in der Spezifik des Fachwissens infolge unterschiedlicher Aufgaben oder Grundlagenqualifikationen der Mitarbeiter eines Unternehmens.

Auf der Grundlage der vorangegangenen Schritte und dem damit gewonnenen Inhalt erfolgt die **Ableitung eines konkreten Qualifizierungskonzeptes** mithilfe der nachfolgenden sechs Schritte:

- Lern-Definition (problemabhängig fachspezifisch, problemunabhängig pädagogisch-didaktisch)
- Lösungsfeld erarbeiten (Komplexitätsreduzierung...)
- Konzeptentwicklung auf der Grundlage standardisierten Vorgehens
- Lernmedien/ -Unterlagenentwicklung (VR-Anlage, CAM-System, OPAL, ...)
- Erprobung des Konzepts
- Durchführung und Erfolgskontrolle

Die jeweiligen Qualifizierungskonzepte sind auf Grund des wissensbasierten Baukastensystems und dessen intelligenter Bausteine flexibel anpassbar auf veränderte Situationen (Anwendungsbereiche) und Kompetenzniveaus der Mitarbeiter.

4 Pilot-Qualifizierungskonzept

Da besonderes Augenmerk auf der Anwendbarkeit und Adaptierung der Qualifizierungskonzepte liegt, soll ein spezifiziertes Qualifizierungskonzept für die Modelle von spanenden Fertigungsprozessen entwickelt und nutzbar gemacht werden.

Dafür ist es erforderlich, die Probleme des Arbeitsprozesses zu identifizieren und somit die Grundlage für die Lernsituation zu schaffen und lernrelevante Themen herauszuarbeiten bzw. abzusichern.

Exemplarisch wurde ein Qualifizierungskonzept für die Studenten der Fakultät Ingenieurwissenschaften der Hochschule Mittweida erarbeitet, welches das Ziel der Sensibilisierung der Studenten für ressourceneffiziente, im speziellen die energie- und material-

effiziente Fertigung hat.

Im Anschluss an die Einstufung des Anwendungsbereichs und der Mitarbeiterkompetenz erfolgte die Ableitung eines Qualifizierungskonzeptes. Der schematische Aufbau dieses Konzeptes ist in der nachfolgenden Bild 3 dargestellt.



Bild 3: Schema Qualifizierungskonzept

Anhand dieses Schemas, welches die grundlegenden Schwerpunkte des zu entwickelnden Qualifizierungskonzeptes zusammenfasst, wurde eine Belegaufgabe für die Studenten entwickelt. Dieses Pilot-Qualifizierungskonzept „Koordinatensystem“ wird im folgenden Abschnitt näher erläutert.

Pilot-Konzept „Koordinatensystem“

Um Studenten für eine ressourcenschonende Fertigung zu sensibilisieren, sollen für ein Beispielbauteil mit vorher definierten Ansätzen zur Fertigung verschiedene Arbeitspläne erstellt, und inklusive der CNC-Programmierung und Fertigung, umgesetzt werden. Dabei sollen für eine ressourcenschonende Fertigung kritische Parameter wie Materialbedarf, Energiebedarf, Zeitbedarf (Konstruktion, CNC-Programmerstellung, Aufspannungen, Fertigung) sowie die entstandenen Kosten ermittelt werden und eine Wirtschaftlichkeitsbetrachtung durchgeführt werden. Somit sollen die Studenten nicht nur sensibilisiert, sondern auch für eine ressourcenschonende Fertigung motiviert werden. Des Weiteren soll den Studenten diesbezüglich auch eine methodische Anleitung vermittelt werden.

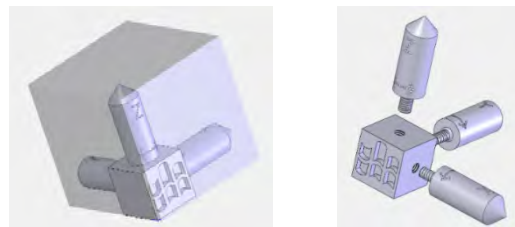


Bild 4: Beispielbauteil und alternativer Ansatz des Aufbaus mit zuzuordnenden Fertigungsverfahren

Den Studenten wird zunächst das Beispielbauteil „Koordinatensystem“ als CAD-Modell in zwei verschiedenen Varianten zur Verfügung gestellt (siehe dazu Bild 4). In Variante eins ist das Beispielbauteil als ein gesamtes Werkstück konstruiert, in Variante

zwei besteht das „Koordinatensystem“ aus insgesamt vier Einzelteilen, die zusammengefügt das „Koordinatensystem“ ergeben. Zusätzlich werden die Rohteilabmessungen für die verschiedenen Werkstücke der beiden Varianten und die verfügbaren Werkzeuge den Studenten zur Verfügung gestellt.

Aus den somit vorgegebenen Bedingungen sollen die Studenten nun mithilfe der CAM-Software **SolidWorks CAM** ein lauffähiges NC-Programm erstellen. Dabei soll für Variante eins nur das Verfahren Fräsen, für Variante zwei sollen sowohl Dreh- als auch Fräsoperationen zum Einsatz kommen.

Nach Abschluss der NC-Programmerstellung ist die nächste Aufgabe der Studenten die Vorbereitung der Fertigung. Hierzu gehört das Rüsten der benötigten Maschinen, das Zuschneiden der Rohteile sowie die Konfiguration der benötigten Messgeräte. Ist dieser Vorgang abgeschlossen, kann die Fertigung gestartet werden. Daran anschließend können die daraus gewonnenen Daten ausgewertet werden. Daraus sollte ein Fazit entstehen, welches die Wirtschaftlichkeit und Ressourceneffizienz berücksichtigt und Empfehlungen für eine möglichst wirtschaftliche und ressourcenschonende Produktentwicklung und Fertigung beinhaltet. Derzeit werden in entsprechenden Untersuchungen die technische Realisierbarkeit und die Zeitbedarfe geprüft.

5 Fazit

Der Beitrag führt die Ergebnisse der bisherigen Forschungsarbeiten zur Entwicklung von Qualifizierungskonzepten zusammen. Der Schwerpunkt lag dabei auf der methodischen Herangehensweise zur Sensibilisierung und Motivation der Mitarbeiter für eine ressourceneffiziente Fertigung.

6 Ausblick

Weitere Arbeiten werden der weiteren Spezifizierung, Validierung und Evaluierung des Qualifizierungskonzeptes dienen, um eine Aussage darüber treffen zu können, wie wirksam diese Herangehensweise für die Ressourceneinsparung in der spanenden Fertigung ist.

Danksagung

Die Autoren danken dem Europäischen Sozialfonds (ESF) und dem Freistaat Sachsen für die Förderung der Nachwuchsforschergruppe „Entwicklung innovativer Verfahrens- und Betriebsmittelmodelle sowie Qualifizierungskonzepte für die ressourceneffiziente Fertigung hochbeanspruchter Bauteile“ –MoQuART und dem Projektträger Sächsische Aufbaubank – Förderbank – (SAB).



Literaturverzeichnis

[1] Pfeiffer, I. (2018): Bewältigung gesteigerter Anforderungen im Unternehmen, Forschungsinstitut Betriebliche Bildung (f-bb) gemeinnützige GmbH, verfügbar

- unter <http://qib.f-bb.de/qib/zie-le/anforderungen/anforderungen.rsys>, [28.08.2018]
- [2] Eisele, C. (2014): Simulationsgestützte Optimierung des elektrischen Energiebedarfs spanender Werkzeugmaschinen, Darmstadt, TU., Diss., Aachen: Shaker
- [3] Hesselbach, J. (2012): Energie- und klimaeffiziente Produktion. Grundlagen, Leitlinien und Praxisbeispiele. 1. Aufl.: Vieweg+ Teubner (GWW).
- [4] IHK Berlin (2015): Wettbewerbsvorteil Energieeffizienz. verfügbar unter <http://www.upl-lichtenberg.de/fileadmin/files/upl/veranstaltungen/Energieeffizienz/IHK.pdf>. [29.08.2018]
- [5] Neugebauer, R. (2011): Methoden der energetisch-wirtschaftlichen Bilanzierung und Bewertung in der Produktionstechnik. Methodenworkshop der Querschnittsarbeitsgruppe 1 "Energetisch-wirtschaftliche Bilanzierung" des Spitzentechnologieclusters eniPROD; Tagungsband. TUC; Verl. Wiss. Scripten. Chemnitz.
- [6] Abele E., Schrems S., Schraml P., Energieeffizienz in der Fabrikplanung, Werkstattstechnik online, 1/2 (2012), 38–42
- [7] Bakir, D. C. (2015). KMU-taugliche Methodik zur Erhöhung der innerbetrieblichen ökonomischen und ökologischen Ressourceneffizienz, Dissertation Universität Aachen, Lehrstuhl für Produktionssysteme. Aachen.
- [8] Müller, E., Engelmann, J., Löffler, T., Strauch, J. (2013), Energieeffiziente Fabriken planen und betreiben. Heidelberg, Springer, Berlin
- [9] Goldhahn, L; Eckardt, R. (2014). Potentiale der Arbeitsvorbereitung zur Steigerung der Ressourceneffizienz produzierender Unternehmen, Müller, E.: TBI'14 Produktion und Arbeitswelt 4.0, TBI 2014, Chemnitz, 237-247
- [10] Lehrstuhl für Fertigungsautomatisierung und Produktionssystematik (2018), Beitrag der Einzelprojekte zur Energiewende, Lehrstuhl für Fertigungsautomatisierung und Produktionssystematik (FAPS). Universität Erlangen, verfügbar unter http://greenfactorybavaria.de/gf/cms/front_cotent.php?idcat=26&lang=1 [29.08.2018]
- [11] Goldhahn, L; Bock, D.; Eckardt, R. Pietschmann, C.; Weber, H.; Loll, J. (2017), Ressourceneffiziente technologische Planung, ZWF Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb, 112 (5/2017), 332-336
- [12] Goldhahn, L., Meißner, N., Müller-Eppendorfer, K., Thümer, C. (2012). Multimediale und Virtual-Reality-basierte Planungs- und Lernbausteine für die Teilefertigung und Montage, ZKProSachs, Integrierte Planung in der Produktentstehung. Feature-basierter Ansatz zur durchgängigen Planung von der Konstruktion bis zur Fertigungssteuerung, Berlin, MBV, 175 - 229
- [13] Pfeiffer, I. (2018): Qualifizierungsprogramm erarbeiten, Forschungsinstitut Betriebliche Bildung (f-bb). verfügbar unter: http://qib.f-bb.de/qib/planen_umsetzen/qualifizierung/qualifizierungskonzept.rsys [04.09.2018]
- [14] Bauer, W., Koring, C., Schnitger, M., „WAP - Weiterbildung im Prozess der Arbeit, Erfahrungen und Ergebnisse der wissenschaftlichen Begleitung“, Vortrag auf der WAP-Fachtagung [19.05.2006], 20
- [15] Kuhlmann, A., Sauter, W., (2008): Innovative Lernsysteme. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg
- [16] Pfeiffer, I. (2018): Warum arbeitsprozessorientiertes Lernen?, Forschungsinstitut Betriebliche Bildung (f-bb), verfügbar unter: http://qib.f-bb.de/qib/planen_umsetzen/qualifizierung/lernen.rsys [04.09.2018]

QUALITÄTSSICHERUNG MITTELS DURCHGÄNGIGER INFORMATIK UND AUTOMATION IN DER ROBOTER-INTEGRIERTEN FERTIGUNG

Martin Hiersemann, Rolf Hiersemann, Christian Brenner, Heiko Veit, Thomas Ulbricht
Hiersemann Prozessautomation GmbH, Tuchschererstraße 4a, D-09116 Chemnitz

Die Qualitätssicherung unter den Bedingungen kürzester Innovationszyklen bei Einhaltung vorgegebener Taktzeiten ist oberstes Gebot in der variantenreichen industriellen Fertigung. Zur Umsetzung dieser Forderungen wurden seitens der Firma Hiersemann Prozessautomation innovative Automationskonzepte, gepaart mit durchgängigen Informationssystemen, entwickelt und industriell zum Einsatz gebracht. Schwerpunkte bilden die Konzeption der effektiv einsetzbaren Robotik, Sensor- und Messdatenerfassung und deren Auswertung sowie ein intuitiv nutzbares Werker-Assistenzsystem. Das entwickelte Roboter-Cluster-System ist als Baukasten aufgebaut und umfasst die Module Mechanik-Design, Robotik, Steuerungstechnik, Datenerfassung und -auswertung, Visualisierung und Bedienung (HMI), Vision-Systeme und Sicherheitstechnik. Ein Schwerpunkt, die autonome Werkerassistenz, wird am Beispiel wandlungsfähiger Prüfanlagen dargestellt. Zur ergonomischen Gestaltung der Visualisierungssysteme werden Designempfehlungen gegeben.

1. Einleitung

Die automatisierte Fertigung erfordert zunehmend durchgängig gestaltete digitale Informations- und Kommunikationssysteme. Die Vernetzung der Funktionsknoten, sowohl horizontal als vertikal, ermöglicht einen durchgängigen Informationsfluss zur Unterstützung der Produktions- und Wartungsprozesse. Zudem sind Werkzeuge für die Entwicklungs-, Konstruktions-, Inbetriebnahme- und Instandhaltungsprozesse zu harmonisieren. Hier greifen die Entwicklungen der Fa. Hiersemann Prozessautomation, die mittels Demonstratortechnik im firmeneigenen Technikum und in der E³-Forschungsfabrik des Fraunhofer-IWU evaluiert wurden und schrittweise in Industrieprojekten, insbesondere in den Roboter-integrierten Produktionssystemen, ausgerollt werden. Die Hauptschwerpunkte liegen in den Themen Auswahl geeigneter Robotik, Datenstrukturierung in Automationsgeräten, Gestaltung der Kommunikation, Datenauswertung und Visualisierung sowie Sicherheitstechnik.

2. Roboter-Integration in Fertigungssysteme

In den automatisierten Fertigungssystemen kommen zunehmend Robotik-Lösungen zum Einsatz. Im Jahr 2017 stieg der weltweite Absatz von Industrierobotern um ca. 30% gegenüber dem Vorjahr (2016: 294.300 Roboter), getrieben von den metallverarbeitenden Industrien.

Folglich sollte der Festlegung auf eine spezifische Robotik-Auslegung eine Analyse der technologischen Prozessanforderungen vorangehen. Hier empfiehlt sich ein Vorgehen zur Ermittlung der technischen Wertigkeit nach Dambacher [1], indem die wesentlichen Erfordernisse gewichtet werden und in Auswertung dessen entschieden wird.

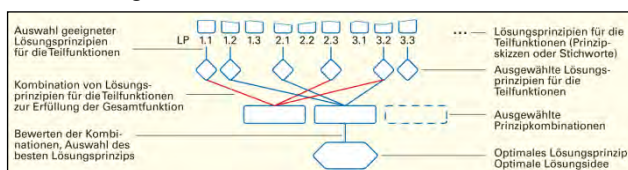


Abbildung 1: Allg. Vorgehen zur Bewertung von Lösungsprinzipien nach Dambacher [1].

Mittels dieses Vorgehens wurden die Technologien Logistik, Montieren, Fügen und Prüfen von Bauteilen analysiert (vgl. Tabelle 1, Abb. 2).

Für die Fa. Hiersemann Prozessautomation kommen auf dieser Basis für Prüfprozesse vorrangig Horizontal-Knickarm-Roboter (sog. SCARA-Roboter) und für Montage- und Fügeprozesse Vertikal-Knickarm-Roboter zum Einsatz.

Dies wurde in mehreren Tests an der verfügbaren Demonstrator-Technik analysiert und kommt schrittweise in den Anlagen zum Einsatz.

Tabelle 1: Überblick Robotik im Bereich Prüfen und Logistik (geringe bewegte Massen).

Parameter	Lösungsprinzip	Portal-Roboter	Scara Roboter	Knickarm-Roboter	Ideal-lösung
1	Geschwindigkeit	2	4	4	4
2	Flexibilität	2	3	4	4
3	Platzbedarf	1	4	2	4
4	Kosten	3	2	2	4
5	Konstruktions-Aufwand	2	3	3	4
6	Programmier-Aufwand	3	2	1	4
	Summe Punkte	13	18	16	24
Teile-Handling	Technische Wertigkeit				
Prüfen	$x = \frac{\sum \text{Punkte}}{\sum \text{Punkte (ideal)}}$	0,54	0,75	0,67	1

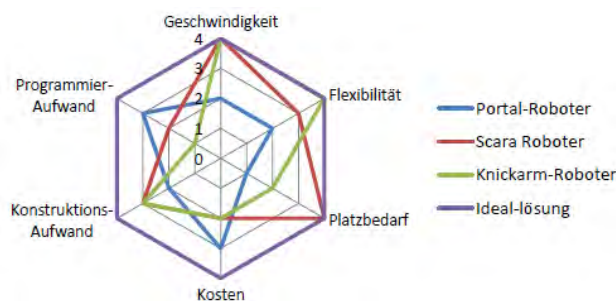


Abbildung 2: Stärken und Schwächen der Robotik im Bereich Prüftechnologie.

Basierend auf den grundlegenden Auswahlkriterien für die Robotik sind die Themen der Bewegungskoordination und Kommunikation innerhalb der Automationsanlage der Anlagentechnik zu betrachten. In der Mehrzahl der Applikationen kommen mehrere

Roboter, die in einer Station koordiniert zueinander wirken, zur Anwendung.

Zunehmend bieten die Roboter-Hersteller Simulations-Tools an, die die Erstellung der Offline-Programme unterstützen. Hohen Nutzen besitzen diese Werkzeuge zur Betrachtung der Taktzeiten der Einzelbewegungen und somit zur Taktzeitbetrachtung der Gesamtstation. Auch sind Iterations-schritte, die ggf. zur Anpassung der Robotik-Auswahl führen, erforderlich und mit den Tools erneut zu analysieren.

Bei der Entscheidung zu einem Simulationstool sollte beachtet werden, dass auch mechanische Komponenten in digitaler Form einbindbar sind. Somit können Störkonturen und Handhabungen am Tool-Center-Point mittels Greifer simuliert werden.

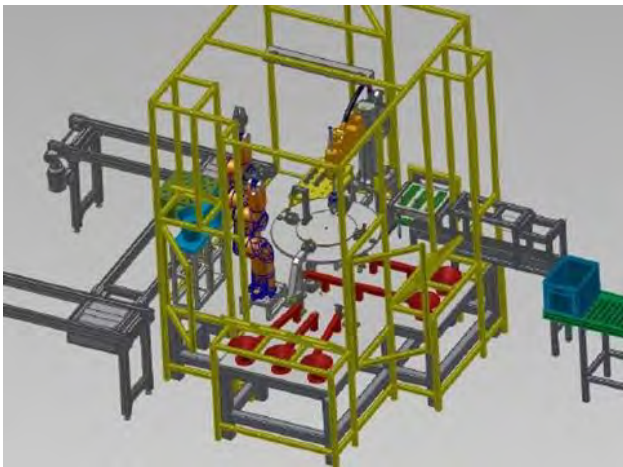


Abbildung 3: Ausschnitt aus einer Anlage mit 3 koordiniert agierenden Robotern als Simulationsbasis.

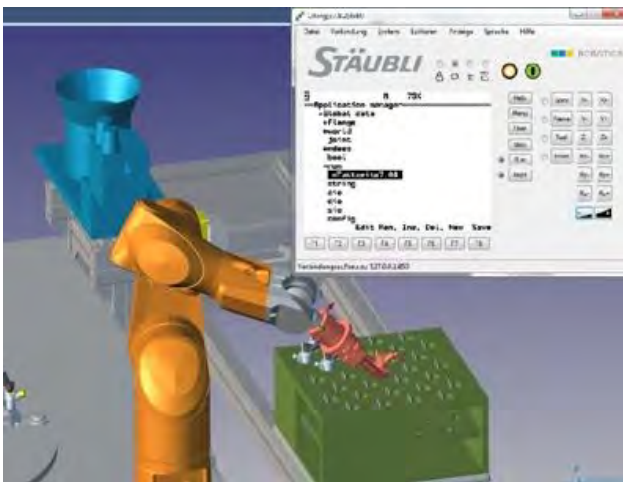


Abbildung 4: Auszug aus Simulations-Tool eines Knickarm-Roboters.

Ein weiterer Gesichtspunkt zur Robotik-Integration bildet die Gestaltung der Schnittstellen zu den in Automationsanlagen meist eingesetzten speicherprogrammierbaren Steuerungen (SPS).

Gleichzeitig sind die möglichen und zukunfts-trächtigen Kommunikationssysteme auf dem Gebiet der industriellen Feldbusse bzw. Feldnetze zu analysieren und zu bewerten. Neben dem Aspekt der

Durchgängigkeit für IIoT ist hierbei die Einbindung in das Automationssystem ausschlaggebend.

Tabelle 2: Auswahl der Kommunikationsverfahren für Komponenten-Integration in Automationssysteme

Technik	Verein / Organisation	Realisierung der Echtzeitanforderung	Funktionsweise	Abwärtskompatibilität	Präferiertes Automat. System
PROFINET RT / IRT	PNO	mit Infrastruktur managed Switches t_{zykl} min. 1ms	CSMA / CD + spez. Switch-Technologie	PROFIBUS	Siemens, Phoenix
POWERLINK	EPSC	Jitter sehr gering (<100 μ s) t_{zykl} min. 400 μ s	Master-Slave + Zeitschlitz (TDMA)	CAN open	B&R
Ethernet /IP	ODVA	t_{zykl} min. 10 ms	CSMA / CD + Broadcast + Master-Slave	Device Net	Allen Bradley
EtherCAT	Beckhoff	geeignet für geringe Datenmengen (t_{zykl} = 1-4 ms)	CSMA / CD + Master-Slave + Summenrahmen	CAN open	Beckhoff

In diesem Zusammenhang wird auch die Betrachtung der Abwärtskompatibilität interessant, um eine Einbindung von Legacy-Systemen zu ermöglichen.

Auf Basis dieser vergleichenden Betrachtungen wurde seitens der Fa. Hiersemann Prozessautomation die durchgängige Anwendung von PROFINET für sämtliche Neuprojekte entschieden.

Seitens der Einbindung von Roboter-Steuerungen wurde eine Schnittstellendefinition gefunden, die enormen Wiederholcharakter für die zu realisierenden Applikationen besitzt und zugleich offene Bereiche für Spezifika und Sonderfunktionen aufweist.

Tabelle 3: Schnittstellendefinition Roboter - Anlagen-SPS.

	Signale zum Roboter	Informationen vom Roboter
Verwaltung (fixe Schnittstelle)	Betriebsarten (Auto., Einrichten..)	Betriebsarten (Step, Automatik, Fehler..)
Anlagenspezifischer Teil der Schnittstelle	Einrichten u. Befehle	Statusmeldungen
	Präzisierungen der Befehle	Sensormeldungen
	Anlagenstatus	Positionsmeldungen
	Kollisionsüberwachung	Kollisionsüberwachung

3. Baukasten für Roboter-integrierte Fertigungsstationen

Die zunehmende Einbindung der Robotik war Anlass, einen firmeneigenen Baukasten für Engineering und Betrieb von Fertigungsstationen zu entwickeln.

Der Baukasten beinhaltet folgende Module

1. Module für mechanische Konstruktion, Designvorgaben
2. Modul Datenerfassung und Visualisierung Stations-PC, Designvorgaben
3. Modul Bedienen und Beobachten - Human-Machine-Interface HMI, Designvorgaben
4. Modul Steuerungstechnik Zentrale SPS, Koordinationssteuerung
5. Module für integrierte Funktions-Komponenten
6. Modul Robotik: Funktionsbausteine, Simulations-Muster

- 7. Modul Sicherheitstechnik
- 8. Modulameratechnik.

Die Modulbeschreibungen dienen als Entwurfsrichtlinien zur Gestaltung, Projektierung, Konstruktion, Programmierung, Projektierung sowie Realisierung von Roboter-integrierten Fertigungsstationen.

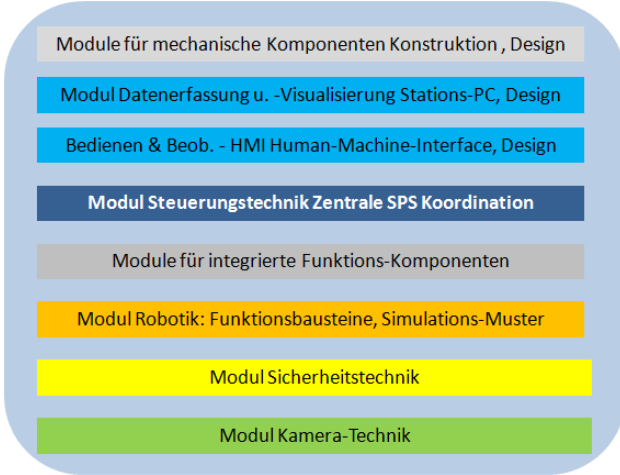


Abbildung 5: Baukastenmodule mit zentraler Anlagensteuerung (SPS).

In der unter Kapitel 2 gezeigten Darstellung einer Anlage kommen 3 Roboter und weitere Komponenten zum Einsatz. Die zur Realisierung dieser Anlage zum Einsatz kommenden Module sind in folgender Abbildung dargestellt, dies aus Sicht der zentralen Anlagen-SPS.

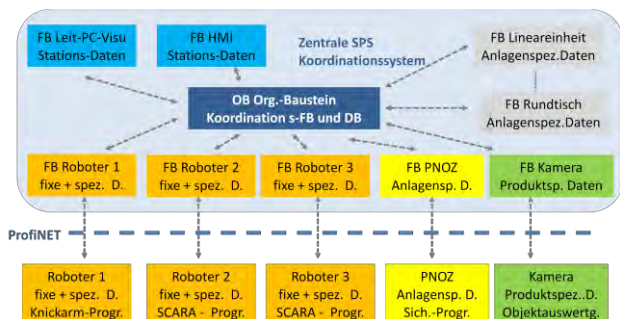


Abbildung 6: Anwendung des Baukastens für Fertigungsstation mit 3 Robotern.

Für die Einbindung der Robotik beispielweise enthält der Baukasten Funktionsmodule für die Integration in die zentrale SPS und Funktionsmodule für die Integration die betreffende Roboter-Steuerung (SCARA oder Knickarm). Entsprechend sind für Sicherheits-, Kamera- und Leittechnik stets Module für die SPS und das betreffende Device vorrätig.

4. Durchgängig gestaltete Informationstechnik

Grundlage für die Realisierung von durchgängig digitalisierten Informationssystemen bildet die Gestaltung in der Ebene der Automationsgeräte. Hierzu hat die Fa. Hiersemann Prozessautomation, wie auch weitere Sondermaschinenbauer, eine firmeninterne Standardisierung der wichtigsten Informationen vorgenommen. Diese sind in Datenbausteinen der Automationsgeräte (wie SPS) hinterlegt und

können dann mit unterschiedlichen Methoden in ein umfassendes Kommunikationssystem eingebunden werden.

Hier setzt dann die Notwendigkeit an, die Vorgaben der Betreiber der Anlagentechnik (die Kunden) zu berücksichtigen. In Zusammenarbeit mit weiteren Partnern wurden 2 prinzipielle Datenübertragungsmethoden deklariert, die beide auf ETHERNET-Technologie basieren und somit IIoT-Techniken unterstützen bzw. erlauben: XML- und JSON-basierte Datenstrukturierung. Beide Varianten sind vorkonfiguriert und können aufwandsarm generiert werden.

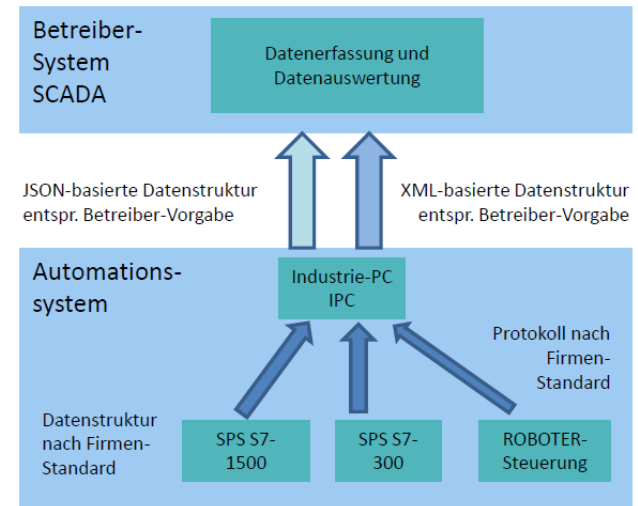


Abbildung 7: Prinzip der Datenstruktur-Anpassung in Kommunikationssystemen.

Dazu werden die Automationsgeräte (wie SPS) mit einem Industrie-PC (IPC) gekoppelt, der die wichtigsten Daten entsprechend firmeninternem Standard erhält (Event-gesteuertes Senden aus SPS) oder abfragt (polling).

Der Header ist für alle Telegramme gleich und besteht immer aus 28 ASCII Zeichen

Anzahl Zeichen	Benennung	Beschreibung
4	Telegrammzähler	
4	Anlage	Nummer der Anlage
2	Station	Nummer der Station
2	Nest	Nummer des Nestes
10	Gerätetyp	Bezeichnung des Gerätetyps (siehe Tabelle 2.1)
2	Gerätenummer	Laufende Gerätenummer
2	Telegrammtyp	Telegrammkennung
2	Version	Versionsnummer des Telegrammtypes.

Abbildung 8: Beispiel eines Event-gesteuerten Telegramms von SPS an IPC (nur Header).

Im IPC werden dann Datenstrukturierung und Protokollgestaltung auf die Betreiber-Vorgaben angepasst (siehe [2]).

Diese Methode erlaubt den Betreibern, Anlagen und Stationen verschiedener Hersteller in das Gesamtsystem einzubinden, die Einhaltung seiner Kommunikationsvorgaben vorausgesetzt.

Diese Technik erlaubt auch Erweiterungen der Kommunikation in Richtung Einsatz des Standards OPC-UA, wobei hierbei die Strukturierung der Daten der entscheidende Aspekt ist. OPC UA stellt lediglich die Kommunikationspfade, die Information (Da-

teninhalte nebst Struktur – also die Anlagenontologie) sind für die Anlagenfunktion entscheidend.

5. Autonome Werkerassistenz an Prüfstationen

Neben der Integration von Fertigungsstationen in Anlagen und damit in umfangreiche SCADA-Systeme entsteht zunehmend das Erfordernis, die Werker an der Anlage vor Ort oder über mobile Endgeräte rasch zu informieren. Dies gewinnt für qualitätssichernde sowie Wartungs- und Instandhaltungsprozesse zunehmend an Bedeutung.

Hierzu hat die Firma Hiersemann Prozessautomation in Zusammenarbeit mit mehreren Partnern (Institute und Industrie) ein sowohl in SCADA integrierbares als auch autonom nutzbares Werker-Assistenzsystem entwickelt. Dieses basiert auf der durchgängig gestalteten Datenstrukturierung und nutzt die neuesten Informatik-Technologien für IIoT, wie Browser-orientierte Softwareentwicklung und Funktionsnutzung. Das System wurde an einer ortsflexiblen Prüfstation (OPS) in der E³-Forschungsfabrik [3] des Fraunhofer-IWU in Chemnitz evaluiert und validiert.

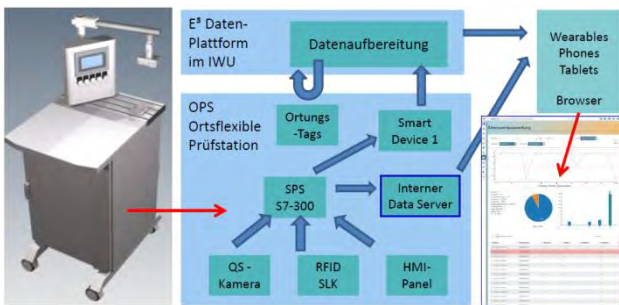


Abbildung 9: Anwendung der durchgängigen Datenstruktur in der ortsflexiblen Prüfstation in der E³-Forschungsfabrik.

Mittels handelsüblicher Web-Browser und vorgefertigte Datamatrix-Codes (QR-Codes) ist der Zugriff auf den in der OPS integrierten Daten-Server möglich. Die installierten Applikationen erlauben umfangreiche Auswertungen.

Die im Demonstrator OPS umgesetzten Auswertungen betreffen:

Mittelwertbildung

Der arithmetische Mittelwert wird aus einer konkreten Datenmenge, die der Werker vorgeben kann, berechnet und gibt die Tendenz einer Verteilung an. Damit kann der Werker das Wegdriften von Parametern erkennen. Er ist definiert als:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n x_i \quad (1)$$

n = Stichprobenumfang

x_i = Wert des i -ten Elements

Standardabweichung

Die empirische Standardabweichung wird auch Stichprobenstreuung genannt. Sie gibt an, wie weit

die Stichprobe im Schnitt um das arithmetische Mittel streut.

$$s_g = \sqrt{\frac{1}{n-1} \cdot \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (2)$$

Prozessfähigkeit

Die Prozessfähigkeit dient zur statistischen Bewertung eines Prozesses. Angegeben wird damit die Sicherheit des Erreichens vorgegebener Ziele laut Spezifikation. Der Werker hat die Möglichkeit, eine einfache und eine kritische Prozessfähigkeit abzurufen. Damit wird sein Entscheidungsspielraum erheblich erweitert.

Einfache Prozessfähigkeit (C_p)

$$C_p = \frac{OTG - UTG}{6 \cdot s_g} \quad (3)$$

OTG = Obere Toleranzgrenze

UTG = Untere Toleranzgrenze

Kritische Prozessfähigkeit (C_{pk})

$$C_{pk} = \frac{\min(OTG - \bar{x}; \bar{x} - UTG)}{3 \cdot s_g} \quad (4)$$

Insbesondere die Werte Prozessfähigkeit (C_p) und kritische Prozessfähigkeit (C_{pk}) sind für die Nutzung von Prüfsystemen zur Überwachung der Qualitätsparameter der Produktteile von entscheidender Bedeutung.

Diese Auswertungen sind auf Wearables in unterschiedlichster Form abrufbar. Dazu wurden Web-Technologien eingesetzt, die die Dynamisierung von Visualisierungs-Komponenten unterstützen [4].

6. Anlagen- und Kommunikations-Design

In der Gestaltung von Produktionsanlagen erhält das Industrie- und Kommunikationsdesign eine stetig wachsende Bedeutung. In Produktionsanlagen werden zunehmend niveaull gestaltetete Maschinen und Anlagen eingesetzt. Nach dem Motto „das Auge kauft“ sind von den Anlagenlieferanten Gestaltungslinien und Wiedererkennungswert ihrer Maschinen gefragt. Dies reicht jedoch nicht nur bis zur mechatronischen Gestaltung der Maschine. Zunehmend sind die Bedien- bzw. Visualisierungssysteme der Anlagen nutzergerecht zu gestalten.



Abbildung 10: Grundlagen der Gestaltung der Visualisierung für die Fa. Hiersemann Prozessautomation, entwickelt vom Designbüro TYP4.

Dazu wird eine sehr enge Zusammenarbeit mit dem Designbüro TYP4 aus Halle/Saale [5] gepflegt. Dieses orientiert am Prinzip des Flatdesign, das auch ungewohnte Sichtweisen ermöglicht.

Die Gestaltungen von Visualisierungen wurden an Demonstratoren, wie der ortsflexiblen Prüfstation OPS, entwickelt, evaluiert und validiert und kommen schrittweise in neuen Industrieanlagen zum Einsatz, dies passfähig zum Anlagendesign.

Enorm wichtig ist das Gestalten und Anwenden firmenspezifischer Erkennungs- und Wiederholmerkmale.



Abbildung 11: Grundlegendes Maschinen- und Anlagendesign für die Fa. Hiersemann Prozessautomation, entwickelt vom Designbüro TYP4.



Abbildung 12: Anwendung des Design-Konzeptes in einer Sondermaschine (Prüfstation) der Fa. Hiersemann Prozessautomation.

Das grundlegende Anlagen-Design enthält Vorgaben zu:

- Farbgestaltung
- Beleuchtung

- Signalisation
- Bedienpanels
- Typbezeichnung und
- Beschriftung.

Diese sind dann projektspezifisch anzupassen (siehe Abb. 12), wobei die Einhaltung der grundlegenden Design-Vorgaben zwingend vorgegeben ist.

In Visualisierungssystemen von Prüfanlagen werden zunehmend auch bildhafte Darstellung von Prüflingen bzw. Videos für Instandhaltungsmaßnahmen integriert. Dies wurde in den Anlagen der Fa. Hiersemann Prozessautomation passfähig in die Standardvisualisierung in Form von Einblendungen integriert.

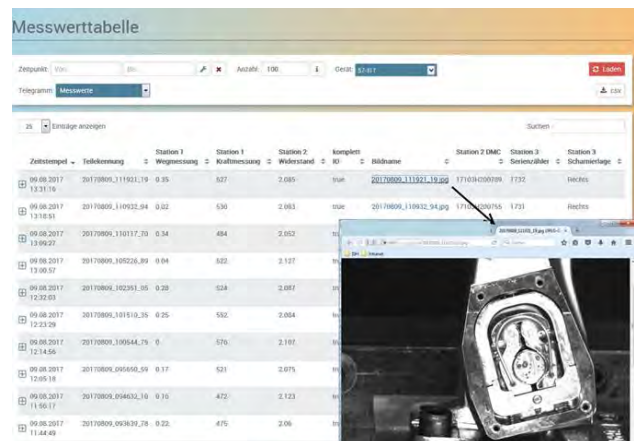


Abbildung 13: Einblendung von bildhaften Darstellungen in Standard-Visualisierung.

7. Entwicklungsschwerpunkte

Die dargelegten Applikationen basieren auch auf mehreren Forschungs- und Entwicklungsprojekten.

Komponenten des Baukastens resultieren aus dem Einzelprojekt Roboter-Cluster mit Koordinationssystem für Montage- und Prüfprozesse RC-Mont (ZIM-FK: EP 150728, gefördert vom BMWi, Projektträger EURONOM).

Die Gestaltung der Datenströme und Visualisierung für Prüfstationen basiert auf dem Verbundprojekt SmARPro - Smart Assistance for Humans in Production Systems (FK: 01IM14004G, gefördert vom BMBF, Projektträger DLR).

Zur Forcierung der Entwicklungen auf den Gebieten Industrie 4.0-Technologien für Sondermaschinen, speziell Prüfanlagen und digitale Prozesse wird aktuell an folgenden Themen geforscht:

- Latenzarme Kommunikationssysteme (Zwanzig20-Verbundvorhaben *fast automation*. TP3 - Entwicklung von Automationsanlagen mit niedriglatenter drahtloser Funkkommunikation FK: 03ZZ0510C, gefördert vom BMBF, Projektträger PtJ).

In diesem Vorhaben wird an die Grenzen kabelloser (wireless) Kommunikationssysteme gegangen und deren Applikationsmöglichkeiten und auch Grenzen ausgelotet. Ziele sind aufwandsarme und echtzeitfähige Kommunikationssysteme für Sonderanlagen.

- Fertigungsintegrierte Qualitätsprüfung (Kooperations-Projekt *Q-Flex* ZIM-FK ZF4440501DB7, gefördert vom BMWi, Projektträger AiF Projekt)

Dieses Projekt erforscht den Einsatz berührungsloser Messsysteme für die taktasynchrone Qualitätsprüfung automotiver Bauteile. Die Ergebnisse sollen in innovative Prüfmodule einfließen.

- Modulare funktionsinkludierte Fertigungsstationen (Einzelprojekt *Inklude* ZIM-FK EP180052, gefördert vom BMWi, Projektträger EURO-NORM).

Im Projekt *Inklude* werden sämtliche produktionsrelevanten Prozesse in einer Fertigungsstation zusammengefasst, dies unter dem Aspekt der Integration derartiger Stationen in heterogene IIoT-basierte Fertigungsanlagen.

- Harmonisierung der Mensch-Maschine-Interaktion in der Produktion (Verbundvorhaben HMMI, SAB-ANr.100294859, Gefördert von EU-EFRE und SMWA).

Ziel dieses Verbundvorhabens ist die Gestaltung von abgestimmten Datenstrukturen in komplexen Fertigungs- bzw. Kommunikationssystemen sowie die Harmonisierung von Visualisierungssystemen (siehe Abb. 14, [6]).

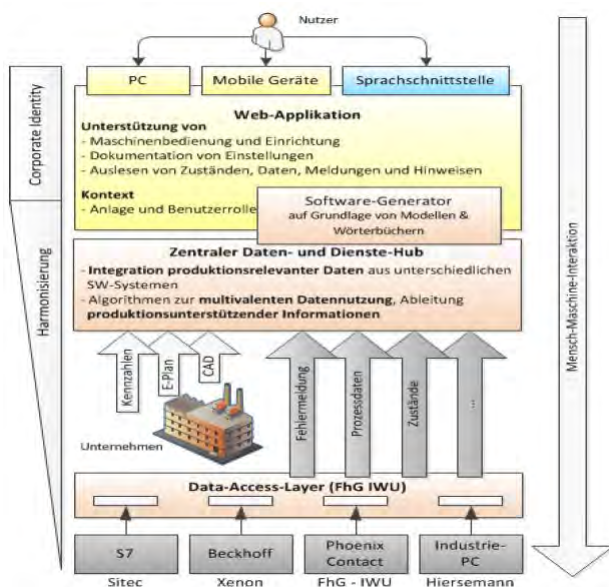


Abbildung 14: Gesamtsystem der durchgängigen Umsetzung einer harmonisierten Mensch-Maschine-Interaktion.

Danksagung

Die Fa. Hiersemann Prozessautomation und die Autoren bedanken sich für die Unterstützung bei Fördermittelgebern, Projektträgern und kooperierenden Firmen und Instituten.

Literaturverzeichnis

- [1] Dambacher, M., Kümmerer, R. u. a. (2015): Konstruktionslehre Maschinenbau, Kap. 1.5, Verlag Europa Lehrmittel, Europa-Nr.14009, ISBN 978-3-8085-1406-1
- [2] Stoldt, J.; Friedemann, M.; Langer, T.; Putz, M.; Hiersemann, R. (2016): Ein Systemkonzept zur durchgängigen Datenintegration im Produktionsumfeld. In Müller, E., & Bullinger-Hoffmann, A. C. (Hrsg.), Tagungsband *Vernetzt planen und produzieren – VPP2016*. (S. 165-174) TU Chemnitz: Wissenschaftliche Schriftenreihe des IBF, Sonderheft 22
- [3] Fraunhofer-Gesellschaft: *E³-Forschungsfabrik (Homepage)*. Abgerufen 08. August 2018, von <http://www.e3-fabrik.de>
- [4] Brenner, C.; Hiersemann, M.; Hiersemann, R.; Friedemann, M.; Langer, T.; Putz, M.; Stoldt, J.; Hiersemann, P. (2017): Umsetzung des SmARPro-Systemkonzepts zur durchgängigen Datenintegration im Produktionsumfeld unter Betrachtung autonomer Werkerassistenz. In Müller, E. (Hrsg.), Tagungsband *TBI 2017- 16*. Tage des Betriebs- und Systemingenieurs (S. 205-214) TU Chemnitz: Wissenschaftliche Schriftenreihe des IBF, Sonderheft 23 ISSN 0947-2495
- [5] Hiersemann, P. (2018): *Homepage TYP4 Fotografie & Design*. Abgerufen 08. August 2018, von <http://typ4.net>.
- [6] Singer, A. (2018): Harmonisierung der Mensch-Maschine-Interaktion in der Produktion (HMMI), Zwischenbericht, Fraunhofer-Gesellschaft, 29.06.2018



VIRTUELLE IDENTIFIKATION UND REGLERINBETRIEBNAHME

Henry Kirchner, Holger Schlegel, Matthias Putz

Technische Universität Chemnitz, Straße der Nationen 62, D-09111 Chemnitz

Bewegungssteuerungen halten immer mehr Einzug in den Bereichen der Verarbeitungsmaschinen und umformender Produktionsanlagen. Zur Identifikation und Inbetriebnahme elektromechanischer Achsen werden üblicherweise Testsignale in Form von Sprüngen, harmonischen Signalen oder breitbandigen Rauschsignalen aufgeschaltet und die Systemantworten erfasst. In den genannten Anwendungsgebieten liegen oftmals mechanisch gekoppelte Achsverbunde vor. Derartige Testsignale müssen dabei identisch und takt synchron auf die Einzelachsen der Verbunde beaufschlagt werden. Dieses Vorgehen ist zum einen nicht bei allen Steuerungen möglich und stellt zum anderen ein erhebliches Sicherheitsrisiko für die Maschine dar. Ein Simulationsmodell des gesamten mechatronischen Achsverbundes bietet dabei als sogenannter „virtueller Zwilling“ die Möglichkeit der Systemidentifikation und anschließender Reglerinbetriebnahme ohne das Risiko einer Schädigung. Dies wird im vorliegenden Beitrag am Beispiel einer Servoumformereinheit mit Hilfe des Simulationstools MatLab/Simulink dargestellt.

1. Einleitung

Der Wunsch nach steigender Produktivität zeigt sich in nahezu allen Bereichen des produzierenden Gewerbes. Der Beitrag fokussiert dabei auf den Bereich der Verarbeitungsmaschinen und umformender Produktionsanlagen. Gleichzeitig entwickelt sich die Nachfrage hin zu qualitativ immer hochwertigeren Produkten. Die dazu notwendigen Produktionsanlagen müssen daher immer schneller und zusätzlich präziser werden. Es ist somit unabdingbar, die Positioniergenauigkeit elektromechanischer Achsen stetig zu erhöhen. Eine Möglichkeit dieser Forderung nachzukommen bietet die Verbesserung der Parametrierung der kaskadierten Regelkreise für elektromechanische Achsen. Auf dem Weg zu diesem Ziel ist es notwendig, ein sehr genaues Simulationsmodell zu entwickeln. Der vorliegende Artikel beschreibt eben diese Entwicklung.

2. Stand der Technik

Zur Reglereinstellung für Einzelachsen, maschinen-seitig bestehend aus einem Servomotor und nachgeschalteter Mechanik, hält die Literatur verschiedene Verfahren bereit. Das sind z. B. Einstellregeln wie Ziegler/Nichols oder Samal, welche für die entsprechende Regelstrecke recht brauchbare Ergebnisse liefern können [1]. Diese heuristischen Verfahren können nur auf Basis von Testsignalen verwendet werden. An bestehenden Anlagen besteht dabei die Gefahr der Schädigung bis hin zur Zerstörung, insbesondere bei zu Instabilität neigenden Regelstrecken. Es existieren auch mathematische Verfahren, wie das Betragsoptimum oder das symmetrische Optimum. Dabei wird der Frequenzgang des geschlossenen Regelkreises mit Hilfe der Berechnung der Reglerzeitkonstanten und -verstärkung gezielt in einen stabilen Bereich verschoben. Beiden Verfahrensgruppen ist gemein, dass Testsignale in Form von Sprüngen, harmonischen Signalen oder breitbandigen Rauschsignalen auf das System aufgeschaltet werden. In Verarbeitungsmaschinen und Umformmaschinen steigt der Einsatz moderner Motion-Control-Lösungen. Dabei kommen mehrere Servoantriebseinheiten in einem mechanisch gekoppelten Verbund zum Einsatz. Die o. g. Testsigna-

le müssen dabei takt synchron und identisch in Amplitude und Frequenz auf die Achsverbunde aufgeschaltet werden. Diese Möglichkeit wird nicht von allen Steuerungssystemen bzw. nicht für eine unbegrenzte Anzahl von Achsen unterstützt. Des Weiteren bietet diese Art der Antriebsinbetriebnahme ein erhöhtes Schadensrisiko für diese Produktionsanlagen.

Für die Reglereinstellung mechanisch gekoppelter Achsen existieren derzeit keine Einstellregeln oder mathematische Verfahren wie dies für Einzelantriebe beschrieben wurde. In der Praxis erfolgt die Reglerparametrierung daher meist nach Erfahrungswissen von Experten oder es werden die für Einzelantriebe bekannten Algorithmen bzw. Verfahren angewendet. In [3] werden Ansätze für Regelungskonzepte für verkoppelte Gelenke an einem Medizinroboter vorgestellt. Es lässt sich jedoch nicht ohne Weiteres eine Systematik zur allgemeingültigen Anwendung auf weitere Systeme ableiten. [4] stellt verschiedene Reglerstrukturen dar. Eine Reglerparametrierung ist nicht beschrieben.

3. Fragestellung und Lösungsansatz

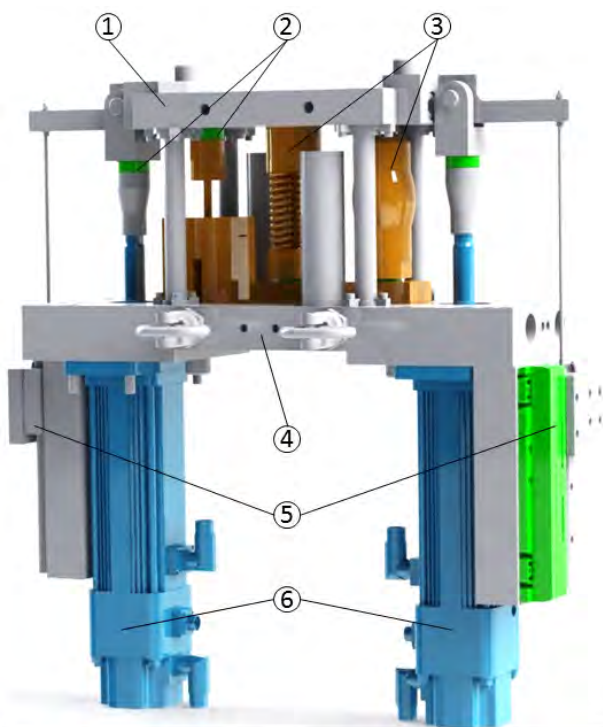
Bei der Reglerinbetriebnahme mechanisch gekoppelter Achsverbunde stellt sich die Frage, ob jeder Antrieb für sich separat betrachtet werden kann. Ist eine solche Identifikation und Inbetriebnahme nach den vorgestellten Verfahren für Einzelachsen ausreichend? Kann damit eine hohe Dynamik und Positioniergenauigkeit im Verbund erreicht werden? Wie kann eine geeignete Identifikation ohne Risiko im Koppelverbund erfolgen?

Ein übergeordnetes Forschungsziel ist es, Reglereinstellungen an einem mechanisch gekoppelten Achsverbund zu untersuchen und allgemeingültige Aussagen für die Parametrierung solcher Systeme abzuleiten. Es wird im Folgenden der Aufbau eines hierfür notwendigen Simulationsmodells beschrieben. Als Experimentalgrundlage wurde eine Servoumformereinheit auf Labormaßstab entwickelt [5]. Eine Beschreibung des Aufbaus folgt im nächsten Kapitel. Mit Hilfe von Matlab/Simulink soll ein sehr genaues Simulationsmodell des Versuchsstandes erstellt werden. Die Verifikation und Validierung des

zunächst einachsigen Modells erfolgt anhand zahlreicher experimenteller Untersuchungen. Ist das Modell entsprechend dynamischer Validierung genau genug, kann daran eine Identifikation des Frequenzganges erfolgen. Stimmt diese mit den Experimentaldaten in dieser Hinsicht überein, wird das einachsige Modell virtuell in der Simulationsumgebung mit einer Kopie des selbigen gekoppelt. Eine Identifikation mittels Testsignal ist im Gegensatz zum Versuchsstand nicht mit Risiko behaftet. Schließlich sollen anhand eines Vergleichs von Einzelachse und Achsverbund allgemeingültige Aussagen zur Reglerparametrierung für mechanisch gekoppelte Systeme abgeleitet werden.

4. Beschreibung des Versuchsstandes

Der Versuchsstand Servoumformeinheit kann als Presse im Labormaßstab betrachtet werden. Durch die Konstruktion mit Unterflurantrieben kann auf einen Pressenrahmen verzichtet werden. Der Kraftfluss erfolgt also ausschließlich über die beiden Antriebsstränge. Der Versuchsstand (Bild 1) besteht aus einer Fußplatte, an deren Unterseite zwei Linear-Direktantriebe mit Planetenrollenspindeln montiert sind. Diese ziehen im Arbeitshub eine Kopfplatte in vertikaler Richtung nach unten.



1 Kopfplatte, 2 Kraftmesszellen, 3 Testwerkzeuge,
4 Fußplatte, 5 Linearmesssysteme, 6 Direktantriebe

Bild 1: Aufbau Servoumformeinheit

Der Versuchsstand ist mit einer Bewegungssteuerung ausgestattet. Die Antriebsregelung erfolgt kaskadiert, bestehend aus Strom-, Drehzahl- und Lage-regler, wobei der Lageistwert vom direkten Linear-messsystem am jeweiligen Druckpunkt der Antriebsstränge erfasst wird. Es handelt sich dabei also um eine direkte Lageregelung, wie in [2] dargestellt,

im Gegensatz zur häufig angewandten indirekten Regelung mittels Motorgeber. Die Einstellung der Reglerparameter erfolgte zunächst mit Standard-Inbetriebnahmetools des Steuerungsherstellers. Diese wurden schließlich mit empirischen Verfahren auf eine hohe Dynamik bei gleichzeitig niedriger Schwingungsneigung angepasst.

Für verschiedene Lastszenarien stehen unterschiedliche Testwerkzeuge zur Verfügung. Tiefziehprozesse werden dabei durch Spiralfederpakete bzw. eine Polyurethanfeder abgebildet. Für Stanzprozesse steht ein entsprechendes Werkzeug mit Schneidstempel zur Verfügung. Zur Detektion der Prozesskräfte sind Kraftmesszellen in beiden Antriebssträngen als auch in den Testwerkzeugen integriert.

5. Modellierung und Validierung

Bei der Erstellung eines genauen Simulationsmodells der Servoumformeinheit in Matlab/Simulink wird dieses in zwei Teilmodelle gegliedert. Der erste Teil bildet die gesamte Antriebsregelung ab. Dabei werden die Reglerparameter aus der Steuerung übertragen. Totzeiten, Takt- und Tastraten können ebenso einfach ausgelesen werden. Weit schwieriger ist die Modellierung des zweiten Teils – das Mechanikmodell. Es flossen zunächst bekannte Daten wie konstruktive Randbedingungen als auch Datenblätter der Antriebskomponenten in die Modellbildung ein. Weitere Streckeneigenschaften müssen jedoch mit Hilfe verschiedener Experimente ermittelt werden. Die Validierung der Modellgenauigkeit kann mit Hilfe geeigneter experimenteller Daten des Versuchsstandes erfolgen. Dazu wurde die Lageregelabweichung als Gütekriterium zur Beurteilung der Positioniergenauigkeit und Dynamik gewählt. Es zeigte sich, dass besonders nichtlineare Effekte einen großen Einfluss auf die Modellgüte haben. Im Folgenden werden verschiedene Einflussfaktoren und Parameter beschrieben.

Durch den Aufbau der Linear-Direktantriebe aus Spindelstange und rotierender Spindelmutter verändert sich während eines Hubes die effektiv gestützte Länge der Spindelstange, das ist der Teil, welcher sich im Kraftfluss befindet. Dadurch verändert sich über einen Hub die Steifigkeit und damit auch die Dämpfung des Systems. In einem Arbeitshub fährt die Kolbenstange ein. Die effektiv gestützte Länge verkürzt sich. Damit steigt die Steifigkeit des Systems und auch die Dämpfung an. Bei einer späteren Regleroptimierung sollte diese also auf den Arbeitspunkt im Bereich des unteren Totpunktes der Maschine erfolgen. Da oberer und unterer Totpunkt jedoch variabel festgelegt werden können, ist auch eine Bereitstellung von mehreren Reglerdatensätzen für verschiedene Arbeitspunkte denkbar.

Zur Validierung der Modellgenauigkeit dient ein Stanzprozess, da sich gezeigt hat, dass dieser die höchsten regelungstechnischen Anforderungen stellt. Dabei wird in ein Blech aus Dualphasenstahl DP1000 mit einer Dicke von 0,9 mm ein Loch mit Durchmesser 10 mm gestanzt. Es erfolgt zunächst eine gleichmäßige Beschleunigung des Stößels,

gefolgt von einer Konstantfahrt mit 56 mm/s und schließlich der Stanzvorgang selbst mit abschließender Rückfahrbewegung. Bild 2 zeigt den Vergleich der Regelabweichung aus der Simulation mit den experimentellen Daten für einen ersten Stand des Simulationsmodells. Es ist erkennbar, dass die Regelabweichung während der Konstantfahrphase um ca. 40% geringer ist, als am realen Versuchsstand. Das Modell bildet die Realität also noch nicht präzise genug ab. Diese richtungsmonotone Abweichung muss daher näher untersucht werden. Eine wesentlich kritischere Abweichung stellt jedoch die Schwingung direkt beim Stanzvorgang ab ca. 2,2 s dar, welche in dieser Modellversion noch gar nicht abgebildet wird. Solche Schwingungen sind wesentlich schwieriger regelungstechnisch zu kompensieren als besagte monotone Abweichungen.

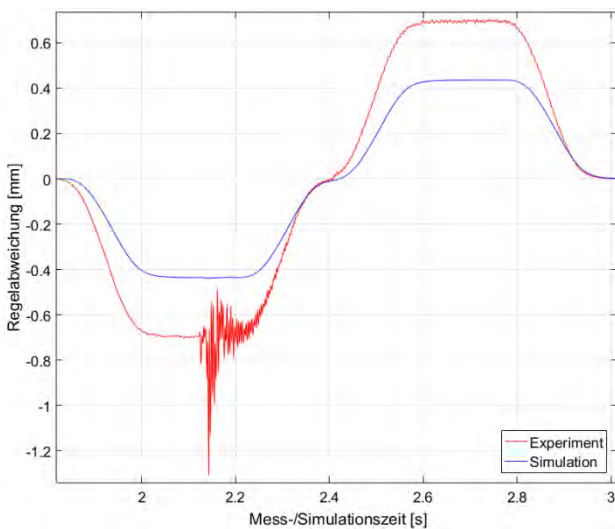


Bild 2: Regelabweichung Stanzvorgang, Simulation 1

Der Fokus lag daher darauf, eine Ursache für die Schwingungsneigung zu identifizieren. Analysen ergaben ein mechanisches Spiel von 0,1 mm im Antriebsstrang. Die Auswirkungen des Spiels sind sowohl richtungs- als auch lastabhängig. Wird die Kopfplatte der Umformeinheit mit dem Stanzstempel nach unten bewegt, trifft sie auf das Werkstück. Dabei wird das Spiel in positive Richtung durchlaufen. Erst danach kann die Kraft für den Stanzvorgang weiter steigen. Das Simulationsmodell wurde daher um diese richtungs- und lastabhängige Komponente erweitert. Der Vergleich aus Regelabweichung von Simulation und Experiment ist in Bild 3 dargestellt. Die übrigen Abweichungen konnten bisher noch nicht weiter identifiziert werden. Qualitativ ist zu erkennen, dass das Modell nun im Bereich des Stanzvorganges auch Unter- und Überschwüngen abbildet. Jedoch ist keine höherfrequente Schwingung wie im Experiment nachzuweisen. Der Auftreffstoß auf des Werkstück und das Durchlaufen des Spiels können also nur als Auslöser für höherfrequente mechanische Schwingungen betrachtet werden. Diese müssen noch weiter untersucht werden.

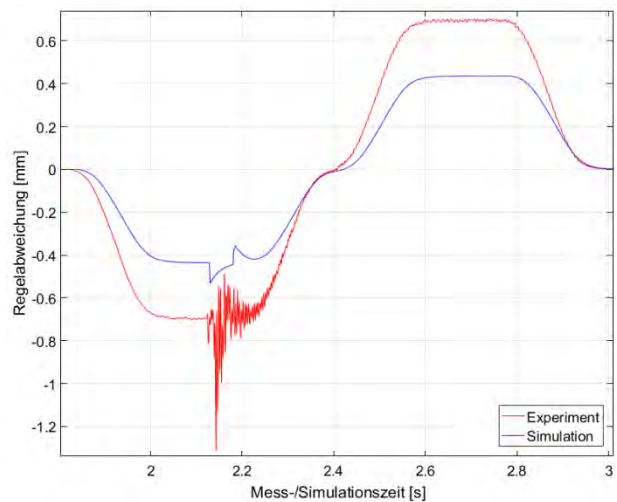


Bild 3: Regelabweichung Stanzvorgang, Simulation 2

Ein Ansatz, die eben beschriebene Schwingung simulationstechnisch abzubilden, bestand darin, unterschiedliche Reibungsmodelle in der Vorgleitstufe näher zu untersuchen. Nach einer umfangreichen Recherche wurde auf fünf Modelle fokussiert, welche das Reibverhalten der Vorgleitstufe unterschiedlich genau abbilden können. Diese sind das Dahl-Modell [6], das LuGre-Modell [7], das elastoplastische Reibungsmodell (EP) [8], das Maxwell-Slip-Reibungsmodell (MS) und das generalisierte Maxwell-Slip-Reibungsmodell (GMS) [9]. Die verschiedenen Modelle unterscheiden sich im Wesentlichen durch die Art der abgebildeten Reibungseffekte und die Anzahl der für das Modell zu ermittelnden Parameter. Diese sind in Tabelle 1 dargestellt. Bei einem „+“ kann das entsprechende Modell den genannten Reibungseffekt abbilden – bei „-“ hingegen nicht.

Tabelle 1: Reibungseffekte entsprechend Reibungsmodell

	Dahl	LuGre	EP	MS	GMS
Stribeck-Effekt	-	+	+	-	+
Losbrechreibung	-	+	+	-	+
Non-lokales Gedächtnis-Phänomen	-	-	-	+	+
Reibungsverzögerung	-	+	+	-	+
Anzahl der Parameter	3	7	8	1+ 2N	6+ 2N

Die Tauglichkeit der Modelle wurde an einem anderen, einachsigen Servomotorversuchsstand verifiziert. Zur Identifikation der Modellparameter sind verschiedene experimentelle Untersuchungen notwendig. Als Eingangsfunktion sind das u. a. ein definiert veränderliches Winkellagesignal mit alternierendem Geschwindigkeitsverlauf, ein Chirp-Signal und auch ein sinusförmiges Sollgeschwindigkeitssignal mit Offset. Eine detaillierte Beschreibung der Identifikation kann der weiterführenden Literatur

entnommen werden. Zur Identifikation wurde eine zu minimierende Fehlerfunktion definiert. Die Optimierung erfolgte mit Hilfe von Matlab-Toolboxen auf Grundlage genetischer Algorithmen, welche mit den fünf verschiedenen Reibungssimulationsmodellen gekoppelt wurden. Exemplarisch zeigt Bild 4 die ermittelten Modellausgangssignale zur Verifikation des non-lokalen Gedächtnisphänomens. Als Eingangssignal wurde das o. g. veränderliche Winkelagesignal auf das Modell aufgeschaltet. Wie in Tabelle 1 dargestellt, können nicht alle Reibungsmodelle diesen Effekt abbilden. Für die übrigen untersuchten Reibungseffekte gilt Entsprechendes.

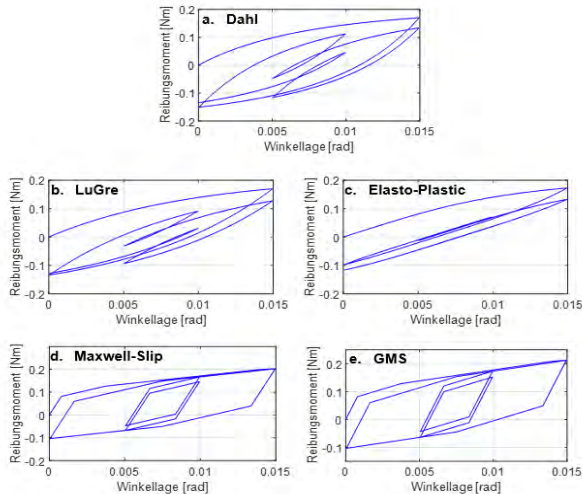


Bild 4: Non-lokales Gedächtnisphänomen

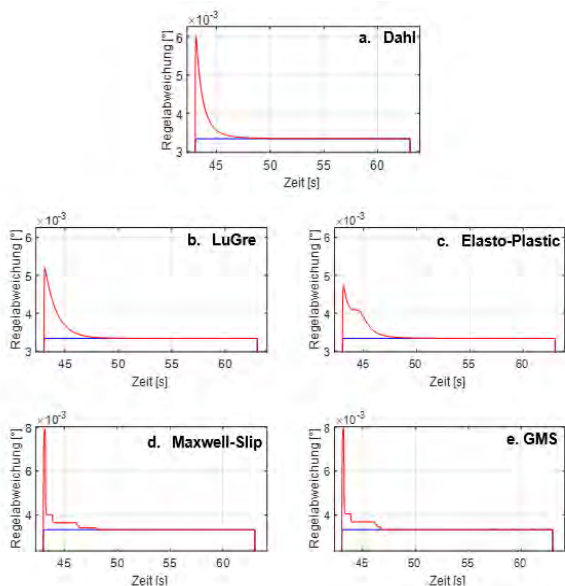


Bild 5: Regelabweichung Reibungsmodelle

Das Modell des einachsigen Servomotorversuchsstandes wurde um die erläuterten Reibungsmodelle ergänzt. Eine Validierung anhand der erreichten Regelabweichung mit (rot) und ohne (blau) Berücksichtigung der Reibungseffekte ist in Bild 5 dargestellt. Es zeigt sich, dass diese Reibungseffekte bei sprunghafter Anregung einen Einfluss auf das System der Lageregelstrecke haben. Diese bewegen

sich jedoch im Mikrometerbereich und beeinflussen damit die Antriebsregelung einer Umformeinheit in einem vernachlässigbar kleinen Bereich. Derartige Effekte spielen bei (Sub-)Mikropositionierantrieben eine Rolle, sind für den hier betrachteten Anwendungsfall jedoch nicht relevant.

5. Zusammenfassung und Ausblick

Die dargestellten Simulationsergebnisse belegen, dass eine Berücksichtigung nichtlinearer Effekte einen großen Einfluss auf das Systemverhalten haben. Eine einfache Abschätzung, inwieweit ein bestimmter Effekt sich auswirkt, ist meist nur schwer vorhersagbar. Der vorliegende Artikel stellt daher nur einen Schritt auf dem Weg zur Präzisierung von Simulationsmodellen im Bereich von Bearbeitungsmaschinen und umformender Produktionsanlagen dar. Es werden weitere Untersuchungen dazu angestrebt, um das anschließende Ziel der Regleroptimierung am Modell und die in Kap. 3 genannten, übergeordneten Fragestellungen weiter zu verfolgen. Denkbar sind z. B. Untersuchungen des Schwingungsverhaltens des Werkzeuges aber auch strukturelle Ungenauigkeiten des Reglermodells im Vergleich zur steuerungstechnischen Umsetzung.

Literaturverzeichnis

- [1] H. Lutz, W. Wendt, Taschenbuch der Regelungstechnik, Verlag Harri Deutsch, Frankfurt a.M. (2005)
- [2] R. Münster, H. Schlegel, R. Neugebauer, Untersuchung einer Reglerstrukturweiterung zur direkten Regelung von Servospindeltrieben, SPS IPC DRIVES Nürnberg (2014)
- [3] L. Le-Tien, Ansätze zur entkoppelten Regelung von mechanisch gekoppelten Doppelgelenken eines DLR-Medizinroboters, Dissertation, Dresden (2010)
- [4] K. Pagel, R. Neugebauer, W.-G. Drossel, Regelungskonzepte für Maschinen mit verkoppelten Achsen, 14. Dresdner Werkzeugmaschinen-Fachseminar (2009)
- [5] H. Kirchner, P. Birnbaum, J. Quellmalz, et al., Servo-forming unit with direct position feedback control application for high dynamic operations, ICIT&APT Ljubljana (2017)
- [6] P. R. Dahl, A solid friction model, TOR The Aerospace Corporation 158(3107-18), El Segundo (1968)
- [7] C. C. De Wit, H. Olsson, K. J. Aström, et al., A new model for control of system friction, IEEE Transactions on Automatic Control 40(3) (1995), 419-425
- [8] P. Dupont, V. Hayward, B. Armstrong-Helouvy, et al., Single state elastoplastic friction models, IEEE Transactions on Automatic Control 47(5) (2002), 787-792
- [9] F. Al-Bender, V. Lampaert, J. Swevers, The generalized Maxwell-Slip model, IEEE Transactions on Automatic Control 50(11) (2005), 446-460

EINSATZ DER MICROSOFT HOLOLENS FÜR DIE PLANUNG UND PROGRAMMIERUNG VON INDUSTRIEROBOTERN

Niels-Lennart Brandt, Udo Triltsch

Ostfalia Hochschule für angewandte Wissenschaften | Fakultät Maschinenbau | Institut für Produktionstechnik, Salzdahlumer Str. 46-48, 38302 Wolfenbüttel

Das Paper beschreibt ein Forschungsvorhaben, welches eine Anwendung für die Microsoft HoloLens entwickelt, mit der das Hologramm eines Roboters in einer realen Produktionsumgebung flexibel platziert werden kann. Exemplarisch wurde dies mit dem Abbild des Universal Robot UR10 umgesetzt. Das virtuelle Abbild ist voll kinematisiert und visualisiert Kollisionen und Bahnkurven im Arbeitsraum. Der Anwender kann per Sprach- und Gestikeingabe mit dem Hologramm interagieren, um Bewegungsbefehle zu erteilen oder Analysen durchzuführen. Die in der augmentierten Umgebung virtuell erprobten, immersiv programmierten Bewegungsbahnen können exportiert und auf dem realen Robotersystem ausgeführt werden. Die Gebrauchstauglichkeit der Anwendung wird insbesondere im Hinblick auf die verwendeten Interaktionsformen untersucht. Mögliche Anwendungsszenarien werden unter Berücksichtigung aktueller Entwicklungen und zukünftiger Trends abgeleitet und diskutiert.

1. Einleitung

Die produzierenden Unternehmen stehen im globalen Wettbewerb und werden mit sich wandelnden wirtschaftlichen Rahmenbedingungen konfrontiert. Eine flexible Prozessautomatisierung mit Industrierobotern nimmt in den westlichen Industrienationen dabei eine Schlüsselrolle zum Erhalt der Wettbewerbsfähigkeit ein, stellt jedoch insbesondere kleine und mittlere Unternehmen (KMU) aufgrund einer allgemeinen Kosten- und Qualifikationsproblematik vor erhebliche Herausforderungen. Planung und Programmierung von Industrierobotersystemen müssen daher an neue Anforderungen angepasst werden [1–3].

Mit dem Ziel, die Mensch-Roboter-Interaktion einfacher und intuitiver zu gestalten, wird ein mobil einsetzbares Augmented-Reality-System für die prozessnahe Planung und Programmierung von Industrierobotern unter Verwendung natürlicher, gesten- und sprachbasierter Interaktionsmechanismen entwickelt.

Auf Basis der Microsoft HoloLens wird deren Träger in die Lage versetzt, das virtuelle Abbild eines Industrieroboters in einer realen Produktionsumgebung unter Verwendung eines markerlosen Trackingvorgangs räumlich zu registrieren und zu programmieren. Exemplarisch wird dies mit dem Modell eines Universal Robot UR10 umgesetzt.

Das Roboterhologramm ist voll kinematisiert, visualisiert Kollisionen und Bahnkurven im Arbeitsraum und stellt verschiedene, einfach anwendbare Analysefunktionen zur Verfügung. Die in der augmentierten Umgebung virtuell erprobten, immersiv programmierten Bewegungsbahnen können exportiert und auf dem realen Robotersystem ausgeführt werden.

Die Gebrauchstauglichkeit der Anwendung im industriellen Bereich wird insbesondere im Hinblick auf die verwendeten Interaktionsformen untersucht. Auf Grundlage einer Technologiebewertung und unter Berücksichtigung aktueller Entwicklungen und zukünftiger Trends werden mögliche Anwendungsszenarien abgeleitet und diskutiert.

2. Stand der Technik

Da in KMU zumeist keine Spezialisten für die Roboterprogrammierung vorhanden sind und insbesondere bei der Fertigung kleiner Lose die Notwendigkeit besteht, bei einer Umrüstung die Einrichtzeiten zu reduzieren, steht die intuitive Roboterprogrammierung im Fokus der Roboterhersteller und wird umfangreich in wissenschaftlichen Publikationen diskutiert. Die Nutzung der Augmented-Reality-Technologie (AR) ermöglicht in Verbindung mit neuen Formen der Mensch-Maschine-Interaktion eine einfache, effiziente und nutzerbezogene Planung und Programmierung.

Verschiedene Autoren erproben daher die Vereinfachung und Beschleunigung der Roboterprogrammierung auf Basis unterschiedlicher AR-Technologien.

Für die Visualisierung kommen Head-Mounted-Displays (HMD) [4, 5] sowie stationäre Video-See-Through-Displays (VST) zum Einsatz [6, 7]. Darüber hinaus werden wegen ihres hohen Verbreitungsgrades vielfach Handheld-Geräte wie Smartphones und Tablets [3, 8, 9] verwendet. Vereinzelt werden die Bahnen des Endeffektors auch mittels Laser direkt auf das Werkstück projiziert [10, 11]. Die Microsoft HoloLens wird als mobiles Optical-See-Through-Display (OST) bis dato nur von Guhl et al. und der Fa. Harotek [12, 13] für die Zwecke der Industrieroboterprogrammierung verwendet.

Das für die lagerichtige Registrierung und Visualisierung der virtuellen Inhalte in der realen Umgebung erforderliche Trackingsystem wird in den genannten Projekten in der Regel stationär ausgeführt. Verwendet werden ortsfeste Kamerasysteme in Verbindung mit zwei- und dreidimensionalen Markern (Outside-In-Tracking).

In Abgrenzung zum Stand der Technik wird das AR-Planungs- und Programmiersystem mit dem Schwerpunkt auf einer mobilen und flexiblen Einsetzbarkeit entwickelt. Dies ermöglicht eine prozessnahe Unterstützung des Nutzers unter direkter, augmentierter Berücksichtigung der realen Umgebung.

Gegenüber den konventionellen Online-Programmierverfahren wird eine möglichst direkte, natürliche und multimodale Interaktion für die Vorgabe von Posen und die Bedienung der Anwendung angestrebt, während derer sich der Anwender frei in der Roboterzelle bewegen kann.

3. Konzept und Implementierung

Die Entwicklung der AR-Anwendung erfolgt in der plattformübergreifenden Laufzeit- und Entwicklungsumgebung Unity auf Grundlage der universellen Windows-Plattform (UWP).

A. Kinematik

Die prototypische Umsetzung beinhaltet die Lösung beider kinematischer Teilprobleme am Universal Robot UR10. Die Berechnung der kartesischen Position des Endeffektors aus den Achsvariablen (direkte Kinematik) erfolgt unter Verwendung eines hierarchisch aufgebauten Szenegraphen in Unity. Die inverse kinematische Transformation wird mithilfe eines hybrid-genetischen Schwarm-Algorithmus zur Lösung generischer kinematischer Ketten umgesetzt [14]. Beide kinematischen Transformationen sind echtzeitfähig.

B. Eingabe und Interaktion

Um die Akzeptanz des AR-Systems zu erhöhen und die Anlern- und Bedienzeiten zu verkürzen, wird die Mensch-Roboter-Interaktion multimodal nach dem Vorbild der natürlichen Mensch-Mensch-Kommunikation angelegt. Verwendet werden dabei eine befehlsbasierte Sprachsteuerung und die Kombination von Blickfokus und Gestik. Neben der Programmierung über eine einfache grafische Benutzerschnittstelle kann die Pose des Endeffektors durch räumliches, gestenbasiertes Vormachen analog einer Folgeprogrammierung definiert werden.

C. Tracking und Spatial Understanding

Das hybride Sensor-System der HoloLens, bestehend aus vier Umgebungs-, einer Tiefenkamera und einer inertialen Messeinheit, arbeitet nach dem Inside-Out- sowie Inside-In-Prinzip. Der Trackingvorgang, das sog. Spatial Mapping, erfolgt kontinuierlich und resultiert in einer virtuellen Repräsentation des realen Raumes. Die gewonnenen Daten können über eine Programmierschnittstelle für die Verknüpfung virtueller und realer Objekte verwendet werden.

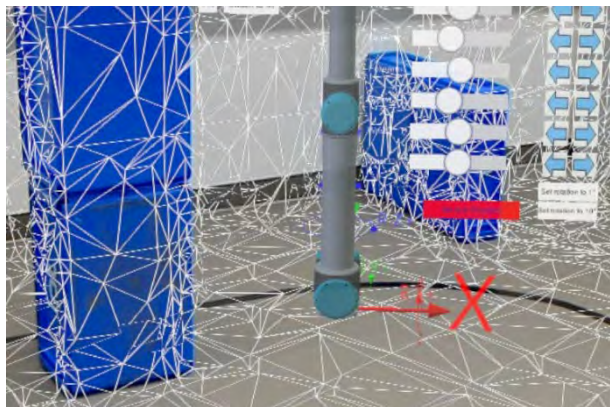


Bild 1: Registrierung auf Spatial-Mapping-Netz

Die lagerichtige Registrierung des Roboterhologramms erfolgt markerlos und wird per Blickfokus und Sprachbefehl gesteuert (siehe Bild 1). Die im Rahmen des räumlichen Mapping-Vorgangs gesammelten Informationen werden weiterhin genutzt, um Kollisionen des Roboterhologramms mit realen Objekten zu visualisieren (siehe Bild 2). Die Position und Orientierung des Roboterhologramms wird über mehrere Läufe der Anwendung persistent gespeichert.

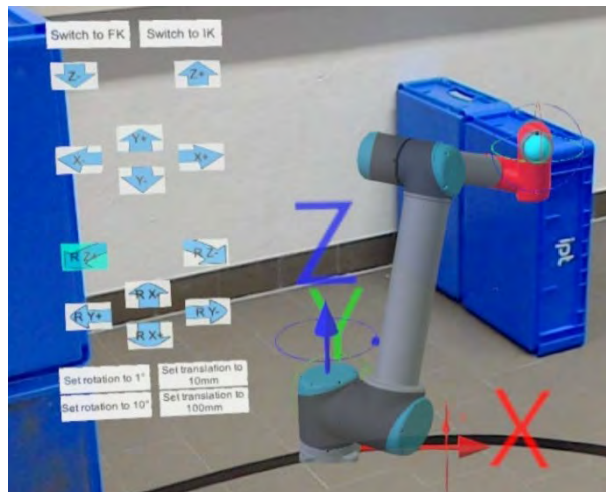


Bild 2: Kollisionserkennung

D. Immersive Planung und Programmierung

Die grafische Benutzerschnittstelle stellt die grundlegenden Funktionen eines Programmierhandgerätes zur Verfügung und ermöglicht das Speichern von Bahnpunkten unter Berücksichtigung der realen Gegebenheiten am Aufstellort. Ergänzt werden Informationen zur Art der Bewegungssteuerung (Point-to-Point oder Continuous Path), dem zu verwendenden Überschleifkriterium sowie der Geschwindigkeit und Beschleunigung der führenden Achse, bzw. des Endeffektors. Während des Programmiervorgangs wird der Nutzer durch kontextbezogene visuelle Informationen und einfache Analysefunktionen, z. B. eine Erreichbarkeitsanalyse, unterstützt.

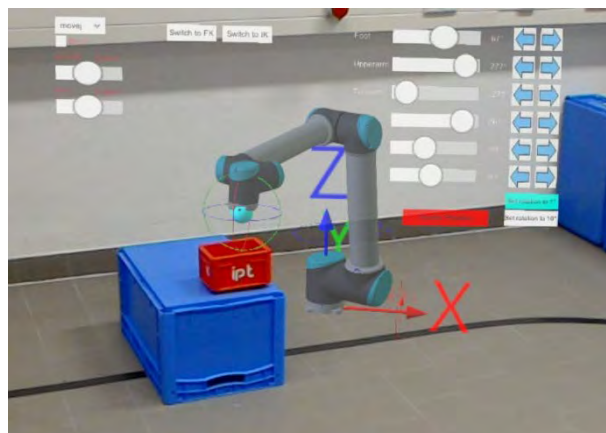


Bild 3: Immersive Programmierung

Die erzeugten Datensätze werden im persistenten Datenpfad sowie einem Webserver der Hochschule abgelegt und können mithilfe einer Client-

Anwendung auf einem PC über die TCP/IP-Schnittstelle des UR10 unmittelbar an das reale Robotersystem übertragen werden.

4. Technologiebewertung

Die grundsätzliche Funktionsfähigkeit der Anwendung wurde anhand eines beispielhaft durchgeführten Pick-and-Place-Szenarios mit vorausgehender Planung des Aufstellortes evaluiert.

Die Ergebnisse belegen die Vorteile einer immersiven Planung und Programmierung unter Verwendung eines Optical-See-Through-HMD. Die Bedienung der Anwendung ist aufgrund der natürlichen, im Wesentlichen gestenbasierten, Interaktionsformen und einem damit verbundenen geringeren Anspruch an das Abstraktionsvermögen der Nutzer, schnell erlernbar und erlaubt selbst unerfahrenen Anwendern eine rasche Planung und Programmierung.

Eine wesentliche Stärke der mobilen AR-Anwendung gegenüber dem Stand der Forschung bezüglich AR-Systemen in der Industrierobotik sowie herkömmlichen Verfahren der digitalen Fabrik ist die hohe Flexibilität bei der Bereitstellung kontextbezogener visueller Informationen für den Nutzer. Das Planungs- und Programmiersystem kann in verschiedenen Umgebungen eingesetzt werden, ohne dass eine vollständige geometrische Beschreibung des Roboterarbeitsbereichs sowie CAD-Modelle der Werkstücke und Betriebsmittel a priori bekannt sein müssen. Dies kommt vor allem kleinen und mittleren Unternehmen zu Gute, die nicht auf eine vollständige und aktuelle, digitale Repräsentation ihrer Anlagen in einem Fabrikplanungs- oder Offline-Programmiersystem zurückgreifen können.

Im Hinblick auf industrielle Anforderungen bezüglich Genauigkeit und Zuverlässigkeit zeigt sich jedoch, dass das markerlose Tracking der HoloLens nicht genau genug ist, um die immersiv programmierten Posen für Füge- oder Platzieraufgaben mit erweiterten Genauigkeitsanforderungen zu verwenden. Die Zuverlässigkeit der Hardware im industriellen Dauereinsatz konnte nicht abschließend evaluiert werden.

Als problematisch erweisen sich im Betrieb auch die geringe Akkulaufzeit sowie das eingeschränkte Sichtfeld der HoloLens. Als Ergebnis der technologischen Bewertung ist festzustellen, dass die Verwendung der HoloLens für die Zwecke der Planung und Programmierung eines einfachen Robotersystems im industriellen Umfeld prinzipiell möglich ist, jedoch Verbesserungspotenziale im Hinblick auf die Genauigkeit und Zuverlässigkeit der Trackingvorgangs bestehen.

5. Industrielle Einsetzbarkeit

Auf Grundlage der intuitiven Bedienbarkeit und hohen Mobilität der Anwendung konnten mögliche Einsatzfelder im Bereich der Integration neuer Produkte und Betriebsmittel in bestehende Produktionsstrukturen identifiziert werden. Die AR-Anwendung

arbeitet als Schnittstellentechnologie zwischen der virtuellen und realen Welt. Daher können viele im Verlauf eines Integrationsvorhabens auftretende Planungsprobleme, wie z. B. die Erreichbarkeits- oder Kollisionsuntersuchung, ohne eine komplette 3D-Rückführung der realen Fertigungseinrichtungen durchgeführt werden.

Die intuitive Bedienbarkeit und hohe Mobilität der entwickelten AR-Anwendung ermöglichen es, die virtuellen Inhalte im Kontext der realen, physikalischen Welt zu visualisieren und fördern den direkten Austausch zwischen Planungs- und Shopfloormitarbeitern hin zu einer partizipativen Layoutplanung. Die Einstiegsbarrieren für neue Nutzergruppen werden gesenkt, sodass auch in bis dato durch manuelle Tätigkeiten geprägten Montagebereiche unkomplizierte Untersuchungen durchgeführt werden können, um zu überprüfen, ob eine Prozessautomatisierung möglich und sinnvoll ist. Auf diesem Wege kann die grundsätzliche Eignung des Industrieroboters für die jeweilige Fertigungsaufgabe erprobt werden, ohne dass im Vorhinein umfangreiches Know-how aufgebaut oder Investitionen getätigt werden müssen.

Darüber hinaus ist eine Verwendung der AR-Technologie für die Beherrschung kleiner Losgrößen durch eine prozessparallele Programmierung denkbar. Indem die Programmierung zeitlich parallel zur Serienfertigung in der realen Fertigungsumgebung durchgeführt wird, können Stillstandzeiten vermieden werden.

Des Weiteren bietet die mobile AR-Anwendung interessante Verwendungsmöglichkeiten zur Absicherung der Planung von Systemen mit einer Mensch-Roboter-Kollaboration (MRK) in Form von „Was-wäre-wenn-Szenarien“. Je nach Anwendungsfall ließe sich die augmentierte Szene um virtuelle Schutzräume sowie statische oder dynamische Zonen erweitern, die beispielsweise visualisieren, in welchen Bereichen eine Kollaboration zwischen Mensch und Roboter gefahrlos möglich ist oder aber weitere Sicherheitsvorkehrungen erforderlich sind.

6. Zusammenfassung und Ausblick

Es konnte gezeigt werden, dass die mobile AR-Technologie das Potenzial besitzt, die Mensch-Roboter-Interaktion hin zu einer benutzerfreundlichen Einbindung des Menschen zu entwickeln. Eine Erweiterung der prototypischen Realisierung des AR-Systems stellt einen vielversprechenden Ansatz dar, mit den veränderten Rahmenbedingungen und neuen Herausforderungen in der verarbeitenden Industrie umzugehen.

Ein Gegenstand zukünftiger Forschungen kann die Integration der mobilen Planungs- und Programmierungsumgebung in die betrieblichen Informationssysteme der digitalen Fabrik sein. Vorstellbar ist eine synergetische Kombination des prozessnah einsetzbaren dezentralen AR-Systems mit der prozessfernen Layoutplanung, Simulation und Offline-Programmierung. Gelingt es, beide Elemente auf einer gemeinsamen Datengrundlage zu integrieren,

kann ein wertvoller Austausch zwischen Planung und Produktion etabliert werden.

Literaturverzeichnis

- [1] W. Weber, *Industrieroboter*. München: Carl Hanser Verlag GmbH & Co. KG, 2017.
- [2] P. Knocke, „Mensch-Roboter-Interaktion per Virtual Reality“ in *Gemeinschaftsstand des Landes Niedersachsen: Hannover Messe 2018*, Niedersächsisches Ministerium für Wissenschaft und Kultur, Hg., Hannover, 2018, S. 27.
- [3] J. Lambrecht, „Natürlich-räumliche Industrieroboterprogrammierung auf Basis markerloser Gestenerkennung und mobiler Augmented Reality“, 2014.
- [4] T. Pettersen, J. Pretlove, C. Skourup, T. Engedal und T. Lokstad, „Augmented reality for programming industrial robots“ in *The second IEEE and ACM International Symposium on Mixed and Augmented Reality: Proceedings : 7-10 October 2003, Tokyo, Japan*, Tokyo, Japan, 2003, S. 319–320.
- [5] S. K. Ong, J. W. S. Chong und A. Y. C. Nee, „Methodologies for immersive robot programming in an augmented reality environment“ in *Proceedings of the 4th international conference on Computer graphics and interactive techniques in Australasia and Southeast Asia*, Kuala Lumpur, Malaysia, 2006, S. 237.
- [6] A. Gaschler, M. Springer, M. Rickert und A. Knoll, „Intuitive robot tasks with augmented reality and virtual obstacles“ in *IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA), 2014: May 31, 2014 - June 7, 2014, Hong Kong, China*, Hong Kong, China, 2014, S. 6026–6031.
- [7] B. Akan, E. A. Ameri und B. Çürüklü, „Augmented Reality Meets Industry: Interactive Robot Programming“ in *Proceedings of SIGRAD 2010: Content aggregation and visualization, November 25-26, 2010, Västerås, Sweden*, 2010, S. 55–58.
- [8] R. Bischoff, Y. Kogan und J. Kurth, „Lebenszyklusorientierte Betrachtung der Einsatzmöglichkeiten von Augmented Reality in der Industrierobotik“, *VDI-Berichte*, Nr. 1980, S. 529–541, 2007.
- [9] C. Mateo, A. Brunete, E. Gambao und M. Hernandez, „Hammer: An Android based application for end-user industrial robot programming“ in *IEEE/ASME 10th International Conference on Mechatronic and Embedded Systems and Applications (MESA), 2014: 10 - 12 Sept. 2014, Hotel Duchi della Rovere, Senigallia, Ancona, Italy ; conference proceedings*, Senigallia, Italy, 2014, S. 1–6.
- [10] M. Zaeh und W. Vogl, „Interactive laser-projection for programming industrial robots“ in *IEEE/ACM International Symposium on Mixed and Augmented Reality, 2006: Oct. 2006, [Santa Barbara, CA]*, Santa Barbara, CA, USA, 2006, S. 125–128.
- [11] C. L. Ng, T. C. Ng, T. A. N. Nguyen, G. Yang und W. Chen, „Intuitive robot tool path teaching using laser and camera in Augmented Reality environment“ in *11th International Conference on Control, Automation, Robotics & Vision (ICARCV), 2010: 7 - 10 Dec. 2010, Singapore, Singapore, Singapore, 2010*, S. 114–119.
- [12] J. Guhl, S. Tung und J. Kruger, „Concept and architecture for programming industrial robots using augmented reality with mobile devices like microsoft HoloLens“ in *2017 22nd IEEE International Conference on Emerging Technologies and Factory Automation: September 12-15, 2017, Limassol, Cyprus*, Limassol, 2017, S. 1–4.
- [13] Harotek, *Haro3D*. [Online] Verfügbar unter: <http://harotek.weebly.com/haro3d.html>. Zugriff am: Jul. 09 2018.
- [14] S. Starke, N. Hendrich, S. Magg und J. Zhang, „An efficient hybridization of Genetic Algorithms and Particle Swarm Optimization for inverse kinematics“ in *IEEE-ROBIO 2016: 2016 IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics : December 3-7, 2016, Qingdao, China*, Qingdao, China, 2016, S. 1782–1789.

MÖGLICHKEITEN DER VERBESSERUNG VON ROBOTERBASIERTEN HANDHABUNGSPROZESSEN DURCH INTELLIGENTE WERKSTÜCKE

Christian Thormann, Alexander Winkler
Hochschule Mittweida, Technikumplatz 17, D-09648 Mittweida

Im Beitrag werden Möglichkeiten der Kombination von industrieller Robotik und RFID behandelt. Beides sind wichtige Technologien im Zusammenhang mit Industrie 4.0. Neben der Identifikation von Objekten erlauben RFID-Transponder auch die lokale Speicherung von Informationen. Mit Transpondern ausgestattete Werkstücke können auch als intelligente Werkstücke angesehen werden, die dezentrale Entscheidungen unterstützen. Dies ist eines der Gestaltungsprinzipien von Industrie 4.0. Im vorliegenden Beitrag werden Möglichkeiten vorgestellt, wie roboterbasierte Handhabungsprozesse durch geeignete Daten aus den Werkstücken verbessert werden können. Die Vorschläge werden mit Hilfe praktischer Experimente validiert.

The paper deals with possibilities to combine industrial robotics with RFID. Both are important technologies in the context with Industry 4.0. Besides identification of objects, with RFID-tags it is also possible to store information locally. Workpieces that are equipped with RFID-tags can be regarded as intelligent workpieces. They support decentral decisions, which is one of the design principles of Industry 4.0. In the paper, possibilities are presented to improve robot-based handling processes using suitable information stored in the workpieces. The proposals are verified by practical experiments.

1. Einleitung

Roboter sind ein wesentliches Automatisierungsmittel in der industriellen Fertigung. Sie werden dort überwiegend für Handhabungs- und Materialbearbeitungsaufgaben eingesetzt. Eine wichtige Technologie im Kontext des aktuellen Trends der Digitalisierung der Produktion, zusammengefasst unter dem Begriff Industrie 4.0, ist RFID (radio frequency identification) [1]. Es liegt daher nahe zu untersuchen, welche Möglichkeiten es gibt Robotik und RFID miteinander zu kombinieren, um die Verbesserung von Produktionsprozessen zu erreichen. Im vorliegenden Beitrag soll sich dabei auf durch Roboter automatisierte Handhabungsprozesse konzentriert werden.

Neben Vernetzung, Informationstransparenz und technische Assistenz sind dezentrale Entscheidungen eines der vier Gestaltungsprinzipien von Industrie 4.0 [2]. Dies beinhaltet auch die lokale Speicherung von Daten, um nicht auf die permanente Verbindung zu einer zentralen Datenbank angewiesen zu sein. Im hier behandelten Szenario sollen Werkstücke mit Transpondern ausgerüstet werden. Sie können dann als intelligente Werkstücke interpretiert werden, die die Dezentralisierung unterstützen. In diesem Zusammenhang ist zu untersuchen, welche Informationen über das Werkstück zur Optimierung von Handhabungsprozessen genutzt werden können.

Um das Verbesserungspotenzial der vorgeschlagenen Ansätze demonstrieren zu können, wurde ein geeigneter Versuchsstand konfiguriert. Diesen zeigt die Abb. 1.

Die Basis des Versuchsstandes bildet ein 6-Gelenk-Knickarmroboter vom Typ *ABB IRB 120*. Die Orientierung seines Basiskoordinatensystems ist ebenfalls in der Abb. 1. zu sehen. Er hat eine maximale Handhabungsmasse von 3 kg. Am Roboter ist ein servoelektrischer 2-Finger-Parallelgreifer *WSG50* montiert. Dieser beinhaltet seinen eigenen Controller, der via Ethernet angesteuert werden kann. An

einem der Greiferfinger ist eine RFID-Antenne angebracht. Ihre Sendeleistung beträgt 1 W und die Frequenz 13.56 MHz. Damit lässt sich eine Reichweite ca. 7 cm erreichen. Die Antenne ist verbunden mit einem RFID-Reader *ID ISC.LRM1002-E*. Wie aus der Abb. 1 hervorgeht, können in die Werkstücke Transponder eingefügt werden.

Man unterscheidet zunächst zwischen aktiven und passiven Transpondern. Letztere benötigen keine Batterie, da sie ihre Energie aus dem elektromagnetischen Feld der Antenne beziehen. Aufgrund ihrer Wartungsfreiheit und des Preises sollten sie bei den hier präsentierten Anwendungen favorisiert werden. Des Weiteren gibt es read/write und read-only Transponder. Erst genannte enthalten einen EEPROM-Speicher, dessen Inhalt durch den RFID-Reader modifiziert werden kann. Diese Funktionalität ist für die Realisierung der erwähnten Industrie 4.0 Szenarien zwingend erforderlich. Die in den Versuchen verwendeten Transponder sind vom Typ *Turck TW-R20-B128* und haben einen EEPROM Speicher von 128 Bytes.

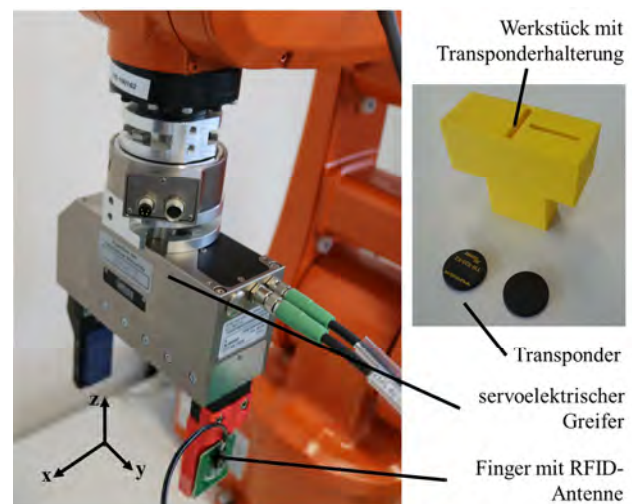


Bild 1: Versuchsaufbau

Der Artikel ist im weiteren Verlauf wie folgt gegliedert: Im nächsten Abschnitt wird gezeigt, wie der Prozess des Greifens empfindlicher Werkstücke mit unterschiedlichen Abmessungen durch Informationen, die im Objekt hinterlegt sind, verbessert werden kann. Ziel soll es dabei sein die Zykluszeit zu verringern. Im Abschnitt 3 werden Möglichkeiten aufgezeigt, durch intelligente Werkstücke die Qualität der Steuerung und Regelung des Roboters zu erhöhen, indem diese Informationen über ihre eigenen Lastdaten enthalten. Der Abschnitt 4 zielt noch einmal auf eine Reduzierung der Zykluszeit. Dies soll nun durch eine werkstückabhängige Optimierung der Bewegungsbahn erreicht werden. Der letzte Abschnitt beinhaltet einer kurze Zusammenfassung und einen Ausblick über weitere mögliche Betrachtungen.

2. Greifen

Wie bereits erwähnt ist das Handling von Werkstücken eine der wichtigsten Aufgaben von Industrierobotern. Dabei müssen diese vom Manipulator aufgenommen und abgelegt werden. Dies kann durch Finger-Greifer, Magnetgreifer oder auch Vakuumgreifer erfolgen. Finger-Greifer werden üblicherweise per Druckluft betätigt, wobei die Greifkraft dann abhängig vom eingestellten Druck ist. Zunehmend werden aber auch elektrisch angetriebene Finger-Greifer eingesetzt. Diese bieten den Vorteil, dass die Finger beliebig positioniert werden können, falls der Greifer mit der dafür notwendigen Sensorik ausgestattet ist. Man spricht in diesem Fall auch von sog. servoelektrischen Greifern. Außerdem ist es möglich den gewünschten Wert der Greifkraft vorzugeben. Somit können auch empfindliche Objekte unterschiedlicher Größe sicher gegriffen werden. Die aktuelle Greifkraft wird dabei aus dem Motorenstrom des Antriebes oder mit Hilfe von Kraftsensoren in den Greiferfingern ermittelt und zur Regelung verwendet. Des Weiteren besteht auch die Möglichkeit spezielle Finger mit einer taktilen Sensormatrix am Greifer zu montieren, um die örtliche Verteilung der Greifkraft zu messen.

Bei automatisierten Fertigungsprozessen ist die Zykluszeit ein wichtiger Parameter. Seitens des Roboters kann sie durch eine optimierte Bahnplanung und falls möglich auch durch sog. Überschleifen reduziert werden. Dieses Thema wird später noch im Abschnitt 4 aufgegriffen. Beim Handling hat auch das Greifen von Werkstücken Einfluss auf die Zykluszeit. Sollen immer gleiche Objekte gegriffen werden, dann lässt sich durch die geschickte Auswahl eines meist pneumatischen Greifers mit geeigneten Fingern eine geringe Schließzeit erzielen. Sollen jedoch Werkstücke mit unterschiedlichen Dimensionen aufgenommen werden, ohne eine bestimmte Greifkraft beim Zugreifen zu überschreiten, dann ist dies nur mit einer entsprechend geringen Geschwindigkeit der Finger möglich. Bei zu hoher Geschwindigkeit besteht die Gefahr von Kraftspitzen und der Beschädigung des Objektes.

Beim Handling von sog. intelligenten Werkstücken

kann die Greifzeit mit folgendem Ansatz reduziert werden: Der Transponder am Objekt enthält Informationen über dessen Dimension und die maximal erlaubte Greifkraft. Nach dem Auslesen dieser Daten durch den Roboter werden die Greiferfinger zunächst mit hoher Geschwindigkeit vorpositioniert. Im nächsten Schritt kann mit relativ geringer Geschwindigkeit vorsichtig zugegriffen werden. Der servoelektrische Greifer befindet sich dabei im kraftregulierten Modus.

Das mögliche Potential dieses Ansatzes soll anhand der folgenden Versuche demonstriert werden: In der Abb. 2 ist die Öffnungsweite der Finger während des schnellen Zugreifens für zwei unterschiedliche Geschwindigkeiten dargestellt.

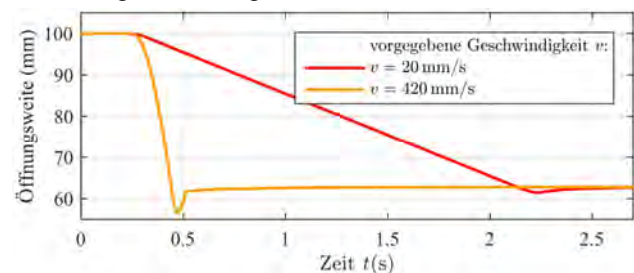


Bild 2: Schnelles Zugreifen mit unterschiedlichen Geschwindigkeiten

Zu Beginn des Experiments beträgt die Öffnungsweite 100 mm. Der Greifer soll dann vollständig geschlossen werden, wobei die maximale Greifkraft auf 80 N eingestellt wurde. Die Breite des zu greifenden Objektes ist 62.5 mm. Wie aus der Abb. 2 hervorgeht, erreicht die Öffnungsweite ein Minimum von 61.5 mm bzw. 56.4 mm. Aufgrund von Nachgiebigkeiten impliziert dies ein Überschwingen der Greifkraft über den vorgegeben Wert von 80 N. Wie erwartet ist die Kraftspitze beim Zugreifen mit 420 mm/s besonders hoch.

Die Abb. 3 zeigt nun das Verbesserungspotential im Falle der Vorpositionierung der Greiferfinger.

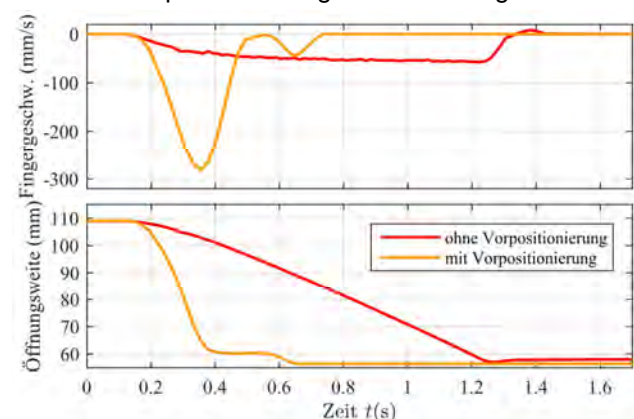


Bild 3: Vergleich des Greifprozesses ohne und mit Vorpositionieren der Finger

Hier soll ein 55 mm breites Werkstück gegriffen werden. Im ersten Versuch ist dem Roboter dessen Breite unbekannt. Somit muss die Verfahrensgeschwindigkeit der Finger mit 50 mm/s relativ niedrig gewählt werden, um eine signifikante Kraftspitze zu vermeiden. Die maximale Kraft wurde auf 10 N ge-

setzt. Die aus diesen Einstellungen resultierende Zeit, die zum vorsichtigen Zugreifen benötigt wird, beträgt ca. 1.35 s. Im zweiten Versuch kennt der Roboter die Objektbreite. Diese Information kann zur Vorpositionierung der Finger mit hoher Geschwindigkeit verwendet werden. Diese wurde mit 420 mm/s gewählt. Die maximale Kraft konnte auf 80 N gesetzt werden, da kein Kontakt zum Werkstück entsteht. Danach wird mit den eingestellten Werten von 60 mm/s und 50 N, für Geschwindigkeit bzw. maximale Kraft, langsam und vorsichtig zugegriffen. Wie in der Abb. 3 zu sehen ist, tritt wiederum keine signifikante Kraftspitze auf. Jedoch konnte im zweiten Versuch die Greifzeit auf 0.67 s reduziert werden.

Neben Dimension und Greifkraft sind weitere Informationen denkbar, die in intelligenten Werkstücken gespeichert und zur Verbesserung des Greifprozesses genutzt werden können. Dazu zählen die Orientierung des Greifers und die optimale Greifposition.

3. Lastdaten

Das Bewegungsverhalten des Roboters kann, durch Körper die an seinem Flansch montiert sind, beeinflusst werden. Dazu zählen z. B. Kollisionsschutz, Kraft-/ Momentsensor, Fügehilfen und natürlich der Greifer. Aber auch gegriffene Objekte haben Einfluss.

Üblicherweise arbeiten die meisten Industrieroboter bahngesteuert, wobei die durch den Interpolator vorgegebenen Stützstellen der Bahn durch die Lageregelung umgesetzt werden. Diese liegt meist in Form einer dezentralen Gelenkregelung mit Kaskadenstruktur vor. Gängige Robotersteuerungen erlauben die Eingabe der Lastdaten in Form von Masse und Schwerpunkt der am Flansch angebrachten Körper. Diese Informationen werden dann zur Vorsteuerung der Regelkreise benutzt, mit dem Ziel die Bahngenauigkeit zu erhöhen. Die Auswirkung falscher Lastdaten zeigt exemplarisch die Abb. 4.

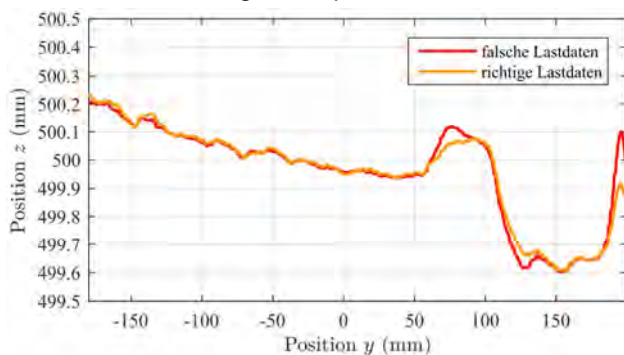


Bild 4: Wirkung der Lastkompensation

Im Versuch wurde am Flansch des Roboters eine Last mit einer Masse von 2 kg montiert. Diese wird mit einer Geschwindigkeit von 400 mm/s entlang der y-Achse des Roboterkoordinatensystems bewegt. Während der Bewegung wird zusätzlich die Orientierung des Werkzeugkoordinatensystems bezüglich seiner horizontalen Achse verändert und die z-Position des Werkzeugmittelpunktes aufgezeichnet.

Bei falsch eingestellter Lastmasse (0 kg) ist eine größere Abweichungen zum Sollwert von 500 mm zu erkennen. Des Weiteren nimmt die Schwingungsneigung des Roboterarms mit richtigen Lastdaten ab. Es ist anzumerken, dass die hier dargestellten kartesischen Koordinaten aus den gemessenen Gelenkwinkeln über die Vorwärtstransformation berechnet werden. Die tatsächliche Positionsabweichung ist vermutlich aufgrund von Nachgiebigkeiten noch größer.

Bei intelligenten Werkstücken ließen sich die Lastdaten im Transponder hinterlegen. Nach dem Greifen können dann die Einstellungen in der Robotersteuerung angepasst werden, um immer die optimale Vorsteuerung der Regelkreise zu garantieren. Hohes Verbesserungspotential ist auch im Bereich der Regelung von Leichtbaurobotern und nachgiebigen Robotern zu erwarten.

Neben der Bahnsteuerung besteht auch die Möglichkeit den Roboter sensorgeführt zu betreiben. Eine Variante dafür ist die Kraft-/ Momentregelung. Dabei werden üblicherweise die auf den Roboter wirkenden Kräfte und Momente durch einen am Roboterflansch montierten Kraft-/ Momentsensor gemessen. Dieser misst auch die Gewichtskräfte und -momente der nachfolgend montierten Anbauten, wie z. B. Greifer und Kollisionsschutz. Um diese aus den Messwerten des Sensors herausrechnen zu können, werden ebenfalls Masse und Massenschwerpunkt der Last benötigt. Diese beinhaltet auch wieder den Anteil gegriffener Werkstücke. Für die erfolgreiche Gewichtskraftkompensation beim Handling unterschiedlicher Objekte, können diese Daten wieder aus den Transpondern ausgelesen werden. Bei schnellen Bewegungen wirken auf den Roboter neben den Gewichtskräften zusätzlich Beschleunigungs-, Coriolis- und Zentrifugalkräfte und -momente. Für deren Kompensation ist zusätzlich zu Masse und Schwerpunkt noch der Trägheitstensor der Last erforderlich. Dieser kann ebenfalls im Transponder des Werkstücks hinterlegt werden. Weitere Details zur Berechnungen von statischen und dynamischen Kräften und Momenten sind in [3] und [4] zu finden.

4. Bahnplanung

Im Abschnitt 2 wurde ein Ansatz vorgestellt, um die Zeit zum Greifen empfindlicher Werkstücke mit unterschiedlichen Dimensionen zu verringern. Ziel dabei war es, eine geringere Zykluszeit des durch den Roboter automatisierten Prozesses zu erreichen. Durch eine verbesserte Bahnplanung findet sich auch während des Werkstücktransports noch Potential für Zykluszeitverringerungen. Es sind zahlreiche Möglichkeiten denkbar, wie die Bahnplanung durch intelligente Werkstücke beeinflusst werden kann. Eine Methode, die auf die schon verwendeten Informationen über die Dimension des Werkstückes zugreift, soll im Folgenden vorgestellt und im Szenario der Abb. 5 validiert werden:

Das Werkstück soll dabei von der Start- zur Zielposition transportiert werden. Seitens der Robotersteuerung

rung stehen dafür verschiedene Interpolationsarten zur Verfügung. Da sich auf dem direkten Weg ein Hindernis befindet ist das Anfahren einer Zwischenposition erforderlich, um eine Kollision zu vermeiden. Meist müssen solche Zwischenpunkte nicht exakt angefahren werden. In gängigen Robotersteuerungen gibt es dazu die Funktionalität des sog. Überschleifens. Dabei wird im Bewegungskommando zum Zwischenpunkt eine Überschleifzone, meist in Form einer Kugel, parametrisiert. Dringt der Werkzeugmittelpunkt in diese ein, dann wird die Bewegung hin zur nächsten Position, hier also der Zielposition, umgebrochen. Das Überschleifen hat das Ziel Zykluszeit zu sparen.

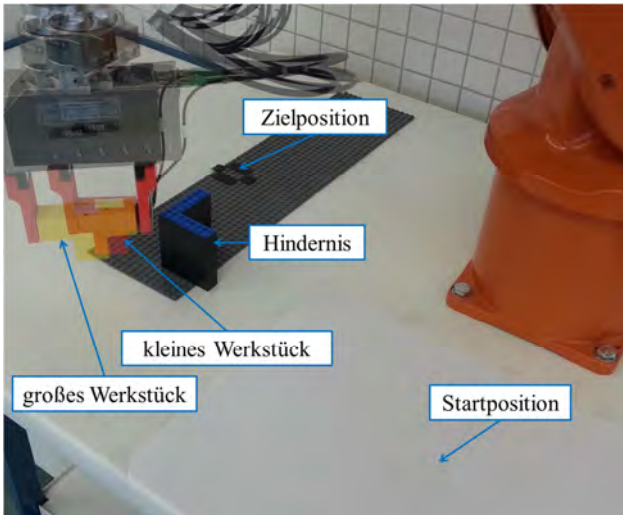


Bild 5: Versuchsaufbau zur Verbesserung der Bahnplanung durch intelligente Werkstücke

Im hier vorgeschlagenen Ansatz wird der Radius der Überschleifkugel in Abhängigkeit der Werkstückgröße, die im Transponder abgelegt ist, modifiziert. Für zwei Objekte mit unterschiedlicher Breite ist das Ergebnis in der Abb. 6 dargestellt.

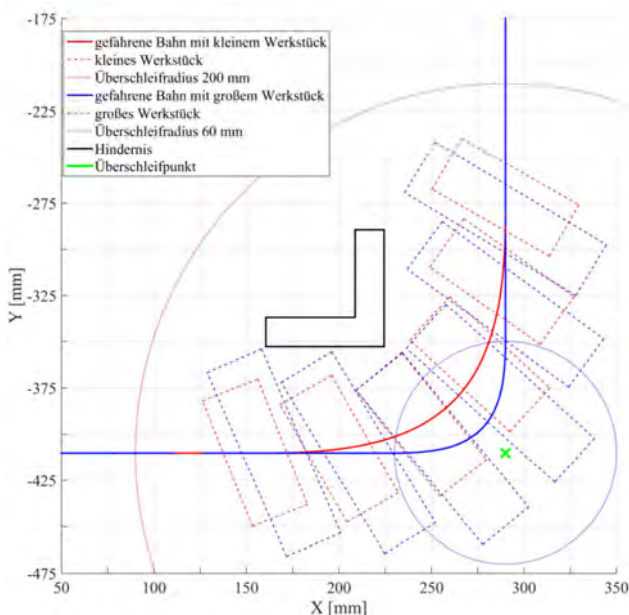


Bild 6: Werkstückbahn bei unterschiedlichen Überschleifradien

Für das große Werkstück musste ein Überschleifra-

dius von 60 mm gewählt werden, um nicht mit dem Hindernis zu kollidieren. Beim kleinen Werkstück beträgt der Überschleifradius 200 mm. Die Zeit für die Bewegung verringerte sich dabei im vorliegenden Fall von 6.60 s auf 6.37 s. Somit konnte gezeigt werden, dass schon dieser einfache Ansatz erhebliches Potenzial beim Handling unterschiedlich großer Objekte beinhaltet.

Es sind viele weitere Szenarien denkbar, wie intelligente Werkstücke ihre Bewegungsbahn beeinflussen. So könnte auch die komplette Bahn im Transponder abgespeichert werden, z. B. falls Werkstücke bestimmte Orientierungen während ihres Transports verlangen.

5. Zusammenfassung und Ausblick

Im vorliegenden Beitrag wurden drei Industrie 4.0 Szenarien vorgestellt, in denen roboterbasierte Handhabungsprozesse durch sog. intelligente Werkstücke verbessert werden können. Dabei wurden Robotik und RFID-Technologie miteinander verknüpft, um eines der vier Gestaltungsprinzipien von Industrie 4.0 – dezentrale Entscheidungen – zu erfüllen. Das Verbesserungspotential konnte anhand entsprechender Versuche demonstriert werden.

Besonders auf dem Gebiet der Bahnplanung bzw. Bahngenerierung sind weitere interessante Ansätze durch intelligente Werkstücke denkbar. Für statische Umgebungen wurde schon die Möglichkeit erwähnt, den kompletten Transportweg im Objekt zu hinterlegen. In dynamischen Umgebungen sind neben den Informationen vom Werkstück auch Hindernisobjekte zu berücksichtigen. Diese müssen zunächst durch externe Sensoren erkannt und lokalisiert werden. Anschließend können entsprechende Bahnkorrekturen durchgeführt werden. Eine mögliche Methode dafür sind sog. Potential- oder Kraftfelder [5], die schon recht lang bekannt ist. Sie könnte mit der Idee der intelligenten Werkstücke kombiniert werden.

Literaturverzeichnis

- [1] K. Finkenzeller, RFID Handbook, Fundamentals and Applications in Contactless Smart Cards and Identification, 2nd ed. (2003), John Wiley & Sons Ltd., 2003.
- [2] M. Hermann, T. Pentek, B. Otto, Design Principles for Industrie 4.0 Scenarios, Proc. of 49th Hawaii Int. Conf. on System Sciences (HICSS), 2016, 3928-3937.
- [3] A. Winkler, J. Suchý, Dynamic Force/Torque Measurement Using a 12DOF Sensor, Proc. of the 20th IEEE/RSJ Int. Conf. on Intelligent Robots and Systems (IROS), 2007, 1870-1875.
- [4] C. Thormann, A. Winkler, Optimization of Robot Tasks by Intelligent Objects Using RFID Technology, Proc. of 23rd Int. Conf. on Methods and Models in Automation and Robotics (MMAR), 2018, 381-385.
- [5] O. Khatib, Real-time Obstacle Avoidance for Manipulators and Mobile Robots, The International Journal of Robotics Research, Vol. 5 (1986), No. 1, 90-98, 1986.

PROZESSÜBERWACHUNG IN DER SMART FACTORY AM BEISPIEL EINES GASTRO-KAFFEEVOLLAUTOMATEN

Nanno Peters, Udo Triltsch

Ostfalia Hochschule für angewandte Wissenschaften | Fakultät Maschinenbau | Institut für Produktionstechnik, Salzdahlumer Str. 46-48, 38302 Wolfenbüttel

Dieser Beitrag beschreibt den am Institut für Produktionstechnik entwickelten Demonstrator einer Smart Factory. Ziel des Vorhabens war es, eine kompakte Fabrik mit allen Möglichkeiten der Prozessüberwachung zu Demonstrations- und Ausbildungszwecken zu schaffen. Das vorgestellte Konzept zeigt am Beispiel der Kaffeezubereitung, wie das Produkt (in Form einer Tasse in verschiedenen Größen) den Prozess steuert, indem die Maschine sich automatisch auf das zum Behälter passenden Produkt einstellt. Daneben werden Konzepte zur automatischen Materialnachbestellung nach prognostiziertem Verbrauch, zur Energiemonitoring der Anlage und einzelner Produkte, zur vorbeugenden Wartung mittels Analyse der Anlagenauslastung und prognostizierter Nutzung sowie Konzepte zur Produktidentifikation aufgezeigt.

1. Einleitung und Zielsetzung

Smart Factory und Industrie 4.0 sind vielfach verwendete Begriffe mit denen große Herausforderungen in der Umsetzung einhergehen. Um eine kompakte und transportable Lern- und Demonstrationsumgebung zu schaffen, wurde als Demonstrator an der Ostfalia eine Gastro-Kaffeemaschine vernetzt und um diverse Funktionen erweitert. Das Ziel des Vorhabens war es, typische Probleme einer realen Fabrik im kleinen Maßstab abzubilden. Dazu gehören neben der Herausforderung bestehenden Anlagen intelligent zu erweitern auch, dass Konzepte zur Materialbeschaffung, Prozess- und Logistiksteuerung sowie zur effizienten Nutzung von Ressourcen erlernt und erprobt werden können.

Das vorgestellte Anlagendesign zeigt am Beispiel der Kaffeezubereitung, wie das Produkt (in Form einer Tasse in verschiedenen Größen), anhand von RFID-Tags, individuell den Prozess steuert, indem die Maschine sich vollautomatisch auf das zum Behälter passenden Produkt einstellt. Daneben werden Konzepte zur automatischen Materialnachbestellung nach prognostiziertem Verbrauch, zum Energie-/Ressourcenmonitoring der Anlage und einzelner Produkte, zur vorbeugenden Wartung/Reinigung mittels Analyse der Anlagenauslastung und prognostizierter Nutzung sowie Konzepte zur Produktidentifikation aufgezeigt. Einige Prozessdaten werden beispielsweise für Abrechnungszwecke in Datenbanken gesichert.

2. Ausgangszustand

Am Standort existierte ein Gastro-Kaffeefullautomat des Typs „SCS Single“ (Bild 1) der Schweizer Marke Swiss Coffee System (SCS), welcher primär für größere interne Veranstaltungen genutzt wurde. In einem ersten Schritt wurde nach Möglichkeiten gesucht, den Energieverbrauch einer solchen Maschine zu erfassen und z.B. den Energiefootprint der verschiedenen Getränkearten auszuwerten.

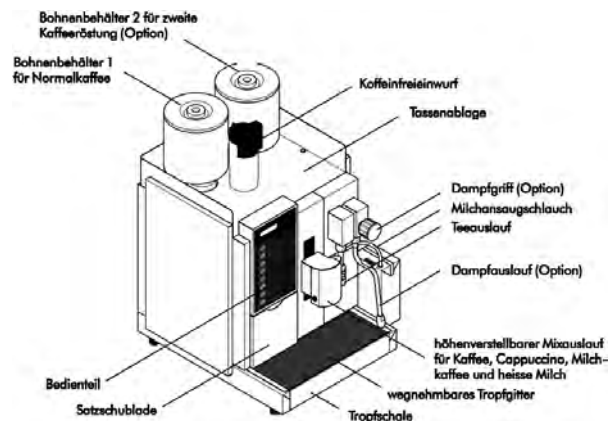


Bild 1: Bestandteile des Kaffeefullautomaten „SCS Single“ [1]

Bild 2 zeigt beispielhaft die Visualisierung eines solchen Energiefootprints. Diese Darstellung wurde online über eine Datenauswertung und Visualisierung mittels Excel-Frontend erzeugt.



Bild 2: Visualisierung des Energieverlaufs in MS Excel

3. Erweiterung des Funktionsumfangs

Um die Maschine ‚smarter‘ zu gestalten wurden hardwareseitig folgenden Punkte umgesetzt:

- motorisierte Ausschlenkhöhe
- Tassenerkennung mit RFID
- Überwachung von Trester und Wasservorrat
- Fernsteuerung der Maschine

a) Die Höhenregulierung der Ausschlenkvorrichtung erfolgt mit einem wickelbaren Kettenantrieb, welcher auch Schubkräfte aufbringen kann. Das Bild 3b zeigt die Anbringung an der Maschine.



Bild 3: a) Kettentrieb SINTESI 24V [2]; b) Einbauzustand

Die technischen Daten des Antriebs können der Tabelle 1 entnommen werden.

Schubkraft	180N
Zugkraft	300N
Hublänge	Bis zu 380mm
Spannung	24V DC
Geschwindigkeit	14 mm/s
Maße	234mm * 50mm * 83mm

Tabelle 1: Technische Daten UCS Sintesi 250/380mm 24V

Je nach Spannungspolarisierung fährt die Kette ein oder aus. Für diese Drehrichtungsumkehr wurde eine H-Brücke aus Relais aufgebaut (Bild 4). Diese wird entsprechend von der SPS angesteuert. Zusätzlich wird der Motorstrom überwacht und damit die Anschläge durch Stromzunahme erkannt.

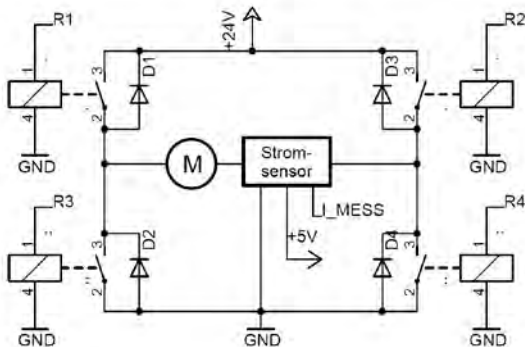


Bild 4: Prinzipieller Schaltplan der H-Brücke

b) Für die Tassenerkennung wurde auf ein Industrie-RFID-System der Firma Balluff zurückgegriffen. Das System verwendet die Niederfrequenz (LF/125 kHz) und setzt passive Datenträger ein. Es besteht aus zwei Komponenten, dem Schreib/Lesekopf und der Auswerteeinheit (Bild 5a/b). Die Schreib-/Leseköpfe sind das Bindeglied zwischen Datenträger und Auswerteeinheit. Die Auswerteeinheit verarbeitet die von den Lesekopf erfassten Daten und gibt diese an den industriellen Feldbus weiter. In diesem Fall an die SPS über die RS232 Schnittstelle.

Für die Auswertung innerhalb der SPS gibt es passende Software-Bibliotheken, welche die Einbindung in das Programm stark vereinfachen.



Bild 5: a) Schreib/Lesekopf BIS L-304-S115 [3]; b) Auswerteeinheit BIS L-6000-007-050-00-ST15 [4]

Als Datenträger werden BIS L-100-05/L eingesetzt, diese sind nur $\varnothing 20 \times 1.6$ mm groß, besitzen einen 192 Byte großen EEPROM-Nutzdatenbereich und sind bis Temperaturen von 85°C spezifiziert. Aufgrund der geringen Größe können die Tags relativ problemlos unter den Tassen angebracht werden (Bild 6 a/b). Der Lesekopf sitzt unter dem Auslass der Kaffeemaschine, in direkter Nähe zum Tassenboden.



Bild 6: a) RFID Tag auf Tassenboden; b) Tassenboden aufgefüllt mit Silikon

c) Die Füllstandsüberwachung des Restbehälters (Trester) erfolgt mit einer 3kg Bosche-Wägezelle aus Aluminium und einem additiv gefertigten Waagekreuz (Bild 7 a/b).



Bild 7: a) Wägezelle BW10026 [5]; b) Gedrucktes Waagekreuz in der Kaffeemaschine

Ausgewertet wird die in der Wägezelle verbaute Vollbrückenschaltung mit einer passenden Beckhoff-Messauswerteklemme (EL3351).

Für den mobilen Einsatz der Kaffeemaschine, und um unabhängig von einem Wasseranschluss zu sein, wird die Anlage aus einem 20l Tank mit Wasser versorgt. Das Wasser wird gefiltert in die Maschine gepumpt. Um den Wasservorrat zu ermitteln wurde eine 35kg Waage (Bild 8) mit 10g Auflösung eingesetzt, welche direkt über die RS232 Schnittstelle an die SPS angeschlossen ist.



Bild 8: Industriewaage mit Anzeigeelement (Adam CPW Plus 35) [6]

d) Für die Fernsteuerung der Kaffeemaschine wurde sich auf der Hauptplatine hinter die Bedientaster parallel geschaltet (Bild 9). Die Schalter S1 bis S8 entsprechen den Tasten am Bedienfeld der Kaffeemaschine. So kann die direkte Bedienung an der Kaffeemaschine erfasst werden, sowie die Funktionen von der SPS fernbedient werden. Die Widerstände R1-R8 dienen der Strombegrenzung und der Grundanschluss dem Potenzialausgleich. Die SPS Ein/Ausgänge besitzen in diesem Fall einen 5V Pegel.

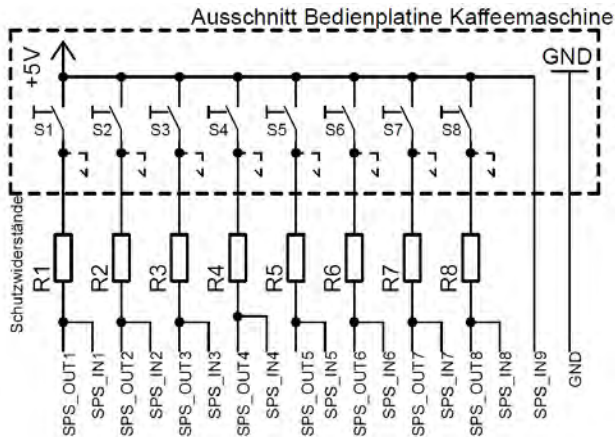


Bild 9: SPS-Kaffeemaschine Kontaktplan

Das Bild 10 zeigt schematisch das Gesamtsystem. Ein Notausystem dient der Abschaltung des Hebemotors. Dort befinden sich auch kleine Hardware-Schalter für die direkte Steuerung des Motors.

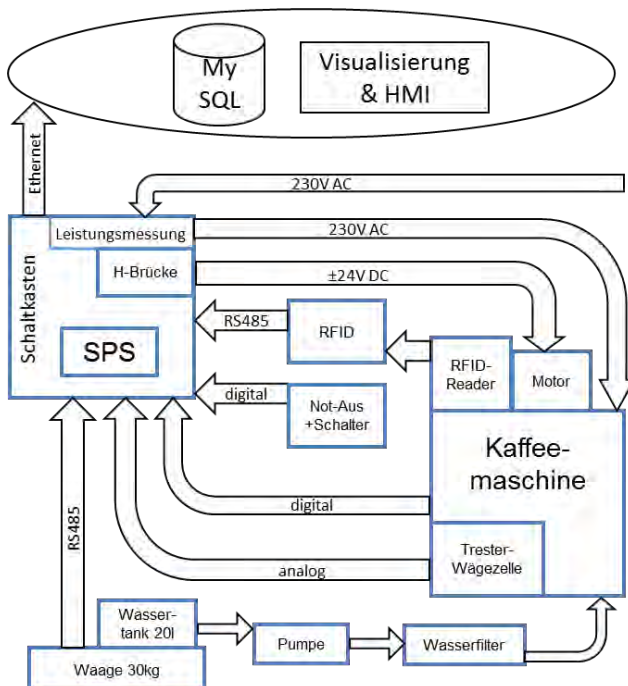


Bild 10: Überblick über das Gesamtsystem

5. Weitere SPS Hard und Software

Kernstück der ‚Fabrik‘ ist eine Beckhoff Ethernet-Steuerung des Typs CX9020 mit 1-GHz-ARM-Cortex-A8-CPU. Der Anschluss für die I/O- Zubehörklemmen ist direkt im CPU-Modul integriert.

Zu den bisher genannten Schnittstellenkarten kommt eine Leistungsmessklemme (EL3403) zum Einsatz. Diese erfasst mit einem Stromwandler (35A/1A) den Maschinenstrom und einen Potenzialabgriff die Netzspannung. Diese Zubehörklemme berechnet hieraus die Leistungsaufnahme und den Energieverbrauch des angeschlossenen Systems. Den SPS-Aufbau kann man auf dem Bild 11 sehen.



Bild 11: SPS Schaltschrank mit 24V Netzteil

Programmiert wird die SPS nach IEC 61131-3 Standard in Strukturierten Text (ST) über TwinCat 3. Die Taskzeiten betragen 2, 10 und 100 Millisekunden. Die Gesamtsystemauslastung liegt bei ca. 20%. Der Zugriff auf die MySQL-Datenbank läuft über den DatabaseServer von Beckhoff.

6. Prozessüberwachung/-Steuerung und Bedienung

Über der Kaffeemaschine hängt ein 20Zoll Touchmonitor, welcher den Zustand der Maschine über eine HTML-Seite visualisiert. Die Seite kann als zusätzliches Bedieninterface genutzt werden (Screenshot Bild 12).

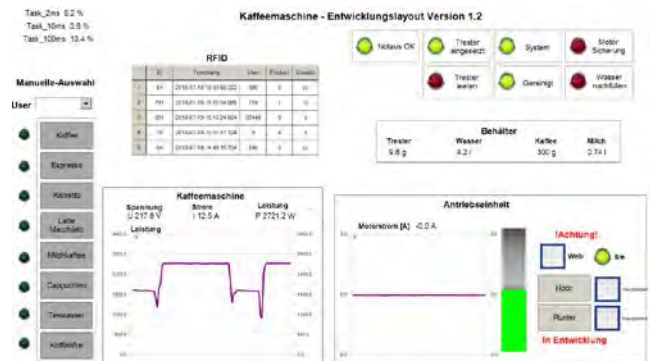


Bild 12: HTML-HMI Interface der SPS

Der Aufbau ermöglicht die Überwachung und Aufzeichnung des Ressourceneinsatzes von Energie, Wasser, Kaffee und Milch und des Maschinenstatus von bzw. Abfall, Ausrichtung und Motorströmen. Zusätzlich wird die Steuerung und das Monitoring von Getränkeauswahl ermöglicht. Auch erfasst wird der Status des RFID-System und der MySQL-Datenbank.

Die Getränkezubereitung kann von drei Quellen gestartet werden. Erstens über den direkten Zugriff mit den Bedienelementen Kaffeemaschine, zweitens über die RFID Technik und drittens über die Web-Oberfläche. Beim direkten Zugriff wird das Getränk einem Gastnutzer zugeordnet und im Datenbanksystem verbucht.

Das Bild 13 zeigt beispielhaft den Ablauf einer ‚Produktfertigung‘ nach Erkennung des RFID Eingangssignals.

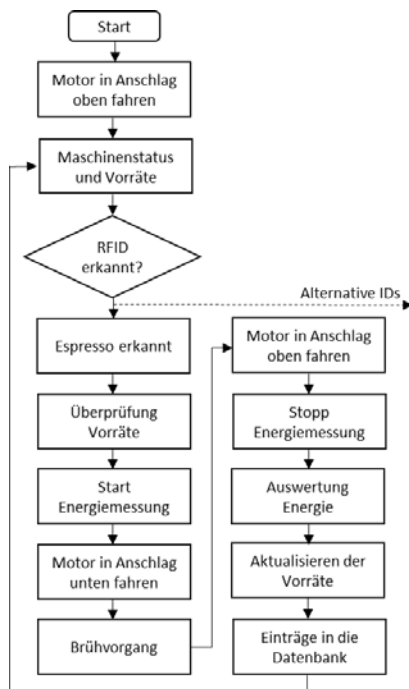


Bild 13: Ablaufdiagramm Espressozubereitung mit RFID

7. Prognose der Anlagenverbräuche und Konzepte zur automatisierten Nachbestellung.

Die Prozessüberwachung ermöglicht die Prognose und Planung von möglichen Losgrößen, je nach Materialvorrat. Anhand der ermittelten Verbräuche von Kaffee, Wasser und Milch der letzten 14 Tage wird eine Prognose für die nächsten vier Wochen erstellt und mit dem Lagerstand in der Datenbank abgeglichen, hierfür existiert im lokalen ERP-System diverse Einträge. Die Nachfüllung von Kaffee und Milch muss dem System mitgeteilt werden, da diese Größen noch nicht direkt gemessen werden.

Der Wunsch nach Materialnachbestellung wird dem Einkäufer automatisiert via Email mitgeteilt. Eine direkte Bestellung übers ERP wäre möglich, macht bei den vorhandenen Losgrößen und schwankenden Kaffeepreisen aber wenig Sinn.

Das Wasser im Tank wird aus hygienischen Gründen täglich erneuert. Wenn Milchprodukte produziert wurden wird von der Maschine nach 4h eine Reinigung verlangt.

8. Fazit und Ausblick

Dieser Beitrag zeigt, wie an einer kompakten Anlage alle wesentlichen Schritte der digitalen Transformation umgesetzt und erlernt werden können. Es konnte gezeigt werden, welche Herausforderungen in einem typischen Brown-Field-Szenario stecken, damit der Weg zu einer smart Factory (Bild 14) beschritten werden kann. Es wurde neben dem Blick auf das Gesamtprojekt durch die Erläuterung einiger Details deutlich, dass einige wesentliche Punkte bei einer solchen Transformation zu beachten sind.

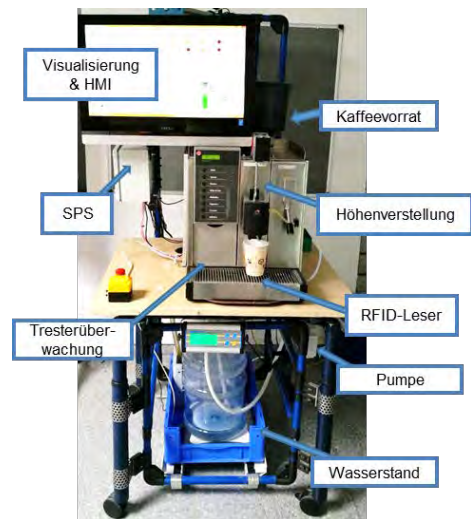


Bild 14: Mobile smarte Kaffee Factory

Der Transformationsprozess ist noch nicht abgeschlossen. Es gibt weiterhin viel Potential neue Erkenntnisse anhand des hier gezeigten Modells einer digitalen Fabrik zu gewinnen. Beispielsweise werden Condition-Monitoring-Versuche mit Energie- und Schwingungsdaten an der Kaffeemaschine laufen.

Auch wurde die Datenbankauswertung und Datensicherheit bisher vernachlässigt und soll optimiert werden. Die Daten liegen beispielsweise noch unverschlüsselt auf dem RFID Chip.

Als nächster Schritt soll erprobt werden, wie sich die hier genutzten Techniken und Methoden auf die Umrüstung einer bestehenden Fertigungsanlage in der Betriebswerkstatt übertragen lassen.

Die Modifikationen und Erweiterungen an der Kaffeemaschine entstanden in diversen studentischen Projekten an der Ostfalia Hochschule. Der Lerneffekt war hierbei immer hoch, womit die Anlage auch das Ziel als Ausbildungsobjekt erfüllt.

Literaturverzeichnis

- [1] Betriebsanleitung SCS Single, SwissCoffeeSystem SCS_DBA.P65, Stand: 31.01.13
- [2] Windowdrives: Sintesi; Zugriff:08.2018 <https://www.windowdrives.com/kettenantrieb-sintesi-2000-24v-250-380mm.html>
- [3] Balluff: BIS L-304-S115; Zugriff:09.2018 <https://www.balluff.com/local/de/productfinder/product/?key=BIS004Z#?data=>
- [4] Balluff: BIS L-6000-007-050-00-ST15; Zugriff:09.2018 <https://www.balluff.com/local/de/productfinder/product/?key=BIS00E3#?data=>
- [5] Bosche: Wägezelle; Zugriff:09.2018 <https://www.bosche.eu/waagenkomponenten/waagezellen/plattform-waagezellen/miniatur-waagezelle-h08a?number=BW10026>
- [6] adamequipment: Datasheet: CPW plus RANGE OF SCALES (P.N. 9009, Rev. D2, March 2017)

THE PARALLEL ROBOT WITH INTEGRATED VISION SYSTEM AND THEIR USAGE IN AUTOMATED PRODUCTION SYSTEMS – EQUIPMENT FOR HIGH PRODUCTIVITY

Vladimír Bulej¹, Manfred Eberth¹, Ján Stanček¹, Juraj Uríček¹, Ivan Kuric¹,
Joanna Korzekwa²

¹University of Žilina, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Automation and Production Systems, Univerzitna 1, 010 26 Žilina, Slovakia

²University of Silesia in Katowice, Faculty of Computer Science and Materials Science, 12 Zytunia St., Sosnowiec, 41-200, Katowice, Poland

The main aim of the article is application of mechanisms with parallel kinematic structure in automated production systems, which can ensure higher productivity. These mechanisms are famous mainly due to their high dynamic properties. The resulting benefits can be further multiplied by the integration of the computer vision system. Integration of vision guided robot control into the high speed parallel robot can reach higher productivity in accordance with the Industry 4.0. The functionality of vision guided parallel robot is demonstrated at automated assembly process of USB memory stick with variable positioning of its components. The task was tested at the authors' workplace on delta robot FANUC M-1iA with control system based on iR Vision system.

Keywords: parallel robot, vision system, automated assembly, vision guided robot

1. Introduction

Designers of automated or robotized assembly systems and engineers are constantly pushed to ensure high productivity and low costs of their solutions. There exist several options to fulfil these requirements, like for example optimization by suitable CAx systems [1], simulation of robot motion, application of advanced and intelligent sensors or other advanced mechatronic units [2, 3].

Several authors mentioned (for example [4]) that advanced digital technology is already used in manufacturing, but with Industry 4.0, it will transform production. It will lead to greater efficiencies and change traditional production relationships among suppliers, producers, and customers—as well as between human and machine. Companies are enabling smarter automation and promoting efficiency in various ways (with respect to so-called “Nine basic blocks of Industry 4.0”) [4]:

- installing of smart robots – which can perform more complex tasks than human workers can,
- using of collaborative robots - which can collaborate with humans without fences,
- applying production simulations - 3D simulation to optimize processes and material flows.

It is going to be very advantageous to integrate the fast vision systems on the high speed robots, especially with parallel kinematic structure, to maximize productivity of whole system. Machine vision can be considered as the substitution of the human visual sense and judgment capabilities with a video camera and computer to perform an inspection or object identification task. It is based on automatic acquisition and analysis of images to obtain desired data for controlling or evaluating a specific part or activity. A Vision Guided Robot (VGR) system is basically any robot system equipped with one or more cameras [2, 3]. Thanks to the provided feedback it can be obtained very precise motion to a variable target position.

They can reduce the costs and complexity of robotic cells at the same time. On the other hand, the robots with parallel kinematic structure are interesting mainly due to their high dynamics compared to the serial robots [5, 6]. It is well known that this type of robots can reach the acceleration up to 15 times gravity in industrial applications [6].

The article deals with the application of vision guided parallel robot FANUC M-1iA with integrated iR Vision system for capability demonstration of such system. The experimental verification will be done on the task of automated assembly process of USB memory stick. There are described the steps of solution of defined problem.

2. Workplace for capability verification of vision guided parallel robot system on assembly task

Most delta robots are equipped by 3 or 4 axes which are ideal for “pick-and-place” applications. In case you need to have more control over the part orientation the special kind of delta robot with up to 6 DOFs can be applied, or equipped with intelligent functions using iR Vision respectively [5].

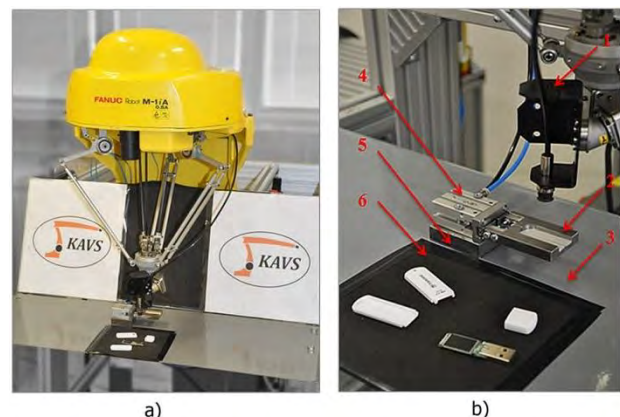


Fig. 1: Workplace with delta robot FANUC M-1iA (a) and decomposed USB stick – the subject of automated assembly process (b): 1- holder with suction gripper, 2- fingers of assembly jig, 3- table, 4- two-fingers gripper, 5- support pad, 6- contrast material in camera vision range

For our application we decided for the smallest delta robot made by company FANUC called M-1iA/0.5A with 6 DOFs, cylindrical workspace with maximum diameter 280 mm and height 100 mm, maximum payload limited to 0.5 kg included the end-effector. The testing workcell as well as the assembly subject is shown in figure 1.

3. Vision system for object detection and parallel robot navigation

The vision system provides the data distribution about shape and position coordinates of components spread out randomly beneath the camera's view range to the robot controller. It enables to navigate the robot arm with attached end-effector (in our case suction gripper) to the selected component and grasp it from static pick-up position or belt conveyor [2, 6]. Vision system equipped by suitable algorithms can be used for quality control to check dimensions, angles, colour or surface structure or for the recognition of an object as used in VGR systems.

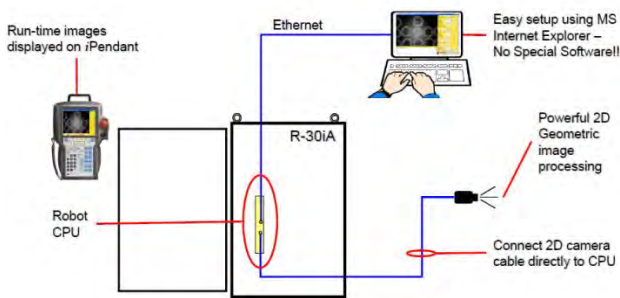


Fig. 2: General schema of FANUC iR Vision system and connection of peripheral devices [5, 6]

Our camera system was installed on the FANUC M-1iA robot to serve the robot guidance and finding of randomly placed parts by iR Vision system (schema in figure 2). Hardware part of iR Vision system is composed from camera Sony XC-56 (in Fig. 1, left - the black cylinder mounted in the middle of robot frame), the lens and connecting cable. The software tool is based on web server, which is running in personal computer connected to the robot control system with Ethernet cable. Camera is connected to the robot control unit by JRL6A port. Initial camera configuration is carrying out by DIP switches that are located on the back side of the camera. Thanks to the configuration step camera can be used as static or it can be mounted on the robot arm. For our applications with robot M1-iA was chosen fixed camera location.

3.1. The structure, whole design and cowling of a machine tool

After the hardware configuration an application Vision Setup is started in WEB server environment. There can be shown any default setting as well as can be set and change any of system parameters. The iR Vision main menu contained set of basic tools is displayed on the left-hand side of the screen.

The configuration contains following tools or steps:

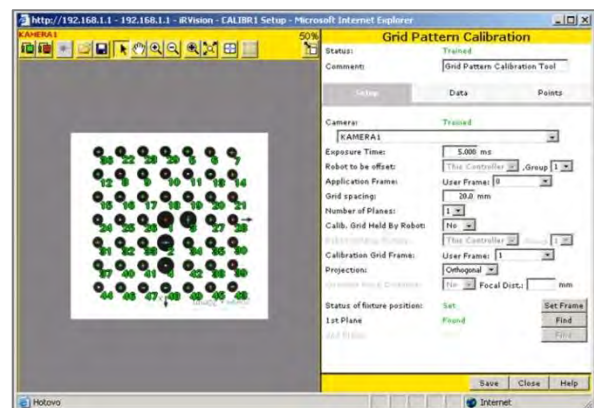
- Camera Setup Tools – camera configuration.
- Camera Calibration Tools - camera calibration for our scene, hardware and conditions.
- Process Vision Tools – part identification.

Camera Setup Tools

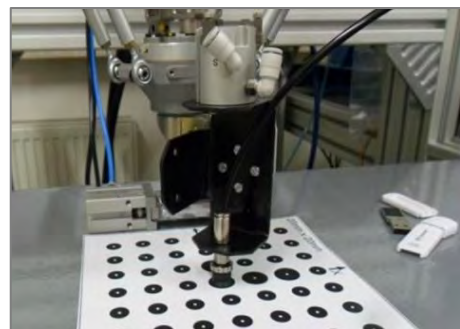
Control system recognizes the type and parameters of connected camera automatically (user can simply way change parameters if needed). The parameter Exposure Time can be set with respect to the lightning conditions. As well the zoom, focus and aperture ring located in lens cylinder with respect to the distance between the robot frame and working table, size of pick-up area as well as to the light conditions. In our case the camera can see the area with dimensions approximately 150 x 150 mm which is covered with a non-reflecting black material.

Camera Calibration Tools

Calibration process allows vision systems to “understand” relation between picture obtained from camera and robot coordinate system and will return real-world coordinate data. The process usually involves a dot grid or checkerboard pattern, typically called a calibration plate or calibration grid.



a)



b)

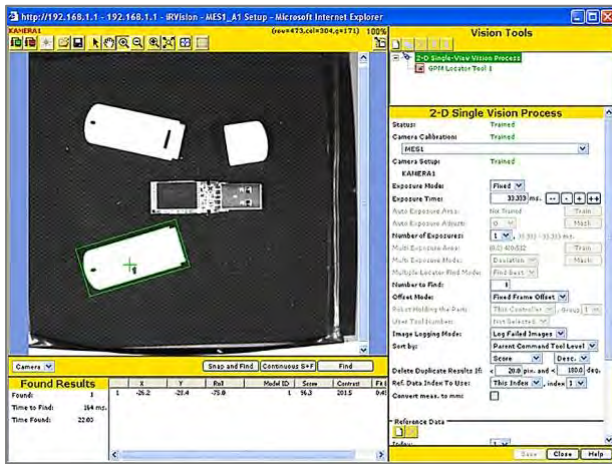
Fig. 3: Screen of Camera Calibration Tool (a) and calibration grid for alignment of camera and robot coordinate system (b) [6]

Calibration is performed by using of predefined 2D grid with different size, in our case with grid spacing of 20x20 mm (Fig. 3). Calibration is done with respect to a specific User Frame. Its position and orientation will be find by three points method based

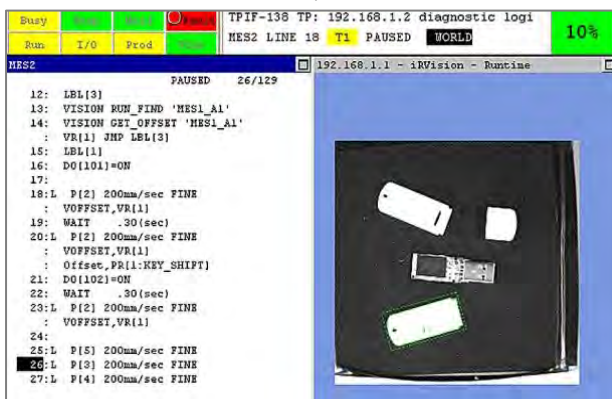
on definition of one orient origin point and one point for each axis (axis X and Y). According to used lens can be sett the calibration projection - either orthogonal or perspective. Finally, in that moment, our robot knows the position and orientation of selected coordinate system and can measure the position, orientation, and other object data.

Vision Process Tools

There it is necessary to create an individual process tool for each object or component which should be detected by camera. So there were created 4 unique tools, each for one object: MES1_A1 for the first part (bottom half of body), MES1_B2 for the second part (electronic board), MES1_C2 for the third part (upper half of body) and finally the MES_D2 for the fourth part (cap). Every single process tool has attribute as 2D-Single-View Vision Process Tool. The first part (Vision Process Tool “MES1_A1”) is placed on a working table inside the camera range.



a)

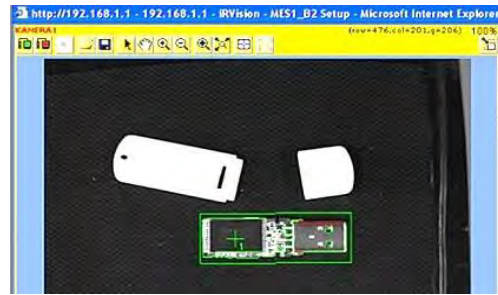


b)

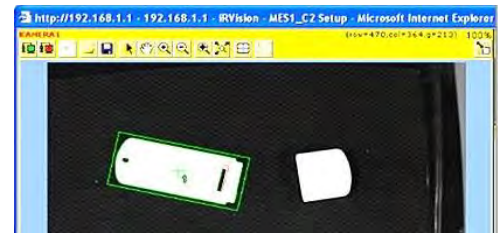
Fig. 4: Vision Process Tool “MES1_A1” for the first part: the screen of Web Server after Snap and Find process (a) and the screen of Teach Pendant (b)

We are taken its photo and then pressing the button *Teach Pattern*, which activates a selection window for identification of part borders (highlighted by green curve - see Figs. 4 and 5). Consequently we can set parameters collected in right-side panel. There can be edited parameters like *Set Origin* point (gripping point shown as green cross) which correspond with real gripping point on part, *Edit*

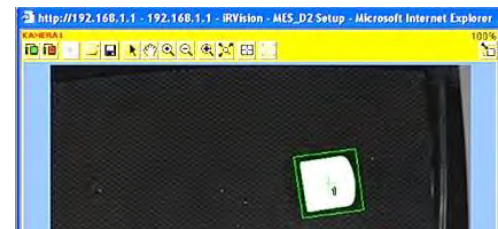
Training Mask (for filtering of non-important features), *Score Threshold*, *Contrast Threshold*, etc.



a)



b)



c)

Fig. 5: Vision Process Tool “MES1_B2” (a) after Snap and Find and identification of the second part (green border line), “MES1_C2” (b) after identification of the third part and “MES1_D2” (c) after identification of the fourth part

The same method was applied for all other parts. The screenshots from finding process are shown in Fig. 5. You can adjust the contrast, exposure time, the percentage of compliance, method of sorting as well as number of exposures and many others.

3.2. Experimental verification

In figure 6 is shown the real assembly process controlled by iR Vision system as time-laps set of photos. The definition of start (reference) point requires its physical touching by robot end-effector (the robot must be guided to this point manually). This point is stored the same way as any standard point $P[n]$ by *Teach Pendant* panel. On this point can be applied the function offset by *Vision register VR [n]*. Then any point of interest and any path (linear or joint motion) can be described with respect to the reference point by pure offset coordinates. The function *RUN_FIND* opens a specific user-defined Vision Process Tool. *GET_OFFSET* function extracts any position data from a particular vision process as well as it saves them into a Vision register $VR[n]$. In case the vision process was aborted (it doesn't find the object), make a jump to label $LBL [n]$. When all Vision Process Tools are prepared, we can create the main program (Fig. 7) according developed algorithm.

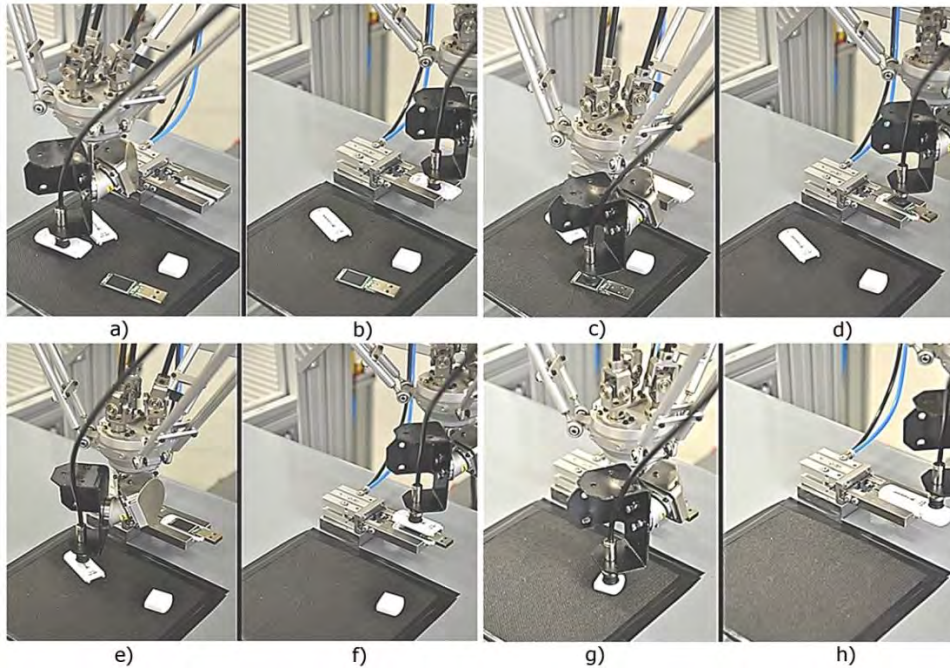


Fig. 6: Assembly process of USB memory stick: base part picking (a) and in assembly position (b); electronic board picking (c) and in assembly position (d); upper part picking (e) and in assembly position (f); cup picking (g) and in assembly position (h)

The application was tested in high speed regime when the whole process was finished in 5,3 seconds as well as in low speed regime (unfortunately for presentation to other people the high speed regime is too fast). The experiment confirm our expectation, but it needed precise programming, setup and exactly to know what is necessary to do.

```

11: J P[13] 100% FINE
12: LBL[3]
13: VISION RUN_FIND 'MES1_A1'
14: VISION GET_OFFSET 'MES1_A1'
    VR[1] JMP LBL[3]

15: LBL[1]
16: DO[101]=ON
17: ;
18: L P[2] 200mm/sec FINE VOFFSET,VR[1]
19: WAIT .30(sec)
20: L P[2] 200mm/sec FINE VOFFSET,VR[1]
    Offset,PR[1:KEY_SHIFT]
21: DO[102]=ON
22: WAIT .30(sec)
23: L P[2] 200mm/sec FINE VOFFSET,VR[1]

```

Fig. 7: Part of main program for detection of the first part in FANUC iR Vision system

4. Conclusions

Industrial cameras starting to play a significant role in current industrial environment and represent a strong tool for robotics mainly in cases when they are combined with high-speed parallel robots. However there are still some difficulties in vision system integration. In most cases this is caused by lack of knowledge on behalf of the integrator or machine builder. Many vision systems can be applied successfully to almost any production activity, as long as the user knows exactly how to set up the system. The performance of such (e.g.

assembly) system is heavily dependent on the placement of the camera and light source, proper algorithms, precise set-up as well as well trained programmer and engineer. In this article there was presented an example of automated assembly system based on high speed parallel robot FANUC M-1iA with integrated iR Vision system for assembly of USB memory stick. The skills of the engineering staff seems to be a key element what was proved also in our experimental test.

Acknowledgements

The outputs of paper was supported by grant VEGA 1/0504/17 "Research a development of methods for multicriterion accuracy diagnostic of CNC machines.

References

- [1] I. Kuric, I. et al. Analytical intelligence tools for multicriterial diagnostics of CNC machines. *Advances in science and technology research journal*. Vol. 10, Nr. 32 (2016), 59-64.
- [2] T.-M. Anadan, *Advanced vision guided robotics*. Robotics Industry Insights. [Online] <http://www.robotics.org>
- [3] N. Čuboňová, et al., Design of camera mount and its application for monitoring machining process. *Advances in Science and Technology Research J.*, vol. 9, No. 26 (2015) pp.34-40.
- [4] K. Kuhlmann, et al. *The Factory of the Future*. <https://www.bcg.com/publications/2016/learning-manufacturing-operations-factory-of-future.aspx>
- [5] FANUC - Industrial robots made for higher productivity [Online] <http://www.fanuc.eu>
- [6] M. Mesíček, Application of delta robot FANUC M-1iA for the task of automated assembly. [Diploma thesis]. UNIZA. p. 60

DEMONSTRATOR FÜR EINEN KOOPERATIVEN MENSCH-ROBOTER ARBEITSPLATZ IN DER MONTAGE

Kathrin Bothe, Leif Goldhahn, Alexander Winkler
Hochschule Mittweida, Technikumplatz 17, 09648 Mittweida

Die Entwicklungen in der Robotik ermöglichen es Arbeitsplätze neu zu gestalten. Somit ist es möglich auf eine physische Trennung zwischen Mensch und Roboter zu verzichten und folglich die Produktionsprozesse zu optimieren. Aus diesem Grund wird die Integration und Implementierung von Technologien zur Erhöhung der Flexibilität und Sicherheit bei der Mensch-Roboter-Kooperation näher untersucht. Dabei wird ein Beispielszenario aus dem Bereich der Montage unter Verwendung einer RGBD-Kamera und weiterer Sensoren als Kooperations-Arbeitsplatz verwendet. Mittels RGBD-Kamera soll es möglich sein, die Position des Menschen an einem Mensch-Roboter-Arbeitsplatz zu detektieren und folglich die Bewegungen des Roboters anzupassen. Die weiteren Sensoren sollen zur Verbesserung der Bedienbarkeit und Steigerung der Wirtschaftlichkeit des gewählten Prozesses beitragen.

1. Einleitung

Die Anforderungen an die Fertigung steigen zunehmend. Um dem Kundenwunsch entsprechend, die Fertigung geringer Losgrößen realisieren zu können, ist es notwendig neue Automatisierungslösungen zu schaffen. Vollautomatisierte Fertigungslinien sind dafür zu unflexibel und sehr kostenintensiv. Wenn die Produktion jedoch rein manuell durchgeführt wird, steigen Zykluszeit, Fehleranfälligkeit und die Personalkosten erheblich an. Folglich ist es ein Ziel, Mensch und Roboter in den Fertigungsprozess zu integrieren um die Qualitätsvorteile einer roboterbasierter Automatisierung bei steigender Flexibilität gewinnbringend nutzen zu können. Die neu entstehenden Arbeitsbereiche werden dabei in Koexistenz, Kooperation und Kollaboration unterschieden [1], [2].

Bei der Gestaltung dieser Arbeitsbereiche ist das primäre Ziel, die Vorteile von Robotern und Menschen bestmöglich zu kombinieren. Roboter verfügen über eine sehr hohe Präzision und Wiederholgenauigkeit. Weiterhin ist es möglich Roboter mit Sensoren auszustatten, welche es ermöglichen, auf Ereignisse in einer unbekanntem Umgebung zu reagieren. Dies erfordert jedoch einen erhöhten Programmieraufwand und führt dazu, dass KMU (kleine und mittlere Unternehmen) in erster Linie den traditionellen Produktionsprozess verfolgen [3]. Neben dem Programmieraufwand und den notwendigen Sicherheitsvorschriften spielt die Amortisationszeit eine wichtige Rolle bei der Integration von Robotern insbesondere bei Mensch-Roboter-Interaktion. Roboter wie Franka (Franka Emika [4]) und UR3 (Universal Robots [5]) haben den Vorteil niedriger Investitionskosten im Vergleich zu herkömmlichen Industrierobotern, verbunden mit intuitiver Bedienbarkeit.

Menschen haben aufgrund ihrer Intuition und Flexibilität signifikante Vorteile gegenüber Robotern und Maschinen. Anders als ein Roboter muss der Mensch jedoch vorgeschriebene Pausen und Erholungszeiten einhalten. Aus diesem Grund wird die Machbarkeit eines geteilten Arbeitsbereichs untersucht.

Der Versuchsstand umfasst sowohl einen vollständig automatisierten Arbeitsbereich sowie einen kooperativen Mensch-Roboter-Arbeitsplatz. Dabei steht jedoch die Mensch-Roboter-Kooperation (MRK) im Vordergrund. Der automatisierte Prozess soll dazu

dienen, die Stillstandszeiten des Roboters zu minimieren und die Produktivität des Systems zu steigern. Weiterhin ist jedoch darauf zu achten, dass der Mensch als eine nicht beschreibbare Komponente in diesem System angesehen werden kann und muss. Störfaktoren wie bspw. Ablenkung und Unachtsamkeit, können sich auf die Geschwindigkeit, Qualität und Sicherheit des Mensch-Roboter-Systems auswirken.

In diesem Beitrag wird untersucht inwieweit Sensoren bzw. technologische Elemente dazu genutzt werden können, zwei Prozesse bedienerfreundlich mit einander zu verbinden bei gleichzeitiger Berücksichtigung der geforderten Sicherheit für Mensch-Roboter-Arbeitsplätze.

Dieser Artikel ist wie folgt gegliedert. Zunächst werden einige Herausforderungen und Lösungsansätze für Mensch-Roboter-Interaktionen vorgestellt. Anschließend wird der verwendete Versuchsaufbau näher beschrieben. Nachfolgend wird die Methodik für die Mensch-Roboter-Interaktion vorgestellt. Anschließend erfolgt die Vorstellung der entwickelten Schnittstellensoftware sowie eine zusammenfassende Darstellung der Arbeit.

2. Forschungsschwerpunkte

2.1 Herausforderungen der Mensch-Roboter-Interaktion

Damit die geplante Zusammenarbeit zwischen Roboter und Mensch realisierbar ist, ist es notwendig die durch indirekte Interaktion entstehenden Herausforderungen bei der Arbeitsplatzgestaltung zu berücksichtigen. Wenn Roboter und Menschen als Team zusammenarbeiten, müssen folgende Punkte berücksichtigt werden.

- Während der Kooperation teilen sich Mensch und Roboter einen Arbeitsbereich, führen ihre Aufgaben jedoch nacheinander aus. Weiterhin existieren Arbeitsbereiche, welche ausschließlich durch den Roboter bzw. den Menschen genutzt werden sollen.
- Es ist wichtig, das Verletzungsrisiko für den Menschen zu minimieren aber gleichzeitig die

Produktivität des Systems zu maximieren. Somit ist es notwendig jede Synchronisation und Interaktion sorgfältig zu planen und die, für die Realisierung notwendige Technologie zu implementieren.

Manchmal ist es notwendig, dass sich Mensch und Roboter gleichzeitig am selben Ort befinden und eine Tätigkeit gemeinsam ausführen. Dies wird als Kollaboration bezeichnet. Diese Arbeit befasst sich jedoch ausschließlich mit der Kooperation, bei der eine direkte Interaktion nicht erforderlich ist.

2.2 Lösungen für diese Herausforderungen

Um die Mensch-Roboter-Kooperation zu realisieren, können Technologien wie Sensoren eingesetzt werden. Durch das Lesen von Sensorsignalen kann der Roboter befähigt werden auf den Ist-Zustand des Systems zu reagieren. Dies ermöglicht dem Roboter auch, Entscheidungen über den nächsten Anwendungsschritt zu treffen. Im Bereich der Robotik können Sensoren unter anderem zur Überwachung von Prozessen sowie zur Überwachung von Bewegungen eingesetzt werden. Dieser Beitrag beschäftigt sich mit Sensoren zur Überwachung und Steuerung des Prozesses. Dabei wurden folgende Sensoren und Technologien verwendet:

- RGBD-Kamera
- Bedientableau
- Signalleuchten.

2.3 Kombination von automatisiertem Prozess und Mensch-Roboter-Interaktion

Die Integration von Roboter in einen Fertigungsprozess ist zunächst mit erhöhten Investitionskosten verbunden. Die Anschaffungskosten für Leichtbauroboter betragen je nach Modell 20.000 Euro (Universal Robots [5]) bis zu 70.000 Euro (KUKA). Dies stellt jedoch nicht die vollen Kosten dar. Aufgrund von Entwicklungskosten, Zertifizierungen und Schulung der Mitarbeiter, steigen diese Kosten weiter an. Daher sollte die Auslastung des Roboters maximiert werden. Die Zusammenarbeit zwischen Mensch und Roboter führt jedoch aufgrund der für den Menschen, gesetzlich vorgeschriebenen Pausen zu Ausfallzeiten für den Roboter. Darüber hinaus können andere kurze Arbeitsunterbrechungen auftreten, die sich über ein Jahr erheblich summieren können. Tabelle 1 zeigt ein Beispiel für Arbeitspausen während einer, zwei und drei Schichten.

Tabelle 1: Angenommene Arbeitszeitunterbrechungen eines Werkers

Annahme 5 Tage Woche	1 Schicht	2 Schichten	3 Schichten
Pause pro Tag	30 min.	60 min.	90 min.
Weitere Pausen p. T.	10 min.	20 min.	30 min.
Pause pro Woche	200 min.	400 min.	600 min.
Pause pro Jahr	173 h	346 h	519 h

Um den wirtschaftlichen Nutzen zu erhöhen, ist es wichtig, Ausfallzeiten von Robotern zu vermeiden. Aus diesem Grund sollte die Praktikabilität der Kombination eines vollautomatischen Prozesses mit der Mensch-Roboter-Kooperation untersucht werden.

3. Versuchsaufbau

Der Versuchsaufbau wird in Bild 1 gezeigt. Er besteht aus einem industriellen Leichtbauroboter vom Typ UR3. Der Roboter eignet sich aufgrund seiner kompakten Bauform besonders für Arbeiten in engen Räumen. Er verfügt über leistungs- und kraftbegrenzende, kollaborierende Sicherheitsfunktionen, welche den Betrieb ohne Schutzzaun ermöglichen. Darüber hinaus werden eine RGBD-Kamera, ein Bedientableau und Signallichter (Ampel) verwendet.

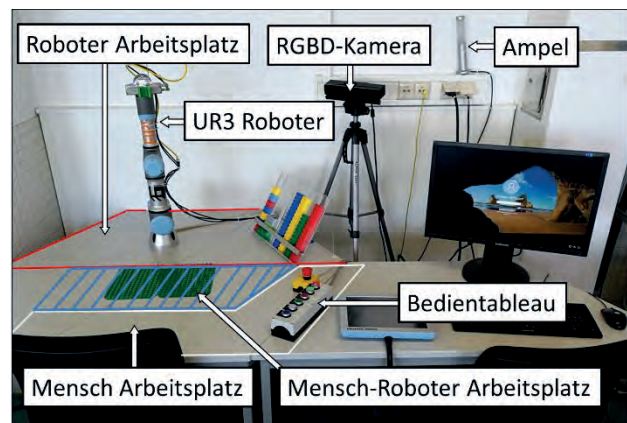


Bild 1: Versuchsaufbau des Demonstrators

Anders als der Roboter erfüllt die Kamera nicht die notwendigen Sicherheitsvorschriften, weshalb die gewählte Kamera nur unter Laborbedingungen eingesetzt wird. Das Steuerelement und die Signallichter sind mit der Robotersteuerung verbunden. Diese kommuniziert über Ethernet mit einem externen PC, an den ebenso die RGBD-Kamera angeschlossen ist. Der dargestellte Versuchsaufbau dient der Entwicklung eines Systems, welches Roboter und Menschen für den Einsatz in einem industriellen Montageprozess vereint und gleichzeitig die Wirtschaftlichkeit steigert. Die Teilarbeitsbereiche für die automatisierte Fertigung (rot) und Mensch-Roboter-Kooperation (blau) sind in Bild 1 entsprechend markiert.

4. Methodik der Mensch-Roboter Interaktion

4.1 RGBD Kamera

Die Kinect v2 Kamera wurde ursprünglich für die Spieleindustrie entwickelt. Da dieses System jedoch kostengünstig eine RGB-Kamera mit einem Tiefensensor kombiniert, wird es oft zu Forschungszwecken eingesetzt. Die RGBD-Kamera kann bis zu sechs Personen gleichzeitig erfassen und eignet sich somit zur Bewegungserkennung und -überwachung des Menschen am Mensch-Roboter-Arbeitsplatzes. Die Funktionsweise basiert auf dem Time-of-Flight Prinzip (ToF). Dies bedeutet, dass der integrierte Tiefensensor die Laufzeit des Lichts für jedes Pixel separat

ermittelt. Das emittierte Licht ist Infrarotlicht mit modulierten Wellen. Der Sensor erkennt die verschobene Phase des zurückkehrenden Lichts mit einer Bildrate von 30 Hz. So ist es möglich, den Abstand vom Mittelpunkt des Koordinatensystems zu jedem Objekt zu erfassen [7, 8].

4.2 Arbeitsbereich des Werkers

Da die Kamera bis zu 6 Personen gleichzeitig detektieren kann, ist die Definition eines Arbeitsbereiches notwendig. Somit ist es möglich gezielt auf nur eine Person und deren Verhalten zu achten bzw. dieses für den weiteren Prozessverlauf zu berücksichtigen. Das Kamerakoordinatensystem wird dabei als Referenz verwendet. Der Arbeitsbereich wurde so gewählt, dass sich der Bediener in sitzender Position vor dem Versuchsaufbau befindet (Bild 2a). Der Bediener muss diese Position einnehmen, da dies im gewählten Versuchsaufbau der einzige Weg ist, eine sichere Umsetzung des Beispielprozesses zu gewährleisten. Um die Position des Bedieners zu bestimmen und mit den festgelegten Grenzwerten des Arbeitsbereichs zu vergleichen wird die Position der Halswirbelsäule des Bedieners überwacht.

Die Festlegung eines Arbeitsbereichs ermöglicht es, einen Menschen im Erfassungsbereich der Kamera als Bediener zu definieren. Folglich wird sichergestellt, dass Personen im Hintergrund keinen Einfluss auf die Mensch-Roboter-Kooperation ausüben. Dies ist besonders wichtig, wenn sich im Hintergrund weitere Arbeitsplätze befinden.

4.3 Bewegungsüberwachung des Werkers

Die Bewegungsüberwachung des Menschen wird durchgeführt sobald der Bediener an seinem Arbeitsplatz sitzt und die Mensch-Roboter-Kooperation gestartet wurde. Ab diesem Moment werden die Hand- sowie Schultergelenke des Bedieners überwacht. Die in Bild 2a gezeigte Position wird dabei als Referenzposition angesehen. Mittels Tiefensensor kann die Gelenkposition im Raum eindeutig definiert werden, sodass Positionsänderungen in X-, Y- und Z-Richtung bestimmt werden können. Die durchgeführten Versuche zeigten, dass die zur Bewegungsüberwachung gewählten Gelenke zuverlässig detektiert werden können.

Wenn der Mitarbeiter jedoch aufsteht (Bild 2d), kann dieser seine Tätigkeit nicht wie gewünscht fortführen. Dies hat zur Folge, dass der Prozess umgehend gestoppt wird. Weiterhin wird der Prozess unterbrochen sobald sich die Schulterposition des Bedieners signifikant verändert (Bild 4b und 4c), da es dem Bediener in dieser Position nicht möglich ist dem Prozess zu folgen und folglich das Verletzungsrisiko ansteigt. Die Überwachung der Handposition geht jedoch mit einer Besonderheit einher. Hierbei wird der laufende Prozess nur unterbrochen, wenn der Bediener seine Hand in den Mensch-Roboter Arbeitsbereich hinein bewegt während sich der Roboter bewegt (Bild 2e und 2f). Ist es jedoch die Aufgabe des Bedieners ein Bauteil im Arbeitsbereich zu platzieren, ist der Roboter bereits gestoppt und die Bewegung der Hand wird

nicht als Fehler detektiert.

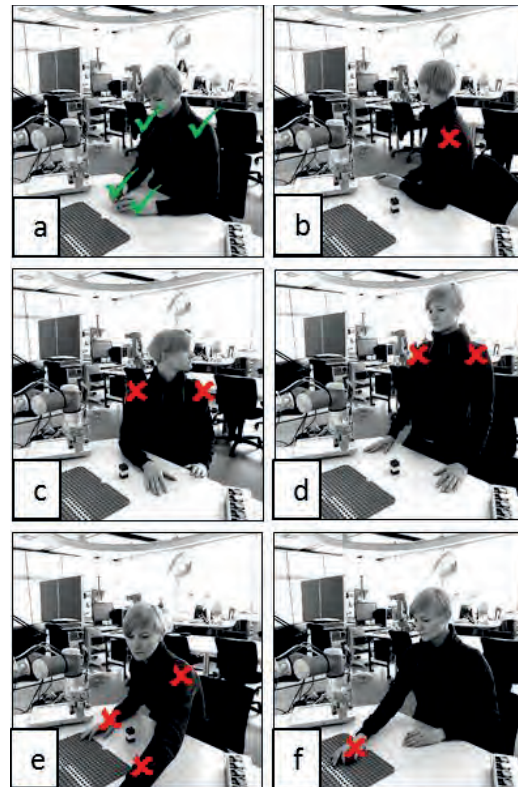


Bild 2: Überwachung der Gelenkposition des Werkers

4.4 Bedientableau und Signallichter

Das Bedientableau (Bild 1) besteht aus zwei Schaltern und 4 Tastern. Der rote Schalter wird zum Starten und Stoppen des Systems verwendet und der grüne Schalter um zwischen dem automatisierten Prozess und der Mensch-Roboter-Kooperation zu wählen. Die Funktionsweise der Taster ist vom jeweiligen Programmpunkt abhängig. Prinzipiell wird jedoch der grüne Taster genutzt um etwas mit „ok“ zu bestätigen wohingegen der rote Taster dazu dient den jeweiligen Prozessschritt abzubrechen.

Ein separates Signallicht (Bild 1) dient als Kommunikationsschnittstelle zwischen Roboter und Arbeiter. Zum Beispiel signalisiert ein rotes Licht, dass sich der Roboter bewegt. Diese Signallichter vermitteln dem Bediener ein Sicherheitsgefühl und somit tragen sie dazu bei, die Angst des Menschen vor dem „Kollege Roboter“ zu senken.

5. Entwickelte Software

5.1 Mensch-Roboter-Kooperation

Zur Steuerung des gesamten Systems wurde eine Software entwickelt, welche die Kommunikation zwischen dem PC und der Robotersteuerung sowie zwischen dem PC und der RGBD-Kamera ermöglicht. Bild 3 zeigt die Funktionsweise der entwickelten Schnittstellensoftware. Dabei bildet die kontinuierliche Arbeitsraumüberwachung den Eckpfeiler der Mensch-Roboter-Kooperation.

Nachdem der Roboter gestartet wurde, wird zunächst manuell das zu fertigende Produkt ausgewählt. Dabei

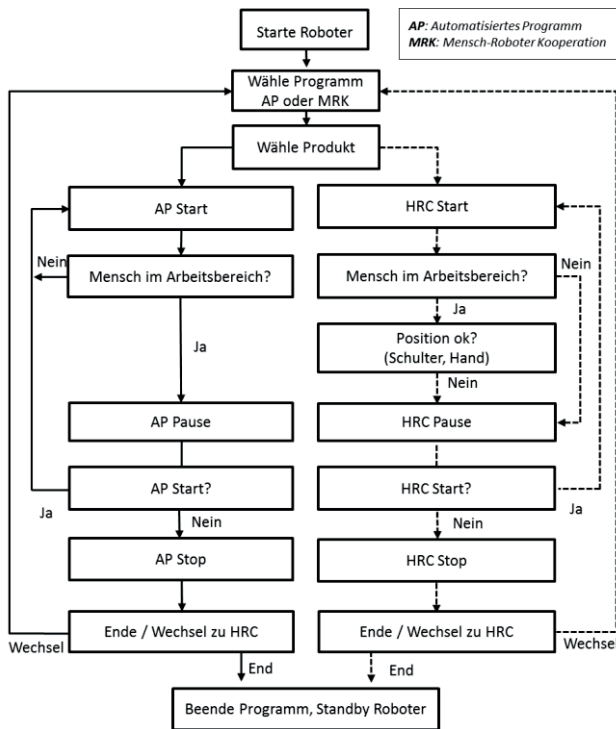


Bild 3: Funktionsweise der entwickelten Schnittstellensoftware

kann der Bediener aktuell zwischen vier Bauformen sowie der Farbgestaltung wählen. Die Auswahl des Produkts erfolgt über das Bedientableau. Anschließend folgt die Wahl der Fertigungsart, rein automatisiert oder Mensch-Roboter-Kooperation. Wenn MRK gewählt wurde, wird zunächst geprüft ob sich ein Werker im Arbeitsbereich befindet. Ist dies der Fall beginnt die Positionsüberwachung des Mitarbeiters. Der Prozessablauf wird unterbrochen, sobald die Gelenkpositionen außerhalb des definierten Bereichs liegen. Wird das Programm unterbrochen, wird das laufende Roboterprogramm umgehend gestoppt, um das Verletzungsrisiko zu minimieren. Anschließend muss der Arbeiter entscheiden, ob er weiterarbeiten oder den laufenden Prozess vorzeitig beenden und eine Pause machen möchte.

Wenn der Mensch sich entscheidet, eine Pause zu machen, hat er zusätzlich die Wahl zwischen „Prozess sofort beenden“, „zu automatisiertem Prozess wechseln“ oder „Greiferstatus prüfen und Roboter in Homeposition fahren“. Der automatisierte Prozess kann aufgrund der Sicherheit nur ohne die Anwesenheit eines Menschen durchgeführt werden. Dies bedeutet, dass der Arbeiter den Arbeitsbereich verlassen muss. Sobald der Arbeiter an seinen Arbeitsplatz zurückkehrt, wird das automatisierte Programm gestoppt. Auch hier hat der Bediener wieder die Möglichkeit zwischen den folgenden Entscheidungen „Prozess sofort beenden“, „zu MRK wechseln“ oder „Greiferstatus prüfen und Roboter in Homeposition fahren“ zu wählen.

5.2 Kombination von zwei Arbeitsplätzen

Das entwickelte Programm ermöglicht die Kombination von zwei Arbeitsplätzen. Somit ist es möglich die unter 2.3 dargestellten Arbeitszeitunterbrechungen

produktiv zu nutzen und die Auslastung des Roboters zu steigern und die Wirtschaftlichkeit der MRK-Lösung zu erhöhen. Die Gestaltung der Prozesse kann frei gewählt werden, ist jedoch abhängig von den zu fertigenden Produkten, dem gewählten Roboter (Arbeitsradius, Nutzlast) sowie der baulichen Gestaltung des jeweiligen Arbeitsplatzes.

6. Zusammenfassung

In diesem Artikel wurde ein System zur effektiven Nutzung von Leichtbaurobotern an Mensch-Roboter-Arbeitsplätzen vorgestellt. Eine gezielte Arbeitsraumüberwachung und Positionserkennung des Werkers ermöglicht eine optimierte Prozesssteuerung. Weiterhin ist es möglich, die Flexibilität des Systems zu erhöhen und gleichzeitig die Ausfallzeit des Roboters zu minimieren. Darüber hinaus wird die Position des Bedieners überwacht, um Unaufmerksamkeit festzustellen und somit das Verletzungsrisiko zu minimieren. Zukünftig werden Prozessparameter wie Zykluszeit, Flexibilität und notwendige Qualifikationsanforderungen näher betrachtet. Ziel ist es, den Vorteil einer zeitoptimalen Verknüpfung zweier Fertigungsprozesse aufzuzeigen.

Literaturverzeichnis

- [1] M. Schenk, N. Elkmann, Sichere Mensch-Roboter-Interaktion: Anforderungen, Voraussetzungen, Szenarien und Lösungsansätze. Demographischer Wandel – Herausforderung für die Arbeits- und Betriebsorganisation der Zukunft, Berlin, GITO-Verlag, pp. 109-120, 2012J. Clerk Maxwell, A Treatise on Electricity and Magnetism, 3rd ed., vol. 2. Oxford: Clarendon, 1892, pp.68-73.
- [2] M. Rüßmann, M. Lorenz, P. Gerbert, M. Waldner, J. Justus, P. Engel, M. Harnisch, Industry 4.0: The future of productivity and growth in manufacturing industries, Boston Consulting Group, 9, 2015
- [3] B. Finkemeyer, Towards Safe Human-Robot Collaboration, Methods and Models in Automation and Robotics (MMAR) 22nd International Conference, pp. 883-888, 2017
- [4] Franka Emika, <https://www.franka.de/>, 08-12-2017
- [5] Universal Robots, <https://www.universal-robots.com/de/produkte/ur3-roboter/>, 07-12-2017
- [6] KUKA, <https://www.kuka.com/>, 02-03-2018
- [7] J.Sell, P. O'Connor, The xbox one system on a chip and kinect sensor, IEEE Micro, pp. 44-53, 2014.
- [8] D. Lefloch, R. Nair, F. Lenzen, H. Schäfer, L. Streeter, M.J. Cree, R. Koch, A. Kolb, Technical foundation and calibration methods for time-of-flight cameras, In: Sensors, Algorithms, and Applications: Time-of-Flight and Depth Imaging, Springer, pp. 3-24, 2013

DATENDURCHGÄNGIGKEIT, EIN ANSATZ KONSTRUKTION, FERTIGUNG UND MESSTECHNIK DIGITAL ZU VERKNÜPFEN

Julius Wack, Sophie Gröger

TU Chemnitz, Professur Fertigungsmesstechnik, Reichenhainer Str. 70, 09126 Chemnitz

Die Papierzeichnung, als Hauptinformationsträger eines Produktes, ist nur noch der Ausdruck, der vom CAD-Modell abgeleiteten Spezifikation. Die an der Produktentstehung beteiligten Bereiche Fertigung, Konstruktion und Messtechnik arbeiten für sich und in übergeordneten Systemen zumeist digital. Die digitale Datendurchgängigkeit zwischen diesen Bereichen soll in diesem Beitrag dargestellt werden. Die Zielstellung ist, basierend auf einem CAD-Datensatz mit PMI ein Teil zu fertigen und zu prüfen. Dabei stehen die Funktion und die Spezifikation nach dem System der Geometrischen Produktspezifikation (GPS) im Vordergrund. CAD-Daten mit PMI ersetzt die Zeichnung und ist bei gleichem Informationsgehalt maschinenlesbar. Dieses informationstechnische Konstrukt ist in verschiedenen Formaten für die unterschiedlichen Bereiche verfügbar. Der gebildete Mehrwert sind durchgängige Prozesse von der Konstruktionsvorgabe über die Fertigung bis hin zur messtechnischen Verifikation. Im Umkehrschluss können messtechnische Erkenntnisse im selben digitalen Format in die Fertigung und Konstruktion zurückgegeben werden.

1. Einleitung

Mit einer Zeichnung werden die Anforderungen an ein Produkt oder ein Bauteil eines Produktes festgelegt. Dabei überführt der Konstrukteur die Funktionsanforderungen des Produktes in die Spezifikation der einzelnen beinhalteten Bauteile. Mittels der idealen Nenngometrie, verkörpert durch Zeichnung oder CAD-Modell, und der Toleranzen für zulässige Bauteilabweichungen wird die Funktion in geometrische Anforderungen übersetzt. Das System der geometrischen Produktspezifikation und –verifikation (ISO-GPS-System) ermöglicht es, durch Festlegung von Toleranzzonen zulässige Abweichungen an einem realen Bauteil einzuschränken. Dabei wird davon ausgegangen, dass eine Überschreitung einer Toleranz zu dem Funktionsverlust des Bauteils führt. Sobald ein Teilbereich des ISO-GPS-Systems in einer Produktspezifikation des Maschinenbaus aufgerufen wird, gilt das gesamte ISO-GPS-System als aufgerufen [1].

Die Spezifikation kann in Inhalt und Struktur untergliedert werden. Die Struktur beschreibt die Ordnung der Inhalte im jeweiligen Medium [2]. Die Zeichnung definiert, im Rahmen der Produktentstehung für die Konstruktion, Fertigung und Messtechnik, den bestimmenden und rechtlich verbindlichen Inhalt. Das Medium ist die digital vorliegende, vom CAD-Modell abgeleitete Zeichnung mit ihrer analogen Ausfertigung als Druck. Weitere notwendige Organisationsdaten, wie beispielsweise zum Produktlebenszyklus (PLM) oder zur Herstellungsorganisation, werden hier nicht betrachtet.

Die Konstruktion als Ausgangspunkt der technischen Dokumentation arbeitet vollständig digital. Innerhalb der verschiedenen CAD-Systeme wird in plattformeigenen Formaten das CAD-Modell entwickelt und daraus die technische Zeichnung abgeleitet. CAD-Modell und abgeleitete Zeichnung sind unterschiedliche Dateien, welche mit einander in Beziehung stehen. Abschließend ausgegeben werden das CAD-Modell in einem Austauschformat und die Zeichnung als PDF-Dokument.

Erhält beispielsweise der Produktionsbereich der spanenden Fertigung nur eine Zeichnung, wird die

Nenngometrie mit Hilfe der Programmierung von Fräsbahnen „freigelegt“. Für näher spezifizierte, funktionsbestimmende Bauteilsegmente werden eventuell die Maschinenparameter auf zugehörige Anforderungen angepasst. Ist hingegen das CAD-Modell für das Bearbeitungszentrum verwendbar, kann auf das Freilegen der Nenngometrie und somit die Programmierung der Verfahrswege zugunsten einer CAM-Simulation verzichtet werden [3].

Die Verifikation vergleicht die in der Zeichnung angegebenen Sollwerte und Grenzen mit den Ist-Werten, welche aus den am tatsächlichen Bauteil aufgenommenen Messpunkten abgeleitet werden. Eine umfassende Prüfung von Bauteilen erfolgt mit digitalen Messsystemen. Auf Basis der GPS-Merkmale werden in der Regel Messabläufe programmiert und die Messwerte ausgewertet. Das Ergebnis des Prozesses ist ein Prüfprotokoll. Diese Konformitätserklärung dokumentiert die Übereinstimmung des geprüften Bauteils mit der Zeichnung.

Als weiterführenden Schritt kann bei Bauteilserien eine statistische Prozesskontrolle Trends erkennen, die aus den Messergebnissen der Verifikation hervorgehen und die Fertigung korrigieren.

Konstruktion, Fertigung und Messtechnik sind digitalisierte Inseln ihrer nativen Datenformate, welche über digitale Austauschformate oder die analoge Zeichnung verbunden sind. Die Zeichnung erfordert dabei eine zusätzliche händische Einspeisung in die digitalisierten Inseln, damit ihr Informationsgehalt erhalten bleibt.

2. Product Manufacturing Information (PMI)

Für eine durchgehende digitale Kommunikation müssen, in der Zeichnung enthaltene Informationen maschineninterpretierbar sein. Eine digitale Zeichnung als PDF-Dokument oder als abgeleitete Zeichnung im nativen CAD-Format ist dafür nicht geeignet, weil der Interpretationsaufwand hoch ist. Das CAD-Modell ist bereits eine in vielen Bereichen etablierte digitale Kommunikationsgrundlage und kann weitere Informationen, wie zum Beispiel die der Zeichnung transportieren. Die Verknüpfung der Zeichnungsinformationen mit dem CAD-Modell wird

als Product Manufacturing Information (PMI) – „Produktherstellungsinformationen“ bezeichnet [3]. Das Medium der Zeichnung verändert sich zu einer dreidimensional darstellbaren maschineninterpretierbaren Datei, wo die Informationen dem 3D-Modell zugewiesen sind.

Dieser Prozess hin zur Fähigkeit einer digitalen Zusammenarbeit der verschiedenen Unternehmensbereiche wird beispielsweise durch die Neufassung der ISO 129 und die Anpassung der ISO 1101 in Richtung 3D-Bemaßung begleitet.

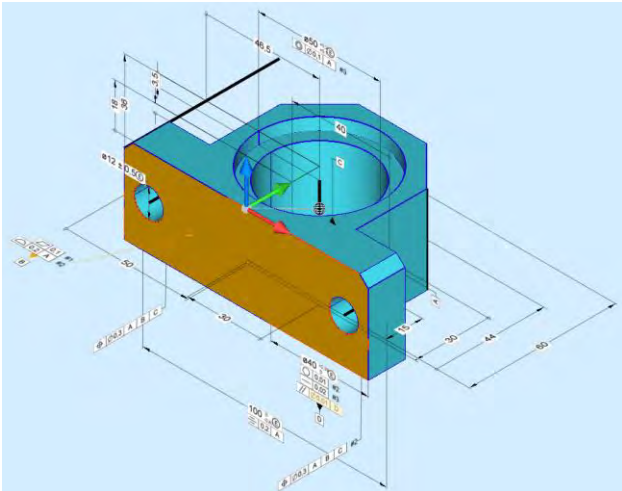


Bild 1: Native PMI Umsetzung in Kotem Evolve, Bezug mit der zugewiesenen Fläche fest verknüpft

Die CAD-Hersteller bieten Lösungen zur PMI-Eintragung und -Darstellung an. Die Aufteilung in CAD-Modell und abgeleitete Zeichnung bleibt dabei weiterhin Prozessgrundlage innerhalb der CAD-Systeme, auch wenn PMI verwendet werden [4]. Allerdings können diese PMI-Daten in der Regel das native CAD-Format nicht verlassen.

Sofern es sich demnach nicht um integrierte CAD/CAM-Systeme handelt (native CAD-Daten werden vom CAM-System direkt verarbeitet), kann die Fertigung CAD-Dateien mit PMI nur über Umwege interpretieren.

Da die Merkmalsdefinition im Prüfprozess auf den Zeichnungsangaben und den zugewiesenen Flächen und Elementen basiert, sind in Messtechniksystemen bereits durchgängige Lösungen zur Eintragung und Darstellung von PMI in Anwendung. Zum Teil sind auch Lösungen für den Import von CAD-Dateien mit PMI vorhanden.

Es besteht allerdings ein Unterschied zwischen PMI als lediglich sichtbare Beschriftung und PMI, welche zusätzlich mit den zugehörigen Geometrieelementen verknüpft sind (siehe Bild 1). Durch diese Verknüpfung der PMI-Beschriftung mit dem Geometrieelement ergibt sich der Mehrwert gegenüber der Zeichnungsdarstellung. PMI als Beschriftung und die Verbindung zu den jeweiligen Elementen werden digital ausgetauscht und verbinden somit die vorher digitalen Inseln zu einem Netz.

3. Schnittstelle Konvertierung

Zum Informationsaustausch zwischen Systemen

bestehen folgende Möglichkeiten: Zum einen die direkte Verarbeitung der Daten durch den Nachfolger im Format des Vorgängers, oder die direkte Übersetzung zwischen zwei unterschiedlichen Datenformaten und zum anderen die Verwendung eines neutralen Formates.

Mit diesen CAD-Austauschformaten werden alle am Produktentstehungszyklus Beteiligten bereits mit den genauen 3D-Geometrien (boundary representation) oder anzeigeoptimierten Darstellungen versorgt [5]. So kann die 3D-Geometrie von der jeweiligen Plattform entkoppelt werden. Die jeweilige Plattform muss dafür die Informationen aus ihrem nativen Format in das Austauschformat umwandeln, sowie das Austauschformat verarbeiten. Durchgesetzt haben sich neutrale, offengelegte Austauschformate mit freier Nutzung. Beispiele für offene Austauschformate mit der Möglichkeit PMI mit dem CAD-Modell zu verbinden sind im Folgenden aufgezählt.

Das STEP-Format mit mehreren Anwendungsprotokollen ist in der ISO 10303 offengelegt [6] und kann mit ap242 PMI transportieren.

JT wird von Siemens innerhalb der NX-Plattform zur direkten Verarbeitung in den CAD/CAM-, PLM- und Messtechniksystemen verwendet [7]. Das Austauschformat ist in der ISO 14306 veröffentlicht und mit JT2Go ist eine freie Möglichkeit zur Einsicht in zugehörige Dateien gegeben.

Als XML basierte Lösung ist QIF bei der ANSI in der Version 2.1 offengelegt [8], [9].

Es ist möglich, mit PMI in einem neutralen Austauschformat, aus einer Datei Konstruktion, Fertigung und Messtechnik hinsichtlich der Spezifikation zu speisen.

4. Informationsdurchgängigkeit mit PMI

Die Informationsdurchgängigkeit beginnt mit der Spezifikation des Bauteils. Die Konstruktion gibt CAD-Dateien mit funktional verknüpften PMI im Austauschformat heraus. An diesem bestimmenden Dokument vollzieht die Konstruktion als einziger Beteiligter Änderungen in der Spezifikation.

Die Bauteilfertigung setzt halbautomatisiert im Bearbeitungszentrum die Vorgaben aus dem 3D-Modell und dessen Spezifikation um. Der Programmieraufwand reduziert sich deutlich, beispielsweise auf händische Anpassungen bezüglich der Einspannungssituation.

In der messtechnischen Verifikation entfällt die Definition der zu prüfenden Segmente und zugehörige Toleranzen. Der verbleibende Programmieraufwand liegt in den Details der Mess- und Auswertestrategie der jeweiligen Messmaschinen. Die Auswertung und der Abgleich mit der importierten Spezifikation, sowie die Berichterstellung erfolgen vollautomatisiert.

Bei einer völdigitalisierten Informationsversorgung muss die technische Dokumentation allen Bereichen, wie unter anderem auch der Montage zugänglich sein. So ist die Überlagerung eines Kamerabil-

des des Bauteils mit PMI ein Ansatz der bereits Anwendung findet [10]. Die Darstellung auf mobilen Endgeräten ist zielführender, wenn eine digitale Speisung, zum Beispiel einer analogen Fertigungsmaschine nicht, möglich ist.

Die hohe Zahl an Einflüssen auf die Informationsdurchgängigkeit birgt fortwährend Herausforderungen. Im Spezifikationsstandard ISO 1101 sind Symbole festgelegt, welche über Standardzeichensatzumfänge hinausgehen [11]. Die Vielzahl an einflussnehmenden Normen innerhalb der GPS-Normhierarchie erschwert die Datierung der aktuellen Softwareversion der beteiligten Systeme.

In den derzeitigen Umsetzungen der offenen Austauschformate hat die Informationsdurchgängigkeit eine Richtung, von der Konstruktion weg zu den nachgelagerten Bereichen und Prozessen. Insgesamt kann sich die technische Dokumentation dadurch auf ein Dokument verschlanken, welches zentral von der Konstruktion aus, ohne händische Konvertierung, an die Beteiligten weitergegeben wird.

5. Vorteile der PMI-Nutzung

Die gleiche Datenbasis und Entscheidungsgrundlage wird von allen Beteiligten verwendet. Es findet ein vollständiger Übergang des Datensatzes zwischen den Systemen statt. Dieser höhere Automatisierungsgrad begrenzt zeitintensive händische Übertragung und menschliche Fehlereinflüsse stark.

Eine durchgängige digitale Repräsentanz kann mit Daten aus nachgelagerten Prozessen wachsen. Die Ergebnisse aus einzelnen Prozessschritten können im Datensatz gespeichert werden und nachfolgenden Beteiligten einfach bereitgestellt werden. Beispielhaft werden über ein Austauschformat Konstruktion, Fertigung, Messtechnik und statistische Prozesskontrolle verbunden. Die Konstruktion bildet den bestimmenden Ausgangspunkt der technischen Dokumentation. Die Fertigung steuert ihre eigenen Prozesse mit einem Teil der Daten aus dem Austauschformat, wie zum Beispiel dem exakten 3D-Modell und zugewiesenen Toleranzen. Mit Messtechnik wird das gefertigte Bauteil erfasst, ausgewertet und ein Bericht erstellt. Grundlage dessen ist die Spezifikation, sowie gesondert getroffene Festlegungen zur Verifikation. Über eine Bauteilserie ausgedehnte statistische Prozesskontrolle kann Merkmale aus dem Prüfbericht, eigene Spezifikationen oder auch Fertigungsparameter überwachen und damit Prozesse sichern.

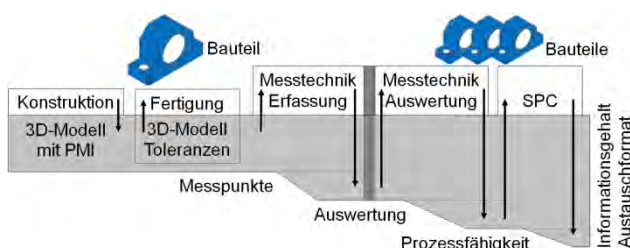


Bild 2: Datendurchgängigkeit in einem Austauschformat mit Speisung von nachgelagerten Prozessen

Im Austauschformat hinterlegen alle beteiligten Un-

ternehmensbereiche ihre Ergebnisse. Die Messtechnik erweitert das Austauschformat um eine entsprechend getroffener Festlegungen aufgenommene Punktwolke, sowie weiteren Meta-Informationen, wie zum Beispiel Informationen zum Messgerät. Auf Grundlage des für alle gültigen Spezifikationsdatensatzes und dessen mögliche Erweiterung um Ergebnisdaten kann die messtechnische Erfassung von der Auswertung entstandener Messdaten getrennt werden. Der Vorteil ist, mit verschiedenen Messverfahren erfasste Bauteile mit der gleichen Software auswerten zu können und umgekehrt. Die messtechnische Auswertung kann neben den PMI-Sollwerten der Spezifikation die Istwerte im Austauschformat speichern. Auf diese und weitere Ergebnisse, beispielsweise die Zusammenfassung im Prüfbericht, kann die statistische Prozesskontrolle (SPC) nun für jedes Bauteil (siehe Bild 2) zugreifen und die Prozesssteuerung verbessern.

Mit der Weitergabe der Daten im Austauschformat kann der Zugang zu bestimmten Abschnitten für unterschiedliche Parteien durch Verschlüsselung begrenzt und gesichert werden. Beispielsweise könnte das exakte 3D-Modell für den externen Vertrieb gesperrt sein, jedoch könnte eine darstellungsoptimierte Variante des 3D-Modells zugänglich sein. Durch die umfassende Implementierung von Informationen innerhalb des Austauschformates ist eine gezielte Ausblendung von Inhalten wichtig. Insgesamt nimmt die Dateigröße des Austauschformates im Produktentstehungszyklus des Bauteils zu. Die Organisation der Einzeldatei vereinfacht sich jedoch. So kann beispielsweise ein Prüfbericht ohne Messtechniksoftware aus den gespeicherten Ergebnisdaten erneut zusammengestellt werden.

Insgesamt nimmt das Prozesswissen über die Einzelteile und ihre Serienproduktion zu. Auch mit zeitlichem Versatz ist dieses erlangte Prozesswissen wertvoll, um die aktuelle und zukünftige Produktentstehung, Produktvarianten und Prozesssteuerung zu verbessern. Maschinenspezifisches Verhalten, sowie neu aufgetretene Einflüsse, können erkannt und Potenziale genutzt werden. Diesen Informationsrückfluss gilt es sinnvoll zu gestalten, damit der Mehrwert aus dem hohen, im Produktentstehungszyklus angefallenen, Datenumfang maximiert werden kann. Die Anpassung in Umfang und Inhalt der zurückfließenden Informationen auf die jeweils spezifischen Gegebenheiten ist zielführend und kann auch außerhalb eines durchgängigen Datenformates umgesetzt werden [12].

6. Zusammenfassung

Im Rahmen dieser Veröffentlichung wird ein durchgängiger Datensatz der Spezifikation in einem Austauschformat beschreiben, welcher um Ergebnisdaten erweitert werden kann. Der Informationsgehalt der technischen Zeichnung wird mit dem 3D-Modell über PMI verknüpft. Diese digitale Datei ist die Grundlage für den Produktentstehungszyklus. Aufgrund der Organisation der Informationen in einem neutralen Austauschformat wird eine Informations-

durchgängigkeit für alle Bereiche erzeugt. Des Weiteren werden durch die Speicherung von Ergebnisinformationen im Austauschformat die nachfolgenden Bereiche und Prozesse mit den notwendigen Informationen aus einer Quelle versorgt.

Die in ihren nativen Datenformaten, digitalen Inseln Konstruktion, Fertigung, Messtechnik und SPC werden durch ein Austauschformat verbunden. Jeder Bereich arbeitet mit der gleichen, eventuell um Ergebnisse erweiterten, Datenbasis. Der Import der notwendigen Informationen für bereichsspezifische Prozesse erfolgt aus dem Austauschformat heraus. Die Verarbeitung der Informationen erfolgt weiterhin in den nativen Datenformaten. Die Ergebnisse der Verarbeitung werden auf ausschlaggebende oder standardisierte Informationen reduziert und exportiert. Dieser Export erweitert das Austauschformat für alle weiteren Beteiligten, so steht mehr Prozesswissen geordnet zur Verfügung.

Literaturverzeichnis

- [1] DIN EN ISO 8015:2011-09, Beuth Verlag.
- [2] V. Quiantana, L. Rivest, R. Pellerin, F. Venne, F. Kheddouci, Will Model-based Definition replace engineering drawings throughout the product lifecycle? A global perspective from aerospace industry, *Computers in Industry* 61 (2010), 497-510.
- [3] CNC-Handbuch, Hanser (2015), 637-646.
- [4] tecnetinc.com/PMI_20vs_20AID.html
- [5] P. Cicconi, R. Raffaeli, M. Germani, An approach to support model based definition by PMI annotations, *Computer-Aided Design and Applications*, Volume 14 (2016), 526-534.
- [6] R. Lipman, J. Lubell, Conformance checking of PMI representation in CAD model STEP data exchange files, *Computer-Aided Design* 66 (2015), 14-23.
- [7] N. Hartman, A. Lim, Examining Neutral Formats for Visualization and Data Exchange, *Proceedings 2008 IAJC-IJME International Conference*.
- [8] E. Morse, S. Heysiattalab, A. Barnard-Feeney, T. Hedberg, Interoperability: linking design and tolerancing with metrology, *Procedia CIRP* 43 (2016), 13-16.
- [9] C. Gonzalez-Lluch, P. Company, M. Contero, J. Gamba, R. Plumed, A survey on 3D CAD model quality assurance and testing tools, *Computer-Aided Design* 83 (2017), 64-79
- [10] U. Bockholt, S. Lengowski, M. Olbrich, M. Roth, B. Schwerdtfeger, I. Staack, Zeichnungslose Fertigung – AR-Überlagerung von PMI (Product and Manufacturing Information) auf die zu fertigenden Baugruppen, 18. IFF-Wissenschaftstage (2015), 248-251.
- [11] DIN EN ISO 1101:2017-09, Beuth Verlag.
- [12] M. Roth, Informationsrückfluss aus Folgeprozessen der Konstruktion durch ein offenes und leichtgewichtiges Format, ergänzt durch ein Bewertungsmodell für Datenformate und Prozesse im PLM-Kontext, *Schriftreihe VPE Band 18* (2016).

QUANTIFIZIERUNG UND AUTOMATISIERUNG VON STRAHLPROZESSEN

Peggy de Witt, Matthias Rehm, Holger Schlegel, Matthias Putz
TU Chemnitz, Professur für Werkzeugmaschinen und Umformtechnik, Reichenhainer Str. 70,
09126 Chemnitz

Für die wirtschaftliche Bearbeitung gestrahlter Werkstücke ist eine homogene und reproduzierbare Oberflächenqualität entscheidend. Der Strahlprozess ist jedoch komplex aufgrund seiner mechanischen Wechselwirkungen, in Bezug auf die Produktqualität stark anfällig aber auch gut beeinflussbar. Um dem entgegenzuwirken, werden für geforderte Strahlergebnisse empirische Probedurchläufe durchgeführt, um die optimalen Parametereinstellungen des Prozesses zu ermitteln. Mit einer neuartigen, patentierten Strahltechnologie ist eine gezielte Fertigung ganzflächiger und qualitativer Oberflächen nachweisbar als auch quantifizierbar. Die optische Messmethode der Fokus-Variation unterstützt die Untersuchungen des Strahlprozesses durch eine normgerechte und quantitative Oberflächenbewertung anhand des Rauigkeitswertes. Es konnten signifikante Prozessparameter und Abhängigkeiten bestimmt und Aussagen über eine resultierende Oberflächenqualität ermöglicht werden. Mithilfe dieser Erkenntnisse können Oberflächenrauigkeiten ohne empirische Vorversuche reproduzierbar und gezielt erzeugt werden, als Basis für den Aufbau eines automatisierten Strahlprozesses.

1. Einleitung

Die Qualität ist eines der wichtigsten Kaufkriterien des (End-)Kunden und steht für den wirtschaftlichen Markterfolg des Produktes. Zunehmenden Anforderungen technischer, funktionaler und optisch ästhetischer Oberflächen beeinflussen dabei die Qualität. Auf Seiten der Oberflächentechnik etablierte sich zur Erzielung dieser Schlüsseigenschaften beispielsweise eine Vielzahl an Oberflächen-Strahlverfahren. Die Anwendungsmöglichkeiten solcher Strahlverfahren reichen von der Vorbehandlung, Reinigung, Strukturierung bis hin zur Vergrößerung der Oberfläche, aber auch Defekte bzw. Schichten können beseitigt oder die Lebensdauer von Produkten gesteigert werden [1]. Beim Strahlverfahren handelt es sich aufgrund seiner mechanischen Wechselwirkungen um einen komplexen Strahlprozess, wodurch es zu Schwankungen am Strahlergebnis und der Qualität des Produkts kommt. Auf den Strahlprozess und der damit resultierenden Oberflächenbeschaffenheit kann gezielt Einfluss genommen werden. Die notwendigen Prozessparameter werden zumeist durch experimentelle Probedurchläufe ermittelt.

Mithilfe einer patentierten Strahltechnologie [2] lässt sich eine ganzflächige Fertigung gestrahlter Oberflächen mit reproduzierbaren Ergebnissen nachweisen sowie auch quantifizieren. Besonders die Reproduzierbarkeit von Oberflächenqualitäten ermöglicht es, die Zusammenhänge der Wirkmechanismen innerhalb des Strahlprozesses zu verstehen und optimierte Prozessparameter abzuleiten. Anhand des Strahlmittels und der einstellbaren Strahlparameter können Aussagen über die resultierende Oberflächenqualität erhalten werden.

2. Stabiler Strahlprozess und dessen Wirkmechanismen

Grundsätzlich übt ein Strahlprozess mit den Strahlmedien einen physikalischen Wirkmechanismus auf die Werkstückoberfläche aus. Die beim Aufprall teilweise frei werdende Energie bewirkt eine Formänderung und lokale Erwärmung der Werkstückoberfläche sowie eine Verformung der Strahlmittel-

körner selbst, deren Einflussgröße hauptsächlich von der übertragenen Kornenergie abhängt. Neben der Korngröße und -dichte ist zudem die Beschleunigungsmethode des Strahlmittels relevant. Durch das angewandte Schleuderrad-Strahlverfahren, Abbildung 1, erhalten die Körner auf mechanischem Wege mittels Zentrifugalkraft ihre Beschleunigung und so dementsprechend ihre Abwurfgeschwindigkeit, die in Verbindung mit der Kornmasse die kinetische Energie bildet [1]. Diese Größen beeinflussen das Strahlergebnis im Sinne einer mechanischen Wirkung auf der Werkstückoberfläche somit entscheidend.



Abbildung 1: Darstellung der Schleuderrad-Strahltechnologie mit satellitenartigen Drehbewegungen der Werkstücke [2]

Mit Hilfe der innovativen Schleuderrad-Technologie, der kontinuierlichen Zuführung des Strahlmittels in der Anlage sowie der satellitenartigen Drehbewegungen der Werkstücke um das zentral liegende Schleuderrad wird eine allseitig konstante Oberflächenbearbeitung erzielt. Die betriebsspezifischen Prozesskenngrößen resultieren im Wesentlichen aus dem konstruktiven Aufbau sowie der Strahlleistung, die aus der beschleunigten Strahlmittelmenge pro Zeiteinheit und der Strahldauer definiert wird [1]. Untersuchungen an der Strahlanlage zeigten, dass das Strahlmittel in Abhängigkeit der Kornmasse und Kornform eine konstante Beförderungsmenge aufweist. Für die Untersuchungen einzustellenden Prozessgrößen auf Seiten der Strahlanlage sind [3]:

- Drehzahl des Schleuderrades
- Strahldauer
- Zudosierung neuen Strahlmittels

Die entstehenden mechanischen Strahlwirkungen auf der Werkstückoberfläche erzielen zum einen die Veränderung der Struktur durch Materialverschiebung im Sinne einer plastischen Verformung oder durch Herauslösen von Partikeln mittels Abtragung. Zum anderen können mit Einbringung von Druckeigenspannungen bzw. der erhöhten Versetzungsdichte im Kristallgitter eine Verfestigung sowie auch eine Erhöhung der Härte in der Oberflächenschicht geschaffen werden [1]. Diese primären Strahlwirkungen sind untereinander nicht genau trennbar, da eine Abtragung meist eine geringe plastische Verformung oder Verfestigung mit sich bringt oder umgekehrt. Jedoch lassen sich diese bei einer Strahlanwendung über verschiedene Prozesskenngrößen hervorheben.

3. Untersuchungen zur Reproduzierbarkeit gezielter Oberflächengüten

An der Professur für Werkzeugmaschinen und Umformtechnik der Technischen Universität Chemnitz (TUC) wurden Versuche zur Reproduzierbarkeit definierter Oberflächen mithilfe der Strahltechnologie durchgeführt. Zur Quantifizierung des Strahlprozesses und der Prozessparameter erfolgten diese Untersuchungen und Auswertungen mittels der statistischen Versuchsplanung sowie der linearen Regressionsanalyse.

Die erzielbaren Oberflächen sind je nach angewendeten Strahlverfahren vollkommen unterschiedlich. Die physikalischen Strahlwirkungen der plastischen Verformung, Verfestigung und Abtragung entscheiden über die Gestalt und den neu entstehenden Eigenschaften der gestrahlten Werkstückoberfläche. Seitens der Oberflächenbearbeitung und messtechnischen Beschreibung stehen eine Vielzahl an Normen und Richtlinien zur Verfügung, deren Bewertung meist als zwei- oder dreidimensionale Kenngrößen vorliegt [4, 5]. Weiterhin unterliegen die praktischen Strahlanwendungen seit Jahrzehnten standardisierten profilbasierten 2D-Oberflächenangaben und -vergleiche wie Ra oder Rz [6]. Beeinflusst wird die Nutzung von 3D-Kenngrößen durch die Praxistauglichkeit und den vielfältigen Anforderungen gestrahlter Oberflächen. Allerdings treffen diese Größen durch optische Messgeräte charakteristische Aussagen über das tribologische oder funktionsorientierte Oberflächenverhalten sowie der Oberflächenstruktur, sodass diese Messverfahren zukünftig Einzug in die Strahlbearbeitung erhalten.

Für die notwendige Verifikation gestrahlter Werkstückoberflächen wurde zur quantitativen Angabe der Strahlprozessergebnisse die Kenngröße Ra gewählt. Entscheidend hierbei waren Vergleichswerte aus den vorliegenden Angaben von Normen und der Praxis zu nutzen sowie auch der Vergleich taktil ermittelter 2D-Messwerte mit denen von optischen 3D-Messverfahren. Weiterhin sollte eine repräsentable Größe unabhängig von dem Oberflächenprofil

vorliegen, da zwischen einer gezielt gerichteten Ausgangsoberfläche (Drehbearbeitung) und einer anschließend ungerichteten Oberfläche (Strahlen) verglichen wurde. Mittels eines hochauflösenden, dreidimensionalen Messverfahrens, der Fokus-Variation, konnten neben den normgerechten Form- und Rauheitsmessungen auch Oberflächentexturen zur Qualitätsbewertung der gesamten Oberfläche gemessen werden.

Für die Quantifizierung von Strahlprozessen wurden Aussagen über die resultierenden Oberflächenrauigkeiten in Abhängigkeit der verschiedenen Prozessparameter getroffen und in Tabelle 1 mit den verschiedenen einzustellenden Stufenwerten dargestellt. Die Drehzahl des Schleuderrades repräsentiert die Abwurfgeschwindigkeit des Strahlmittelkornes. Für die Kontinuität in den Versuchsreihen wurden aufgrund ihrer Kornhärte, Standzeit sowie deren Verrundungs- und Zersplitterungscharakteristik Edelstahl-Strahlmedien gewählt.

Tabelle 1: Prozessparameter und deren Stufenwerte

Prozessparameter	Stufen	
	1	2
Kornform	rund	kantig
Korngröße in mm	0,05 - 0,2	0,14 - 0,5
Drehzahl Schleuderrad in U/min	5000	9000
Strahldauer in min	4	10
Ausgangsrauheit Ra	0,8	5,5

Aus der Auswertung dieser Versuchsreihen konnten die Korngröße d und die Drehzahl des Schleuderrades als signifikante Einflussgrößen identifiziert werden. Beide Größen repräsentieren die kinetische Energie und errechnen sich nach:

$$E_{kin,K} = \frac{1}{2} m_K * \bar{v}_K^2 \quad \text{mit } m_K = V_K * \rho_K$$

Seitens des theoretischen Ansatzes steigt die Energie proportional mit der Kornmasse m_K und quadratisch mit der Abwurfgeschwindigkeit v_K , allerdings nimmt die Kornmasse in dritter Potenz mit steigender Korngröße zu. Dies verdeutlicht sich auch in den Strahlergebnissen, dass ein Anstieg der Größe eine stärkere Wirkung auf die Oberflächenrauheit Ra zeigte als der Anstieg der Abwurfgeschwindigkeit.

Strahldauer, Kornform sowie die Ausgangsrauheit der Probestücke besitzen keinen signifikanten Einfluss auf die gestrahlte Oberflächenrauheit, jedoch besitzen diese ebenso Einfluss auf die Strahlergebnisse. Die Länge der Strahldauer beeinflusst unter anderem den Deckungsgrad, der das prozentuale Verhältnis einer homogen gestrahlten Oberfläche bildet. In den Untersuchungen zeigte sich eine annähernd vollständige Überdeckung bei einer Strahldauer von 10 min.

Die Kornform beeinflusst in erster Linie die physikalische Strahlwirkung auf der Werkstückoberfläche.

Runde Strahlmittelkörner entwickeln vorrangig plastische Verformungen und Verfestigungen, wobei kantige Körner primär eine abrasive Wirkung erzeugen. Diese zeigten sich auch in den qualitativen Strahlergebnissen bezüglich des äußeren Erscheinungsbildes der Werkstücke, die sich subjektiv in Farbe, Haptik sowie auch im Reflektionsvermögen unterschieden. Jedoch bestand kein Einfluss auf den Rauheitswert der Oberfläche.

Weiterhin konnte in diesen Strahlergebnissen ein Zusammenhang zwischen der Ausgangsrauheit der Werkstückoberfläche und der rundkörnigen Strahlmittel beobachtet werden. Ausgangsrauheiten von Ra 5,5 wiesen bei steigender Abwurfgeschwindigkeit und Korngröße einen niedrigeren Rauheitswert auf als bei Ausgangsrauheiten von Ra 0,8. Aufgrund der höheren kinetischen Energie und der runden Kornform entsteht eine deutlich größere plastische Verformung auf der Oberfläche, die im Zusammenhang mit der stärkeren Ausprägung der Spitzen und Täler im Oberflächenprofil eine bessere Werkstoffverteilung bildet.

Die Abbildungen 2 und 3 zeigen die gemittelten Oberflächenrauheiten der gestrahlten Probekörper nach 10 min Strahldauer. Sie verdeutlichen Zusammenhänge der signifikanten Einflussgrößen Korngröße d und Drehzahl des Schleuderrades, in U/min sowie der Ausgangsrauheiten und Kornform. Dabei zeigt die Erhöhung der Korngröße eine deutlich größere Wirkung auf die gestrahlte Oberflächenrauheit als der Anstieg der Abwurfgeschwindigkeit.

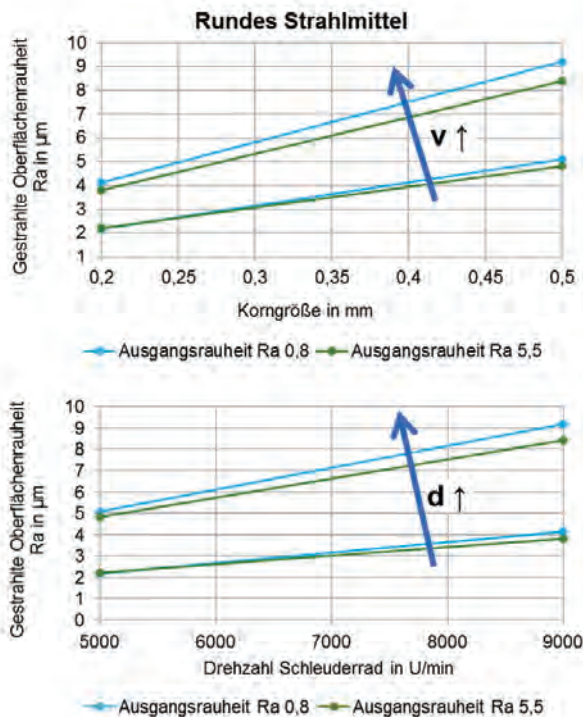


Abbildung 2: Darstellung der gemittelten Oberflächenrauheit Ra für rundes Strahlmittel nach 10 min Strahldauer

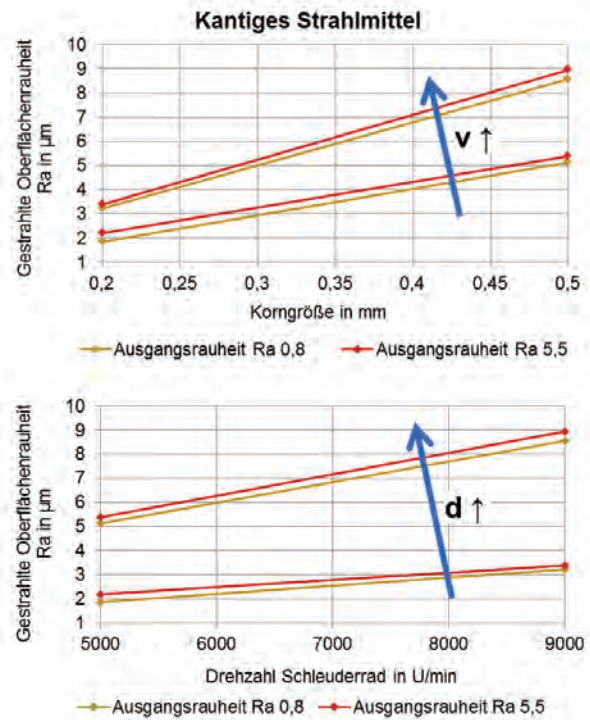


Abbildung 3: Darstellung der gemittelten Oberflächenrauheit Ra für kantiges Strahlmittel nach 10 min Strahldauer

Zur Reproduzierbarkeit gestrahlter Oberflächeneigenschaften wurden weitere Untersuchungen an additiv gefertigten Werkstücken durchgeführt, die im Material und ihren geometrischen Abmaßen annähernd identisch waren. Die gestrahlten Oberflächenrauheiten zeigten größtenteils übereinstimmende Ergebnisse. Abweichungen entstanden insbesondere bei Parametereinstellungen des Strahlprozesses, wo eine hohe kinetische Energie und somit eine hohe Formänderung in der obersten Materialschicht vorlag. Da ein beschleunigtes Korn beim Auftreffen einen Teil der Energie auf die oberste Materialschicht überträgt, wird diese Stelle radial gestreckt und erhält eine bleibende Deformation. Zusätzlich kompensiert die eingebrachte Druckeigenspannung die vorhandene Zugspannung im metallischen Werkstoff [1, 7]. Aufgrund der verschiedenen Herstellungsverfahren zwischen additiven und nicht additiven metallischen Werkstücken sind Unterschiede in den physikalischen und technologischen Werkstoffwerten wie Streckgrenze, Versetzungsdichte im Kristallgitter oder der Fließgrenze vorhanden. Bei hohen kinetischen Energien besitzen diese Werkstoffparameter einen Einfluss auf die Strahlergebnisse und müssen zukünftig als Prozessparameter zur Erzielung der geforderten Oberflächenqualität mit beachtet werden.

4. Beschreibung zur Optimierung der Prozessparameter und die Basis eines automatisierten Strahlprozess

Der Strahlprozess konnte mittels einer Regressionsanalyse mathematisch linear beschrieben und Zusammenhänge zwischen der geforderten Oberflächenrauheit und den einzustellenden Prozessparameter aufgestellt werden. Anhand dieser Auswer-

tungen kann der Verlauf der Oberflächenrauheit Ra in Abhängigkeit der verschiedenen Korngrößen und -formen beispielsweise in Form von Diagrammen, Abbildung 4 und 5, dargestellt werden. Mit Eingabe der Ausgangsrauheit des zu strahlenden Werkstückes wird die Entwicklung der Oberflächenrauheit nach Strahldauer und Drehzahl des Schleuderrades deutlich. Auf dieser Grundlage kann unter anderem die optimierte Wahl der einzustellenden Prozessparameter an der Strahlanlage getroffen werden.

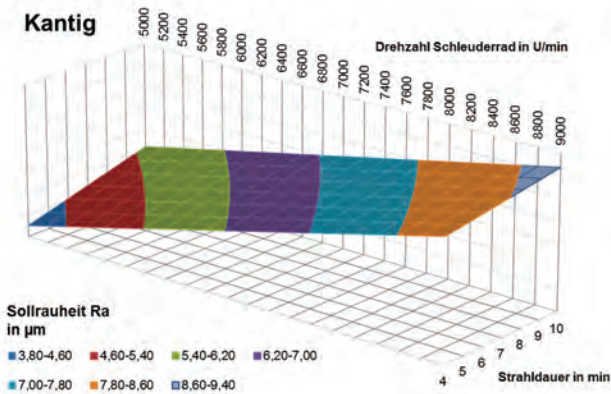


Abbildung 4: Sollrauheit Ra für kantige Strahlmittel bis 0,5 mm für Werkstücke mit einer Ausgangsrauheit von Ra 3,2

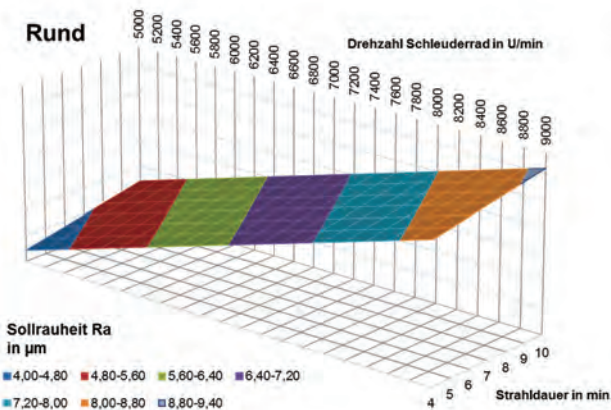


Abbildung 5: Sollrauheit Ra für runde Strahlmittel bis 0,5 mm für Werkstücke mit einer Ausgangsrauheit von Ra 3,2

Basierend auf den analytisch ermittelten mathematischen Zusammenhängen des Strahlprozesses sowie deren Parameter ist der Aufbau eines automatisierten Strahlprozesses möglich. Insbesondere bei diesem komplexen Prozess müssen zuverlässige Funktionen der Überwachung, Qualitätseinschätzung und Entscheidungsvorgänge integriert werden. Die quantitativen sowie qualitativen Bereiche müssen bei der Prozessautomatisierung beherrschbar sein. Zusätzlich unterstützt die Wissenserweiterung über Strahlprozesse die Beherrschung gestrahlter Oberflächenbearbeitungen und erzielt eine enge Verbindung zwischen der Prozessauswahl und der Produktivitäts- und Qualitätsverbesserung.

Für die Realisierung einer Prozessautomatisierung muss eine Vielzahl an Eingangsgrößen berücksichtigt werden. Auf Seiten der Strahlanlage sind für die Einstellung der Parameter Drehzahl des Schleuder-

rades und Strahldauer weitere Größen wie beispielsweise die physikalischen und technologischen Werkstoffwerte sowie die Ausgangsstruktur des zu bearbeitenden Werkstückes notwendig. Prozessinterne Daten wie Zustandsveränderungen der Strahlanlage oder der Strahlmedien, die die Prozessstabilität beeinflussen können, müssen ebenso betrachtet werden.

5. Zusammenfassung und Ausblick

Die umfangreichen Untersuchungen zum Oberflächenstrahlen von Werkstücken zeigten, dass in Abhängigkeit der Bauteil- und Prozesskenngrößen reproduzierbare Oberflächeneigenschaften erzielt werden können. Zur technologischen Abbildung des Strahlprozesses wurden die verschiedenen Randbedingungen charakterisiert und deren Einfluss auf die Oberflächenrauheit erstmals quantifiziert. Der abgeleitete mathematische Zusammenhang zur Beschreibung des Strahlprozesses ermöglicht eine direkte Bestimmung der notwendigen Prozessparameter ohne empirische Vorversuche. Es besteht erstmalig die Möglichkeit, den Strahlprozess effizient zur Erzeugung gestrahlter Oberflächeneigenschaften für Bauteile zu nutzen und somit die Produktivität zu steigern. Mit der Erweiterung von 3D-Kenngrößen mittels optischer Messverfahren ist eine funktions- und strukturorientierte Qualitätsbewertung gestrahlter Oberflächen möglich. Es werden weitere Untersuchungen dazu angestrebt, wie z.B. die Erweiterung einer Wissensbasis über den Strahlprozess mit Ausweitung prozessbeeinflussender Parameter oder die Bestimmung und Automatisierbarkeit geforderter Qualitätsgrößen, um das anschließende Ziel der Prozessautomatisierung mit steuerungstechnischer Umsetzung der Strahlanlage weiter zu verfolgen.

Literaturverzeichnis

- [1] Merkblatt 212-Strahlen von Stahl, Stahl-Informationszentrum, S. 4-6, S. 29-30 (2010)
- [2] Glanzpunkte - Tradition, Innovation, Industrie 4.0, Magazin, Ausgabe 2, S. 20-22 (2017)
- [3] Kleinteile effektiv strahlen, Journal für Oberflächentechnik JOT, Ausgabe 8, S. 52-53 (2014)
- [4] DIN EN ISO 4287, Geometrische Produktspezifikation - Oberflächenbeschaffenheit: Tastschnittverfahren, Beuth-Verlag (2010)
- [5] DIN EN ISO 24178-2, Geometrische Produktspezifikation - Oberflächenbeschaffenheit: Flächenhaft, Beuth Verlag (2012)
- [6] DIN 8200, Strahlverfahrenstechnik - Begriffe und Einordnung der Strahlverfahren, Beuth Verlag (1982)
- [7] Henkel, G.; Rau, J.; Henkel, B.: Topografie und Morphologie funktionaler Edelstahloberflächen, Expert Verlag, Renningen, 2. Auflage (2015)

IMPLEMENTATION OF DIAGNOSTICS OF PRODUCTION LINE

Miroslav Císar, Ivan Kuric, Ivan Zajačko

Department of Automation and Production Systems, Faculty of Mechanical Engineering, University of Zilina,
Univerzitna 8215/1, 010 26 Zilina, Slovak Republic

The understanding of technological processes is essential part of not only production management and resource planning but also maintenance management and planning. Obtaining of the right amount of information about condition of individual production resources is key to optimization of its maintenance thru diagnostics and condition monitoring. Low price of sensors and devices with computing power necessary to its processing that are to be integrated to the production lines allowed implementing technologies known as Internet of Things (IoT) and deep learning as part of condition monitoring. The most of production processes are affected by multiple different physical phenomena, which usually are not fully understood in context of production system what makes it ideal to implement such technologies. Mentioned methods offers opportunity not only to create new devices but also to improve existing equipment and make it easier to manage. This article describes implementation of diagnostics, condition monitoring, deep learning, and IoT on wire coating production line.

1. Introduction

It is clear that the complex production devices such as production lines requires adequate maintenance in order to keep production smooth trouble-free production. Technical diagnostics as essential part of machine tool maintenance provides information about condition of examined objects and plan downtimes due maintenance actions accordingly. Conventional approach to technical diagnostics requires various method dependent tools and measuring devices used by and skilled diagnostician. Diagnostic tasks and procedures are usually performed on demand, regularly, or it can be planed according to production schedule.

Current trend of lowering prices of sensors, microcontrollers, make it easier to build necessary sensors directly to the examined device and enable it for condition monitoring. Data from condition monitoring can be collected, stored and analyzed either by control system of examined device or externally by suitable ways and means.

The condition monitoring, as specialized part of technical diagnostics, also usually deals with multiple diagnostic parameters. However, these parameters are commonly analyzed separately, with no interconnection. Therefore such approach is suitable whenever there is necessity to monitor certain part of machine that is prone to failure.

Contemporary methods of technical diagnostics commonly use state of the art devices and technologies in order to ensure quality, reliability and informative value of data acquired by diagnostic procedures. In some cases, information of same or even higher value can be obtained by implementing multiple diagnostic methods where synergic effect can take place. Usage of multiple diagnostic method is commonly known as multiparametric or multicriterial diagnostics.

The core of multicriterial diagnostics is simultaneous usage of multiple diagnostic methods in order to gain effects such as simplification of measurement, time and cost reduction. It also allows increasing accuracy and reliability of measured data. Multiparametric

diagnostics also allows combining diagnostic data with technological and non-technological parameters related to production process. Obtaining such data from technological device such as production line is usually matter of programming and no or minimal additional devices are necessary.

The understanding of inner processes in examined devices and its parameters is essential part of designing a set of diagnostic suitable for implementation of condition monitoring or even multiparametric diagnostic. Still, there are processes that are affected by various physical phenomena that are not fully understood in terms of practical applications or simply just too complex to be comprehended. In such cases, the work of diagnostician, in terms of data analysis and data collection optimization, can be replaced by the implementation of various aspects of artificial intelligence such as machine learning and deep neural networks.

There are lots of various production means used in general industrial automation. One of the most common types of production facilities that implements automation in engineering industry are production lines. As everything in industry, even production lines should be seen not only as production tools, but also as products themselves. Currently, our department cooperates with multiple companies dealing with design and manufacturing of production lines. The main purpose of this cooperation is implementation of modern diagnostic methods, such as remote diagnostics and condition monitoring, into production lines. The implementation can be realized either as part of building of new line or during regular maintenance. The development process requires several iterations and fine tuning to build appropriate solution that meets customer expectations.

Various modern technologies allows shortening of development cycles by implementing ready-to-use solutions and tools designed for rapid development. The main set of tools enabling this are known as Internet of Things (IoT) which implements decentralized approach for collection and preprocessing of data. Such technology also enables

combining of various technologies and solutions from multiple various producers, which would normally be hard to combine into one system. Next big benefit is increased interchangeability of partial solutions as the normally incompatible devices with same function can be switched with minimum impact on overall functionality as long as they are capable of communication.

2. General approach for implementation of implementing condition monitoring

There are a lots of methods that can be utilized to increase the amount of information describing the current and future state of a production line and its individual parts. It is necessary to understand that a production line itself is not always simply a sum of its individual parts. Therefore it is necessary to use more sophisticated and complex or even holistic approach. The implementation of condition monitoring into complex systems, such as production lines usually requires the following steps:

- analysis of individual production processes,
- identification of the key nodes and its logical grouping,
- specifying appropriate diagnostic methods, sensors, and their location,
- specifying suitable data acquisition method,
- test run,
- analysis of data acquired in test run,
- verification or optimization,
- deploying the final solution.

The development process, described above, usually requires several iterations before it can be really deployed. These iterations also have to include fine tuning and optimizations in order to achieve solution that meets customer expectations.

3. Description of the production line

This article deals with production line designed to coat wires by rubber and then roll it into beadwire of desired diameter. Examined unit, on which all the tests and measurements were performed, is located at manufacturers premises. It shows signs of normal long term usage such as wear, loosen fits, vibrations but it is in operational condition. Such state is great for experiments as there is opportunity to compare parameters devices that are newly produced with worn one. The fact that it is meant for experiments offers more freedom for modifications and testing.

This article is focused mainly on processes tied to coating and therefore the process of creation of the final product is omitted to some extent.

The main concern of the user of production line, and therefore for its producer, is to keep quality of product in certain range that fulfill requirements of quality control. In this case it case main quality parameter is the fact if the wire is fully coated and coating have no rips and wrinkles. Such defects could cause problem in next operation (winding to form beadwire), shorten

lifecycle of the final product of the production line or even its fatal failure. Identification or measurement of such defects is quite difficult as it have to be done contactless, on fast moving surface. In ideal case, the defects should be detected even before it emerges.

The most convenient way of detecting such defects is to measure geometry of coated wire. The decreasing area of wire cross-section indicates emerging ripple. The sensors implemented for such purpose are described in next chapter.

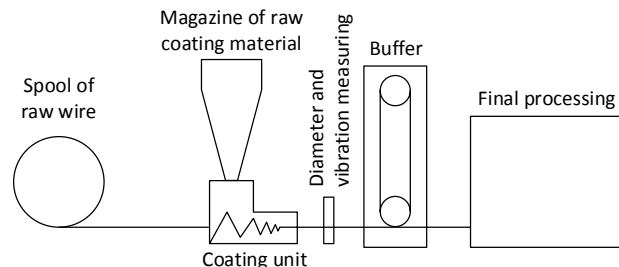


Fig. 1: Simplified diagram of production line

The examined production as shown on fig. 1 line can be divided into four main blocks:

- Raw wire magazine,
- Coating unit,
- Coated wire buffer,
- Final processing (wire rolling) unit.

According the producers of this line, the vast majority of operational errors that the control system is currently not able to detect, originates in proces of coating. Therefore we focused our attention to improve diagnostics and capabilities for condition monitoring in process this process.

4. Measurement of coated wire size

The measurement of the wire diameter have to be performed continuously and contactless. The most logical place for the measuring device is right after the extruder die. In order to detect possible deviations as soon as possible. The contact with freshly coated wire have to be avoided as the fresh coating is too soft and sticky and it can be easily damaged.

Currently there are two sensors mounted on line in order to test their efficiency and to choose more suitable one. The sensors are placed right next to extruder, which is last part of coating unit. These two sensors are:

Micro Epsilon ODC 2600 – LED based micrometer with an integral high-resolution CCD camera for geometrical measurements. Wire was measured in one axis with sample rate of 2,3kHz

Keyence LS-903D – high-speed 2-axis optical micrometer with accuracy of 2 μ m and vibration resistance 10-55Hz. Wire was measured with sample rate of 16kHz

The Keyence device is more resilient to vibrations due its higher measuring rate and it allows comparing dimension measured in two perpendicular axes and

determining the circularity of coating and detecting its deviation and its relation to changes of other monitored parameters. However, it may not affect its overall usefulness in real life. Both devices are still mounted on production line in order to confirm results of initial tests by long term analysis.

The data acquired from these sensors contains errors to some extent. These errors originates from various sources, but mainly from high frequency vibrations of wire. The main source of these vibrations is most certainly the buffer of coated wire in which significant masses are repeatedly moved up and down as reaction to non-continuous demand for material at finishing phase of product. The free length of wires spooled in buffer changes accordingly, what allows forming various resonance frequencies. The resulting peaks cause errors in measurement.

Another source of errors in measurement if diameter of coated wire is presence of excessive material that are stuck on newly coated wire due imperfections of extruder die and extrusion process itself. These defects are clearly visible on the Fig. 2 - shot from high speed camera. The rhombus shape on the picture is thru-hole in Keyence measuring device in which, the diameter of the coated wire is measured in two axes. It is clear that measurements are not performed in horizontal and vertical directions but in diagonal directions.



Fig. 2 Excessive material stuck on coated wire. Shot taken from high speed camera

The parameters for filters, which allows eliminating most of such errors, were established during previous experiments. During the test runs, the filters removed from 0.43% to 0.67% of values. The amount of errors depended on speed and extruder die size.

5. Data from control system

The control system of production line usually uses significant amount of variables. Therefore, it is necessary to carefully select the variables that stores data with significant information value. Such data also should be filtered and preprocessed in order to

reduce necessary data traffic. The selection of suitable variables and filtration usually takes more than one iteration of the optimization process.

The control system of production line already holds values of all technological parameters and information from various sensors such as pressure and temperature in extruder.

Previous experiments confirmed that the speed of wire thru extruder is the most important parameters affecting surface quality and integrity. The control system contains multiple variables that hold speed from different sources, these are shown on fig. 3. The speed of wire set by operator (AFS) differs from line speed according to by motor driver (AF1) and also from speed measured by incremental wire speed sensor (AF2).

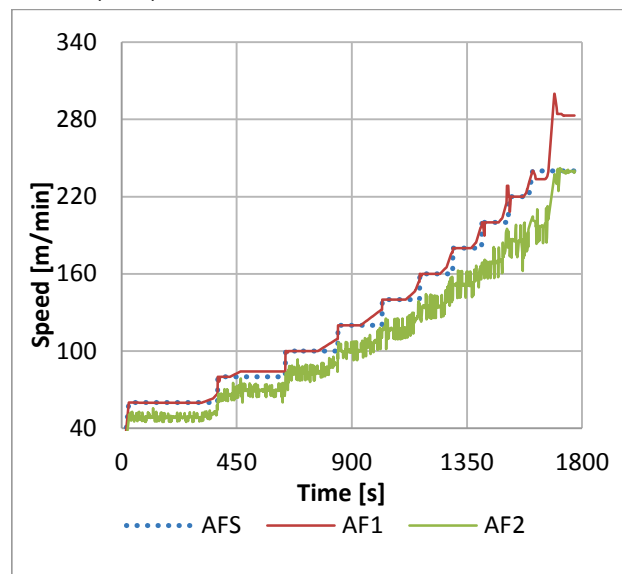


Fig. 3 Speeds of wire over time during the test run

The difference between speed that have been set by operator and the real speeds is due to the interrupted movement characteristic of finalizing process which is compensated by wire buffer to some extent. However, if the buffer is too full or too empty the line speed have to be adjusted. The difference between the speeds AF1 and AF2 are due to the loses the wire slipping.

The access to the information in the control system allows collecting additional information such as extruder die geometry and size. Such data can help to choose proper filters and constants by simple conditions. Modifications of user interface could also allow to collect additional information from operators such as occurrence and types of various errors and faults that can be added to analysis in order to make it more reliable. Such data can be collected thru reporting forms.

6. Measurement of the wire vibrations

By its nature, fast moving wire is prone to be affected by various sources generating vibrations. These vibrations can be measured and analyzed in order to identify its causes. Currently we are testing measurement of wire vibrations utilizing custom

induction sensor. Our sensor produces signal similar to acoustic and therefore we are able to do initial tests and analysis using software designed to work with sound. Initial tests were done manually, by humans in order to check if some states of production line corresponds with visible patterns in vibrations.

For manual analysis we use Audacity – freeware open source software for audio editing. It also has tools for filtration and visualization of the signals. In our case, such visualization helps human to identify changes in signal that corresponds with changes of the production line state or condition.

The example of such visualization is shown on Fig. 4 where horizontal axis is time in seconds, vertical axis is frequency of signal in Hertz and the color shows amplitude. This visualization shows signal from which the noise was filtered out.

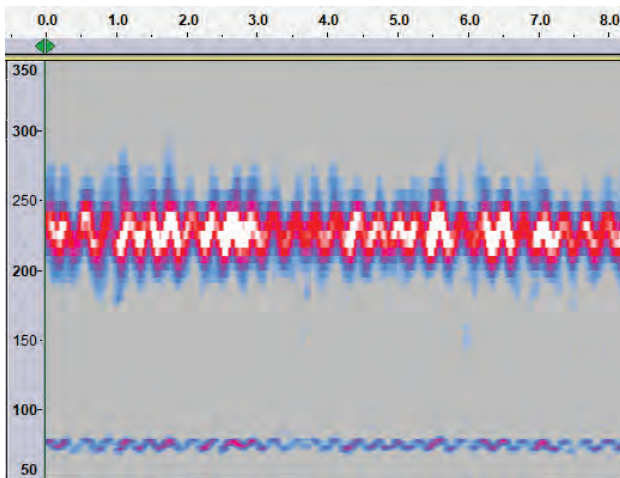


Fig. 4 Visualization of vibrations measured in wire during test run of production line

The tests with manual analysis confirmed that the wire vibrations correlates with various states and emerging occurrence of various faults and errors.

The measurement with this sensor generate several hundreds of megabytes per second. Such significant amount of data is not suitable to be simply put to database of IoT solution as it is done with other measurements. The analysis of data is also nontrivial and it requires considerable computing power. IoT usually uses cloud solutions for such applications however, the amount of data would make it difficult to implement at production site.

New trends in IoT is to move cloud analytics and business logic to so called edge device. Such approach allows to scale data traffic and allow to gain faster reactions. Same time it keeps all benefits of cloud solution of standard IoT solution.

Conclusion

The application described in this article is currently under development at our department. The data are currently analyzed by using common regression and clustering machine learning tools to identify relationships between measurements and production line condition. Regression and clustering results can be directly used to develop software modules for

failure prediction. Sometimes it is beneficial to use some of the results of regression and clustering as additional input for deep neural networks.

The most universal recurrent neural networks that we currently use for condition monitoring and is the Long Short-Term Memory (LSTM) network. LSTM is a neural network capable of learning long term dependencies between input data. We use the Keras library in conjunction with TensorFlow. This approach allows us to easily test several neural network topologies and fast iteration times.

The current model looks very promising but it still needs more data from real life environment in order to be fully developed and ready to be applied. Also, we need to specify sufficient device to be implemented as IoT edge in order to process data on the site.

Acknowledgements

The outputs of paper was supported by grant VEGA 1/0504/17 "Research a development of methods for multicriterion accuracy diagnostic of CNC machines"

References

- [1] Kolny, D., Więcek, D., Ziobro, P., & Krajčovič, M.: Application of a computer tool monitoring system in CNC machining centres. *Applied Computer Science*, vol. 13, no. 4, (2017), 7–19
- [2] KURIC I., et al.: Analytical Intelligence Tools for Multicriterial Diagnostics of CNC Machines. *Advances in Science and Technology Research J.*, ISSN 2299-8624, vol. 10, No. 32, (2016), 59-64
- [3] Dornfeld D., Dae Eun Lee.: *Precision Manufacturing*. Springer, New York USA, (2008)
- [4] Sapietova, A., Saga, M., Novak, P.: Multi-software Platform for Solving of Multibody Systems Synthesis. *Communication - Scientific Letters of the University of Zilina*, vol.14, No. 3, (2012), 43- 48
- [5] Marinescu I. D.; Ispas C.; Boboc D.: *Handbook of machine tool analysis*. CRC Press, (2002).
- [6] Kocisko M, et al.: An integrated working environment using advanced augmented reality techniques. In: *Industrial Engineering and Applications (ICIEA), 2017 4th International Conference on*. IEEE, (2017) 279-283.
- [7] Anderson P. D., Dooley J., Meijer Han EH.: Viscoelastic effects in multilayer polymer extrusion. *Applied Rheology*, 16.4, (2006) 198-205.
- [8] Han C. D., Rao, D. A.: Studies on wire coating extrusion. II. The rheology of wire coating coextrusion. *Polymer Engineering & Science*, (1980)
- [9] Hochreiter, S., Schmidhuber, J.: Long Short-Term Memory. *Neural Comput.* 9(8) (1997)
- [10] Aydin, O., Guldamlasioglu, S.: Using LSTM networks to predict engine condition on large scale data processing framework. In: *4th International Conference on Electrical and Electronic Engineering (ICEEE), Ankara* (2017), 281-285.

Multisensorielle Prozess- und Systemüberwachung

ANALYSE UND OPTIMIERUNG VON MENSCH-MASCHINE-INTERAKTIONEN MITTELS VIRTUELLER TECHNOLOGIEN

Christoph Allmacher, Manuel Dudczig, Tim Maier, Philipp Klimant
Technische Universität Chemnitz, Reichenhainer Straße 70, 09126 Chemnitz

Mit der fortschreitenden Automatisierung von Produktion und Logistik steigt die Zahl an fahrerlosen Transportfahrzeugen (FTF) in der Industrie. Die Entwicklung von auf den Menschen zentrierten Interaktionsmöglichkeiten mit diesen Systemen und deren Funktionen steigern zunehmend die Komplexität des Entwicklungsprozesses solcher FTF. Um den damit verbundenen Herausforderungen zu begegnen, können virtuelle Technologien eingesetzt werden, um frühzeitig Konzepte und Funktionalitäten unter direkter Einbeziehung des Menschen zu prüfen. In diesem Kontext stellt der Beitrag eine virtuelle Testumgebung zur Analyse und Optimierung geeigneter Assistenzsysteme vor. Diese vereint unter der integrierenden Klammer der virtuellen Realität (VR) drei Kernkomponenten: das FTF, den mit dem Fahrzeug interagierenden Menschen und die dabei eingesetzten Mensch-Technik-Interaktionsgeräte. Im Speziellen werden Abbildungs- und Realisierungsmöglichkeiten der einzelnen Kernkomponenten analysiert und bewertet. Die resultierende Implementierung der virtuellen Testumgebung wird präsentiert und bezüglich potentieller Anwendungen diskutiert.

1. Einleitung

Die Anzahl an fahrerlosen Transportfahrzeugen (FTF) in der Industrie steigt mit einer prognostizierten jährlichen Wachstumsrate von durchschnittlich zehn Prozent [1, 2]. Ein FTF vereint als cyberphysisches Produkt bei seiner Entwicklung die Disziplinen des Maschinenbaus, der Elektrotechnik und der Informatik [3]. Dabei wird verstärkt auf eine verteilte, gleichzeitige Entwicklung gesetzt, mit welcher einige Herausforderungen einhergehen. Eine davon ist die erst spät im Entwicklungsprozess einsetzbare reale Testumgebung für die Software des FTF, da in frühen Entwicklungsphasen physische Prototypen noch nicht vorhanden sind. Im Bereich der Robotik, in welchen auch FTF im weiten Sinne fallen, wird Software oftmals mit Hilfe einer Simulation getestet. Dazu existieren einige Softwarelösungen auf dem Markt, u.a. SimTwo, GAZEBO und MORSE [4 bis 6]. Diese erlauben allerdings bislang keine menschenzentrierte Entwicklung, da entsprechende Funktionalitäten nicht Teil der Simulation sind.

Hintergrund des vorliegenden Beitrags ist die Entwicklung eines ganzheitlichen, auf die Bedürfnisse heutiger Intralogistik zugeschnittenen, FTF. Dieses kann einerseits unabhängig von fixen Marken autonom navigieren und andererseits zur Unterstützung von Transportaufgaben einem Menschen folgen. Übergeordnete Warehouse-Management-Systeme sind dabei mittels einer globalen Steuerkomponente angebunden, welche Transportaufgaben intelligent auf die entsprechenden Kommissionierer und FTF verteilt und die aktuellen Lagerzustände als 3D-Visualisierung zur Steuerung und Simulation abbildet [7]. Aus dieser engen Verzahnung von Mensch und Technik heraus muss speziell das FTF bereits frühzeitig im Entwicklungsprozess als menschenzentriertes System verstanden und gestaltet werden. Dabei stellt sich die Frage, wie Designer, Entwickler und Ingenieure, während der immer komplexer werdenden Entwicklungsphase, die umzusetzenden Konzepte frühzeitig und gemeinsam mit potentiellen Anwendern mitgestalten, evaluieren und optimieren können [8].

Deshalb wird im Folgenden eine virtuelle Test- und

Entwicklungsumgebung für FTF vorgestellt, welche die drei Kernkomponenten – das fahrerlose Transportfahrzeug, den mit ihm interagierenden Menschen und die dabei eingesetzten Mensch-Technik-Interaktionsgeräte – integriert. Dabei wird der Fokus auf die unterschiedlichen Möglichkeiten zur Implementierung der einzelnen Komponenten gelegt, welche analysiert und bewertet werden. Grundsätzlich sollen dabei in Bezug auf den Menschen unterschiedliche Bewegungserfassungsverfahren erörtert werden. Das FTF soll mittels einer Methode der virtuellen Inbetriebnahme an die virtuelle Testumgebung gekoppelt werden.

2. Stand der Technik

Digitale Menschmodelle

In den letzten Jahren gab es in unterschiedlichen Disziplinen verschiedene Ansätze, um den Menschen in die digitale Welt zu integrieren. Hervorzuheben sind dabei arbeitswissenschaftliche Vorgehensweisen, welche Menschmodelle zur Produkt- und Prozessgestaltung nutzen [9]. In der Industrie haben sich die Menschmodelle HumanBuilder, Jack und RAMSIS dreier großer CAX-Hersteller durchgesetzt [9]. Neben den Routinen zur Bewegungsgenerierung stellen diese auch Analysefunktionen, bspw. für Sicht- oder Erreichbarkeit von Objekten, bereit.

Eine andere Variante ist die Übertragung der Bewegung eines realen Menschen auf ein digitales Menschmodell. Fokussiert man sich auf die Aufnahme und live-Kopplung realer Bewegungsdaten spricht man auch von *Human-in-the-loop*. Darunter wird die Teilnahme des Menschen an einer Simulation verstanden, in welcher dessen Interaktionen mit verschiedenen Objekten eine zentrale Rolle spielen [10]. Unter anderem zur Untersuchung und Inbetriebnahme von Roboterzellen gibt es bereits erste solche Human-in-the-loop-Ansätze, bei denen der Mensch als Avatar Teil der virtuellen Szene wird [11]. Der Einsatz im Kontext von fahrerlosen Transportsystemen stand demgegenüber noch nicht im Mittelpunkt der Forschung.

Zur Übertragung der Bewegung eines Menschen auf ein digitales Modell wurden in der Vergangenheit

verschiedene Technologien zur Bewegungserfassung entwickelt. Im Bereich der Ganzkörper-Aufzeichnung haben sich optische und Inertialsensor-Systeme durchgesetzt [12]. Optische Systeme besitzen eine hohe Abtastfrequenz und Genauigkeit, sind aber teurer in der Anschaffung und aufwendiger in der Inbetriebnahme. Im Gegensatz dazu generieren Inertialsensor-Systeme, bestehend aus Beschleunigungs-, Drehraten- und Magnetfeldsensoren, robuste aber auch weniger exakte Messdaten und zeichnen sich weiterhin durch einfachere Anwendbarkeit sowie geringere Anschaffungspreise aus [12, 13]. Darüber hinaus existieren Randtechnologien, wie beispielsweise magnetische oder funkbasierte Systeme. Zur Auswahl einer geeigneten Technologie erfolgt ein Abgleich der Systemeigenschaften mit den Anforderungen der Anwendung.

Virtuelle Inbetriebnahme

Virtuelle Inbetriebnahme (VIBN) ist die Bezeichnung einer Gruppe von Methoden zum Testen und in Betrieb nehmen von Steuerungssoftware siehe Abbildung 1.

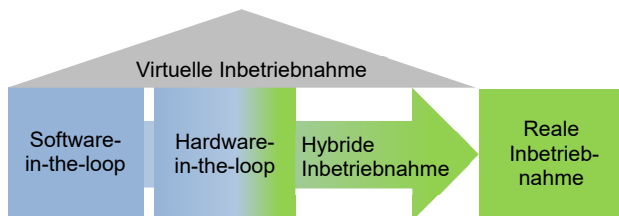


Abbildung 1: Formen der virtuellen Inbetriebnahme

Sie unterscheiden sich im Anteil genutzter virtueller Komponenten: Software-in-the-loop (SIL) simuliert sowohl die Maschine, als auch die Recheneinheit, auf welcher die zu testende Steuerungssoftware ausgeführt wird. Im Unterschied dazu wird bei der Methode Hardware-in-the-loop (HIL) die reale Recheneinheit an die virtuelle Maschine gekoppelt. Die hybride Inbetriebnahme ist demgegenüber ein iterativer Prozess, bei dem, ausgehend von einer komplett virtuellen Maschine, die einzelnen simulierten Komponenten sukzessiv gegen ihre realen Gegenstücke – hauptsächlich Aktoren und Sensoren – ausgetauscht werden [14, 15].

Mensch-Technik Interaktion

Ein nutzerzentriertes Produkt lässt sich nach DIN EN ISO 9241-220 anhand von Kriterien wie bspw. Gebrauchstauglichkeit oder User Experience gezielt gestalten und bewerten [16]. Gerade um den Erfolg eines Produkts zu unterstützen, sind diese Kriterien – neben den rein technischen Produkteigenschaften – von wesentlicher Bedeutung. Bereits frühzeitig im Entwicklungsprozess lassen sich mit Hilfe virtueller Inbetriebnahme – unter Beachtung der spezifischen Vor- und Nachteile gegenüber physischen Prototypen und den verfahrensbedingten Unterschieden in der VR-Nutzerbewertung [17] – Produktkonzepte realisieren und durch Nutzerstudien validieren.

3. Aufbau der virtuellen Testumgebung

Die in der Einleitung genannten Anforderungen für

die menschenzentrierte Produktentwicklung des FTF mit den nach dem Stand der Technik verfügbaren Verfahren in Einklang zu bringen, ist Basis der folgend beschriebenen Testumgebung. Im Zentrum der Entwicklung müssen die Schnittstellen zwischen Mensch, FTF und den vom Menschen genutzten Kommunikationsmedien als virtuelles Abbild zusammengesetzt werden. Dabei werden die drei Hauptelemente mit Technologien der Virtuellen Realität, gemäß der Abbildung 2, interaktiv realisiert.



Abbildung 2: Schema der Testumgebung

Menschmodell

Wie aus dem Stand der Technik hervorgeht, sind optische und Inertialsensor-Systeme besonders für die angestrebte virtuelle Testumgebung geeignet, da sie in verschiedenen Bereichen der Ganzkörper-Bewegungserfassung genutzt werden. Darüber hinaus sind sie auch für die Verwendung mit VR-Brillen geeignet. Um ein Vorzugssystem zur echtzeitfähigen Abbildung des virtuellen Menschmodells auszuwählen, wurden geeignete, am Markt vorherrschende Systeme ausgewählt und miteinander verglichen (siehe Abbildung 3) [18]. Anhand dieses Vergleiches wurde ein Inertialsensor-System ausgewählt, da es die beste Kombination an Spezifikationen für die vorliegenden Anforderungen liefert.

	Inertial-sensor-Systeme	Optische Marker-Systeme	Markerlose optische Systeme
Abtastfrequenz	60–100 Hz	120–240 Hz	30–120 Hz
Preis	~17.000 €	~60.000 €	~25.000 €
Genauigkeit	genau	sehr genau	ungenau
Aufnahmefläche	unbegrenzt	eingeschränkt	eingeschränkt
Inbetriebnahme-aufwand	gering	hoch	hoch
Befestigungen am Akteur	mäßig	gering	keine

Abbildung 3: Bewegungserfassungssystemvergleich [18]

Mensch-Technik-Interaktion

Zur Bewertung und zur Auslegung einer nutzerzentrierten Interaktion zwischen Mensch und Technik wurden u. a. Logistikszenerarien virtuell abgebildet (siehe Abbildung 4). Die Probanden erlebten durch ein Head-Mounted-Display ein interaktives, virtuelles Warenlager und erhielten typische Kommissio-

nieraufgaben, welche in Kooperation mit dem FTF erledigt werden sollten. In diesen Szenarien konnten Nutzer die notwendigen Informationen zur Kommissionierung (Lagerstandort, Artikel, usw.) anhand einer virtuellen Smartwatch, einer simulierten Augmented-Reality-Brille (AR-Brille) oder einer Sprachausgabe erhalten und entsprechende Eingaben zu manuellen Korrekturen durchführen.



Abbildung 4: Virtuelle Logistikszene zum Konzeptvergleich

Eine grundlegende Bewertung der Usability und User Experience der drei Interaktionskonzepte erfolgte mit standardisierten Fragebögen (System Usability Scale (SUS) [19] und User Experience Questionnaire (UEQ) [20]). In einer Vorstudie favorisierten die Tester die virtuelle Smartwatch als Kommunikationsmedium, wenn auch die AR-Brille und die Sprachausgabe grundlegend als geeignet betrachtet wurden [17]. Daher wird das Smartwatch-Bedienkonzept für weitere Entwicklungsstufen genutzt und im Funktionsumfang auf die Eignung der FTF-Steuerung hin überprüft.

Steuerungssoftware FTF

Zur Einbindung der Steuerungssoftware des FTF in die virtuelle Testumgebung muss zwischen SIL und HIL entschieden werden. Eine pauschale Entscheidung ist nicht sinnvoll. Es muss der Mehraufwand der Ankopplung der realen Recheneinheit gegenüber dem qualitativen Mehrwert abgewogen werden.

4. Implementierung

Bei der Steuerungssoftware des FTF handelt es sich um eine Eigenentwicklung, welche in C++ für das Betriebssystem Windows implementiert worden ist. Die realen Sensoren und Aktoren des FTF sind mittels Ethernet an die Steuerungssoftware gekoppelt und nutzen als Protokoll TCP/IP. Aufgrund dieser Randbedingungen bietet es sich an, die reale Recheneinheit nach dem Prinzip HIL in die virtuelle Testumgebung einzubinden, weil der Mehraufwand gegenüber einer vollständig simulierten Recheneinheit gering ist. Folglich wird der reale Steuerungs-PC via TCP/IP an die virtuelle Testumgebung gekoppelt, siehe Abbildung 5. Dabei werden die Sensoren und Aktoren in der Entwicklungsumgebung Unity3D¹ simuliert und stellen das gleiche Interface wie die realen Sensoren zur Verfügung. Somit können die Steuerungsalgorithmen des FTF, explizit der Folgemodus, getestet werden.

¹ Entwicklungsumgebung: www.unity3d.com/de

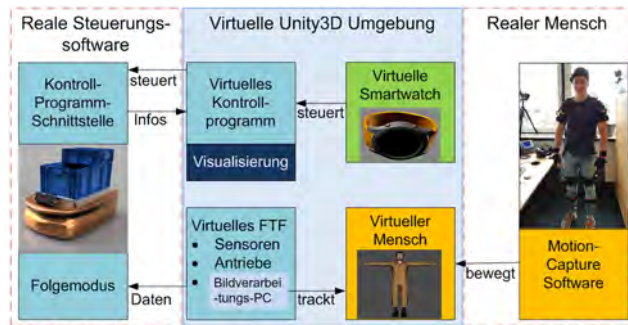


Abbildung 5: Struktur der technischen Komponenten

Unter den simulierten Geräten ist auch der Bildverarbeitungs-PC, der das Tracking des Kommissionierers übernimmt. Der Bildverarbeitungs-PC ist in Unity3D dergestalt implementiert, dass er denjenigen Kommissionierer, welcher im Sichtbereich der Kamera die geringste Entfernung zum FTF aufweist, verfolgt und dessen Pose über die entsprechende Schnittstelle an die Steuerungssoftware sendet.

Ebenso wird das Kontrollprogramm simuliert, welches dem FTF Aufträge erteilt und dessen Status überwacht. Die Informationen des Kontrollprogramms werden in Unity3D visualisiert und erleichtern somit die Entwicklung der Steuerungssoftware. Eine Interaktionsmöglichkeit des Kommissionierers mit dem Kontrollprogramm ist die Smartwatch, welche mittels SIL in die Umgebung eingebunden ist. Über diese kann der Kommissionierer direkte Steuerungsbefehle an das an ihn gekoppelte FTF erteilen. Zur Aufnahme und Übertragung der menschlichen Bewegungen auf den virtuellen Kommissionierer wird das Inertialsensor-System MVN Awinda² zusammen mit der VR-Brille HTC Vive³ verwendet. Die Bewegungsdaten werden zunächst über die hardware-spezifische Software MVN Studio Pro und per VR-Brille erfasst. MVN Studio Pro verarbeitet die Rohdaten des Anzuges und bietet die Möglichkeit, diese per Livestream an Unity3D zu übertragen. Zur Übertragung der Daten von Anzug und VR-Brille an Unity3D werden die Plugins⁴ MVN Live Animation und SteamVR genutzt. Die Daten werden anschließend mittels Skripten fusioniert, um den virtuellen Avatar lagerichtig zu animieren.

5. Anwendungspotentiale und Diskussion

Die ausgeführte virtuelle Test- und Entwicklungsumgebung bietet neben dem Einsatz zur nutzerzentrierten Produktentwicklung eines FTF auch übertragbares Potential, welches hier kurz aufgeführt wird:

- Parametrierung von Steuerungssoftware zur Optimierung des Maschinenverhaltens in Abhängigkeit menschlicher Bewegungen
- Testen und Bewerten von Eingabe-Hardware und Interface-Gestaltung

² MVN Avinda: www.xsens.com/products/xsens-mvn-animate/

³ VR Brille HTC Vive: <https://www.vive.com/de/>

⁴ MVN Live Animation und SteamVR Plugin aus: <https://assetstore.unity.com/>

- frühzeitige Wirkungstests von Mensch-Technik-Interaktionen mit Probanden (z. B. zukünftige Nutzer)
- virtuelle Meta-Perspektiven um sich oder Produkte live aus anderen Perspektiven wahrzunehmen

Trotz der vielfältigen Optionen, die sich aus dem beschriebenen Setup ergeben, muss im konkreten Anwendungsfall stets der spezifische (Mehr-)Aufwand für virtuelle Inbetriebnahmen im Verhältnis zum Nutzen betrachtet werden. Frühzeitige und (teil)virtuelle Prototypen sparen Entwicklungszeit, minimieren Gestaltungsfehler und helfen, Entscheidungen frühzeitiger zu treffen. Sie bedürfen jedoch zusätzlicher Ressourcen. Für umfassende Validierungen sind auch weiterhin physische Prototypen unabdingbar. Für das vorliegende Projekt konnten durch die erläuterte virtuelle Inbetriebnahme Entwicklungsaufgaben parallelisiert, Gestaltungserkenntnisse anhand frühzeitiger Probandentests gewonnen und Parameterstudien zur Algorithmus-optimierung, fernab komplexer, physischer Infrastruktur, durchgeführt werden.

Danksagung

Das Forschungsprojekt "FOLLOWme ILS – Intralogistiksystem mit Fahrerlosen-Transport-Systemen" wird vom Bundesministerium für Bildung und Forschung unterstützt.



Literaturverzeichnis

- [1] Automated Guided Vehicle Market by Type, Navigation Technology, Battery Type, Industry, Application, & Region - Global Forecast to 2022 SE 3351, MarketsandMarkets, 2017
- [2] Global Automated Guided Vehicles Market - Growth, Trends, and Forecasts (2016 - 2021) Nr. 3804585, Research and Markets, 2016
- [3] Lee, E. A.: The Past, Present and Future of Cyber-Physical Systems: A Focus on Models. *Sensors* 15 (2015) 3, S. 4837–4869
- [4] Paulo Costa, A., José Gonçalves, B., José Lima, B. u. Paulo Malheiros, A.: SimTwo Realistic Simulator. A Tool for the Development and Validation of Robot Software. *Theory and Applications of Mathematics & Computer Science* 2011 (2011), S. 17–33
- [5] Koenig, N. u. Howard, A.: Design and use paradigms for Gazebo, an open-source multi-robot simulator. 2004 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS). 2004, 2149-2154 vol.3
- [6] Echeverria, G., Lassabe, N., Degroote, A. u. Lemaignan, S.: Modular open robots simulation engine. MORSE. 2011 IEEE International Conference on Robotics and Automation. 2011, S. 46–51
- [7] Dudczig, M., Schumann, M., Klimant, P. u. Lorenz, M.: Wie sieht die Intralogistik der Zukunft aus? *ZWF Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb* 111 (2016) 7-8, S. 449–452
- [8] Susanna Aromaa, Simo-Pekka Leino u. Juhani Viitaniemi: Virtual prototyping in human-machine interaction design. VTT Technology. VTT Technical Research Centre of Finland 2014
- [9] Mühlstedt, J. u. Bullinger-Hoffmann, A. C.: *Homo Sapiens Digitalis - Virtuelle Ergonomie und digitale Menschmodelle*. Springer Vieweg 2016
- [10] Rothrock, L. u. Narayanan, S.: *Human-in-the-Loop Simulations*. London: Springer London 2011
- [11] Metzner, M., Böning, J., Blank, A., Schäffer, E. u. Franke, J.: "Human-In-The-Loop"- Virtual Commissioning of Human-Robot Collaboration Systems. In: Schüppstuhl, T., Tracht, K. u. Franke, J. (Hrsg.): *Tagungsband des 3. Kongresses Montage Handhabung Industrieroboter*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg 2018, S. 131–138
- [12] Pueo, B. u. Jimenez-Olmedo, J. M.: *Application of motion capture technology for sport performance analysis* (2017)
- [13] Andreas Skogstad u. Kristian Nymoen: *Comparing Inertial and Optical Mocap Technologies for Synthesis Control* (2011)
- [14] Makris, S., Michalos, G. u. Chryssolouris, G.: *Virtual Commissioning of an Assembly Cell with Cooperating Robots*. *Advances in Decision Sciences* 2012 (2012)
- [15] Dominka, S., Schiller, F. u. Kain, S.: *Hybrid Commissioning - Speeding-up Commissioning of Field Bus Driven Production Plants*. In: 2007 IEEE International Conference on Mechatronics, S. 1–6
- [16] DIN EN ISO 9241-220:2017-05. *Ergonomie der Mensch-System-Interaktion*
- [17] J. Brade, M. Dudczig, P. Klimant: Using Virtual Prototyping Technologies to Evaluate Human-Machine-Interaction Concepts. *Innovation der Innovation - neu gedacht, neu gemacht*, in Druck (2018)
- [18] Tim Maier: *Konzeptentwicklung zur Kopplung von Echtzeit-Bewegungsdaten an ein virtuelles Menschmodell in Unity3D*, Technische Universität Chemnitz Bachelorarbeit. Chemnitz 2018
- [19] Laugwitz, B., Held, T. u. Schrepp, M.: *Construction and Evaluation of a User Experience Questionnaire. HCI and Usability for Education and Work*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg 2008, S. 63–76
- [20] Rauschenberger, M., Schrepp, M., Perez-Cota, M., Olschner, S. u. Thomaschewski, J.: *Efficient Measurement of the User Experience of Interactive Products*. *International Journal of Interactive Multimedia and Artificial Intelligence* 2 (2013) 1, S. 39

ANFORDERUNGEN AN ZERSTÖRUNGSFREIE QUALITÄTS- UND PRÜFPROZESSE

Antje Zösch

imq – Ingenieurbetrieb GmbH, Gewerbering 30, D-08451 Crimmitschau

Moderne Fertigungssysteme unterliegen hohen Anforderungen hinsichtlich der Qualität und der Wirtschaftlichkeit der Produktion. Im Zuge der ständigen Weiterentwicklung werden neue Werkstoffe und Werkstoffkombinationen entwickelt und eingeführt. Diese neuen Materialien stellen große Herausforderungen an die Umformtechnik. Neue Legierungszusammensetzungen mit stark definierten Eigenschaften lösen universal einsetzbare Werkstoffe ab. Gleichzeitig steigen die Komplexität der Bauteilgeometrie und damit die Anzahl der Fertigungsschritte pro Teil. Als Folge dieser Entwicklung ergeben sich immer kleinere Prozessfenster und strengere Toleranzgrenzen für die Werkstoffeigenschaften. Um dennoch eine gleichbleibende Qualität zu sichern, ist es notwendig, qualitätssichernde Maßnahmen direkt in die Fertigung zu integrieren. Für die zerstörungsfreie Prüfung von eingeformten Gewinden in sicherheitsrelevanten Bauteilen wurde ein Wirbelstromprüfplatz zur direkten Integration in eine Pressenlinie entwickelt.

1. Einleitung

Der zunehmende Wettbewerb bewegt produzierende Unternehmen kontinuierlich zur Entwicklung neuer Innovationen und hochwertiger Produkte. Gleichzeitig steigen die Qualitäts-, Komfort- und Sicherheitsansprüche. Aber auch Umwelt- und Kostenaspekte müssen berücksichtigt werden. Dies gelingt durch den Einsatz neuer hochentwickelter Werkstoffe.

Diese neuen Materialien stellen große Herausforderungen an die Umformtechnik [1]. Neue Legierungszusammensetzungen mit stark definierten Eigenschaften lösen universal einsetzbare Werkstoffe ab. Gleichzeitig steigen die Komplexität der Bauteilgeometrie und damit die Anzahl der Fertigungsschritte pro Teil. Als Folge dieser Entwicklung ergeben sich immer kleinere Prozessfenster und strengere Toleranzgrenzen für die Werkstoffeigenschaften. Andererseits werden Bauteile nahe ihrer Belastungsgrenze ausgelegt. Diese Entwicklungen erfordern neue Konzepte und angepasste Strategien zur Gewährleistung einer gleichbleibenden Produktqualität.

2. Qualitätssicherung in der Fertigung

Die permanente Überwachung der Qualität lässt sich nur durch die Integration von qualitätssichernden Maßnahmen direkt in den Fertigungsprozess realisieren. Dabei ist es einerseits das Ziel, fehlerhafte Teile möglichst frühzeitig zu erkennen und auszuschleusen, um im weiteren Verlauf Material, Energie und Ressourcen zu sparen. Andererseits wird ein rückwärtiger Eingriff zur Optimierung des Produktionsprozesses angestrebt und durch die Vermeidung von Ausschuss die Effizienz des Fertigungsprozesses gesteigert. Bild 1 zeigt Prozessstufen und Beispiele für qualitätssichernde Maßnahmen.

Prüfverfahren, die in die Produktion integriert werden sollen, müssen bestimmte Anforderungen erfüllen. Bestehende Fertigungsprozesse dürfen nicht beeinträchtigt werden. Die eingesetzte Prüftechnik soll vom Werker zu bedienen und zu konfigurieren sein. Die Prüfung muss innerhalb der geforderten Taktrate erfolgen und ein Ergebnis möglichst in Echtzeitvorliegen. Steigende Anforderungen an die

Nachverfolgbarkeit der Prozesse erfordern die lückenlose Erfassung der Qualitätsdaten. Die Übermittlung der Ergebnisse an übergeordnete Systeme ermöglicht die Überwachung der Prüfung von zentraler Stelle.



Bild 1: Fertigungsstufen und zu überwachende Qualitätsmerkmale

Ein wichtiger Aspekt ist das Verhältnis von Fehlererkennung und Falschalarm. Prüfprozesse sollen mit hoher Sicherheit und Genauigkeit Fehler erkennen, eine hohe Detektionsrate besitzen, jedoch möglichst keinen Pseudoausschuss erzeugen, d. h. eine geringe Fehlalarmrate aufweisen. Darüber hinaus müssen Prüfverfahren kostengünstig und umweltgerecht sein.

Der Lösungsansatz besteht im Einsatz zerstörungsfreier Prüfverfahren. Diese sind automatisierbar und für 100%-Prüfungen geeignet. Dadurch ist es möglich, zeitintensive Verfahren mit hohem Personalaufwand wie z. B. visuelle Inspektionen und manuelle Ultraschallprüfung zu ersetzen. Außerdem kann der Anteil zerstörender Verfahren reduziert und eine gleichbleibend hohe Qualität bei wettbewerbsfähigen Kosten gesichert werden.

3. Schritte zur erfolgreichen Einführung von Prüfprozessen

Vor der Einführung von Prüfverfahren in die Fertigung ist ein mehrstufiger Prozess zur Festlegung, Optimierung und Validierung des Prüfverfahrens notwendig (Bild 2).

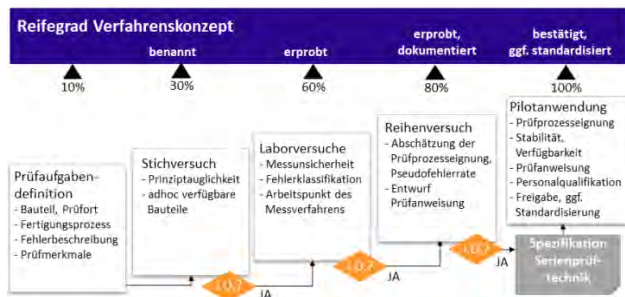


Bild 2: Stufenmodell zur Einführung zerstörungsfreier Prüfverfahren [2]

Für den ersten Schritt, der Definition der Prüfaufgabe, sind die Eigenschaften des Bauteils wie Werkstoff, Wärmebehandlung, eingesetzte Fertigungstechnologien und Oberflächenbehandlung zu beachten.

Die Auswahl des geeigneten Prüfverfahrens hängt vor allem davon ab, welche Fehler am Bauteil nachgewiesen werden müssen. Deshalb kommt der Definition von zu erwartenden Fehlerbildern eine große Bedeutung zu. Die Festlegung der Zulässigkeitsgrenzen hängt ab vom Einsatz des Bauteils, der angestrebten Funktionsmerkmale und damit von den zu erfüllenden konstruktiven Vorgaben.

Der Nachweis der Fehlererkennbarkeit erfolgt in systematischen Untersuchungen zur Machbarkeit. Bei zerstörungsfreien Prüfverfahren sind in der Regel Vergleichskörper notwendig, die Fehler aufweisen, die durch das Prüfverfahren detektiert werden sollen. Oft werden dafür Teile aus der Fertigung verwendet. Diese weisen jedoch Nachteile auf. Die Fehler sind nicht ausreichend bekannt und gleichartige Teile sind schwer wiederbeschaffbar. Eine Alternative stellen Bauteile mit künstlich erzeugten Ersatzfehlern dar wie z. B. erodierte Nuten für die Rissprüfung.

Zur Validierung des Prüfverfahrens müssen Prozessfähigkeitsgrößen unter Fertigungsbedingungen ermittelt werden. Für die nachhaltige Umsetzung der qualitätssichernden Maßnahmen sind weitere Schritte wie das Erstellen einer Prüfanweisung, Festlegungen zur Dokumentation und zum Umgang mit den Prüfergebnissen notwendig. Außerdem müssen Handlungsanweisungen für den Eingriff in den Fertigungsprozess beim Auftreten von Unregelmäßigkeiten vorliegen.

4. Qualitätssicherung an umgeformten sicherheitsrelevanten Bauteilen

Prüfaufgabe

Für die zerstörungsfreie Prüfung von eingeformten Gewinden in sicherheitsrelevanten Bauteilen wurde ein Wirbelstromprüfplatz zur direkten Integration in eine Pressenlinie entwickelt [3].

Fehlerdefinition

Eingeformte Gewinde entstehen durch einen mehrstufigen Prozess direkt während der Umformung in der Pressenlinie. Mögliche Fehlerbilder zeigt Bild 3. Dazu gehören fehlendes Gewinde, Rissbildung am Dom oder Gewinderand oder zu geringe Domhöhe.



Bild 3: Mögliche Fehlerbilder bei geformten Gewinden in Tiefziehteilen

Prüfkonzept

Die prinzipielle Eignung der Wirbelstromprüfung zur Qualitätskontrolle funktioneller Merkmale am Bauteil mit Gewindeformelement wurde in einer Machbarkeitsstudie nachgewiesen. Das Wirbelstromverfahren erkennt einerseits Geometrieänderungen, die durch den Abstand Prüfsonde – Bauteiloberfläche bzw. durch Änderung der Materialdicke bzw. der erfassten Fläche hervorgerufen werden. Andererseits können Materialänderungen detektiert werden, die sich in der Änderung der elektrischen und magnetischen Werkstoffeigenschaften äußern oder durch Materialdefekte erzeugt werden.

Für die Wirbelstromprüfung wurde ein kommerzielles Prüfgerät verwendet. Das zu prüfende Bauteil bestand aus ferromagnetischem Stahlblech (Blechedicke 2 mm). Die Prüfaufgabe wurde gelöst durch den Einsatz von Absolutprüfsonden, die mit einer hohen und einer niedrigen Prüffrequenz angesteuert wurden. Die Prüfsonde wurde in einer gefederten Aufnahme über den Gewindedom platziert. Das Antasten des Gewindedoms erfolgte durch die Bewegung des Pressenwerkzeuges im Fertigungstakt. Für den Prüfablauf und die Auswertung der Prüfsignale wurde eine spezielle Software entwickelt, so dass die Messwertaufnahme mit dem Fertigungstakt synchronisiert werden konnte.

Datenauswertung

Für die Auswertung der Wirbelstromsignale wurde ein Klassifikationsverfahren nach dem Prinzip der Fuzzy-Pattern-Recognition verwendet [4]. Damit ist man in der Lage, nichtlineare Beziehungen von zu messenden Größen mit Klassenzugehörigkeiten zu verknüpfen.

Nach entsprechender Vorkonditionierung werden aus den Sensorsignalen signifikante Merkmale, wie Mittelwerte, Varianz, Signalanstieg etc. extrahiert.

Miteinander aggregiert, bilden sie einen Merkmalsvektor in einem n-dimensionalen euklidischen Merkmalsraum. Die Dimension des Raumes entspricht der Anzahl der genutzten Merkmale. Vorausgesetzt, die Merkmale korrelieren signifikant mit den gesuchten Eigenschaften, kann aus ihnen durch geeignete Auswertalgorithmen ein Klassifikator abgeleitet werden, der alle notwendigen Informationen für die Bestimmung der gesuchten Eigenschaften enthält. In der Folge wird für jedes zu bewertende Intervall der Prüfgrößen der Merkmalsvektor und anschließend über Abstandsfunktionen ein Zugehörigkeitswert zu den vorher definierten Eigenschaftsklassen ermittelt. Damit kann für jedes Intervall aus den gemessenen Sensorsignalen auf die vorliegenden Eigenschaften geschlossen werden.

Die Auswertung der einzelnen Prüfkanäle (Verwendung von mehreren Prüffrequenzen) kann parallel erfolgen. Bild 3 zeigt die Wirbelstromprüfdaten, gemessen bei verschiedenen Fehlerbildern, und die Einteilung in Klassen.

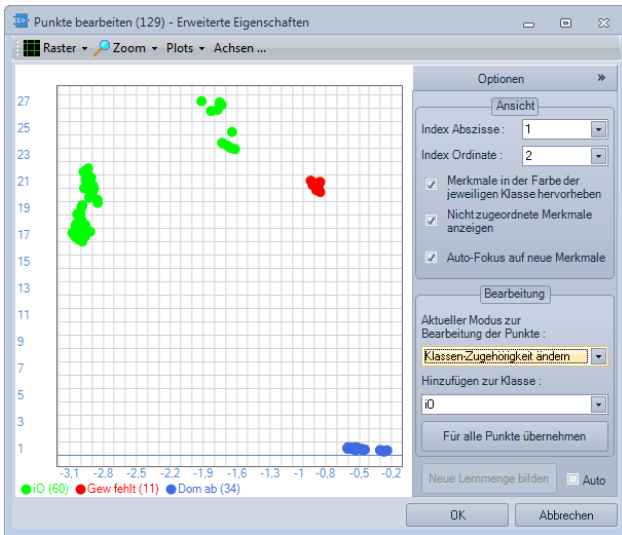


Bild 3: Anlernen von Fehlerklassen

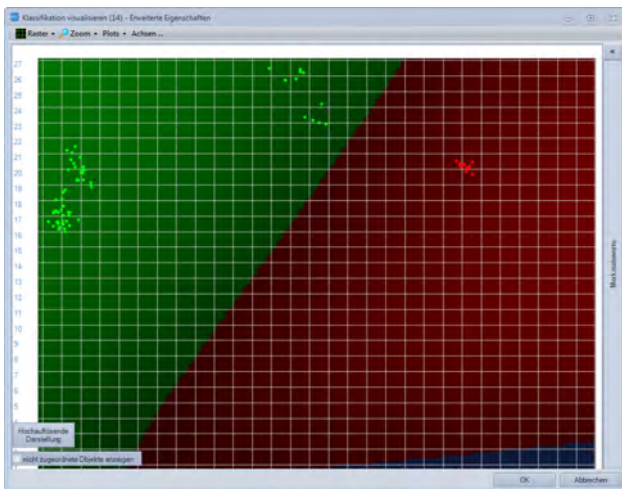


Bild 4: Trennung der Fehlerklassen, Schnitt durch den Merkmalsraum

Die gewonnenen Merkmale werden für das Erstellen eines Klassifikators herangezogen (Bild 4). Dafür hat sich der Einsatz einer Support Vector Machine

(SVM) als erfolgreich erwiesen. Die Trennleistung der Merkmale kann durch die Berechnung der Kreuzkorrelation beurteilt werden (Bild 5).

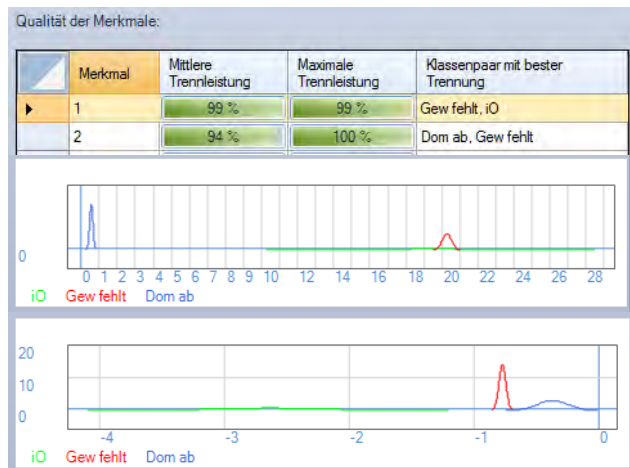


Bild 5: Beurteilung der Trennleistung

Fähigkeitsnachweis wurde erbracht für folgende Kriterien:

- Vorhandensein funktioneller Merkmale
- Kontrolle geometrischer Merkmale
- Detektieren von Anrissen an kritischen Stellen

5. Entwicklung des serientauglichen Prüfverfahrens

Auf der Basis erfolgreicher Labor- und Feldversuche wurde das Konzept zur Inline-Prüfung von geformten Gewinden entwickelt. Dabei waren die Anforderungen an die Serienprüfanlage unter Produktionsbedingungen zu beachten. Dabei spielen Schwingungen aus der Verarbeitungsprozess, unterschiedliche Bauteilgrößen, unterschiedliche Blechoberflächen, Zink- bzw. Ölmengen und verschiedene Hubzahlen eine Rolle.

Außerdem wurde eine universelle Bauausführung mit Erweiterungsmöglichkeiten auf ähnliche Prüfaufgaben angestrebt.

Die Maßnahmen für die Überführung in ein serientaugliches System umfassten den Einsatz eines serientauglichen Wirbelstromprüfgerät und Prüfsonden mit Verschleißschutz (werkzeuggebundenes System). Die Entwicklung einer serientauglichen Software betraf die Erweiterung um bedienerabhängigen Benutzerebenen, Ausgabestatistik (Anzahl der produzierten und der aussortierten Teile, Datei mit Teilenummer und Prüfergebnis, benutzerdefinierte Anpassungen nach Vorgabe).

Als Anforderungen für die Integration der Sensortechnik ins Umformwerkzeug (Presse) standen die Realisierung einer 100% - Prüfung, Die Einhaltung der Taktzeit (20 Hub/min) und die Ausgabe eines Steuersignals iO/niO an die übergeordnete Steuerung – direkte Reaktion, z. B. Ansteuerung einer Sortierweiche.

Ein Beispiel für die Durchführung von Reihenversuchen in der Fertigung zeigt Bild 6. Die Serie umfasste die Produktion von 1000 geformten Gewinden.

Zu Beginn wurden die Fehlerklassen mit 60 iO-Teilen, 11 Teilen mit fehlendem Gewinde und 34 Teilen, bei dem der Dom abgerissen war, angelernt. In der Fertigung wurden keine niO – Teile produziert. Alle Teile wurden durch das Prüfverfahren richtig bewertet. Die Trennleistung des verwendeten Klassifikators ist in Bild 7 visualisiert.

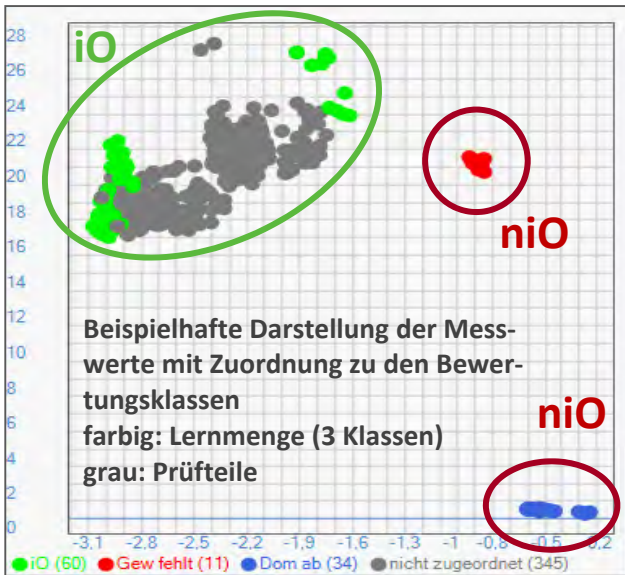


Bild 6: Ergebnis eines Reihenversuches in der Fertigung

Qualität der Merkmale:			
Merkmal	Mittlere Trennleistung	Maximale Trennleistung	Klassenpaar mit bester Trennung
1	99 %	99 %	Gew fehlt, iO
2	92 %	100 %	Dom ab, iO
3	99 %	99 %	Dom ab, iO
4	93 %	100 %	Dom ab, iO

Bild 7: Beurteilung der Trennleistung

6. Zusammenfassung

Es konnte nachgewiesen werden, dass sich die Wirbelstromprüfung für die Integration in eine Pressenlinie eignet. Die Störeinflüsse sind durch geeignete Konstruktion der Aufnahme für die Prüfsonde kompensieren. Die Bewertungssicherheit

Das Verfahren eröffnet die Möglichkeit, die derzeit manuell durchgeführte Sichtprüfung durch eine automatisierte Prüfung zu ersetzen. Damit kann der subjektive Einfluss durch den Prüfer auf das Ergebnis der Qualitätsprüfung vermieden und eine gleichbleibende objektive Qualitätskontrolle gesichert werden. Die sicherheitsrelevanten Merkmale werden zu 100% überprüft und überwacht.

Darüber hinaus ist es möglich, das Prüfergebnis wird lückenlos zu dokumentieren. Damit wird der Forderung nach der Nachverfolgbarkeit der Qualitätsmerkmale entsprochen.

Danksagung

Die Autoren bedanken sich für die finanzielle Unterstützung innerhalb des Verbundvorhaben in der Technologieförderung der Sächsischen Aufbaubank (Projekt-Nr.: 100067793/1645).

Literaturverzeichnis

- [1] Munde, A: „Qualität sichern beim Tiefziehen“; Fachbeiträge Der Schnitt- & Stanzwerkzeugbau 3/07 pp 26-28, Fachverlag Möller 2007
- [2] U. Siemer: Einsatz der Thermografie als zerstörungsfreies Prüfverfahren in der Automobilindustrie. Entwicklung einer Ingenieurplattform; Dissertation, Universität des Saarlandes, 2010
- [3] Abschlussbericht zum SAB Projekt „Inline- Qualitäts- und Prozessüberwachung zur Ressourceneinsparung und Nullfehlerproduktion bei Tiefzieh- und Rundknetprozessen“ Projekt-Nr.: 100067793/1645, 2013
- [4] Priber, U.; Kretschmar, W.: „Diagnose und Überwachung mit substrukturierten Fuzzy-Klassifikatoren“, Fraunhofer Institut für Umformtechnik und Werkzeugmaschinen, Chemnitz 2006

MOBILES ASSISTENZSYSTEM FÜR INSTANDHALTER

Michael Wächter, Thomas Löffler

Technische Universität Chemnitz, Professur Arbeitswissenschaft und Innovationsmanagement

Die Digitalisierung der Produktion steht für die intelligente Vernetzung von Maschinen und Anlagen entlang der gesamten Wertschöpfungskette, permanente Erfassung von Zustandsdaten und eigenständige Koordination notwendiger Inspektionen, Wartungen und Instandhaltungsmaßnahmen. Um eine hohe Verfügbarkeit der Maschinen und Anlagen zuverlässig zu sichern und die Wirtschaftlichkeit investitionsintensiver Produktionsanlagen zu gewährleisten, müssen Instandhalter und Servicetechniker schnell und lösungsorientiert reagieren können. Mobile Endgeräte bieten hier die Möglichkeit, relevante Informationen aus komplexen Datenmengen kontextspezifisch bereitzustellen. Ursprünglich für den privaten Gebrauch entwickelt, entsprechen aktuell verfügbare mobile Endgeräte jedoch weder produktionsspezifische Anforderungen noch den Anforderungen der Instandhalter für den täglichen Umgang mit solchen Systemen und sind daher wenig gebrauchstauglich. Der Beitrag zeigt die nutzerzentrierte Entwicklung eines gebrauchstauglichen Assistenzsystems für Instandhalter und damit einen ersten Schritt zur Lösung der beschriebenen Herausforderungen.

1. Einleitung

Im Zuge der Digitalisierung und der damit einhergehenden Vernetzung von Produktionsanlagen werden Zustandsdaten, relevante Informationen und verfügbare Ressourcen zukünftig direkt zwischen den Maschinen und Anlagen ausgetauscht. In einer digitalisierten Instandhaltung lassen sich dadurch Inspektionen, Wartungsarbeiten und Instandhaltungsmaßnahmen ohne menschlichen Eingriff koordinieren [1]. Mobile Endgeräte, ursprünglich für den privaten Gebrauch entwickelt, besitzen dabei das Potenzial, dem Instandhalter relevante Informationen zu Maschinenzustand, Wartungshistorie und Reparaturanleitungen mobil und ortsunabhängig zur Verfügung zu stellen [2, 3]. In der Gegenwart erfolgt der Informationsabruf häufig papierbasiert bzw. telefonisch und mobile Endgeräte sind noch selten im Einsatz. Ursache dafür scheint, dass aktuell verfügbare mobile Endgeräte für den Einsatz in der Produktion erhebliche Defizite im Bereich der systemischen Anforderungen, die sich aus der Digitalisierung ergeben, und den Nutzeranforderungen der Instandhalter aufweisen. Hardwarehersteller bieten zwar bereits mobile Lösungen für den Produktions- und Logistikbereich an, berücksichtigen allerdings nur industrielle Eigenschaften an eine robuste Bauweise und Staub- und Spritzwasserschutz. Um bei der Einführung neuer Technologien, wie mobiler Endgeräte, in den Produktionsbereich eine möglichst hohe Akzeptanz bei den Nutzern zu gewährleisten, bedarf es daher eine Neugestaltung der Mensch-Maschine-Schnittstelle (MMS), die den Anforderungen der Instandhalter gerecht wird [4].

Verortet im Paradigma der gestaltungsorientierten Forschung (DSR), zeigt der Beitrag einen ersten Schritt zur Schließung dieser Lücke. Es wird kurz eine nach DSR entwickelte Engineering-Methode zur Gestaltung gebrauchstauglicher tangibler MMS im Produktionsbereich vorgestellt und deren Erprobung am Beispiel der Entwicklung eines mobilen Assistenzsystems für Instandhalter sowie die Evaluation der entstandenen MMS aufgezeigt [5][4]. Ein Ausblick auf noch offene Forschungsfragen und Implikationen für die Praxis, insbesondere für Planer und Entwickler, schließen den Beitrag.

2. Methodische Vorgehensweise

Die verwendete Engineering-Methode zur Gestaltung gebrauchstauglicher tangibler Mensch-Maschine-Schnittstellen [5] bildet die Grundlage für die Gestaltung des mobilen Assistenzsystems für Instandhalter. Dabei besteht die Grundstruktur aus den vier Phasen Ideation, Konzeption, Konkretisierung und Umsetzung (Bild 1). Jede Phase durchläuft die grundlegenden Schritte einer nutzerzentrierten Entwicklung Analyse, Gestaltung, Prototyping und Evaluation [6]. Dabei werden den Nutzern der Engineering-Methode in jedem Schritt kontextspezifisch Verfahren und Werkzeuge zur Verfügung gestellt, die eine praxistaugliche Anwendung ermöglichen.

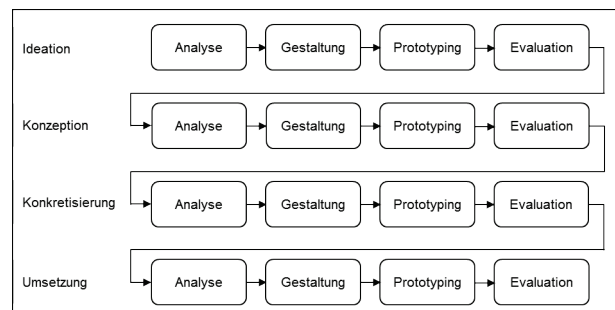


Bild 1: Grundstruktur der Engineering-Methode

Vor dem Hintergrund der Gestaltung einer tangiblen MMS besitzt das methodische Prototyping dabei eine besondere Bedeutung innerhalb der Engineering-Methode. Unter tMMS werden dabei in Erweiterung des Begriffs des Tangible User Interface (TUI), d. h. den haptischen Bedienelementen zur Manipulation der grafischen Benutzeroberfläche (GUI), auch alle weiteren hardwaretechnischen Funktionselemente zur Handhabung, z.B. Griffe oder Hinstell- und Transportvorrichtungen, gefasst [7].

Die folgenden Abschnitte skizzieren die Entwicklung eines mobilen Assistenzsystems für Instandhalter, die resultierenden Prototypen der einzelnen Ablaufphasen und dessen finale Bewertung der Instandhalter im Vergleich mit einem handelsüblichen Tablets.

3. Entwicklung des mobilen Assistenzsystems

Die Entwicklung des Assistenzsystems erfolgt in enger Zusammenarbeit mit Planern, Entwicklern und Instandhaltern von drei großen Automobilherstellern/-zulieferern. Dazu werden alle Phasen der Engineering-Methode nacheinander durchlaufen.

Im Rahmen der **Ideation** erfolgt zunächst eine Anforderungsanalyse mittels 18 leitfadengestützten Interviews und Prozessbeobachtungen sowie Fokusgruppen mit Instandhaltern (n=5). Die nichtfunktionalen Anforderungen an ein mobiles Assistenzsystem setzen sich dabei aus einer robusten Bauweise (d.h. Unempfindlichkeit ggü. Wasser/ Öl/ Sturz), einer Displaydiagonale von acht bis zehn Zoll und einer intuitiven Bedienung zusammen. Darüber hinaus ergeben sich folgende funktionale Anforderungen an die tMMS des mobilen Assistenzsystems: Bedienung mittels Touch und physischer Bedienelemente, Möglichkeit zum Hinstellen und Anheften an die Anlage während des Instandhaltungsprozesses sowie eine Transportmöglichkeit [7]. Die erhobenen Anforderungen der Instandhalter bilden dabei den Ausgangspunkt für die nutzerzentrierte Entwicklung des mobilen Assistenzsystems. Darauf aufbauend entstehen verschiedene Entwürfe zu den einzelnen Funktionen. Um Vorprägungen zu vermeiden und möglichst viele Gestaltungsideen zu generieren erhalten Nicht-Anwender (n=17) in mehreren Gruppen die Möglichkeit, Lösungsvarianten zu gestalten und mittels Modelliermasse und einem Polymerquader als Tablet-Ersatz prototypisch umzusetzen (Bild 2). Die Ergebnisse wurden anschließend von Experten der Produktergonomie (n=5) bewertet und bilden die Basis für die folgenden Phasen.

Die inhaltliche Ausrichtung der **Konzeption** fokussiert die Gestaltung einer ergonomischen Griffform. Aufbauend auf den Ergebnissen einer Analyse bestehender Griffe, entstanden drei verschiedene Griffvarianten (Bild 2). Während Griffform 1 die Ergebnisse der Ideation zugrunde liegen, orientiert sich Griffform 2 an einem aktuell in der Produktion eingesetzten Griff eines mobilen Anlagenpanels. Griffvariante 3 basiert auf den Maßen für Stellteile [8]. Die konzipierten Griffvarianten wurden mittels 3D-Druck prototypisch hergestellt und analog zur Ideation an einem Polymerquader angebracht. Dadurch entstanden drei Konzeptmodelle des mobilen Assistenzsystems, die anschließend von Instandhaltern (n=15) randomisiert nach dem lateini-

schen Quadrat [9] hinsichtlich des Griffkomforts bewertet wurden. Im Ergebnis resultierte dabei der Wunsch nach einer Kombination der ergonomischen Fingermulden von Griffvariante 1 und der Größe von Griffvariante 3.

Aufbauend auf den Ergebnissen entsteht im Rahmen der **Konkretisierung** die finale Griffform als Basis für die Gestaltung aller weiteren funktionalen Anforderungen. Auf Basis der vier Gestaltungsentwürfe aus der Ideation wurden verschiedene Gestaltungsvarianten der physischen Bedienelemente, den Hinstell- und Anheftfunktion sowie der Transportfunktion mit Hilfe eines morphologischen Kastens [10] aufbereitet. Dadurch konnten jeweils drei Varianten je funktionaler Anforderung ermittelt und prototypisch mittels 3D-Druck hergestellt werden. Die Evaluation der entstandenen Prototypen erfolgte in drei Fokusgruppen mit Instandhaltern (n=5). Dabei bewerteten die Teilnehmer zunächst analog zur Konzeption die finale Griffvariante und die drei Griffvarianten der Konzeption. Dieser Evaluationsschritt gewährleistet einen Vergleich aller Griffvarianten und zeigt im Ergebnis die Weiterentwicklung der finalen Griffvariante, die von Instandhaltern (n=15) am besten bewertet wird. Die Bewertung der einzelnen Gestaltungsvarianten zu den funktionalen Anforderungen erfolgte mittels Mehrpunktvergabe. Die Ergebnisse zeigen eine favorisierte Kombination der am besten bewerteten Gestaltungsvarianten als Ergebnis dieser Phase.

Die finale Gestaltungsphase **Umsetzung** zielt auf die Entwicklung und Evaluation eines funktionsfähigen Prototyps ab und vereint die Ergebnisse der vorangegangenen Ablaufphasen. Dazu werden die Ergebnisse der einzelnen Phasen final analysiert und die Griffform nach den Wünschen der Instandhalter angepasst. Im Rahmen des Prototyping entsteht ein eingebettetes System [11]. Mit Hilfe von hard- und softwaretechnischen Bausätze werden die in der Konkretisierung ausgewählten Steuer- und Bedienelemente funktionsprototypisch umgesetzt. Die Griffschalen, Taster und ausgewählten Gestaltungsvarianten der funktionalen Anforderungen werden mittels 3D-Druck hergestellt und an einem Tablet-Rahmen aus Kunststoff (PMMA) angebracht. Um die notwendige Robustheit für die finale Evaluation sicherzustellen, wird ein stoßfestes Outdoor-Tablet verwendet. Dadurch entsteht ein realistischer Funktionsprototyp des mobilen Assistenzsystems.



Bild 2: Prototypen der einzelnen Ablaufphasen des mobilen Assistenzsystems

4. Evaluation

Die Evaluation des mobilen Assistenzsystems erfolgte im Rahmen eines Usability-Tests in einem realen Instandhaltungsszenario (Bild 3).



Bild 3: Evaluation des mobilen Assistenzsystems

Zur Vergleichbarkeit der Ergebnisse mit herkömmlich gestalteten tangiblen MMS durchlaufen die Instandhalter (n=20) den Usability-Test zweimal. In einem Within-Subject-Design beginnen die Probanden randomisiert mit einem handelsüblichen Tablet oder dem Funktionsprototyp. Im Anschluss an jeden Durchlauf bewerten die Instandhalter das jeweilige mobile Assistenzsystem mittels der Fragebögen SUS [12], AttrakDiff [13] und meCUE [14].

Die Ergebnisse des SUS zeigen, dass die Instandhalter das Funktionsmodell mit $M=88,75$ ($SD=7,27$) signifikant ($p<0,01$) besser als den handelsüblichen Tablet-PC mit $M=68,25$ ($SD=11,73$) und somit als hochgebrauchstauglich bewerten (Bild 4).

Auch die Auswertung des AttrakDiff ergibt sowohl für die hedonische als auch für die pragmatische Qualität eine bessere Bewertung des Funktionsprototyps gegenüber dem herkömmlichen Tablet (Bild 5).

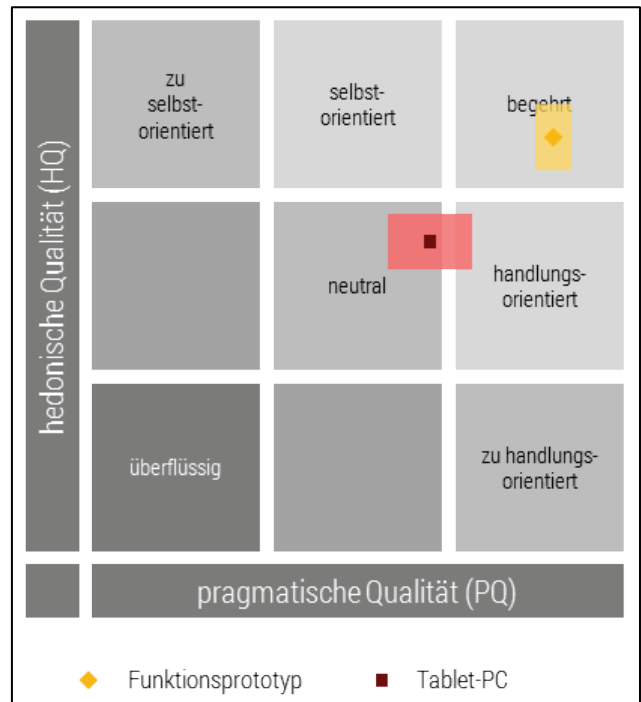


Bild 5: Evaluationsergebnisse des AttrakDiff

Auch die Analyse der Fragebogenbewertungen des meCUE spiegeln die Ergebnisse des SUS wieder. So bewerten die Instandhalter nicht nur die Nützlichkeit ($M=6,08$; $SD=0,53$) und die Benutzbarkeit ($M=6,50$; $SD=0,40$), sondern auch die visuelle Ästhetik ($M=5,63$; $SD=0,52$) und die Statuswahrnehmung ($M=4,15$; $SD=1,33$) des Funktionsprototyps hochsignifikant besser ($p<0,01$) gegenüber der Handhabung des herkömmlichen Tablet.

Die Ergebnisse zeigen eine deutlich bessere Bewertung des nutzerzentriert gestalteten mobilen Assistenzsystems und die praxistaugliche Anwendbarkeit der Engineering-Methode, die Entwickler auch zukünftig bei der Gestaltung gebrauchstauglicher tMMS unterstützen kann.

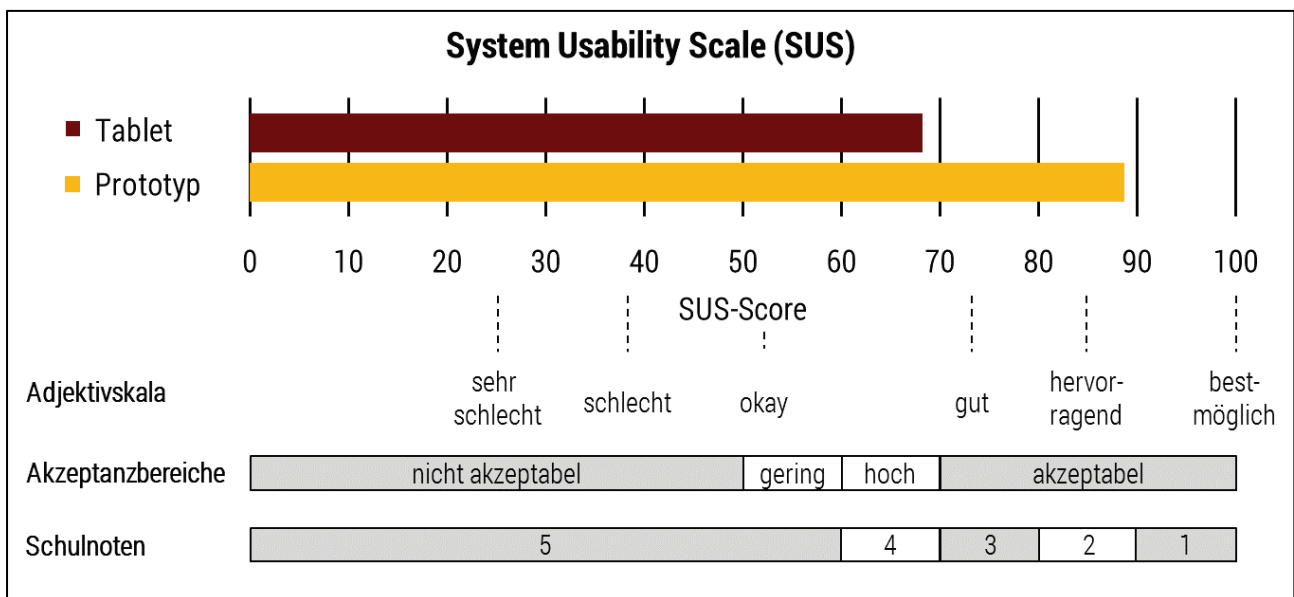


Bild 4: Evaluationsergebnisse des System Usability Scale

5. Zusammenfassung und Ausblick

Die exemplarische Gestaltung des mobilen Assistenzsystems für Instandhalter zeigt zum einen die Anwendbarkeit der Engineering-Methode zur Gestaltung gebrauchstauglicher tangibler Mensch-Maschine-Schnittstellen und zu anderen das Potenzial in der Gestaltung vorhandener mobiler Endgeräte für den Einsatz in der Produktion. Eine nutzerzentrierte Vorgehensweise und die damit verbundene Berücksichtigung der Anwenderanforderungen scheint dabei unerlässlich, um Mensch-Maschine-Schnittstellen zu gestalten die von den Anwendern akzeptiert und als gebrauchstauglich wahrgenommen werden.

Weiterer Forschungsbedarf hinsichtlich der Gestaltung mobiler Endgeräte für die Produktion liegt in der Berücksichtigung von altersabhängiger Anforderungen an tangible MMS. Zudem existiert eine Vielzahl weiterer mobiler Technologien, z.B. Smartglases, deren Gestaltung vor dem Hintergrund des Produktionseinsatzes Diskussionspotenzial besitzt.

Der hier entstandene Funktionsprototyp wurde patentrechtlich gesichert und befindet sich in der serienreifen Entwicklung mit einem Umsetzungspartner. Rückmeldungen von verwandten Anwendungsdomänen der Instandhaltung zeigen ein hohes Interesse an der entwickelten Lösung und die Möglichkeit der Übertragung in Bereiche mit ähnlichen Anforderungen an die tangible Mensch-Maschine-Schnittstelle von mobilen Assistenzsystemen, z.B. bei Servicetechnikern im Bereich der Telekommunikation oder Windkraft.

Literaturverzeichnis

- [1] Spath D, Ganschar O, Gerlach S, Hämmerle M, Krause T, Schlund S (2013) Produktionsarbeit der Zukunft - Industrie 4.0. [Studie]. Fraunhofer Verlag, Stuttgart
- [2] Scheer A (2013) Industrie 4.0. Wie sehen Produktionsprozesse im Jahr 2020 aus? IMC AG
- [3] Schröder C (2016) Herausforderungen von Industrie 4.0 für den Mittelstand. Gute Gesellschaft - soziale Demokratie #2017plus
- [4] Gorecky D, Schmitt M, Loskyll M (2017) Mensch-Maschine-Interaktion im Industrie 4.0-Zeitalter. In: Vogel-Heuser B, Bauernhansl T, Hompel Mt (Hrsg) Handbuch Industrie 4.0 Allgemeine Grundlagen. Allgemeine Grundlagen. Springer Berlin, S 219–236
- [5] Wächter M (2018) Engineering-Methode zur Gestaltung gebrauchstauglicher tangibler Mensch-Maschine-Schnittstellen für Planer und Entwickler von Produktionsassistenzsystemen. Wissenschaftliche Schriftenreihe des Institutes für Betriebswissenschaften und Fabriksysteme, Heft 127, Chemnitz
- [6] Norman DA (2013) The design of everyday things. Basic Books
- [7] Wächter M, Bullinger AC (2016) Gestaltung gebrauchstauglicher tangibler MMS für Industrie 4.0 – ein Leitfaden für Planer und Entwickler von mobilen Produktionsassistenzsystemen. Zeitschrift für Arbeitswissenschaft 70(2):82–88. doi:10.1007/s41449-016-0020-0
- [8] Deutsches Institut für Normung (2010) Ergonomische Anforderungen an die Gestaltung von Stellteilen (894-3). Beuth Verlag, Berlin
- [9] Bortz J, Döring N (2016) Forschungsmethoden und Evaluation. Für Human- und Sozialwissenschaftler, 5. Aufl. Springer-Lehrbuch. Springer, Heidelberg
- [10] Verein Deutscher Ingenieure (1997) Konstruktionsmethodik - Methodisches Entwickeln von Lösungsprinzipien, 2222. Aufl (2222 - Blatt 1). Beuth Verlag, Berlin
- [11] Goll J (2011) Methoden und Architekturen der Softwaretechnik. Vieweg+Teubner Verlag, Wiesbaden
- [12] Brooke J (1996) SUS-A quick and dirty usability scale. In: Jordan PW (Hrsg) Usability evaluation in industry. Taylor & Francis, London [u.a.], S 4–7
- [13] Hassenzahl M, Burmester M, Koller F (2003) AttrakDiff: Ein Fragebogen zur Messung wahrgenommener hedonischer und pragmatischer Qualität. In: Szwillus G, Ziegler J (Hrsg) Mensch & Computer 2003, Bd 57. Vieweg+Teubner Verlag, Wiesbaden, S 187–196
- [14] Minge M, Thüning M, Wagner I, Kuhr CV (2017) The meCUE Questionnaire: A Modular Tool for Measuring User Experience. In: Soares MM, Falcão C, Ahram TZ (Hrsg) Advances in Ergonomics Modeling, Usability & Special Populations, Bd 486. Springer International Publishing, Cham, S 115–128

METHODENWERKZEUG FÜR DIE GESTALTUNG VON MENSCH-MASCHINE-SCHNITTSTELLEN

Michael Kuhl^(a), Sabine Krause^(b), Marlene Kluge^(b)

a) Hochschule Mittweida, Technikumplatz 17, D-09648 Mittweida

b) Fraunhofer-Institut für Werkzeugmaschinen und Umformtechnik IWU, Reichenhainer Str. 88, D-09126 Chemnitz

Die Entwicklung von technischen Systemen, mit denen der Mensch interagiert, benötigt zunehmend die frühzeitige Betrachtung mensch-orientierter Aspekte. Ohne diese besteht die Gefahr, dass das System später vom Nutzer beispielsweise aufgrund seiner Erwartungshaltung bzgl. der möglichen Funktionalität, aufgrund objektiver Verletzungen von Normen oder Gesetzen oder einfach aufgrund subjektiver Wahrnehmungen nicht akzeptiert und damit nicht genutzt wird. Um technische Entwickler frühzeitig zu sensibilisieren und eine Arbeitshilfe an die Hand zu geben, wurden die Anforderungen und Inhalte für ein entsprechendes Tool entwickelt und in einer iterativ erweiterbaren Softwarelösung umgesetzt. Die Toolbox ist speziell aus den Fragestellungen für 3D-Technologien heraus entstanden, kann jedoch aufgrund seiner Abstraktionsebenen auch in andere Bereiche überführt werden.

1. Einleitung

Themen des Internet-of-Things (IoT), der Mensch-Maschine-Interaktion (MMI) oder des Einsatzes von Virtueller oder Augmented Reality (VR/AR) dominieren zunehmend die Forschungsagenda bei der Entwicklung von Systemen zur Maschinen-, Prozess- oder auch Qualitätsüberwachung in der Produktion.

Zu Recht wird dabei betont, dass technische Systeme für die Interaktion mit einem Nutzer bereits in sehr frühen Entwicklungsphasen auf diesen zugeschnitten werden müssen. Dabei sollte jedoch nicht nur die Gestaltung der grafischen Benutzeroberfläche oder die ergonomische Gestaltung von Bedien- und Flächenelementen, sondern eine gesamtheitliche Betrachtung gemeint sein.

Insbesondere im Bereich der Entwicklung von 3D-Technologien muss diese interdisziplinäre Zusammenarbeit gleichberechtigt erfolgen, um eine spätere Akzeptanz und Akzeptabilität der späteren Applikation zu gewährleisten. Das Scheitern der Google-Glass zeigt das Dilemma, wenn dies nicht beachtet wird. Im konkreten Fall wurden zwar die Nutzer, jedoch nicht die Betroffenen als (unfreiwilliger) Interaktionspartner mit einbezogen. Hierdurch entstand ein Mangel an Akzeptabilität in der Gesellschaft, das Produkt scheiterte in seiner geplanten Applikation.

Da vor allem kleinere Entwicklungsunternehmen kaum eigenes Personal im Bereich der Arbeitswissenschaften vorhalten können, erfolgt eine Adaption von Technologien jedoch häufig noch immer erst in der finalen Umsetzung und damit deutlich zu spät. Umgekehrt restriktiert ein rein menschzentrierter Entwicklungsansatz - wie er heutzutage häufig propagiert wird - die Möglichkeiten technischer Systeme von vornherein sehr stark.

Systementwicklern ein greifbares Instrument zur frühzeitigen Sensibilisierung und Umsetzung einer menschenorientierten Entwicklung an die Hand zu geben, war daher Zielstellung des Projektes „Methodenforschung zur Gestaltung von MMI für 3D-Technologien – MeGest-3D.“

2. Aufgabenstellung

Gerade beim immer stärker wachsenden Einsatz von Systemen zur 3D-Informationaufnahme, -verarbeitung und -ausgabe spielt der Mensch mit seinem soziotechnischen Arbeits- und Lebenskontext eine zentrale Rolle. Maschinen erhalten durch optische 3D-Technologien die Fähigkeit der visuellen Aufnahme und Interpretation komplexer Szenarien. Jeder Endnutzer hat dabei spezifische Anforderungen an das System, welche nicht allein durch technische Herangehensweisen gelöst werden können. So kann es in einem Szenario wichtig sein, den Mensch in seiner Zuordnung als Person determiniert zu erkennen, in einem anderen Fall ist dies aufgrund der Datenschutzgesetzgebung a priori verboten.

Wichtig ist es, diese Spezifika zu erkennen, eine möglichst optimale Handlungsempfehlung zu ermitteln und diese in Technologieprojekten frühzeitig zu berücksichtigen.

3D-Technologien umfassen nicht nur die räumliche Darstellung von Objekten. Der Nutzer dieser Technologien, will mit den Objekten interagieren. Neben der Verbesserung der Mensch-Maschine-Interaktion aus technologischer Sicht, ist es daher gleichfalls wichtig, die nichttechnologische Seite zu betrachten.

Nur so ist es möglich, eine Position zu erreichen, in welcher der Mensch die Maschine als Partner akzeptiert. Maschinen werden zu situativ agierenden Partnern und personalisierten Assistenten des Menschen in den Lebens- und Arbeitswelten.

Der Nutzer ist hierfür in seinen unterschiedlichen Rollen innerhalb verschiedener Bedarfssfelder zu differenzieren und der notwendige Gestaltungsumfang für die 3D-Technologien zu ermitteln.

Das Forschungsvorhaben konzentriert sich daher konkret auf die Erstellung von Gestaltungsempfehlungen für die Entwicklung von 3D-MMI-Technologien im Bereich der Produktionstechnik anhand von praxisnahen Anwendungsszenarien sowie deren Aggregation und Darstellung in einem offen erweiterbaren Datenbanksystem.

Dies dient der frühzeitigen Unterstützung von Entwicklern produktionstechnischer Systeme, adressierte aber im Gesamtprojekt auch die Bereiche Mobilität, Gesundheit sowie Sicherheit.

3. Durchführung

Es gibt zahlreiche Veröffentlichungen zur Thematik Mensch-Maschine-Interaktion. Die wesentliche Basis für die Arbeit stellen dabei Normen und Richtlinien dar. Zur Gestaltung der 3D-Technologien spiegeln sie den Stand der Technik und definieren die Anforderungen an Produkte und Dienstleistungen. [1]

Darüber hinaus müssen Verordnungen, technische Regeln aber auch anerkannte Gestaltungsempfehlungen und Methoden Eingang in das Tool finden können. Hierzu wurde ein bedarfsfeldabhängiges Screening von Technologieprojekten in Bezug auf nutzerrelevante Auswirkungen gestartet und eine 3D-Technologiematrix, hier bezüglich der Technologieprojekte der Allianz „3Dsensation“ erstellt. Im folgenden Schritt wurden für die Bedarfsfelder umfassend relevante und praxisnahe Anwendungsszenarien abgeleitet.

Anwendungsszenarien

Für das Bedarfsfeld Produktion wurden drei verschiedenartige Anwendungsszenarien aufgestellt¹:

a) Anwendung im Bereich der *Qualitätssicherung* und als *Informations- und Assistenzsystem*.

Dem Produktionsmitarbeiter werden mit Hilfe von Informations- und Assistenzsystemen, z. B. einer AR-Brille, fehlerhafte Bauteile angezeigt und er kann die entsprechenden Teile aussortieren.

b) *Fahrerlose Transportsysteme* im Bereich der Intralogistik. Der Transportroboter sorgt für den Nachschub der benötigten Bauteile zur richtigen Zeit, am richtigen Ort und in der benötigten Stückzahl.

c) *Montagearbeitsplatz* mit unterstützendem Robotersystem; die positiven Eigenschaften des Menschen (Intelligenz, Flexibilität, Kreativität, ...) werden mit den positiven Eigenschaften einer Maschine (Kraft, Ausdauer, Präzision, ...) verknüpft.

Damit der Mensch die Maschine als „Partner“ akzeptieren kann, sollte diese in der Lage sein, alle Bewegungen sowie Mimik und Gestik des Menschen zu erkennen und entsprechend natürlich zu reagieren oder z.B. ausweichen, wenn der Mensch in die Gefahrenzone gelangt. Dafür werden i.d.R. Sensoren oder 3D-Kameras eingesetzt, die in Echtzeit alle relevanten Informationen liefern müssen.

Alle drei Szenarien können ineinander aufgehen und erweitert werden.

¹ Für das Bedarfsfeld Gesundheit wurden ebenfalls vier praxisnahe Anwendungsszenarien abgeleitet, diese sind jedoch nicht Gegenstand dieser Veröffentlichung

Anforderungsstruktur

Anschließend wurden allgemeine Anforderungen an die MMI-Gestaltung aus der Sicht der Berufsgruppen im Bedarfsfeld Produktion betrachtet. Um die MMI nutzergerecht gestaltet zu können, muss eine Vielzahl von Anforderungen berücksichtigt werden, u.a.:

- Nutzungskontext des Systems
- Arbeitsteilung zwischen Mensch und Maschine
- Arbeitsumgebung (Räumlichkeiten, Größe, ...)
- Sicherheit / Sichere Menscherkennung
- Gebrauchstauglichkeit / Lernförderlichkeit
- Arbeitsbelastung (gesundheitliche Aspekte, ...)
- Natürliche Interaktion (Gesten, Mimik, ...)
- Beachtung unterschiedlicher Nutzergruppen (Bediener, Instandhalter, ...)
- Individuelle Nutzermerkmale (Fähigkeiten, Ausbildung, Alter, kultureller Hintergrund der Nutzer, ...)
- Situative Merkmale (Konzentrationsfähigkeit, „Zustand“ des Nutzers, ...)

• Akzeptanz und Vertrauen in Bezug auf die Technik
Zur Berücksichtigung mehrerer Anforderungen in verschiedenen Szenarien ist eine hohe Detaillierung erforderlich. Da auf Grund der Komplexität zum Zeitpunkt der technischen Entwicklung selten Zeit ist, sich mit mehreren Anforderungen gleichzeitig auseinanderzusetzen, hat sich die Verschriftlichung der Szenarien als schwer handhabbar herausgestellt. Um dennoch eine generische Herangehensweise sicherzustellen, wurden anhand der Anforderungen Eigenschaftsgruppen aufgebaut, die es zulassen, praxisnahe Anwendungsszenarien strukturiert, vergleichbar und einheitlich mit Hilfe eines Szenario-Gerüsts zu beschreiben.

Als Ansatz zur Definition von geeigneten Eigenschaftsgruppen für das Szenario-Gerüst wurde entsprechende Literatur sowie die Beschreibung eines Arbeitssystems nach DIN EN ISO 6385:2004 herangezogen [2,3,4]. Allgemein kann ein Arbeitssystem durch die Elemente Arbeitsperson, Arbeitsauftrag, Arbeitsaufgabe, Eingabe, Ausgabe, Arbeitsmittel, Arbeitsobjekte und Umwelteinflüsse beschrieben werden. Damit ist ein Ordnungsschema zur systematischen Beschreibung beliebiger Arbeitsplätze gegeben.

Die erarbeiteten Inhalte wurden verdichtet und folgende relevante 3D-Technologie-Kern-Szenarien innerhalb der Allianz 3Dsensation abgeleitet:

- Der Mensch nutzt die 3D-Technologie
- Der Mensch wird von der 3D-Technologie aufgenommen
- Der Mensch arbeitet mit der 3D-Technologie zusammen

In der VDI-Richtlinie 2242 „Konstruieren ergonomiegerechter Erzeugnisse“ wird von der Fragestellung ausgegangen, inwieweit der Mensch „Nutzer“, „Handelnder“ oder „Betroffener“ ist. Mit Hilfe dieser Rollen lassen sich die Situationen des Menschen, in der

er sich in Bezug auf den Einsatz von 3D-Technologien befindet, sehr gut beschreiben. Weiterhin ist zwischen Privat- und Arbeitsperson zu unterscheiden, da sich hier teilweise starke gesetzliche Differenzen ergeben.

Anhand der Kern-Szenarien und der verschiedenen Rollen wurden weitere generalisierte Eigenschaftsgruppen abgeleitet, um eine rekonstruierbare Beschreibung zu sichern. In der folgenden Übersicht sind alle Eigenschaftsgruppen zusammenfassend dargestellt.

Bedarfsfeld	Produktion	Mobilität	Gesundheit	Sicherheit
Einsatzort	Öffentlichkeit	Arbeitsraum	Privater Raum	
3D-Technologie	3D-Hautscanner	3D-Körperscanner	Montage-Roboter	Med. Roboter
Phase im Entwicklungsprozess	Idee	Konzept	Entwicklung	Test/Evaluierung
Evaluationsphase	Beanspruchung des Nutzers		Nutzererleben	Nutzerfeedback
Einsatzzweck - Produktion	Planung	Montage	Maschinensteuerung / Wartung	
Einsatzzweck - Mobilität	Fahrzeuginnenraum		Fahrzeugumfeld	C2C-Kommunikation
Einsatzzweck - Gesundheit	Prävention	Diagnostik	Therapie	Chirurgie
Einsatzzweck - Sicherheit	Öffentlicher Platz	Verkehr	Gebäude	Räumliche Gestaltung
Nutzer	Nutzer - Privatperson		Nutzer - Arbeitsperson	
Häufigkeit	selten	gelegentlich	regelmäßig	

Abb. 1: Auszug aus den Eigenschaftsgruppen

Es liegt generell die Annahme zu Grunde, dass für jede Szenario-Eigenschaft mindestens eine spezifische Gestaltungsempfehlung zugeordnet werden kann und somit für die Entwickler die Möglichkeit geschaffen wird, sich Gestaltungsempfehlungen für ein Anwendungsszenario zusammen zu stellen.

Diese Eigenschaftsgruppen wie auch die Auswahlmöglichkeiten der Szenario-Eigenschaften sind erweiterbar, wenn eine Gruppe um Gestaltungsempfehlungen ergänzt werden soll.

Gestaltungsmaßnahmen

Das Spektrum von Gestaltungsmaßnahmen ist vielfältig. Es reicht von der Vermeidung bzw. Substitution gesundheitsschädlicher Arbeitsstoffe über Gefahrenaufklärung bis zu Maßnahmen der Partizipation von Kompetenzen und Zuständigkeiten.

Für die Sammlung und Listung dieser Empfehlungen wurde definiert, welche Gesetze, Regelungen und Methoden relevant sind und wie sie wiederum Eigenschaftsgruppen, z.B. Sichere Menscherkennung, Alltagstauglichkeit, Ergonomie oder Akzeptanz zugeordnet werden können [5,6,7,8]. Selbstverständlich bilden auch diese aus dem Projekt heraus ein Grundgerüst und sind erweiterbar.

Auf Grund der Gestaltungsanforderungen ergaben sich innerhalb des Projektes die folgenden Methoden-Kategorien:

- Gesetze – rechtliche Absicherung
- Sicherheit – Sicherheitsgerechte Gestaltung
- Ergonomie – Ergonomische Gestaltung
- Usability – Gebrauchstaugliche Gestaltung
- Vertrauen – Messmethoden
- Akzeptanz – Messmethoden

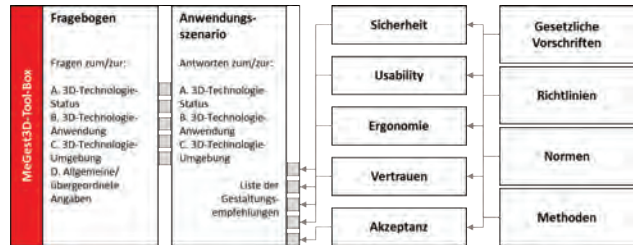


Abb. 2: Verknüpfungsansatz zwischen den Szenario-Eigenschaften und den Gestaltungsempfehlungen

Umsetzung

Das Ziel der Umsetzung ist die Unterstützung von Entwicklern bei der Auswahl von Gestaltungsempfehlungen für nutzergerechte 3D-Technologien. Für die Umsetzung wurde eine datenbankbasierte Software als „Toolbox“ entworfen. Über diese wird zu nutzungsabhängigen und rekonstruierbaren Gestaltungsempfehlungen über geeignete Fragestellungen hingeleitet. Der Nutzer der Toolbox erhält eine kompakte Anzeige der praxisnahen Gestaltungsempfehlungen und soll somit für die Berücksichtigung der nichttechnologischen Aspekte bei der Entwicklung einer 3D-Technologie sensibilisiert werden.

Den Ausgangspunkt bildet hierzu ein Fragebogen, der der Erfassung der Einsatzvarianten und des Entwicklungsstatus der Technologieprojekte dient. Dafür wurden die Rahmenbedingungen und Einflussfaktoren der zu entwickelnden 3D-Technologie auf das jeweilige Anwendungsszenario gesammelt. Die Rahmenbedingungen können als gegeben betrachtet werden, die Einflussfaktoren sind hingegen variabel und können sich im Laufe des Entwicklungsprozesses verändern. Das bedeutet, dass ein Anwendungsszenario im Prozessverlauf angepasst und spezifiziert werden sowie gegebenenfalls um zusätzliche Technologien erweitert werden kann.

Der Fragebogen ist in vier Fragenblöcke unterteilt:

- A. 3D-Technologie-Umgebung
- B. 3D-Technologie-Status
- C. 3D-Technologie-Anwendung
- D. Allgemeine/übergeordnete Nutzer- und Technologieabfrage

Der Aufbau ergibt sich aus einer Betrachtung der Objektseite des Arbeitssystems in Bezug auf eine Technologie sowie einer ergänzenden übergeordneten Rubrik [3]. Die Antworten implizieren verschiedene Szenario-Eigenschaften für ein Anwendungsszenario, in dem die Technologie zum Einsatz kommen kann. Durch die Darstellung im möglichen Nutzungskontext können gezielt Gestaltungsempfehlungen gegeben werden.

A. 3D-Technologie-Umgebung B. 3D-Technologie-Status C. 3D-Technologie

Welchem Bedarfswelt ordnen Sie Ihre Technologie zu? (Mehrfachnennung möglich)

Produktion Gesundheit
 Mobilität Sicherheit

In welchem Bereich kommt Ihre Technologie zum Einsatz?

Öffentlichkeit Arbeitsort

In welcher Umgebung wird Ihre 3D-Technologie zum Einsatz kommen?

Statische Umgebung Innenbereich
 Dynamische Umgebung Außenbereich

Ist Ihre 3D-Technologie in der Lage eine sichere Menschenkennung zu gewährleisten?

Sichere Menschenkennung Keine sichere Menschenkennung
 Eingeschränkte sichere Menschenkennung Nicht erforderlich

Welche Interaktionsform tritt bei Ihrer 3D-Technologie am ehesten auf?

Ko-Existenz Kooperation
 Kommunikation/Synchronisation Kollaboration

Wie werden bei Ihrer 3D-Technologie die relevanten 3D-Daten erfasst/erzeugt?

Aufnahme Eingabe über Gestik/Mimik
 Manuelle Eingabe Eingabe über Sprache

Sind bei der Verarbeitung Ihrer 3D-Daten direkte bzw. indirekte Rückschlüsse auf personenbezogene Daten möglich?

Nein Teilweise

Welche Aktion/Reaktion lösen Ihre 3D-Daten am ehesten aus?

Ausgabe/Anzeige der 3D-Daten Systemreaktion: Fahrzeug
 Manuelle Auswertung Systemreaktion: Roboter

Welche besonderen Normen und Richtlinien müssen bei der Nutzung Ihrer Technologie bzgl. Arbeitsort (Stichwort: Gefahrenraum)

Verkehrswege Ungeschützte bewegte Maschinenteile
 Energiemanagement Strassenzulassung

Nächste Kategorie >

Abb. 4: Ausschnitt 3D-Technologie-Anwendung

Die MeGest-3D-Toolbox ist von der Herangehensweise sehr variabel, so dass sie auch auf andere Produkte, mit anderen Fragestellungen angepasst werden könnte. Dafür müssten dann die Gesetze, Verordnungen, technischen Regeln und Methoden entsprechend neu verknüpft werden.

5. Zusammenfassung

Für eine frühzeitige Einflussnahme bezüglich mensch-orientierter Themenstellungen in technik-orientierten Systementwicklungen wurde ein Werkzeug zur Unterstützung und Orientierung der Entwickler aufgebaut. Um einen generellen und generischen Ansatz zu liefern, wurden, abgeleitet aus konkreten Szenarien, verallgemeinernde Strukturen hinsichtlich Anforderungen, Szenario-Eigenschaften und Gestaltungsempfehlungen getroffen.

Diese wurden in eine datenbankbasierte Toolbox überführt, aus der bereits von Beginn eines Entwicklungsprojektes an die Bedürfnisse der späteren Nutzer herzuleiten und schließlich in der gesamten Entwicklungsphase umzusetzen sind.

Die MeGest-3D-Toolbox steht über ein Web-Interface den Mitgliedern der Allianz „3Dsensation“, insbesondere den 3D-Technologie-Entwicklern, und in Folge auch externen Partner zur Verfügung. Sie soll insbesondere als unterstützendes Instrument für

die Entwicklung von 3D-Technologien genutzt werden, durch die gezielte Anwendung und entsprechende Dokumentation können jedoch Synergieeffekte in anderen Anwendungsbereichen als Grundlage hinsichtlich einer Standardisierung auf dem Gebiet der menschenzentrierten Gestaltung von Technologien und Produkten genutzt werden.

So wird parallel durch den Verbundpartner, der Professur für Arbeitswissenschaft und Innovationsmanagement an der TU Chemnitz, ein in die Datenbank eingehendes Methodenhandbuch iterativ ergänzt und ein Aufgabenset entwickelt, welches u.a. die Bewertung dreidimensionaler Ein- und Ausgabegeräte auch mit wenig methodischem Wissen und geringem Aufwand ermöglicht. Dieses Aufgabenset wird in umfangreichen Studien evaluiert, angepasst und steht anschließend als Input zur Verfügung.

Danksagung

Die Autoren bedanken sich für die Unterstützung und Förderung des Projektes beim Bundesministerium für Bildung und Forschung. Das Projekt wurde im Rahmen des Programms „Zwanzig20 – Partnerschaft für Innovation“ unter dem Förderkennzeichen 03ZZ0426A gefördert.

Literaturverzeichnis

- [1] Deutsche Normungsstrategie, DIN Deutsches Institut für Normung e. V. Burggrafenstraße 610787 Berlin Redaktionskomitee DIN/DKE 2011
- [2] DIN EN ISO 6385:2016-12: Grundsätze der Ergonomie für die Gestaltung von Arbeitssystemen
- [3] Schlick, Ch.; Bruder, R.; Luczak, H.: Arbeitswissenschaft, Springer Berlin Heidelberg, ISBN: 978-3-662-56036-5, 2018
- [4] VDI-Richtlinie 2242: „Konstruieren ergonomiegerechter Erzeugnisse“
- [5] DIN EN ISO 12100:2011-03: Sicherheit von Maschinen - Allgemeine Gestaltungsleitsätze - Risikobeurteilung und Risikominderung
- [6] DIN EN ISO 10218-1:2012-01: Industrieroboter - Sicherheitsanforderungen - Teil 1: Roboter
- [7] DIN EN ISO 26800:2011-11: Ergonomie - Genereller Ansatz, Prinzipien und Konzepte
- [8] DIN EN ISO 9241-11: Ergonomie der Mensch-System-Interaktion - Teil 11: Gebrauchstauglichkeit
- [9] Bullinger-Hoffmann, A. et al.: Methodensammlung "Faktor Mensch", Mitgliederversammlung der Innovationsallianz 3Dsensation, TU Chemnitz, Arbeitswissenschaften und Innovationsmanagement, 2015
- [10] Trommsdorff, V.; Steinhoff, F.: Innovationsmarketing, Vahlen Verlag ISBN 978-3-8006-2022-7, 2007

BERUFSBEGLEITENDE ERHEBUNG UND AUSWERTUNG VON VITALDATEN ALS ELEMENT DER GESUNDHEITSFÖRDERUNG IM ARBEITSPROZESS

Torsten Merkel, Marcel Zinke

Westfälische Hochschule Zwickau, Fakultät Automobil- und Maschinenbau,
Äußere Schneeberger Str. 15 in 08056 Zwickau

Abstract: Die Arbeitswissenschaft untersucht die Bedingungen und Auswirkungen menschlicher Arbeit, um daraus Beurteilungs- und Gestaltungsregeln zu gewinnen. Mit dem Wandel des Arbeitslebens verändern sich auch die Rahmenbedingungen der Arbeit selbst dynamisch. Auslöser solcher Prozesse sind Veränderungen von Arbeits- und Lebensstil, der Mensch-Technik-Interaktion, der Arbeitszeit sowie den damit verbundenen Anforderungen an Flexibilität, Mobilität, Entscheidungsfähigkeit und Selbstorganisation. Als Folge dieser Entwicklung lässt sich ein Anstieg der Komplexität arbeitsbezogener Anforderungen feststellen. Eine korrekte Einordnung entsprechender Arbeitsbelastungen bedarf einer ganzheitlichen Betrachtung der Wirkung gegenseitiger Beziehungen. Damit schließen sich eine Vielzahl klassischer Verfahren der Arbeitsanalyse, welche die einzelnen Sachverhalte situativ und losgelöst voneinander betrachten, aus.

Da eine Beurteilung komplexer Anforderungssituationen für den einzelnen Arbeitsanalytiker nur bedingt beherrschbar sein kann, setzt sich der Beitrag theoretisch und empirisch mit der Frage auseinander, ob durch den Einsatz von Wearables eine analytische Begleitung und Assistenz menschlicher Arbeit möglich ist. Es wird der Frage nachgegangen, ob mittels Wearables objektive und belastbare Aussagen zur Wirkung dynamischer Bündel unterschiedlicher Belastungen möglich sind, um anerkannte Verfahren der Arbeitssystemanalyse zu ergänzen, zu substituieren bzw. weiterzuentwickeln.

Die Entwicklung von Arbeitswelten wird dynamisch von Technologie, Gesellschaft, Markt und weiteren Faktoren getrieben, Anforderungen verändern sich stetig weiter. Im 2017 abgeschlossenen Projekt „Psychische Gesundheit in der Arbeitswelt – Wissenschaftliche Standortbestimmung“ wurden grundsätzliche Forschungsbedarfe aufgrund wachsender Komplexität von Anforderungen erörtert und ein vielschichtiges Bild mit mehr als 20 Arbeitsbedingungsfaktoren herausgearbeitet. Besondere Herausforderungen bestehen in der Entwicklung und individuellen Wirkung sich gegenseitig beeinflussender Belastungsfaktoren auf den Menschen, welche situativ sowohl kumulative als auch ausgeglichene Wirkungen entfalten.

Demografisch bedingt nimmt nach den Aussagen des BMAS der Anteil der älteren Arbeitnehmer zu, was arbeitswissenschaftlich betrachtet die Bedeutung einer altersdifferenzierten Gestaltung von aufgabenspezifischen Belastungen steigen lässt. Die mit dem Alter einhergehenden Leistungsverluste sind nur bedingt durch Wissen, Training und Erfahrung kompensierbar. Die Gestaltung leistungsadäquater Arbeitsanforderungen in einem dynamischen Veränderungsprozess kann nur das Ergebnis einer begleitenden Analyse der aus den zu bewältigenden Anforderungen entstandenen Beanspruchungen sein. Die dafür notwendige Reflexion der Anforderungen kann durch individuelle Assistenz unterstützt werden. In der Arbeitssituation stehende Freiheitsgrade sollten durch die Betroffenen mit Unterstützung von Arbeitsmedizinern, Planern und den Verantwortlichen für Arbeitssicherheit selbst für eine ausführbare, schädigungsfreie und persönlichkeitsfördernde Arbeitsausführung genutzt werden. Ziel des interdisziplinären Teams „midasKMU“, bestehend aus 8 Nachwuchsforschern, welches vom Europäischen Sozialfond und dem Sächsischen Ministerium für Wissenschaft und Kunst unterstützt wird, ist die Entwicklung einer Assistenz

der Mitarbeiter zur Reflektion und anforderungsge- rechten Verbesserung der Arbeit.

Unter dem Aspekt der Arbeitsanalyse erfolgt im Projekt eine Beschreibung von Realprozessen, welche zeitgleich mit den Vitalparametern der ausführenden Personen überlagert werden. Diese Analyse gründet auf der Arbeitssystembeschreibung nach REFA (Arbeitsaufgabe, -ablauf, Mensch, Betriebsmittel, Ein- und Ausgabe sowie Umwelteinflüsse) und nutzt bei dynamischen Tätigkeiten beispielsweise die Grenzwerte der Leitmerkmal-methode Heben und Tragen von Lasten. Sowohl REFA als auch MTM bieten einen sehr hohen Detaillierungsgrad bei der Beschreibung des Prozesses, welcher nicht über die Auswertung der Vitaldaten visualisier- oder interpretierbar ist. Somit ist eine konzentrierte Beschreibung der Tätigkeitsfelder und -formen zur kardiovaskulären Beurteilung von Beanspruchungen hilfreich, wie in Abbildung 1 dargestellt. Abgeleitet von ROHMERT 1983 bilden *energetische Arbeit* (rein mechanische Arbeit mit dem Ziel der Kraftübertragung) und *informatrische Arbeit* (Generieren von Informationen durch kreative Denkprozesse) die äußeren Extrema bei der Zuordnung von Arbeitsformen, die verschiedenen Arten der Arbeit finden sich dazwischen und sind Mischformen. Erste Rückschlüsse auf die damit verbundenen Belastungen lassen sich aufgrund beanspruchter Organe und Körperfunktionen ziehen. Einen Großteil der körperlichen Arbeit stellt die Muskelarbeit dar, welche in statisch und dynamisch unterschieden wird. Während statische Muskelarbeit in Halte- und Haltungsarbeit untergliedert wird, findet die dynamische Arbeit immer in Bewegung statt und unterscheidet sich grundlegend in einseitige und schwere dynamische Muskelarbeit. Die Schwere wird dabei anhand des Anteils der Skelettmuskulatur im Einsatz der Tätigkeit differenziert.

Prinzipien Zeitkonzept, Beispiel Tätigkeits- und Prozessanalyse

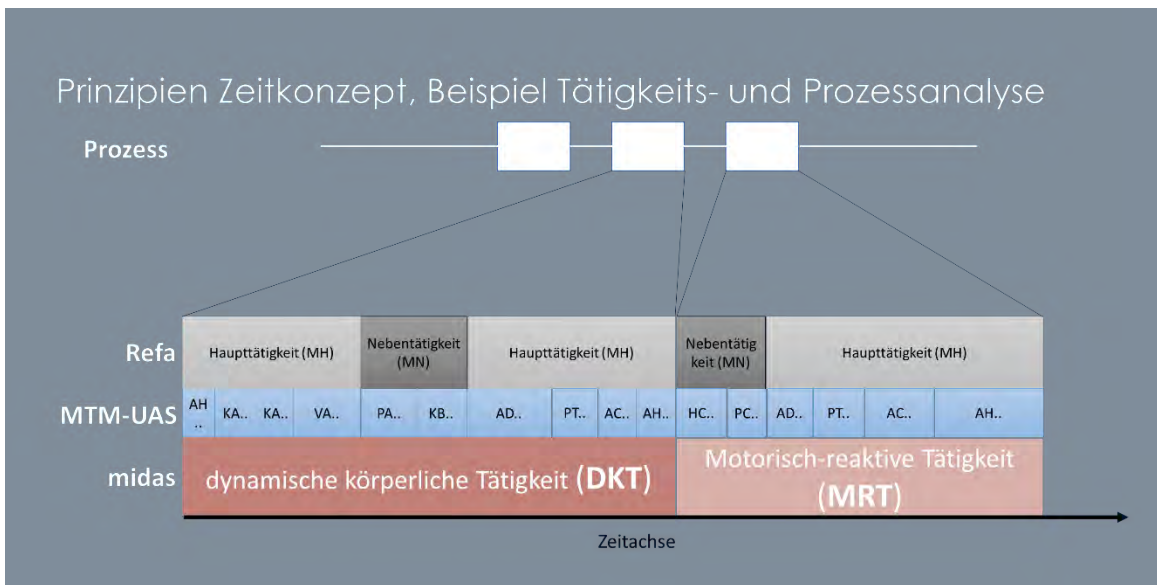


Abbildung 1: Schema der Tätigkeitsformen nach midas

In der Arbeitswissenschaft kann die Belastung, also die Schwere einer Tätigkeit, in Abhängigkeit der spezifischen Anforderungssituation mit verschiedenen Verfahren quantifiziert werden. Als typischer Parameter erfolgt die Beurteilung von Herzfrequenz, Atmung, (Energieumsatz) und Körpertemperatur. Bekannt ist, dass die Herzfrequenz umso stärker ansteigt, je höher die Belastung durch statische Muskelarbeit ist und je mehr Muskeln bei dynamischer Muskelarbeit

eingebunden werden. Somit eignet sich die Herzfrequenz als Maß zur Bestimmung physischer Belastungen in der Tätigkeit. Um nun die einer Arbeitsform zuzuordnenden Tätigkeitsformen zu unterscheiden, wurden diese definiert und sind im folgende in Tabelle 1 aufgelistet. Diese Definition erfolgte projektintern in Anlehnung an ROHMERT 1983. Eine weitere Unter- setzung zeigte sich als nicht zielführend.

Tabelle 1: Tätigkeitsformen midas, nach ROHMERT 1983

XKT	extreme körperliche Tätigkeiten	Tätigkeiten mit großen körperlichen Anstrengungen, oft in Zwangshaltung oder mit zusätzlich hohem Gewicht
DKT	dynamische körperliche Tätigkeiten	mechanische Tätigkeiten mit frequentiertem Bewegungs- oder Lastwechsel >25% zur Gesamttätigkeit
SKT	statische körperliche Tätigkeiten	Halbtätigkeiten und/oder oft Einrichtungsarbeiten
MRT	motorisch-reaktive Tätigkeiten	meist feinmotorische Tätigkeiten, hauptsächlich mit Bewegung der oberen Extremitäten
KDT	kognitive und digitale Tätigkeiten	Tätigkeiten hauptsächlich geistiger Natur

Die Bestimmung der Herzfrequenz findet klassisch über Elektroden statt, kann jedoch alternativ über eine optoelektronische Messung erfolgen. In ersten Laborversuchen konnten beide Verfahren untersucht und gegenübergestellt werden. Handelsübliche Wearables erfassen die Herzfrequenz optisch nach dem Prinzip der Photoplethysmografie und erfassen im Gegensatz zu medizinischen Geräten nicht im Kilohertzbereich, die Abstraten betragen hierbei ca. 1 Hz bis 0,2 Hz. Ebenso können Gefäßkrankheiten, seitlich einfallendes Streulicht oder Körperbehaarung Störquellen der eng am Handgelenk liegenden Sensorik darstellen. Dennoch können mit dieser Methode Trends und Trendverläufe über Schicht-, Tages- oder

Wochenverläufe abgeleitet werden. In ersten Labortests konnten die Tätigkeiten KDT, MRT, SKT und DKT untersucht werden. Diese bilden reproduzierbare Plateaus, welche als Basis zur späteren Erkennung und Zuordnung der Tätigkeitsform dienen. Diese Untersuchungen zeigten, dass kurzzyklische Tätigkeiten unterhalb 4 Minuten schwer abzubilden sind, eine detaillierte Form der Beschreibung dieser Tätigkeiten ist nicht anzustreben. In dieser Versuchsreihe wurden erste Wearables aus dem Versuchsprogramm entfernt, da die Genauigkeit der aus den Daten erzeugten Kurven teils starke Abweichungen zu den elektrisch erfassten Daten zeigte. Erste Feldver-

suche bei einem der Praxispartner zeigten eine hinreichende Aussagekraft zwischen den beiden Messverfahren bezüglich der Erkennung von Trends während der Arbeitsphase. Zur ganzheitlichen Betrachtung ist es jedoch erforderlich die Technik auch neben der auszuführenden Tätigkeit zu tragen, um Muster der Work-Life-Balance erkennen zu können. Korrelationen sollen im gesamten Tagesverlauf gefunden werden, da die Gestaltung der Freizeit sowohl großen psychischen als auch physischen Einfluss auf die individuelle Leistung hat. Zur Quantifizierung der psychischen Belastung kommt der validierte Fragebogen MRK (und Fit2.0) zum Einsatz, welcher zyklisch abgefragt wird und aus wenigen prägnanten Fragen besteht. Die Auswertung dessen wird mit dem

Trendverlauf der Herzfrequenz des Betrachtungszeitraums überlagert und gibt Aufschluss über die psychische Verfassung des Probanden. So können *Peaks* erkannt werden, da sich hier der physische Belastungsanteil nicht vom psychischen Anteil eindeutig trennen lässt. Sind keine besonderen psychischen Belastungen identifizierbar, wird von einer physischen Beanspruchung ausgegangen. Diese Auswertung könnte als Basis einer ergonomischen Arbeitsplatzbewertung dienen, als Start einer individuellen, begleitenden Arbeitsgefährdungsanalyse zur Sicherung der Interpretation der Ergebnisse oder zur Beurteilung von Anlerneffekten am Arbeitsplatz, wie in Abbildung 2 zu sehen. Ebenso kann das System präventiv eingesetzt werden zur Gegenüberstellung eigener Referenzwerte.

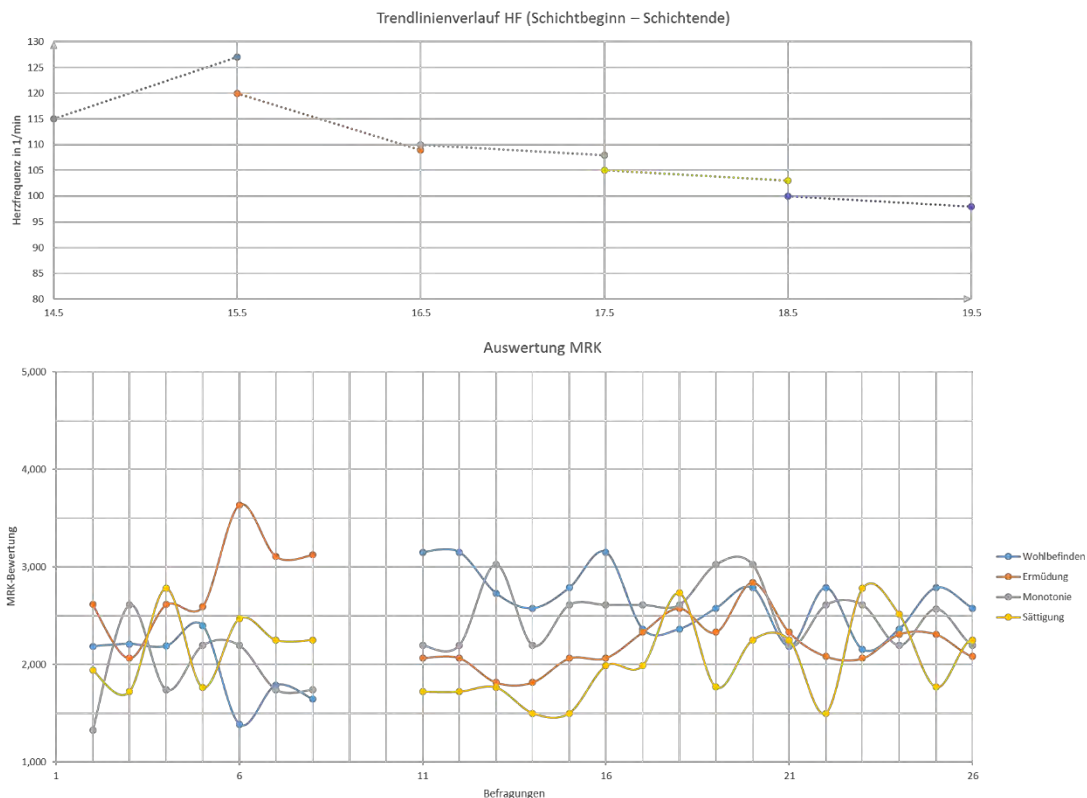


Abbildung 2: Trendverlauf HF über MRK

Dringend erforderlich ist eine Digitalisierung der Arbeitsanalysen zur weiteren Untersuchung von Erhebungen. Dabei ist eine Applikation in Entwicklung, welche sämtliche relevanten Daten von der Anamnese über die Prozessbeschreibung und den Fragebögen bis hin zur Visualisierung der Auswertung erfassen kann. Weiterhin sind Feldversuche geplant, welche weitere Parameter und Einflussgrößen untersuchen und bisherige Erkenntnisse stützen und validieren sollen. An dieser Umsetzung wird aktuell gearbeitet, um anerkannte Verfahren der Arbeitssystemanalyse zu ergänzen, zu substituieren bzw. weiterzuentwickeln. Das Konzept der begleitenden Applikation midas teilt

sich in eine Basisversion und eine erweiterte Version auf. In *midas Basic* nutzt der Anwender zu seinem Trackingsystem die Applikation zur Bewertung seiner erfassten Vitaldaten, welche nur durch den Zeitstempel zuordenbar sind. Durch Referenzmessungen werden Aktivitäten unterschieden und Trends bewertet. In *midas Professional* nutzt der Anwender zusätzlich zu *midas Basic* im Auftrag des Arbeitgebers Fragebögen zur subjektiven Bewertung der Arbeitsbeanspruchung und Formulare zur objektiven Bewertung der Arbeitsbelastungen (Arbeitsablaufanalyse). Dies kann nur in begleitender Analyse zur Interpretation der Ergebnisse stattfinden.

Literatur und Quellenverzeichnis

- [1] Ch. Schlick, R. Bruder, H. Luczak, Arbeitswissenschaft, 3.Auflage (2010), S.36 ff.
- [2] W. Rohmert, W. Laurig, Physische Beanspruchung durch muskuläre Belastungen, 3. Auflage (1993), S. 121-143
- [3] F. Kirchner, Master Thesis, Entwicklung eines modularen Prototyps zur Vitalparametererfassung im Arbeitsbereich, (2018), S.4-6, 9, 28ff.
- [4] Bundesministerium für Arbeit und Soziales, Arbeitsmarktprognose 2030 – Eine strategische Vorausschau auf die Entwicklung von Angebot und Nachfrage in Deutschland, BMAS (2013)
- [5] T. Merkel, Activitytracker und Sportuhren als Element der arbeitswissenschaftlichen Analyse, GFA-Frühjahreskonferenz 2016 RWTH Aachen, Tagungsband (2016)
- [6] P.Richter, U. Debitz, f. Schulze, Monopolare Ratingskalen zur Diagnostik negativer Kurzzeitbeanspruchungsfolgen, <http://mrk-befragung.pt-verlag.at/> (Stand: 15.09.2018)

PROZESSDATENÜBERWACHUNG IN KETTENFÖRDERSYSTEMEN

Jens Sumpf, Ralf Bartsch, Jens Strobel, Marcus Bona
Technische Universität Chemnitz, Professur Förder- und Materialflusstechnik,
Reichenhainer Str. 70, 09120 Chemnitz

In Stetigfördersystemen werden zunehmend Transportketten sowie Stütz- und Führungsschienen aus thermoplastischem Kunststoff eingesetzt, die u. a. einen schmierungs-freien und sauberen Transportprozess ermöglichen. Die mechanischen Eigenschaften dieser Kunststoffe sind jedoch begrenzt und zudem in erheblichem Maße temperaturabhängig. Eine reibungsbedingte Erwärmung kann deshalb sehr schnell zu starkem Verschleiß und zum Aufschmelzen der Gleitelemente bis hin zum Ausfall des Fördersystems führen. Eine Überlastung des Fördersystems kann sich u. a. durch hohe Kettenzugkräfte, Kontaktflächentemperaturen, Schwingungen oder Verschleiß äußern. Im Beitrag werden Möglichkeiten erörtert, diese funktionsrelevanten Systemdaten zu erfassen und Anwender bei Überschreitung der Grenzwerte zu alarmieren.

Sliding chains and slide rails made of thermoplastic materials are increasingly used in conveyor systems. Plastics allow a lubrication-free and therefore very clean transport process. However, the mechanical properties of these plastics are limited and very temperature-dependent. A friction-induced heating can cause heavy wear and melting of sliding elements culminating in failure of the whole conveyor system. An overload of the conveyor system may indicated by high chain tractive forces, contact temperatures, friction coefficients or wear. The talk discusses possibilities of measuring these system data and alert users in case of surpassing suitable limits.

1. Einleitung

Zum kontinuierlichen Transport von Gütern in Produktionsbetrieben und im Handel werden Stetigförderer eingesetzt. Von zunehmender Bedeutung sind dabei Systeme mit Kunststoffketten, welche in vielen Industriebereichen, wie Lebensmittel-, Getränke-, Pharma- und Verpackungsmittelindustrie, im Automobilbau, aber auch im Maschinen- und Anlagenbau zur Verkettung von Werkzeugmaschinen und Montagelinien, weit verbreitet sind. Die Gründe dafür liegen u. a. in der geringen Eigenmasse, dem hohen Geräuschdämpfungsvermögen oder einer großen Material- und Gestaltungsvielfalt mit effizienter Fertigungstechnologie durch Spritzguss. Zu den wichtigsten Vorteilen zählen jedoch die guten Gleiteigenschaften, welche einen weitgehend schmierungs- und wartungsfreien Betrieb der Förderanlagen ermöglichen.



Bild 1: Arten von Kunststoffketten: a) Scharnierbandkette, b) Multiflexkette und c) Mattenketten (Modulband)

Fördertechnische Kunststoffketten können entsprechend Bild 1 prinzipiell in Scharnierband-, Multiflex- und Mattenketten unterteilt werden, die sich hinsichtlich ihres Aufbaus und ihrer Größe unterscheiden. Scharnierband- und Multiflexketten besitzen ein zentrales Gelenk, sind in Breiten von ca. 50...200 mm verfügbar und für kleine bis mittlere Transportlasten (max. ca. 20 kg) geeignet. Mattenketten, auch als Modulbänder bezeichnet, werden aus einzelnen Kunststoffmodulen zusammengesetzt und können Breiten bis zu 5 m erreichen. Je nach Bauform können hiermit Lasten von mehreren Tonnen gefördert werden. Insgesamt werden mit Kunststoffkettenför-

derern Geschwindigkeiten von etwa 0,1...0,5 m/s realisiert, in Einzelfällen können max. 1 m/s erreicht werden.

Geführt und abgestützt werden die Ketten in der Regel durch Gleitschienen, die ebenfalls aus Kunststoff gefertigt werden. Im Fall der Multiflexkette sind diese Gleitelemente z. B. an Profilen aus Aluminium befestigt, in denen die Kette sicher geführt wird (Bild 2). Die Profile können als Geraden, Kurven oder Steigung ausgeführt und in Ergänzung zu anderen Elementen, wie z. B. Gestellbeine, Gutführungen, Antriebs- und Umlenkeinheiten, sehr flexibel zu mehrdimensionalen Förderstrecken aufgebaut werden.

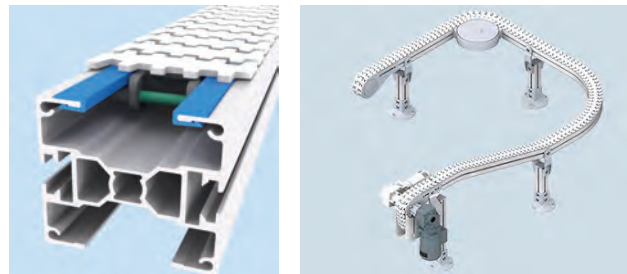


Bild 2: Multiflexkette im Aluminiumprofil mit Gleitschienen (links) sowie modular aufgebautes Fördersystem [Quelle: Bosch Rexroth] (rechts)

Gegenüber Stahlketten weisen die Kunststoffketten eine deutlich geringere mechanische Belastbarkeit auf. Neben der Gefahr des Kettenbruchs äußert sich dies u. a. durch einen verstärkten Gelenkverschleiß, der zur Längung der Kette und damit zur Anregung von Systemschwingungen bis hin zu massiven Störungen der Transportfunktion führt.

Ein weiterer kritischer Punkt ist die signifikante Abhängigkeit der mechanischen Eigenschaften von der Temperatur, wobei nicht allein die Umgebungstemperatur, sondern vielmehr die reibungsbedingte Erwärmung der Kontaktstellen zwischen Kette und Gleitschiene von entscheidender Bedeutung ist. Ungünstig wirkt sich dabei auch die Tatsache aus, dass Kunststoffe schlechte Wärmeleiter sind und es

dadurch zu einem Wärmestau an den Gleitflächen kommt. Neben der Verringerung der Verschleißfestigkeit kann es dadurch sogar zum Aufschmelzen der Ketten und Gleitschienen und damit zum Ausfall der Förderanlage kommen.

Im Zuge der allgemeinen Forderung nach immer größerer Leistungsfähigkeit werden auch die Kettenförderer hinsichtlich der Beladung und vor allem der Transportgeschwindigkeit oft bis an die Belastungsgrenzen und darüber hinaus beansprucht. Um überhöhten Verschleiß oder gar Systemausfälle mit entsprechenden Folgeschäden zu vermeiden, ist die Überwachung wichtiger Systemgrößen während des Transportprozesses von großer Bedeutung. Hierzu zählen hauptsächlich

- die Kontaktflächentemperatur an Reibstellen,
- die Zugkraft in der Kette,
- longitudinale Kettenschwingungen sowie
- die Längung der Kette.

2. Kontaktflächentemperatur

Als Werkstoffe in den Förderern werden thermoplastische Kunststoffe eingesetzt, die bei angemessenen Kosten ausgewogene mechanische, tribologische und thermische Eigenschaften besitzen und sich gut verarbeiten lassen. Für die Multiflexketten sind das zumeist Polyoxymethylen (POM) oder Polybutylenterephthalat (PBT), während die Gleitschienen in der Regel aus ultrahochmolekularem Polyethylen (PE-UHMW) bestehen. Allen Werkstoffen können zur Verbesserung des Reibungs- und Verschleißverhaltens verschiedene Gleitadditive zugesetzt werden.

Diese teilkristallinen Thermoplaste erweichen schon innerhalb ihres Hauptanwendungsbereichs relativ stark und verlieren deutlich an Festigkeit. Die Folge davon ist ein zunehmender Verschleiß, der den häufigen Austausch der abgenutzten Ketten und Gleitelemente erfordert [1].



Bild 3: Aufgrund zu hoher Reibtemperaturen thermisch zerstörte Kette mit Materialabtrag sowie Materialfließen an der kurveninneren Seitenführungsfläche

Äußerst problematisch ist der nicht selten auftretende Zustand, dass sich das System zu stark erwärmt. Systemanbieter erlauben eine Betriebstemperatur von max. 60°C [2], jedoch ist den meisten Anwendern die vorherrschende Temperatur in ihrem System nicht bekannt. Im Grenzbereich der Erweichung kommt es zu erhöhter Reibung und damit weiterer Erwärmung und noch stärkerem Verschleiß [3]. Dieses „Aufschaukeln“ bis zur hin Schmelztemperatur pas-

siert innerhalb weniger Minuten, ist verbunden mit einer Zerstörung der betroffenen Bauteile (siehe Bild 3) und in der Folge einem Ausfall der kompletten Anlage. Davon betroffen sind häufig horizontale Gleitkurven, in denen sehr hohe Radialkräfte zwischen Kette und Führungssystem auftreten [4] und dadurch die größte Wärmeentwicklung in der Innenseite der Kurvenführung auftritt (Bild 4).

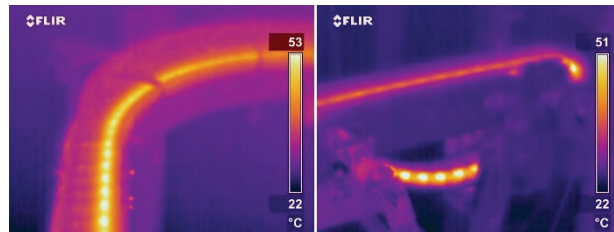


Bild 4: Wärmebilder eines Gleitbogens (links) und des Antriebsabschnittes eines Multiflex-Förderers (rechts)

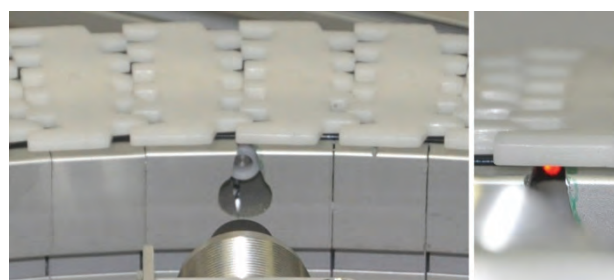


Bild 5: Messung der Temperatur in der radialen Seitenführung eines Gleitbogens mit einem Pyrometer.

Die Temperatur kann über Wärmeleitung oder Wärmestrahlung ermittelt werden. Während Wärmeleitung immer einen Kontakt zwischen Messmittel und dem zu messenden Körper benötigt, erfordert Wärmestrahlung eine frei liegende Oberfläche.

Typische Messmittel der Kontaktmessung sind Thermoelemente oder Widerstandsthermometer. Gegenüber den Strahlungsmessmitteln Wärmebildkamera (Bild 4) oder Pyrometer (Bild 5) sind diese günstig in der Anschaffung und erfordern keine Kenntnis über den Emissionsgrad des Materials. Nachteilig ist jedoch die Trägheit, die bei günstigen Thermoelementen bei 1 s gegenüber 50 ms eines Standardpyrometers liegt, sowie die Ungenauigkeit aufgrund eines unbekanntem Wärmeleitwiderstandes in der Kontaktfläche. Nachteilig bei strahlungsmessenden Verfahren sind der Platzbedarf und die Verschmutzungsgefahr der Optik, zudem sind Wärmebildkameras anfällig für Fremdstrahlung, wodurch die Bilder eher zur qualitativen und nicht zur präzisen Messung geeignet sind. Für Kunststoffe empfehlen sich Pyrometer, weil die Emissionsgrade relativ beständig sind und mit der Strahlung die Temperatur des schlechten Wärmeleiters Kunststoff sehr schnell erfasst wird [3].

In der Praxis wird die Temperatur in Förderern selten überwacht. Zum einen weil der Temperatur keine Bedeutung zugemessen wird und zum anderen aus Unkenntnis über die kritischen Stellen. Im Bild 6 sind die Reibtemperaturen an der kritischsten Stelle, dem Gleitbogenauslauf (Bild 5), dargestellt. Es wird deutlich, dass die Temperaturen mit zunehmenden Belas-

tungskollektiv steigen und die Erweichungstemperatur schnell erreichen.

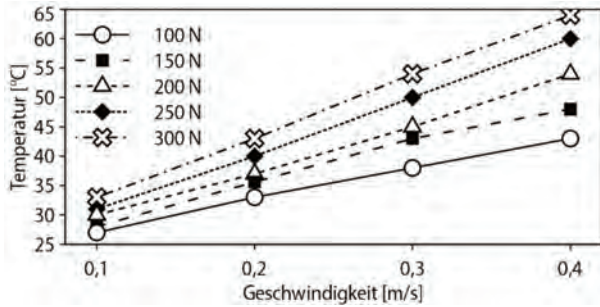


Bild 6: Gemessene Temperatur im radialen Reibkontakt eines 90°-Gleitbogens in einem Multiflex-Förderer in Abhängigkeit von der Zugkraft und der Geschwindigkeit.

3. Kettenzugkraft

In Förderanlagen unterliegt ein Kettenglied einer schwelenden Zugbelastung, deren Verlauf in Bild 7 schematisch dargestellt ist. Beginnend am Auslauf aus dem Antrieb, wo die Kette in einem sogenannten Kettensack durchhängt und lastfrei ist, durchläuft sie die untere Führung im Leerlauf bis zur Umlenkung. Danach steht die Gleitkette im oberen Bereich zur Beförderung von Gütern zur Verfügung. Der Antriebskraft wirken dabei unterschiedliche Reibungskräfte entgegen, die u. a. zwischen den Stützschiene und der Kette, zwischen Fördergut und Kette beim Staubetrieb sowie in Gelenken und Lagerungen entstehen. Die Kettenzugkraft F_Z steigt demnach über dem gesamten Umlauf an und erreicht beim Einlauf in das Antriebskettenrad ihren Höchstwert $F_{Z\max}$, welcher bei ungespannten Ketten der Umfangskraft F_U entspricht, die zur Antriebsauslegung verwendet wird. Wird die vom Hersteller vorgeschriebene maximal zulässige Kettenzugkraft $F_{Z\text{zul}}$ dauerhaft überschritten, kann es zu einer Schädigung der Kette bis hin zum Kettenbruch kommen.

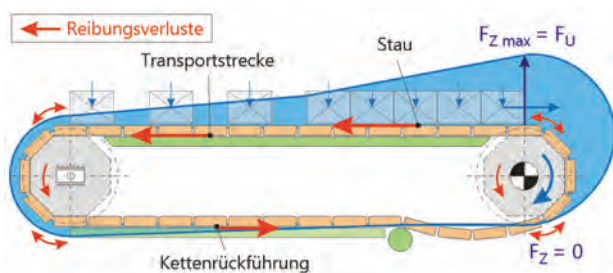


Bild 7: Verlauf der Kettenzugkraft im Fördersystem

Die Berechnung der Kettenzugkraft erfolgt nach Auslegungsvorschriften der Kettenhersteller, u. a. [2, 6], oder allgemeingültige Gleichungen, u. a. [4, 5].

Zur Messung der Kettenzugkraft sind verschiedene Möglichkeiten bekannt. Zum einen kann die Zugkraft an der Antriebsstation indirekt mechanisch durch Messung des Drehmomentes ermittelt werden. Die zuverlässigsten Ergebnisse werden dabei durch die Applikation von Dehnmessstreifen direkt auf der Antriebswelle oder die Adaption einer Drehmomentmesswelle zwischen Ritzel und Motor erzielt. Alternativ kann eine Drehmomentstütze zur Anwendung

kommen. Hierbei besitzt der Motor eine bewegliche Halterung und die Reaktionskraft wird mit Hilfe einer Kraftmessdose ermittelt. Moderne Antriebe gestatten auch das Auslesen der elektrischen Parameter des Motorreglers (Motorleistung und Drehmoment). Sofern der Regler die Parameter nicht ausgibt, kann die elektrische Stromaufnahme des Motors an der Zuleitung gemessen werden. Da das Drehmoment bei letzteren Varianten nach dem Antrieb gemessen wird, sind zusätzlich der Motor- und der Getriebewirkungsgrad mit zu berücksichtigen, die beide meist drehzahl- und lastabhängig sind.

Der zweite Weg ist ein mitfahrendes Messkettenglied, welches die Zugkraft direkt im Kettenstrang erfasst und aufzeichnet. Gegenüber der Zugkraftmessung an der Antriebsstation, bei der nur ein diskreter Wert zur Verfügung steht, kann hier der komplette Zugkraftverlauf im Fördersystem bestimmt werden. Interessant sind dabei die tatsächlich auftretenden Belastungen im Kettenglied, welche mit anderen Verfahren nicht gemessen werden können. Dazu zählen u. a. Kräfte bei asymmetrischer Kurvenlast oder an Stoßstellen zwischen Führungselementen, an denen die Kette überproportional beansprucht wird (Bild 8). Mit einem permanent mitfahrenden Messkettenglied und den zur Schadensakkumulation erforderlichen Auswertelgorithmen könnte den Anwendern ein nützliches Werkzeug zur zuverlässigen Bestimmung der Wechselintervalle zur Verfügung gestellt werden.

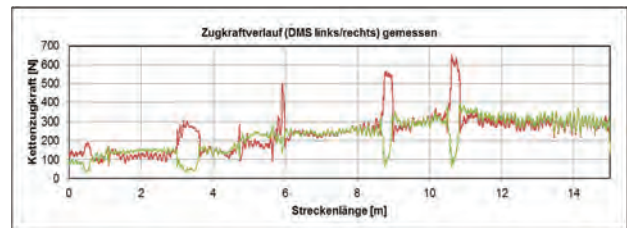


Bild 8: Kettenzugkraftverlauf im Fördersystem, gemessen mit dem Prototyp eines Messkettengliedes

Im industriellen Umfeld werden bereits Messkettenglieder mit mobilen Datenloggern eingesetzt, die aufgrund ihres Platzbedarfes den Fördergutfluss während der Messung beeinträchtigen. An der Professur Förder- und Materialflusstechnik werden Prinzipien zur vollständigen Integration eines Messsystems in die Kette entwickelt, die diesen Nachteil nicht aufweisen.

4. Kettenschwingungen

Durch Schwingungen kommt es zu einer zeitlich veränderlichen Kettenzugkraft, die in ihren Maximalwerten die statisch errechnete Zugkraft deutlich übersteigen kann. Die auftretenden dynamischen Effekte sind zum größten Teil auf Longitudinalschwingungen, also oszillierende Bewegungen längs zur Kette, zurückzuführen.

In der Arbeit von Strobel [7] wurden die Einflüsse, die zur Anregung von Schwingungen führen, mit einem Simulationsmodell und experimentellen Untersuchungen erforscht. Die zwei wichtigsten Anregungsursachen sind demnach zum einen reiberregte

Schwingungen durch eine mit der Fördergeschwindigkeit fallende Reibkennlinie und zum anderen die Geschwindigkeitsschwankungen aufgrund des Polygoneffektes am Antrieb. Die Zahnzahl am Antriebskettenrad beeinflusst die Höhe der Amplituden im Resonanzfall, wodurch die maximale zulässige Zugkraft wesentlich überschritten werden kann (siehe Bild 9).

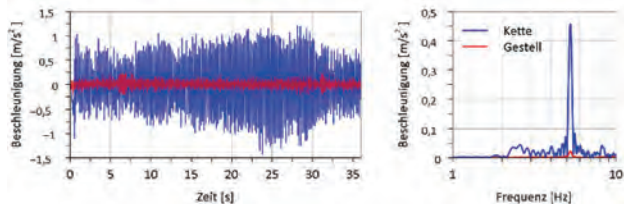


Bild 9: Gemessene Beschleunigung (links) während des Durchfahrens eines Förderlayouts sowie deren Frequenzspektrum (rechts)

Zur Überwachung der Schwingungen bietet sich bei ausreichender Messfrequenz ebenfalls ein Messkettenglied (Zugkraft) an. Alternativ können die Schwingungen auch durch einen implementierten Beschleunigungssensor erfasst werden. Vollintegrierte Systeme ohne Beeinträchtigung des Förderprozesses sind bisher nicht bekannt. Hierzu laufen am Institut der Autoren ebenfalls Forschungsarbeiten.

5. Kettenteilung bzw. -längung

Infolge der Relativbewegung tritt an verschiedenen Stellen des Fördersystems Verschleiß auf, sodass die Ketten und Gleitelemente in regelmäßigen Abständen überprüft und ausgetauscht werden müssen.

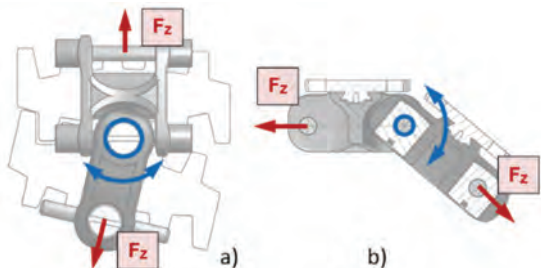


Bild 10: Verschleißbereiche bei a) horizontaler und b) vertikaler Gelenkbewegung unter Wirkung der Zugkraft F_z

Eine besondere Bedeutung kommt dabei dem Verschleiß in den Kettengelenken zu, der bei horizontalen und vertikalen Umlenkungen der Kette in Kurven oder am Antrieb entsteht (Bild 10). Die Relativbewegung der Gelenkbauteile tritt zwar nur sehr kurzzeitig (ca. 0,03...0,3 s) direkt im Ein- sowie im Auslauf der Kurven auf, jedoch herrschen dabei sehr große Flächenpressungen von bis zu 15 MPa, die um ein Vielfaches höher sind als die Pressungen zwischen Kette und Gleitschiene (0,01...3 MPa). Der daraus resultierende Verschleiß führt sowohl zur Längung der Kette insgesamt als auch zur Vergrößerung des Teilungsabstandes (Abstand zwischen den Kettenbolzen) und damit zu Funktionsstörungen, vor allem bei Zahneingriff am Antrieb (Bild 11).

Als Austauschgrenze wird bei den Transportketten eine Längung von ca. 3...5% angesehen, die jedoch

neben dem Verschleißbetrag auch elastische sowie viskoelastische Verformungsanteile enthält. Damit ergeben Messungen im Stillstand fehlerhafte Werte und müssen sinnvollerweise während des Transportvorganges ermittelt werden.

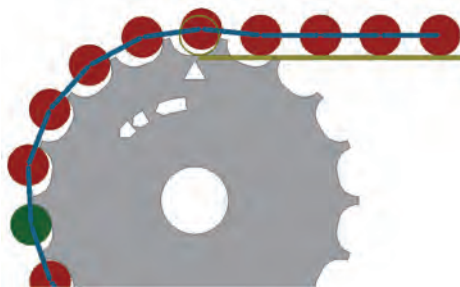


Bild 11: Zahneingriff am Antriebskettenrad bei zu großem Teilungsabstand der Kettenglieder

In einem aktuellen Forschungsprojekt wird deshalb eine systemintegrierte Teilungsmessung entwickelt, mit der die Kettenlängung in Echtzeit überwacht werden kann.

6. Zusammenfassung

Kunststoffketten für den Transport von Stückgütern bieten eine Reihe wichtiger Vorteile, sind jedoch Stahlketten mechanisch unterlegen. Zur Vermeidung von Funktionsstörungen und Systemausfällen ist deshalb eine Echtzeitüberwachung wichtiger Systemdaten wie Temperatur, Kettenzugkraft, Schwingungen und Kettenteilung von besonderem Interesse. Bei Überschreitung entsprechender Grenzwerten kann der Anwender z. B. durch Regulierung der Transportleistung oder rechtzeitigen Austausch verschlissener Bauteile reagieren und somit die Zuverlässigkeit und Verfügbarkeit der Anlage steigern. Zudem können dadurch die Wartungsintervalle optimiert und ebenfalls Kosten eingespart werden.

Literaturangaben:

- [1] Mitschke, F.: Eigenschaftsprofile neuartiger faserverstärkter Kunststoffgleitketten für den Stückguttransport. Diss., TU Chemnitz (2008)
- [2] FlexLink: Conveyor chain guide. Product Catalog (2017)
- [3] Bartsch R.: Erweiterung der Dimensionierungsgrundlagen für Gleitkettenfördersysteme. Dissertation, TU Chemnitz (2017). <http://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:bsz:ch1-qucosa-229404>
- [4] Auerbach, P.: Zur Beanspruchung und Lebensdauer raumgängiger Gleitketten aus Kunststoffen. Diss. TU Chemnitz, (2006). <http://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:swb:ch1-200600396>
- [5] Sumpf, J.; et. al: Novel calculation method for chain conveyor systems. Logistics Journal, Vol. 2014 (2014) (urn:nbn:de:0009-14-40310).
- [6] Bosch Rexroth AG: Kettenfördersystem VarioFlow plus. Produktkatalog, 1.1 (2015)
- [7] Strobel, J.: Untersuchung von Schwingungen an einem Stetigfördersystem mit Kunststoffgleitketten. Dissertation, TU Chemnitz (2018)

MONITORINGSYSTEME FÜR MASCHINENELEMENTE DER ANTRIEBSTECHNIK

Jörg Hübler

Hochschule Mittweida, Technikumplatz 17, D-09648 Mittweida

Mit integrierten Monitoringsystemen in Maschinenelementen der Antriebstechnik in stationären und mobilen Anwendungen können Lebensdauer, Systemveränderungen und Ausfälle der Bauteile frühzeitig erkannt und damit der gesamte Prozessablauf sicherer und effizienter gestaltet werden. Wartungsintervalle können dem realen Verschleiß des Bauteils angepasst oder Überlastungen frühzeitig erkannt werden. Den Ansatzpunkt zur Umsetzung liefert die systemintegrierte Sensorik nicht nur zur Lokalisierung und Identifizierung der aktuellen Zustandsgrößen, sondern auch zur drahtlosen Überwachung von Bauteilen. Dabei spielte die Energiebilanz des Sensorsystems eine bedeutende Rolle, um eine autarke Energieversorgung über einen langen Zeitraum sicher zu stellen. Um entsprechende Lebensdauervorhersagen zu treffen ist eine genaue Kenntnis der Belastungen des zu überwachenden Bauteils notwendig. Daraus lassen sich mittels standardisierter Versuche die Bauteilwöhlerkurven ermitteln, die die Grundlage einer Lebensdauerabschätzung bilden.

With integrated monitoring systems in machine elements of drive technology in stationary and mobile applications, the service life, system changes and component failures can be detected early on, thus making the entire process flow safer and more efficient. Maintenance intervals can be adapted to the real wear of the component or overloads can be detected early. The system's integrated sensor technology provides the starting point for the implementation not only for locating and identifying the current state variables, but also for the wireless monitoring of components. The energy balance of the sensor system played an important role in ensuring a self-sufficient energy supply over a long period. In order to make appropriate lifetime predictions, an exact knowledge of the loads of the component to be monitored is necessary. From this, the component candidate curves, which form the basis of a lifetime estimation, can be determined by means of standardized tests.

1. Einleitung

Kupplungen werden in nahezu allen Antriebssystemen in den Bereichen des Maschinen- und Anlagenbaus eingesetzt. Dabei wird eine genaue Einhaltung der zulässigen Winkel-, Radial- und Axialverlagerungen der beiden zu verbindenden Wellenenden vorausgesetzt. In der Praxis kommt es jedoch häufig vor, dass sich einzelne Aggregate in ihrer Lage zueinander verändern und die maximal zulässigen Abweichungen dabei überschritten werden und somit die Kupplung überlastet wird. Das wiederum eine Funktionseinschränkung bzw. den Ausfall des Maschinenelements nach sich zieht. Eine Überwachung und Bewertung der Zustandsdaten während des Betriebs ist für Anlagenbetreiber von großem Interesse, da die Antriebe in exponierten stationären Anlagen Anwendung finden (Abbildung 1). Die so ermittelten Daten können Grundlage einer Lebensdauerabschätzung sein und somit eine Wartung bereits im Vorfeld effektiv geplant werden.



Abbildung 1: Stahlplattenkupplung in Windgeneratoren [1]

Gerade auch bei den mobilen Anwendungen (Abbildung 2) ist es sinnvoll, den Ausfall einer Kupplung frühzeitig zu erkennen, um eine entsprechende Vorlaufzeit für die Teilebeschaffung zu erreichen und den Service dann in Stillstandzeiten der Maschine zu planen.



Abbildung 2: Gummischiebenkupplung in mobilen Stromerzeugern [2], [3]

2. Anforderungen

Drei Aufgabenfelder bilden die Herausforderung bei der Entwicklung eines Monitoringsystems. Es beginnt mit den Belastungen des jeweiligen Maschinenelements. Dabei sind die Zustandsgrößen zu betrachten, die einem permanenten Soll-Ist-Vergleich unterzogen werden. Unter Zustandsgrößen versteht man beispielsweise die Temperatur T , Drehmoment M , Verdrehwinkel φ , Versatz ΔK und den Anriss bzw. Bruch eines Bauteils der Kupplung. Zu den Belastungen zählt auch die Lebensdauerabschätzung anhand der permanenten Aufzeichnung relevanter Zustandsgrößen unter Verwendung ge-

eigneter Zählverfahren und Akkumulation.

Das zweite Aufgabenfeld ist die verwendete Sensortechnik. Eine energieautarke oder passive Sensorversorgung erfordert in den meisten Fällen eine anwendungsspezifische Sensorik. Hier bieten sich künftige Anwendungen von „Energie Harvesting“ an. Der meist kompakte Aufbau einer Kupplung setzt eine Miniaturisierung und Integration der Sensorik voraus.

Das dritte Aufgabenfeld beschäftigt sich mit dem Datenaustausch. Aufgrund der rotierenden Bewegung erfolgt die Übermittlung der Daten mittels Nutzung der ISM-Bänder mit 433 MHz (Funk) oder 2,4 GHz (WLAN / Bluetooth). Ein aktuelles Beispiel ist der Reifendrucksensor der in vielen Serienfahrzeugen Verwendung findet (Abbildung 3). Unter Beachtung der standardisierten Schnittstellen und Übertragungsprotokolle sollten hinsichtlich der Energiebilanz nur ein Minimum an Daten übertragen werden.



Abbildung 3: Reifendrucksensor [4]

Hier kann auch die RFID-Technologie (Radio Frequency Identification) eingesetzt werden. Diese ermöglicht eine berührungslose Datenübertragung von Messwerten, die zwischen Transponder und Lesegerät ausgetauscht werden. Aufgebaut sind RFID-Systeme aus einem passiv, aktiv oder semi-aktiv arbeitenden Transponder, einem Lesegerät, bestehend aus Sender, Empfänger und einer Antenne, dass mit einer Kontrolleinheit verbunden ist (Abbildung 4). Die Kommunikation mit dem Transponder bzw. die Spannungsversorgung erfolgt mittels Radiowellen die das Lesegerät aussendet [5]. Die Auswahl der Übertragungsfrequenz ist dabei abhängig von den technischen Anforderungen und den gesetzlichen Regelungen. Mit zunehmender Frequenz erhöht sich auch die Datenübertragungsrate pro Zeiteinheit [9].

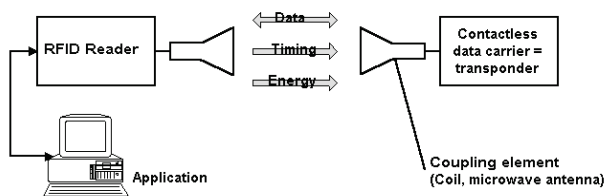


Abbildung 4: RFID Funktionsprinzip [5]

Ziel eines Monitoringsystems sollte eine vorausschauende Bereitstellung von Ersatzteilen bzw. Wartungshinweisen des Herstellers sein. Dies setzt natürlich einen ständigen Datenaustausch mit dem Hersteller voraus.

3. Zustandsüberwachung

Zur Temperaturüberwachung von Gummischeibenkupplungen können beispielsweise Thermoelemente Verwendung finden (Abbildung 5). Eine exakte Positionierung im Zentrum der Elastomerkomponente liefert Temperaturwerte ohne zusätzlichen Energiebedarf.

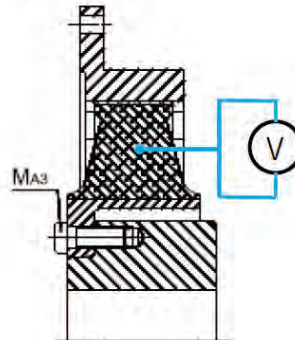


Abbildung 5: Positionierung Thermoelement

Zur Messung von Kräften und Momenten kann man den klassischen Dehnungsmessstreifen einsetzen. Der Nachteil dieses Messprinzips ist die permanent anliegende notwendige Speisespannung. Alternativ bietet sich vor allem für rotierende Anwendungen eine Messung basierend auf dem physikalischen Prinzip der Magnetostriktion (Abbildung 6) an.

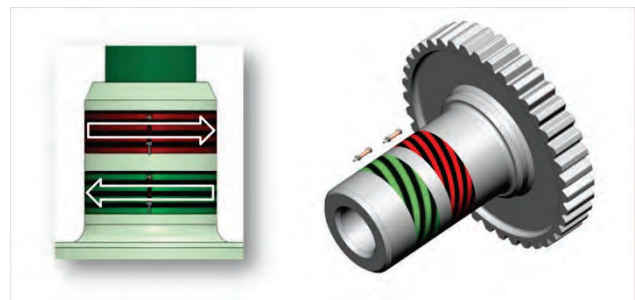


Abbildung 6: Drehmomentmessung mittels Magnetostriktion [6]

Mit Reed-Sensoren können Verdrehwinkel erfasst werden. Um Anrisse oder einen Bruch zu detektieren können gedruckte leitfähige Oberflächenelemente zum Einsatz kommen. Diese können sowohl aufgeklebt oder mit Hilfe von Druckverfahren auf die gefährdeten Oberflächen aufgebracht werden.

4. Lebensdauerabschätzung

Die Grundlage einer Lebensdauerabschätzung bilden Bauteilwöhlerkurven. Aufgrund der Temperaturabhängigkeit der elastomeren Komponente bei Gummischeibenkupplungen sind über den gesamten Temperatureinsatzbereich Wöhlerkurven anhand von Probekörpern bzw. Kupplungen auf einem servohydraulischen Prüfstand zu ermitteln. Mit den von der Anwendung permanent bereitgestellten Lastsignalen der Kupplungsbelastung kann mit einer anschließenden Rainflow-Zählung eine Schadensakkumulationsrechnung anhand der ermittelten Wöhlerkurven durchgeführt werden. Daraus lässt sich die

zu erwartende Lebensdauer prognostizieren. Dies kann vor Ort über die vom Kupplungshersteller bereitgestellte Auswertesoftware erfolgen und automatisch eine Ersatzteilbestellung beim Erreichen der Lebensdauer auslösen.

Um die unter Laborbedingungen ermittelten Wöhlerkurven zu validieren ist es notwendig, aus dem realen Lastsignal der Anlage ein Testsignal mittels Omission zu generieren. Dieses dient als Eingangssignal für einen Kupplungsprüfstand, mit dem das Bauteil bis zum Schadensfall betrieben wird.

5. Monitoringsystem für Stahllamellenkupplungen

Bei Stahllamellenkupplungen brechen die einzelnen Lamellen der in mehreren Lagen montierten Lamellenpakete infolge der Momentenbelastung (Abbildung 7) und Verlagerungen der Wellenenden (Abbildung 8). Dabei brechen immer zuerst die äußeren Lamellen und die Kupplung ist noch funktionsfähig. Diesen Bruch gilt es messtechnisch im Betrieb zu erfassen.

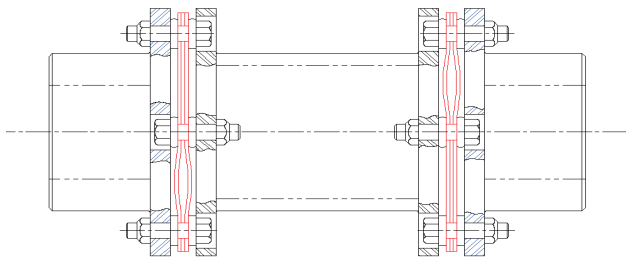


Abbildung 7: Momentenüberlastung

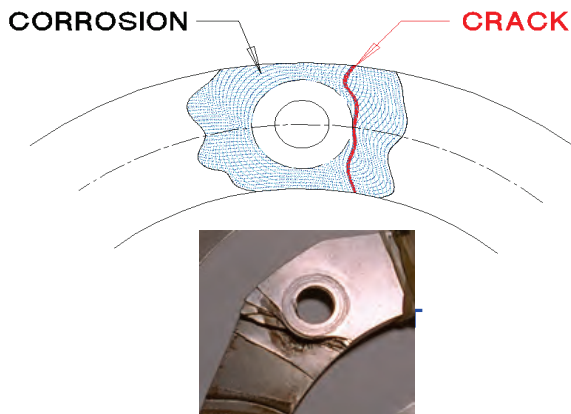


Abbildung 8: Lamellenbruch durch Wellenversatz

Mittels eines aufgedruckten Bruchsenors, der mit einer geringen Spannung gespeist wird, kann der Lamellenbruch sensorisch erfasst werden.

In [6] und [7] werden Anwendungen der Siebdrucktechnologie in der Mess- und Automatisierungstechnik beschrieben. Diese Technologie macht es möglich einen Bruchsensor direkt auf Stahllamellen zu drucken. Der Druck kann sogar in mehreren Schichten übereinander erfolgen. Mittels eines Gummiraikels werden über mit Masken versehene Drucksiebe, silberhaltige Metallpasten und Dielektrika in einem Multilayeraufbau auf das entsprechende Bauteil

gedruckt. Wärmestrahlung oder UV-Licht dienen zum Aushärten der jeweiligen Druckpasten (Abbildung 9).

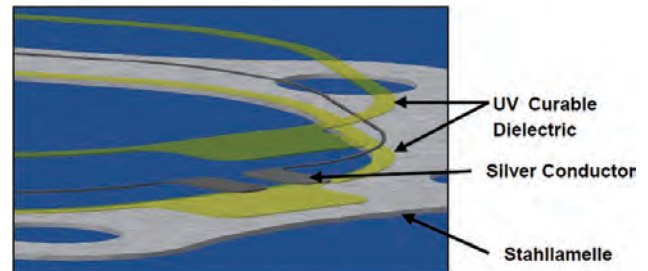


Abbildung 9: 3-Schicht-Siebdruck

Zum Messen des jeweiligen Verformungszustandes wurden Dehnungsmessstreifen belastungsspezifisch auf die Stahllamelle positioniert. Mit Hilfe einer FEM-Simulation konnte das Verhalten des Lamellenpaketes unter extremen Einsatzbedingungen nachgebildet werden. Vor allem durch die Auswertung der Hauptspannungsvektoren bei unterschiedlichen Betriebszuständen konnte eine genaue Position bzw. Ausrichtung und Anzahl der notwendigen Dehnungsmessstreifen theoretisch ermittelt werden (Abbildung 10). An kombinierten Lastfällen konnte die Art der Verformung und der Spannungsverlauf anhand des Stahllamellenpaketes visualisiert werden. Die Position und die Anzahl der notwendigen Dehnungsmessstreifen wurden durch zahlreiche Tests verifiziert.

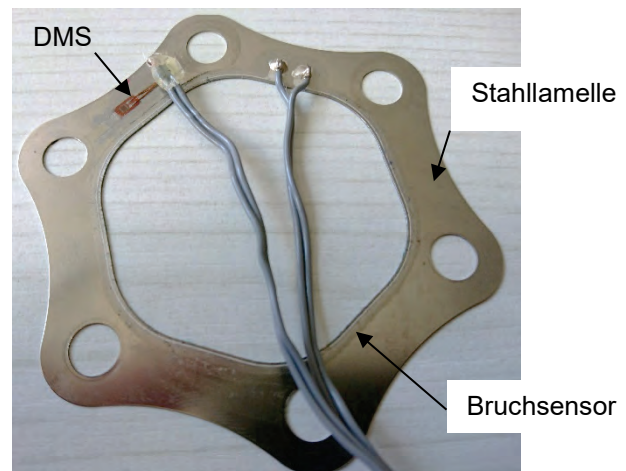


Abbildung 10: Sensorlamelle

Basierend auf dem RFID Funktionsprinzip erfolgte die Datenübertragung als auch die Sensorversorgung. Dafür wurde ein eigens entwickeltes System entworfen und als Prototyp umgesetzt. Anhand von Prototypentests konnte ein positiver Funktionsnachweis erbracht werden.

6. Zusammenfassung

Monitoringsysteme in der Antriebstechnik werden künftig an Bedeutung gewinnen. Sie ermöglichen es, effizient Wartungen an Maschinen und Anlagen zu planen und Ausfälle zu prognostizieren. Eine große Rolle spielt dabei die strukturintegrierte Sensorik. Die Sensoren sind bereits im Fertigungsprozess mit

vorzusehen und sollten störunanfällig sowie preiswert eine Möglichkeit bieten in die Bauteilstruktur integriert zu werden. Zudem sollte der Energiebedarf auf ein Minimum beschränkt sein, um eine hohe Lebensdauer des Systems zu erreichen. Es werden einige Sensorlösungen für rotierende Maschinenelemente vorgestellt mit denen relevante Zustandsgrößen überwacht werden als auch anhand von Wöhlerkurven eine Lebensdauervorhersage erfolgen kann. Ein weiterer wichtiger Aspekt ist die Datenübertragung des rotierenden Sensorsystems. Anhand einer Stahllamellenkupplung wird ein Überwachungssystem mit gedruckten Bruchsensoren und Dehnungsmesstreifen näher vorgestellt. Zur Datenübertragung und zur Sensorspeisung wurde hierbei ein auf RFID Technik basierendes System vorgestellt.

Literaturverzeichnis

- [1] <https://www.ktr.com/de/produkte/antriebs-technik/kupplungen/> Stand 09/2015
- [2] <https://www.endress-stromerzeuger.de/> Stand 09/2018
- [3] <https://www.reich-kupplungen.com/> Stand 09/2018
- [4] [https://www.continental-automotive.com/Stand 04/2015](https://www.continental-automotive.com/Stand-04/2015)
- [5] Finkenzeller, Klaus: RFID-Handbuch, 4. Auflage, München: Carl Hanser Verlag, 2008
- [6] <http://www.ncte.de/technologie/> Stand 09/2019
- [7] Kallenbach, Eberhard; Eick, Rüdiger; Quent, Peer; Ströhla, Tom; Feindt, Karsten: Elektromagnete, 3. Auflage, Wiesbaden: Vieweg + Teubner, 2008
- [8] Gevatter, Hans-Jürgen; Grünhaupt, Ulrich: Handbuch der Mess- und Automatisierungstechnik im Automobil, 2. vollst. bearb. Auflage, Berlin Heidelberg: Springer-Verlag, 2006
- [9] Kern, Christian: Anwendung von RFID-Systemen, 2. verb. Auflage, Berlin: Springer Verlag, 2007

DIGITALISIERUNG – TREIBER FÜR AUTOMATISIERTE INSPEKTIONSSYSTEME

Michael Hoffmann, Thomas Wiener, Alexander Pierer, Martin Naumann

Fraunhofer Institut für Werkzeugmaschinen und Umformtechnik, Reichenhainer Straße 88, 09126 Chemnitz

Die zunehmende Digitalisierung verbunden mit dem Grad der Vernetzung entlang der Wertschöpfungskette bereitet den Weg für neue Möglichkeiten in der Automatisierungstechnik. Systeme bei denen hohe Datenmengen in kurzer Zeit verarbeitet werden müssen, wie Inspektionssysteme, profitieren von dieser Entwicklung besonders. Ebenso werden auch Sensoren mit immer höherer Genauigkeit erforderlich, um automatisierte Prüfsysteme realisieren zu können. Darüber hinaus müssen Daten von mehreren Sensoren gleichzeitig erfasst und analysiert werden, um den Produktionszustand und mögliche Ausfälle zu erkennen. Die Erfassung relevanter Informationen und Daten von verschiedenen Sensoren ist daher eine schwierige Aufgabe. Es wird ein neuartiges Framework für parallelisiertes Multisensor-Monitoring vorgeschlagen, das eine automatische Verteilung komplexer Datenverarbeitungsaufgaben auf Multi-Core-Computerhardware ermöglicht. Das Framework erlaubt die Unterteilung komplexer Datenverarbeitungsprobleme in einfache parallele Entitäten. Dies wird durch den Einsatz eines Mehrkamerasystems zur Fehlerüberwachung von Blechteilen demonstriert. Dadurch konnten Vorteile in Bezug auf minimale erkennbare Fehlergrößen und Prüfgeschwindigkeit erzielt werden, die eine 100%ige Inline-Inspektion der produzierten Teile ermöglichen.

1. Einleitung

In vielen Industriezweigen werden die Produkte komplexer und vielfältiger [1, 2], während die Qualitätsanforderungen deutlich steigen. Diese Entwicklung ist eine Herausforderung in der Forschung zur automatisierten Qualitätsüberwachung [3].

Gerade bei der Inline-Qualitätsüberwachung während des Fertigungsprozesses erfordert eine schnelle Auswertung der Sensordaten einen hohen Grad an Parallelisierung. Eine visuelle Programmier-Toolbox für die Bildverarbeitung wird in [4] vorgestellt. Diese Toolbox konzentriert sich jedoch nur auf die Bildverarbeitung ohne die direkte Integration von physikalischen Sensoren. Um dem Problem der zunehmenden Komplexität zu begegnen, wird ein Rahmen für die Beschreibung und Implementierung komplexer paralleler Datenflüsse für eine homogene und heterogene Datenfusion vorgeschlagen. Das entwickelte Framework unterteilt komplexe Datenverarbeitungsprobleme in einfache parallele Entitäten. Die Parallelisierung kann auf Multi-Core-Ebene oder über verteiltes Rechnen erfolgen [5, 6]. Darüber hinaus bietet das Framework Methoden zur automatischen Feature- und Fehlerextraktion aus einer Vielzahl von Sensoren. In Abschnitt 2 werden die allgemeinen Konzepte der parallelen Überwachungsnetze und der visuellen Programmierung vorgestellt. Darüber hinaus werden die Plug-in-Integrationsfunktionalitäten des entwickelten Frameworks vorgeschlagen. Abschließend wird ein Überblick über die integrierten Datenanalysemethoden gegeben. In Abschnitt 3 wird der Anwendungsfall eines Inline-Fehlerüberwachungssystems vorgestellt. Die komplexen Bildverarbeitungsaufgaben werden mit dem vorgeschlagenen parallelen Überwachungsnetzkonzept realisiert. Ein Fazit und Ausblick für die weitere Arbeit wird in Abschnitt 4 gegeben.

2. Methodik zur parallelen Datenüberwachung

2.1. Paralleles Monitoring-Netzwerk-Konzept

Zur Lösung komplexer paralleler Sensorverarbei-

tungsaufgaben wurde ein paralleles Monitoring-Netzwerk-Konzept entwickelt. Die Grundeinheiten dieses Netzwerks werden als parallele Einheiten (PE) bezeichnet, wie in Abbildung 1 dargestellt. Eine parallele Einheit ist für die Arbeit auf einem separaten CPU-Thread ausgelegt und besteht aus zwei Komponenten - der Barriere (ein Verfahren zur Synchronisation von Threads [7]) und der Verarbeitungseinheit. Die Barriere blockiert den Thread, bis die für die Verarbeitung benötigten Eingangsdatenpakete 1 bis M erreicht sind. Eine generische Datenstruktur erlaubt die Verarbeitung aller Arten von Daten (z.B. Videos, Bilder, Signale, Tensoren). Nachdem die Datenpakete verfügbar sind, transformiert die Verarbeitungseinheit die Daten (z.B. Filtern, Kombinieren) und erzeugt N Kopien der transformierten Daten für die Weitergabe an nachfolgende parallele Entitäten.

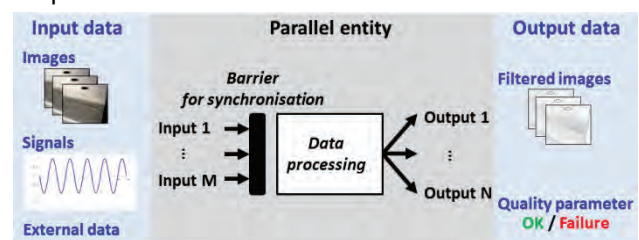


Abbildung 1. Organisation einer parallelen Entität und Beispiele für zu verarbeitende Datentypen.

Abbildung 2a zeigt ein Beispiel für ein paralleles Überwachungsnetz, das aus sieben verschiedenen parallelen Einheiten besteht. Die Einheiten PE2, PE6 und PE7 führen Datenfusionsschritte durch, während die anderen Einheiten für die Vorverarbeitung der Sensordaten verantwortlich sind. Abbildung 2b zeigt die Verarbeitungsverteilung für die parallelen Verarbeitungsschritte des Beispielsnetzes in einem verteilten Rechnersystem. Die Zuordnung eines Verarbeitungsschrittes zu einem CPU-Thread wird vom Scheduler des zugrundeliegenden Betriebssystems jeder Workstation automatisch festgelegt [8]. Beispielsweise wird der Vorverarbeitungsschritt von PE1 auf Core 1 von Workstation 1 betrieben, während der Fusionsschritt von PE6 gleichzeitig auf der

Single-Core-CPU von Workstation 2 betrieben wird. Der Hauptvorteil des entwickelten Frameworks besteht also darin, dass die Verteilung der Verarbeitungsschritte und der komplexe Datenfluss dazwischen automatisch erfolgt und nicht durch aufwendige manuelle Programmierung definiert werden muss.

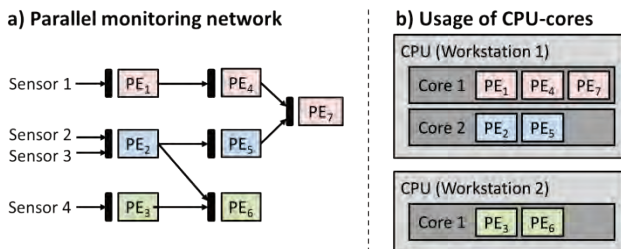


Abbildung 2. a) Netzwerk aus sieben parallelen Entitäten (PE); b) Verteilung der Verarbeitungsschritte auf Kern-, CPU-Schicht und auf verschiedenen Workstations.

2.2. Visuelle Netzwerkprogrammierung

In den letzten zehn Jahren haben viele neue Entwicklungen im Bereich der visuellen Programmiersprachen für den Datenfluss stattgefunden. Eine umfassende Übersicht findet sich in [9]. Die meisten dieser Programmiersprachen enthalten mehrere Vorverarbeitungsschritte für die Kompilierung eines visuellen Datenflussmodells in Zwischencode. Um eine schnelle Entwicklung anwendungsspezifischer paralleler Überwachungsnetzwerke zu ermöglichen, wurde eine neue visuelle Programmiersprache entwickelt. Um ein neues Netzwerk aufzubauen, werden parallele Entitäten aus einer Bibliothek von Datenanalysemethoden (z.B. Datenfilter, Klassifikatoren) und Datenquellenverbindungen (z.B. Sensoren, Datenbankschnittstellen) per Drag & Drop platziert und an ihren Ein- und Ausgabeslots miteinander verbunden. Abbildung 3 zeigt ein Beispiel für ein solches Netzwerk, das durch visuelle Programmierung erstellt wurde.

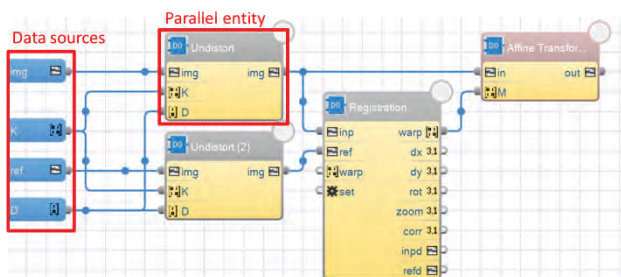


Abbildung 3. Beispiel Netzwerk durch visuelle Netzwerkprogrammierung.

2.3 Flexibles Einbringen neuer Funktionalitäten

Das Framework ist modular aufgebaut und kann durch ein Stecksystem um neue Module erweitert werden. Die Verwaltung der Plug-Ins erfolgt einfach über einen integrierten Plug-In-Manager. Das Plug-In-Konzept des Frameworks ermöglicht die Integration neuer Sensortypen und extern entwickelter Algorithmen in das Framework. Dies wird durch die Kopplung der generischen Datenschnittstelle des Frameworks an die dedizierte Application Programming Interface (API) des jeweiligen Sensorherstel-

lers oder externer Softwarebibliotheken erreicht. So lassen sich verschiedene Sensortypen (z.B. Wirbelstromsonden, Laser-Oberflächenscanner, Kameras oder akustische Sensoren) und Algorithmen zur Datenauswertung und zum maschinellen Lernen kombinieren. Durch die Datenfusion von Sensoren mit unterschiedlichen Messprinzipien oder Sensoren mit redundanter Information wird eine höhere Auswertezuverlässigkeit der zu überwachenden Merkmale erreicht und das Spektrum der detektierbaren Fehler erweitert.

2.4. Methodik der Datenanalyse

Das Framework bietet eine Reihe von mathematischen und maschinellen Lerntechniken. Diese lassen sich in strukturentdeckende und strukturüberprüfende Verfahren unterteilen.

a) Methoden der Strukturfindung

Bei gleichzeitigem Einsatz mehrerer Sensoren spielen die folgenden Aufgabenbereiche eine wichtige Rolle und können mit strukturaufdeckenden Methoden bearbeitet werden:

- Merkmalsauswahl: Die Bauteilqualität wird oft durch eine Reihe von Critical-to-Quality-Metriken (CTQ) beschrieben [10]. Ein automatisches Qualitätskontrollsystem kann jedoch nur auf der Grundlage der verfügbaren Sensordaten Entscheidungen treffen. Daher müssen in den Sensordaten Merkmale gefunden werden, die den gegebenen CTQ optimal repräsentieren.

- Bedeutung: Um anhand von Sensordaten zwischen verschiedenen Arten von Fehlern unterscheiden zu können, muss die Gültigkeit der Sensoren analysiert werden. Hier lautet die zentrale Frage: Wie zuverlässig lassen sich die Ausfälle anhand der gewählten Merkmale voneinander unterscheiden?

- Redundanzanalyse: Bei der Untersuchung ein und desselben physikalischen Systems mit mehreren Sensoren können lineare oder nichtlineare Abhängigkeiten zwischen den Sensoren auftreten. Darüber hinaus kann festgestellt werden, inwieweit sich Sensoren ergänzen und ob der Einsatz zusätzlicher Sensoren einen Vorteil bei der Erkennung eines Qualitätsmerkmals bietet.

- Clustering: Clustering-Techniken können verwendet werden, um eine abstraktere Ansicht eines Sensordatensatzes zu erstellen. Diese ermöglichen z.B. die automatische Erkennung von leicht trennbaren Fehlerklassen.

b) Verfahren zur Strukturprüfung

Das Framework ist in der Lage, aus Beispielen zu lernen, ob ein Fehler vorliegt oder ob das Teil eine gute Qualität hat. Dies wird durch den Einsatz von maschinellen Lerntechniken, so genannten Klassifikatoren, erreicht. Eine wichtige Eigenschaft von Klassifikatoren ist ihre Verallgemeinerbarkeit. Um die Verallgemeinerbarkeit der geschulten Klassifikatoren zu erhalten und das Einprägen von Beispielen zu vermeiden, werden während des Lernprozesses zusätzliche unabhängige Testdatensätze verwendet. Das Lernen wird gestoppt, wenn die Auswertungssi-

cherheit in Bezug auf die Testdatensätze maximal [11] ist.

3. Überwachung von Ausfällen durch Multi-sensor-Datenverarbeitung

Das vorgestellte Framework kann für eine Vielzahl von Multisensor-Anwendungen eingesetzt werden. In der aktuellen Untersuchung wird die optische Fehlerüberwachung von Blechteilen als Anwendungsfall gewählt.

3.1. Optische Fehlerüberwachung von Blechformteilen

Die optische Fehlerüberwachung von Blechteilen ist aufgrund komplexer Teilegeometrien und umfangreicher Produktpaletten eine schwierige Aufgabe [12, 13]. Um die gesamte Oberfläche aller Produkte während der Produktion auf Fehler zu prüfen, sind verschiedene Kameras erforderlich - ein geeigneter Anwendungsfall für das vorgeschlagene Framework, da eine große Menge an Sensordaten in kurzer Zeit ausgewertet werden muss. Darüber hinaus erfordert die Auswertung von Bilddaten eine komplexe Kette von Vorverarbeitungsschritten zur Unterscheidung zwischen realen Fehlern (z.B. Risse, Falten, Ausdünnungen und geometrische Abweichungen) und Störungen wie Schmutz, Kratzer oder Ölbenetzung. Abbildung 4 zeigt Beispiele für Fehlerbilder an Blechteilen.

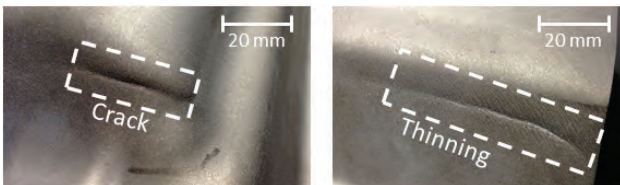


Abbildung 4. Beispielhafte Bilder von Fehlern an geformten Metallteilen.

3.2. Aufbau des Fehlerüberwachungssystems

Für die experimentelle Bewertung des parallelen Überwachungsansatzes wurde ein Inline-Fehlerüberwachungssystem als modulare kamera-basierte Messbrücke für die Prüfung von Blechteilen konzipiert. Abbildung 5 zeigt eine Prinzipskizze des Aufbaus.

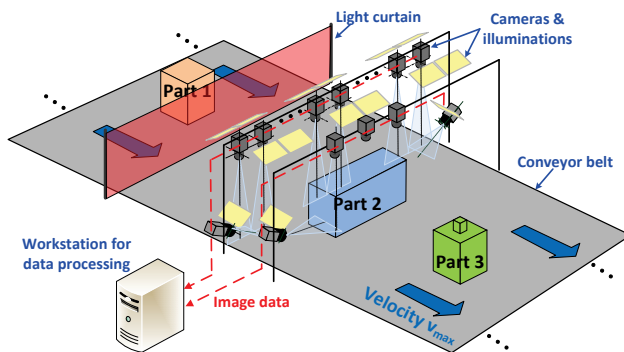


Abbildung 5. Aufbau des Fehlerüberwachungssystems.

Der Aufbau der Messbrücke (Bild 6) ermöglicht die Überprüfung vieler verschiedener Bauteiltypen ohne mechanische Einstellungen mit z.B. 13 Kameras.

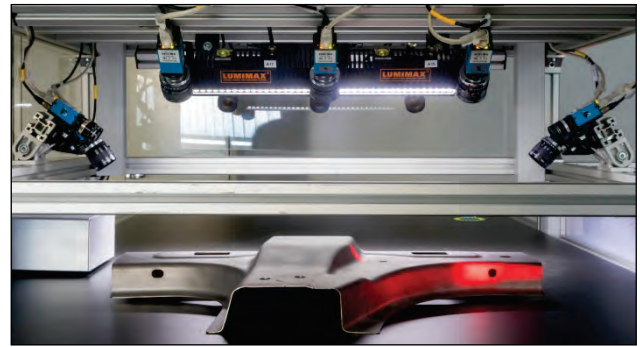


Abbildung 6. Fehlerüberwachungssystem mit geprüfem Blechteil.

Mittels Startbefehl und ID des Teiltyps von der Ablaufsteuerung des Produktionssystems an das Qualitätsprüfsystem wird der Prüfablauf gestartet und jedes unter der Messbrücke liegende Teil von den Kameras fotografiert und auf Oberflächenfehler überprüft. Stellt das System Abweichungen vom Soll-Oberflächenmuster fest, wird eine Fehlermeldung angezeigt. Die Teile werden mittels Bildverarbeitung geprüft. Um Fehler zu erkennen, wurde eine neue Methode für das automatisierte Lernen entwickelt. Die Methode erzeugt ein gutes Zustandsmodell, indem sie mehrere Teile mit guter Qualität verwendet. Treten während des Prüfablaufs Anomalien aus dem guten Zustandsmodell auf, wird das Bauteil durch ein Lichtsignal als defekt gekennzeichnet. Durch den Einsatz effizienter Bildverarbeitungsalgorithmen können auch schnell bewegte Teile zuverlässig geprüft werden. Für eine sichere Erkennung müssen alle Teile eines Typs ungefähr die gleiche Position haben. Kleine Lagetoleranzen können durch die Software ausgeglichen werden. Sind die Abweichungen jedoch zu groß, nimmt die Zuverlässigkeit des Systems ab. Die Spezifikationen des verwendeten Fehlerüberwachungssystems sind in Tabelle 1 aufgeführt.

Teilbreite x Länge	$\leq 0,5 \text{ m} \times 1 \text{ m}$
erkennbare laterale Fehlergröße	0,12 mm x 0,12 mm
Positionstoleranz der Teile	5 mm
Fördergeschwindigkeit	$\leq 1 \text{ m/s}$

Tabelle 1: Technische Daten des Fehlerüberwachungssystems.

3.3. Implementierung des parallelen Überwachungsnetzes für das Fehlerüberwachungssystem

Die Software der Fehlererkennung gliedert sich in die folgenden Schritte, die für jede Kamera parallel ausgeführt werden:

1. Bilderfassung: Die Bilddaten werden erfasst und in ein gerüstinternes Matrixformat umgewandelt.
2. Korrektur der Objektivverzerrung: Das Linsensystem der Kamera führt zu einer verzerrten Darstellung geradliniger Linien. Mit der in [14] dargestellten Korrekturmethode wird die Verzerrung korrigiert.
3. Ausgleich von normalen Platzierungstoleranzen: Die Teile werden von einem Roboter oder Zuführsystem auf das Förderband mit einer Toleranz von $\pm 5 \text{ mm}$ gelegt. Für eine korrekte Bewertung der CTQ-Merkmale muss die tatsächliche Bauteilposi-

on relativ zur Referenzposition als grundlegende affine Transformation (kartesischer Offset, Rotation und perspektivische Verzerrung) für die nachfolgenden Auswertungsschritte bekannt sein. Für die Schätzung der Transformation wird die in [15] dargestellte Methode der Bildregistrierung verwendet.

4. Kantenerkennung und Segmentierung: Die Bauteilkonturen und Oberflächenfehler wie Risse, Falten und Ausdünnungen sind als Kanten sichtbar. In diesem Schritt werden alle diese Kanten mit einer Canny-Operation [16] extrahiert und mit Hilfe der DFS-Methode (depth first search) zu zusammenhängenden Kantensegmenten verkettet [17].

5. Vergleich mit dem Good-State-Modell: Im letzten Schritt muss zwischen Kantensegmenten, die bestimmten geometrischen Merkmalen zugeordnet sind, und der normalen Textur des Bauteils und den durch Fehler verursachten Kanten unterschieden werden. Um Fehlerkanten von normalen Konturen des Bauteils zu trennen, wird die tatsächliche Bauteilposition virtuell in die Referenzposition des Bauteils (Schritt 3) zurück transformiert und mit dem trainierten guten Zustand des Bauteils verglichen.

4. Ergebnisse

Je nach Größe und Komplexität des überwachten Teils sowie der minimalen Größe der detektierbaren Fehler variiert die akkumulierte Anzahl der Bilder aller Kameras für ein bestimmtes Teil. Je kleiner die Größe der Ausfälle, desto kleiner muss das überwachte Kamerafeld bei konstanter Kameraauflösung sein. Dies wird durch den Einsatz verschiedener Objektive erreicht. Wenn die Größe der Kamerafelder abnimmt, steigt die Anzahl der benötigten Bilder für eine vollständige Abdeckung der Bauteiloberfläche. Die Rate der ausgewerteten Bilder pro Sekunde wird durch die Rechenkomplexität der Algorithmen, den Anteil des parallelen Codes und der zugrunde liegenden Hardware begrenzt. Zur Untersuchung der Rechenleistung des implementierten parallelen Überwachungsnetzes wurde ein Testszenario erstellt, in dem die Anzahl der aktiven Kameras von 1 bis 13 variierte. Die Bildraten der Kameras wurden auf die maximale Rate von 30 Bildern pro Sekunde eingestellt. Für jede Kamera wurden die in Abschnitt 3.3 beschriebenen Verarbeitungsschritte gleichzeitig in einem parallelen Überwachungsnetzwerk über einen Zeitraum von 100s durchgeführt. Um die Skalierbarkeit des implementierten parallelen Überwachungsnetzes zu zeigen, wurde das Testszenario auf zwei verschiedenen Hardwareplattformen ausgeführt, wie in Abbildung 8 dargestellt. Die erste Hardwareplattform verwendet eine CPU mit vier Kernen (Intel® Core™ i7 CPU 860, 2,4GHz) und die zweite Plattform eine CPU mit 14 Kernen (Intel® Xeon® E5-2690v4, 2,6GHz).

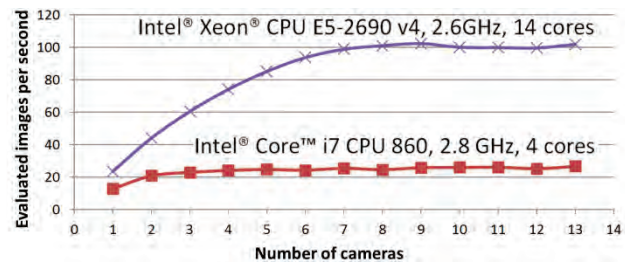


Abbildung 8. Performance von zwei verschiedenen HW-Plattformen zur Fehlerüberwachung in Abhängigkeit von der Anzahl der eingesetzten Kameras.

Das Experiment hat gezeigt, dass die Auswertung von Kamerabildern bis zu 3,5 mal schneller ist, wenn man eine 14-Core statt einer 4-Core CPU verwendet. Tabelle 2 zeigt den Zusammenhang zwischen der minimalen detektierbaren Fehlergröße, der Anzahl der Kameras und den höchstmöglichen Geschwindigkeiten der beweglichen Teile während der Überwachung. Die für die Berechnungen angenommenen Bauteilabmessungen umfassten eine Länge von 1 m, eine Breite von 0,5 m, eine Bildüberlappung von 50% und mindestens 4 Pixel zur Erkennung eines minimalen Fehlers.

Min. failure size [mm]	Camera field [mm x mm]	Num. Cameras	Images per camera	Images per part	V_{max} [mm/s] using 4 cores	V_{max} [mm/s] using 14 cores
0.12	77 x 58	13	35	452	58.9	225.6
0.16	102 x 77	10	26	254	99.5	384.2
0.20	128 x 96	8	21	163	147.5	606.2
0.24	154 x 115	7	17	113	209.1	813.0
0.28	179 x 134	6	15	83	271.7	1049.4

Tabelle 2 Minimale Fehlergrößen und höchstmögliche Bauteilgeschwindigkeiten.

5. Fazit

Für die parallele Datenüberwachung wird ein neuartiges Framework vorgeschlagen, das eine automatische Verteilung komplexer Datenverarbeitungsaufgaben auf Multi-Core-Computerhardware ermöglicht. Das Framework wurde für den Anwendungsfall der Multi-Kamera-Fehlerüberwachung von Blechteilen evaluiert. Durch Parallelisierung sind kleinere Fehlergrößen erkennbar und kürzere Prüfzykluszeiten realisierbar. Aufgrund der erreichten höheren Leistung können Systeme, die bisher nur für die Offline-Inspektion einzelner Musterteile geeignet waren, nun auch für die 100%ige Inline-Überwachung eingesetzt werden.

Zukünftige Arbeiten werden sich mit der Integration von 3D-Kameras und Multispektralkameras befassen. Anwendungsgebiete sind die Überwachung von beschichteten, organischen und Verbundteilen.

Literaturverzeichnis

- [1] ElMaraghy, W., ElMaraghy, H., Tomiyama, T., Monostori, L., 2012, Komplexität in Konstruktion und Fertigung, *CIRP Annals*, 61/2: 793-814
- [2] Efthymiou, K., Pagoropoulos, A., Papakostas, N., Mourtzis, D., Chryssolouris, G., 2012, Überprüfung der Komplexität von Fertigungssystemen: Herausforderungen und Ausblick, *Procedia CIRP*, 3: 644-649
- [3] Jawahir, I.S., Attia, H., Biermann, D., Duflou, J., et al. 2016. Kryogene Herstellungsverfahren, *CIRP Annals*, 65/2: 713-736
- [4] Mickler, M., Jildeh, H. B., Attarakih, M. und Bart, H.-J., 2014, Online Überwachung, Simulation und Vorhersage von Mehrphasenströmungen. *Kannst. J. Chem. Eng*, 92: 307-317
- [5] Hosseini Rad, M., Patooghy, A., Fazeli, M., 2017, Ein effizientes Programmierskelett für Cluster von Mehrkernprozessoren, *M. Int J Parallel Prog*, 1-16
- [6] Dekens, B. H. J., 2015, Kostengünstige heterogene eingebettete Multiprozessorarchitektur für Echtzeit-Stream-Verarbeitungsanwendungen, *CTIT Dissertationsreihe*, Universität Twente, Enschede
- [7] Solihin, Y., 2015, Grundlagen paralleler Multi-core-Architektur (1. Auflage), *Chapman & Hall/CRC Computational Science*
- [8] Baskiyar, S., SaiRanga, P. C., 2003, Scheduling leitete a-zyklische Task-Graphen auf heterogenem Netzwerk von Workstations zur Minimierung der Schedule-Länge, 2003 *International Conference on Parallel Processing Workshops*, Proceedings, 97-103
- [9] Johnston, W. M., Paul Hanna, J. R., Richard J. M., 2004, Fortschritte in Datenfluss-Programmiersprachen. *ACM Comput. Überleben*, 36: 1-34
- [10] Kiritkumar, V., Desai, D. A., 2017, Status von Six Sigma und anderen Qualitätsinitiativen in Gießereien weltweit: eine kritische Untersuchung, *IJAIE* 4.1, 65-84
- [11] Zhang, G. P., 2000, Neuronale Netze zur Klassifikation: eine Übersicht, in *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part C (Applications and Reviews)*, 30/4: 451-462
- [12] Bräunlich, H., Neugebauer, R., 2001, Regelung von Tiefziehprozessen, *Abteilung Maschinenbau*, Katholische Universität Leuven, 529-538
- [13] Zoesch, A., Wiener, T., Kuhl, M., 2015, Null-Fehler-Herstellung: Erkennung von Rissen und Materialverdünnung beim Tiefziehen, *Procedia CIRP* 33, 179-184
- [14] Weng, J., Cohen, P., Herniou, M., 1992, Kamerakalibrierung mit Verzeichnungsmodellen und Genauigkeitsbewertung, *IEEE-Transaktionen zur Musteranalyse und Maschinenintelligenz*, 14/10 : 965 – 980
- [15] Evangelidis, G. D., Psarakis, E. Z., 2008, Parametrische Bildausrichtung mit verbesserter Korrelationskoeffizientenmaximierung, *IEEE-Transaktionen zur Musteranalyse und Maschinenintelligenz*, 30/10: 1858-1865
- [16] Deng C. X., Wang G. B., Yang, X. R., 2013, Bildkantenerkennungsalgorithmus basierend auf verbessertem Canny Operator, *International Conference on Wavelet Analysis and Pattern Recognition*, Tianjin, 168-172
- [17] Cormen, T. H., Leiserson C. E., Rivest, R. L., Stein C., 2001, Einführung in Algorithmen, *MIT Press und McGraw-Hill*, 2: 540-549

HERSTELLUNG ELEKTRISCH LEITFÄHIGER STRUKTUREN AUF TECHNISCHEN TEXTILIEN MITTELS FREIFORMTECHNOLOGIE

Hagen Bankwitz, Jörg Hübler
Hochschule Mittweida, Technikumplatz 17, D-09648 Mittweida

Der vorliegende Beitrag gibt den Stand eines von der SAB geförderten Forschungsprojektes wieder, welches thematisch eine Herstellungstechnologie für elektrisch leitfähige Strukturen auf technischen Textilien mittels einer Freiformtechnologie beschreibt. Zuerst wird der aktuelle Stand der Technik im Bereich smarter Textilien dargestellt und auf Schwachstellen dieser eingegangen. Als Verbesserungspotenzial wurde die Verbindung zwischen Leiter und integrierter Elektronik ausgemacht. Diese Verbindung soll mittels einer Freiformtechnologie aus einem elektrisch leitfähigen Kunststoff hergestellt werden. Anschließend wird das Vorgehen im Projekt beschrieben. Es konnte dabei die prinzipielle Funktionsfähigkeit dieser Methode nachgewiesen und erste leitfähige Strukturen auf einem Textil appliziert werden. Abschließend wird auf das weitere Vorgehen des Projektes eingegangen. Es soll im weiteren Projektverlauf Sensorik mittels gedruckter leitfähiger Kunststoffe an die im Textil vorhandenen Leiterbahnen kontaktiert werden. Außerdem sollen ein Temperatur- und ein Feuchtigkeitssensor direkt auf ein Textil mittels Freiformtechnologie hergestellt werden.

1. Einleitung

Textilien sind Teil unseres alltäglichen Lebens. Sie befinden sich nicht nur in Kleidung, sondern auch in Geräten und Maschinen in Form von technischen Textilien oder Verbundwerkstoffen. Dabei halten sie enormen Belastungen stand und besitzen gleichzeitig ein geringes Gewicht und eine hohe Flexibilität. Durch die Integration von Sensorik eröffnen sich völlig neue Anwendungsfelder. In Bild 1 und 2 sind exemplarisch zwei Anwendungen dieser sogenannten Smart Textiles oder auch Wearable Electronics dargestellt.



Bild 1: Industriehandschuhe mit integrierten Sensoren (Druck, Temperatur; aus [2])

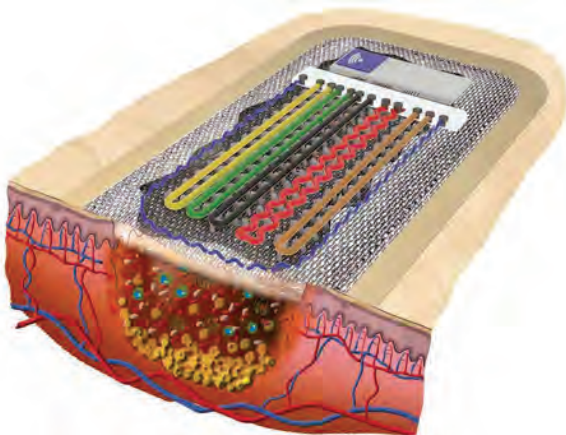


Bild 2: Vom ITA Aachen im Jahr 2016 vorgestellte Medizintextilie zur Überwachung von Wunden (aus [2])

Allen gemeinsam ist, dass elektrische Leiter in die textile Grundstruktur integriert sind, was eine Verbindung (Kontaktierung) zwischen den elektronischen Komponenten und dem Textil erfordert, um sowohl die Strom- als auch die Signalübertragung im fertigen Textil zu realisieren. Die Verbindung mit der externen Stromquelle oder der Datenauswertungseinheit erfolgt dann über das kontaktierte Kabel.

Die in den voranstehenden Abbildungen gezeigten Textilien mit integrierter Sensorik bzw. Elektronik nutzen das System gekapselter Interposer oder noch größerer Anbindungssockel, um die Übertragung von Signalen und/oder elektrischem Strom auf Kabel bzw. Stecker zu realisieren oder bestimmte Funktionen auf der Textiloberfläche zu erzeugen. Während die Sensoren bereits durch Sticken oder Drucken in bzw. auf das Textil appliziert und isolierte Leiter in Gewebe, Vliesstoffe oder Geflechte eingearbeitet werden können, werden Drucksensoren und einfache, logische Schaltkreise noch nicht direkt am Textil, sondern über die Schnittstelle den Interposer kontaktiert, da wegen der Fertigungstoleranzen in Textilien eine direkte Kontaktierung noch nicht möglich ist [1]. Diese Interposer bestehen meist aus einer Metallfolie oder einer metallisierten Folie (vgl. [1] und Bild 3).

Der Interposer wird leitfähig mit den Kontaktierungspunkten verbunden, sodass eine Strom- und/oder Signalübertragung möglich ist und damit Signale aus Sensoren ausgelesen oder bestimmte Funktionen an Aktoren ausgelöst werden können. Das Kontaktieren des Chips am Interposer geschieht zumeist mit klassischen, metallischen Loten oder ICA-Klebern (Isotropically Conductive Adhesive). Auf dem Interposer selbst können elektrische Leiterzüge erzeugt werden, die an den Außenkanten des Interposers über deutlich größere Kontaktstellen verfügen, sodass man die Fertigungstoleranzen des Textils vernachlässigen und zuverlässig elektrisch kontaktieren kann.

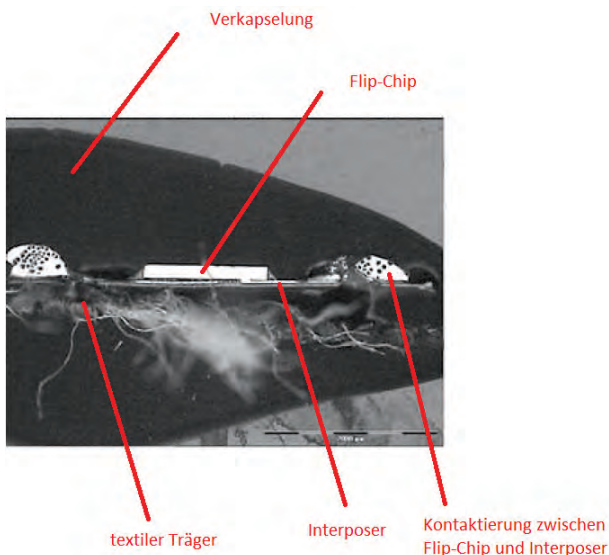


Bild 3: Beispiel eines Interposers (aus [1])

Durch die Verwendung eines Interposers entstehen auf dem Textil erhabene Stellen (vgl. Abb. 3), welche eine Störstelle in der textilen Struktur darstellen. Das kann nicht nur negative Auswirkungen auf den Tragekomfort (harte Noppen, veränderte Biegeflexibilität und damit veränderte Anschmiegsamkeit an den menschlichen Körper) haben, sondern stellt auch eine lokale, starke Veränderung der Steifigkeit dar. In Hinblick auf mechanische Belastungen (z.B. Biege-, zug- oder Impactbelastung) des Textils sind solche Stellen als Sollbruchstellen zu sehen, welche ein undefinierbares, vorzeitiges Versagen des Textils an der Applikationsstelle hervorrufen können.

Elektrische Leiterbahnen werden nur in Form von Kabeln oder Drähten in das Textil eingebunden und an entsprechender Stelle dann wie oben beschrieben mit den Interposer kontaktiert, die mit elektronischen Bauteilen, Schaltern, Relais, LEDs und anderen Komponenten bestückt sind.

In diesem Beitrag soll eine Herstellungstechnologie für elektrisch leitfähige Strukturen und einfache Schaltkreise auf technischen Textilien mittels Freeformtechnologie beschrieben werden. Dabei sollen elektrisch leitfähige Kunststoffe eingesetzt werden bzw. Kunststoffe leitfähig gemacht werden.

2. Entwicklung der Herstellungstechnologie

Als Basis für die Entwicklung der Herstellungstechnologie wird der freeformer der Firma Arburg verwendet. Der Aufbau dieses 3D-Druckers ist in Bild 4 dargestellt. Mit diesem Gerät können Schichtdicken von 150 bis 300 µm realisiert und somit auch sehr kleine Strukturen hergestellt werden. Die Tropfgeschwindigkeit beträgt bis zu 300 Hz. Als Werkstoff können Standardgranulate eingesetzt werden, womit eine große Flexibilität gewährleistet wird. Außerdem können gleichzeitig zwei Komponenten verarbeitet werden, was für das Auftragen leitfähiger Schichten mit Ummantelung eines Isolators (nichtleitfähiges Polymer) von Vorteil ist.

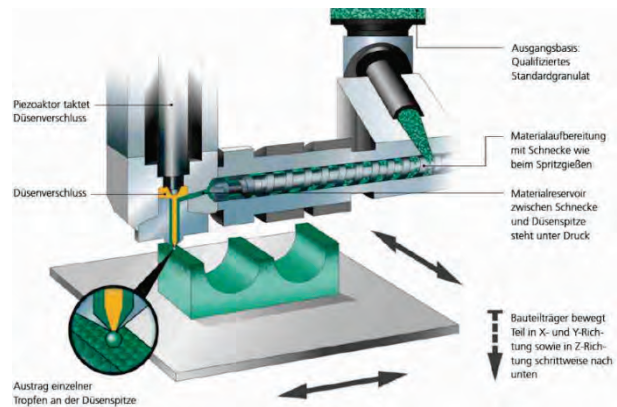


Bild 4: Aufbau des freeformer Arburg (aus [5])

In den ersten Versuchen wurden auf einem Polyesterglas-Kupferdraht-Gewebe (vgl. Bild 5) und einem Vliesstoff-Kupferlitzten-Gelege (vgl. Bild 6) je ein Punkt mit einem thermoplastischen Polyesterelelastomer (TPE-ET) gedruckt. Die Haftung zwischen dem gedruckten Punkt und dem Textil war ausreichend groß, so dass damit der Nachweis der prinzipiellen Machbarkeit erbracht wurde.

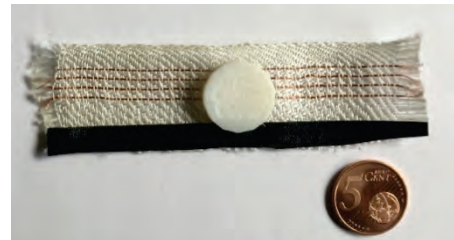


Bild 5: Polyesterglas-Kupferdraht-Gewebe mit aufgedruckten TPE-ET-Punkt

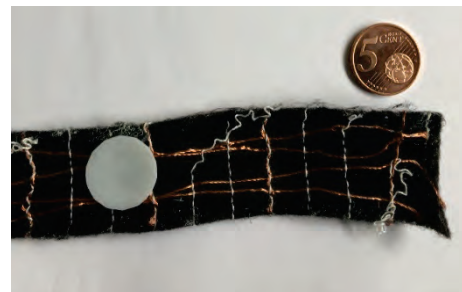


Bild 6: Vliesstoff-Kupferlitzten-Gelege mit aufgedruckten TPE-ET-Punkt

Obwohl das Matrixmaterial der Textilien ähnlich war Unterschiede, traten jedoch bei der Haftung zwischen den zwei Textilien mit dem TPE-ET-Punkt auf. Die Haftung bei dem Vliesstoff war höher als bei dem Gewebe. Daraufhin wurden die Proben so präpariert, dass eine Untersuchung mittels Stereomikroskopie durchgeführt werden konnte.

In Bild 7 ist die stereomikroskopische Aufnahme des gedruckten TPE-ET-Punkts mit dem Polyesterglas-Kupferdraht-Gewebe dargestellt. Es ist ersichtlich, dass die Matrixmaterialien des Textiles und des gedruckten Punktes nur eine geringe Vermischung aufweisen. Die Haftung erfolgt also lediglich durch die adhäsiven Kräfte zwischen den beiden Körpern mit einer relativ geringen Fläche.



Bild 7: Stereomikroskopische Aufnahme nach Präparation des Polyester-Kupferdraht-Gewebes mit gedrucktem TPE-ET-Punkt

Die Aufnahme des bedruckten Vliesstoffes ist in Bild 8 dargestellt. Anders als bei der Variante mit Polyester-Kupferdraht-Gewebe ist eine deutliche Vermischung mit den Fasern des Vliesstoffes zu erkennen. Dadurch wird die in Kontakt stehende Oberfläche der beiden Objekte und somit auch die verbindende Adhäsionskraft vergrößert. Weiterhin wirkt diese Durchdringung als Formschluss, was ebenfalls die Haftkraft der beiden Körper erhöht.

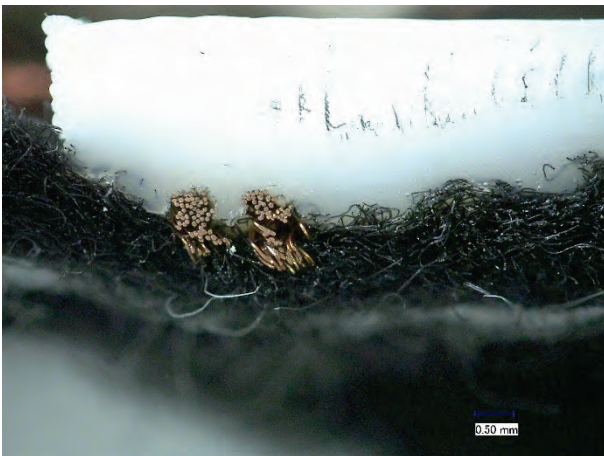


Bild 8: Stereomikroskopische Aufnahme nach Präparation des Vliesstoff-Kupferlitzens-Geleges mit gedrucktem TPE-ET-Punkt

Im weiteren Verlauf des Projektes wird, auf Grund der höheren Haftung mit der gedruckten Struktur, nur noch das Vliesstoff-Kupferlitzens-Gelege betrachtet. Als nächster Schritt wurde ein elektrisch leitfähiger Kunststoff (PRE-ELEC PP 1383, Schwarz) auf den Vliesstoff aufgedruckt. Hier wurde zunächst eine einfache Form gewählt, siehe Bild 9. Auch mit diesem Kunststoff konnte ein optisch gutes Druckergebnis erzielt werden.

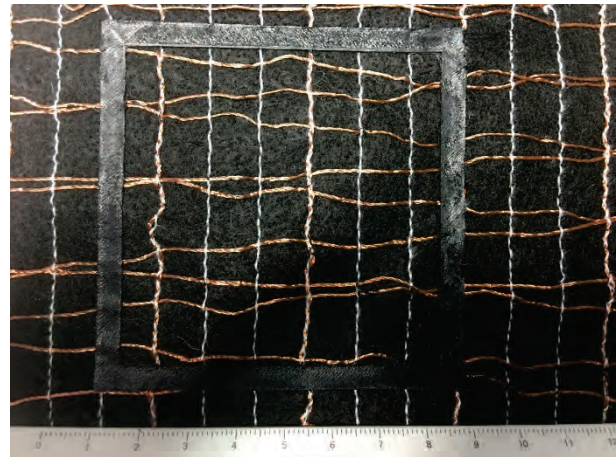


Bild 9: Vliesstoff-Cu-Litzen-Gelege mit aufgedrucktem PRE-ELEC PP 1383

Im Anschluss wurde die elektrische Leitfähigkeit mit dem im Bild 10 dargestellten Versuchsaufbau nachgewiesen. Dabei wurde der elektrische Widerstand zwischen den beiden Messpunkten (Im Bild als gelbe Punkte dargestellt) ermittelt.

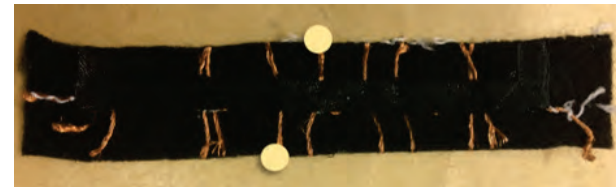


Bild 10: Versuchsaufbau für den Nachweis der elektrischen Leitfähigkeit.

3. Ausblick

Im Weiteren sollen zunächst einfache elektronische Bauteile (LED, Schalter, Sensor) mithilfe des 3D-Drucks auf den Vlieswerkstoff appliziert werden. Es sollen dabei die Wirkung der verschiedenen Additive (Aluminium, Silber, Kupfer, Graphit) und deren Konzentration in der zu druckenden Kunststoffmatrix auf den elektrischen Widerstand untersucht werden. Ziel ist es, den besten Kompromiss zwischen elektrischer Leitfähigkeit und minimalen Kosten bei gleichzeitig guter Verarbeitbarkeit und mechanischen Eigenschaften herauszufinden. Es sollen dabei Leiterdurchmesser von 0,15 bis 2 mm realisiert werden können, bei einer Biegesteifigkeit des Verbunds im Bereich von 2,5 bis 25 GPa. Diese Proben sollen nach Fertigstellung einem elektrischen Langzeittest unterzogen werden. Dabei soll herausgefunden werden, ob und wie sich der Widerstand über einen längeren Zeitraum verhält. Außerdem sollen auch Waschtests durchgeführt und deren Auswirkung auf die Funktion untersucht werden. Dies ist für Textilien wichtig, die am Körper getragen werden, da diese regelmäßig gereinigt werden müssen. Bei technischen Textilien ist dieser Test jedoch von untergeordneter Bedeutung. Ebenso soll die Biegefestigkeit des Verbunds in einem Langzeitversuch untersucht werden. Um Verschleißtests unter realen Bedingungen (mit abrasiven Medien) durchzuführen, wird ein Tribologieprüfstand an der Professur entwickelt.

Dieser Test ist besonders für technische Textilien und Kleidung wichtig, die in rauen Umgebungsbedingungen eingesetzt werden.

Als nächsten Schritt ist geplant, einfache elektrische Schaltkreise/ Sensorik auf das Textil zu applizieren. Hier soll exemplarisch ein textiler Temperatursensor entwickelt werden. Dabei soll der Effekt der Widerstandsänderung infolge einer Temperaturänderung ausgenutzt werden. Demnach hat eine Erhöhung der Temperatur bei Kunststoffen und metallischen Werkstoffen eine Erhöhung des elektrischen Widerstands zur Folge. Um einen möglichst großen Widerstand zu erzeugen ist der Leiter gitterförmig, ähnlich wie bei einem Folien-Dehnmessstreifen, anzuordnen.

Weiterhin soll auch ein Feuchtigkeitssensor entwickelt werden. Der Aufbau einer kapazitiven Feuchtigkeitssenzelle ist in Bild 11 dargestellt. Die einzelnen Schichten können mit dem 3D-Druck sehr gut schichtweise hergestellt werden. Dabei besteht die unterste Schicht aus einem elektrisch leitenden Kunststoff der flächig aufgetragen wird. Die mittlere Schicht wird aus einem hygroskopischen Polymer auf die erste Schicht flächig aufgedruckt. Bei der Auswahl des Polymers ist darauf zu achten, dass die Haftkraft zwischen den Schichten möglichst groß ist, um eine stabile Funktion zu gewährleisten. Die oberste Schicht muss porös sein, um die Feuchtigkeit in die mittlere Polymerschicht zu transportieren. Mit dem leitfähigen Kunststoff der ersten Schicht wird sie deshalb als Gitter aufgetragen.

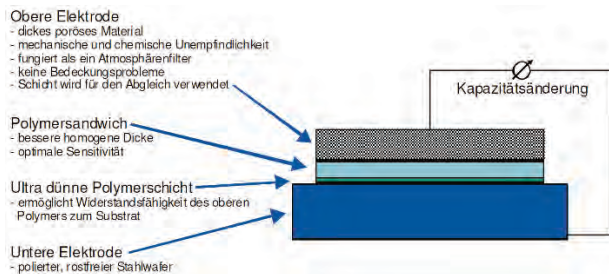


Bild 11: Prinzipieller Aufbau einer kapazitiven Feuchtigkeitssenzelle [4]

Die Funktionsfähigkeit der zu entwickelnden Sensoren soll durch Langzeituntersuchungen überprüft werden. Dabei sollen Sie auch mechanisch auf Biegung und tribologisch (Verschleiß) unter realitätsnahen Bedingungen beansprucht werden.

4. Zusammenfassung

Textilien mit integrierter Elektronik werden in Zukunft weiter an Bedeutung gewinnen. Dabei werden sie sowohl in Kleidung als auch als technische Textilien eingesetzt. Die Anbindung komplexer elektronischer Bauteile an einen Signalleiter spielt dabei eine wesentliche Rolle. Sie sollte möglichst elastisch und widerstandsfähig sein. Hierbei können gedruckte Strukturen aus elektrisch leitfähigen Polymeren einen Beitrag leisten. In dem Forschungsprojekt konnte bereits die prinzipielle Funktionsfähigkeit dieses Herstellungsverfahrens nachgewiesen werden. Im

weiteren Verlauf des Projektes sollen einfache Schaltkreise und Sensoren direkt mittels 3D-Drucks auf das Textil appliziert werden.

Danksagung

Wir danken der Sächsischen Aufbaubank (SAB) für die Förderung der Forschungsarbeiten mit Finanzmitteln im Rahmen des Innovationsvorhabens zur Profilschärfung 2020. Weithin möchten wir uns bei unserem Projektpartner dem Zentrum für Konstruktionswerkstoffe der TU Darmstadt für die Bereitstellung des 3D-Freiformers bedanken.

Literaturverzeichnis

- [1] Gries, T.; Klopp, K.: Füge- und Oberflächentechnologien für Textilien; ISBN 978-3-540-37227-1; Springer Verlag, 2007
- [2] Forschungskuratorium Textil e.V.: Textil und Mode; Ausgabe 11/2016
- [3] Interactive Wear AG: Serienproduktion von Smart Textiles /Wearable Electronics; Smart-Tex Netzwerk Seminar, 05/2016
- [4] <https://www.all-electronics.de/anwendungen-fuer-miniaturisierte-feuchtigkeit-temperatursensoren/> Stand 14.09.2018
- [5] <https://www.arburg.com/de/de/leistungsspektrum/additive-fertigung/system-freeformer/> Stand 14.09.2018

REALISIERUNG EINES PRÜFSTANDSYSTEMS ZUM REPRODUZIERBAREN TESTEN MODERNER AUTOMATISierter FAHRZEUGE

Thomas Pfaff, Axel Pätzold, Ullrich Scheunert
FusionSystems GmbH, Annaberger Straße 240, 09125 Chemnitz

Ausgehend von sicherheitstechnischen Systemen werden zunehmend Eingriffe durch Assistenzsysteme für das automatisierte Fahren realisiert. Neben aufwändigen und bedingt reproduzierbaren Realfahrten sind Einzelprüfstände zum Testen notwendig. Der realisierte mehrachsige Prüfstand ermöglicht eine dynamische Prüfung von bereits teilautomatisierten Funktionen unter realistischen und reproduzierbaren Bedingungen. Die Überwachung der Fahrzeugreaktion in unterschiedlichen Szenarien ermöglicht eine Weiterentwicklung von Assistenzfunktionen, die Sicherstellung festgelegter Qualitätsanforderungen sowie eine Überprüfung der Funktionsfähigkeit des Fahrzeuggesamtsystems von Produktentwicklung bis Ende des Produktlebenszyklus. Auf Grund des herstellerunabhängigen und ganzheitlichen Realisierungsansatzes des Antriebsprüfstandes sind Bewertungen und Entwicklungen im Bereich des automatisierten Fahrens, wie unter anderem eine benutzerdefinierte Anpassung zur Komfortsteigerung, möglich.

1. Einleitung

Durch den wachsenden Automatisierungsgrad in Fahrzeugen steigen zugleich Sicherheit und Komfort für den Fahrer, da bereits automatisierte Funktionen den Fahrer frühzeitig warnen oder entlasten [1]. Auf dem Weg zum autonomen Fahren wird die Komplexität des Fahrzeugsystems jedoch immer weiter erhöht und erschwert die Testbarkeit durch die gegenseitigen Abhängigkeiten der Regeleingriffe. Aktuelle Entwicklungen müssen somit durch Einzelprüfstände oder durch aufwändige reale Testfahrten gestützt werden. Ein ganzheitlicher Ansatz zum reproduzierbaren Untersuchen des Gesamtsystems „Fahrzeug“ existiert bisher nicht.

2. Prüfstandsystem

Durch die Komplexität des Systemverhaltens des zu untersuchenden Fahrzeuges ist für die Datenerfassung neben der Sensorik eine umfangreiche Aktorik notwendig, da mit dieser die unterschiedlichen Fahrsituationen nachgebildet werden müssen. Der bereits realisierte Prüfstand beruht auf dem Prinzip eines Rollenprüfstandes und ermöglicht durch seine insgesamt 31 Synchronmotoren ein breites Spektrum an Testszenarien.

Für die Antriebsprogrammierung zur dynamischen Prüfung von Fahrzeugassistenzsystemen kommt das Motion Control System SIMOTION der Siemens AG zum Einsatz. Durch die Vielzahl der Achsen wird die Kernkomponente D455-2 DP/PN über PROFIBUS mit mehreren Drive-based Controller Extensions ausgebaut. Die sicherheitsrelevanten Funktionen und allgemeinen Steuerungsaufgaben werden gemeinsam mit einer CPU1513F realisiert.

Um die Bedienerfreundlichkeit zu gewährleisten, sind mehrere HMI integriert. Diese dienen der Parametrierung, Überwachung und Protokollierung des Prüfstandes. Darüber hinaus ist das Prüfstandsystem für die Messwertaufarbeitung in Echtzeit über eine weitere PROFINET-Schnittstelle mit einem LabVIEW-System verbunden und kann

auch unabhängig davon die Daten über OPC UA an höhere Hierarchien übermitteln. Dieser Daten- und Informationsaustausch-Standard ermöglicht eine einfache Integration im Bereich Industrie 4.0.

Neben diesen softwareseitigen Erweiterungsoptionen ist der ganzheitliche und herstellerunabhängige Ansatz der Hardware hervorzuheben. Die acht Rollenantriebe haben eine mechanische Nennleistung von jeweils 103kW und ermöglichen Untersuchungen an unterschiedlichen Fahrzeugtypen in vielen Betriebs- und Dynamikbereichen. Eine Verschiebung der vier Leichtbau-Rollenpaare bietet weiterhin eine Simulation von unterschiedlichen Fahrbahnbelägen, da diese quer zur Umlaufrichtung unterschiedlich beschichtet sind (Abbildung 1). Die Reibwertänderung ist für Analysen bei Beschleunigungs- und Verzögerungsphasen bedeutsam [2].



Abbildung 1: mehrachsiger Rollenprüfstand [3]

Gegenüber einem klassischen Rollenprüfstand kann durch den elektrifizierten Unterbau jedes einzelne Antriebsrollenpaar verstellt werden. Die Analysen der Längsdynamik werden durch die Möglichkeit des Heckausbrechens mit Querbeschleunigungen bis $3,5 \text{ m/s}^2$ erweitert und ermöglichen Testszenarien für Analysen mit querdynamischen Parametern. Zusätzlich zu dem Ausschwenken können durch patentierte Stoßrollen mit einem Maximalhub von 50mm in jedem Rollenpaar auch die Stoßdämpfer untersucht und so Fahrten über Schwellen oder Kopfsteinpflaster modelliert werden.

3. Anwendungsgebiete

Es existiert eine Vielzahl von Prüfständen für Fahrzeuge am Markt oder im Forschungs- und Entwicklungsbereich. Diese beschränken sich jedoch meist auf einzelne Kernfunktionen oder Komponenten.

Die Untersuchung des Fahrzeuges mit allen integrierten Funktionen als Gesamtsystem erfolgt trotz der steigenden Automatisierung mehrheitlich mit realen Testfahrten. Diese bieten den Vorteil des realitätsnahen Einsatzes, sind aber meist schlecht reproduzierbar, aufwändig und stellen besonders bei der Validierung autonomer Fahrfunktionen ein Risiko hinsichtlich der Fußgängersicherheit dar. Die Komplexität moderner Fahrzeuge erfordert somit immer umfangreichere Prüfstandsysteme zur Untersuchung des Gesamtsystems, da dessen schwierige Testbarkeit durch die Vielzahl an gegenseitigen Abhängigkeiten den Testaufwand deutlich erhöht.

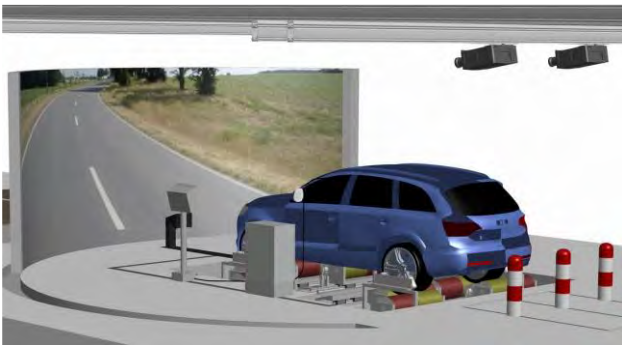


Abbildung 2: Gesamtkonzept [4]

Realfahrten werden zukünftig eine wichtige Rolle spielen, da kein automatisierter Prüfstand jede Individualität des realen Fahrzeugumfeldes nachbilden kann. Für die immer weitreichenderen Eingriffe in das Fahrverhalten sind aber auch Analysen der Assistenzsysteme im Grenzbereich notwendig. Die automatisierte Entscheidungsfindung aus der multisensoriellen Datenfusion lässt schlecht kalkulierbare Risiken für alle Verkehrsteilnehmer erwarten, vor allem wenn sich ein System noch im Entwicklungsstadium befindet.

Neben einem solchen Entwicklungsprüfstand ist für die Qualitätssicherung ein End-Of-Line-Prüfstand wünschenswert. Die Erfüllung der Anforderungen an ein Produkt müssen sichergestellt werden und dies möglichst mit einem ressourcenschonenden Testverfahren um betriebswirtschaftliche Vorteile gegenüber Konkurrenten zu besitzen.

Aus diesem Aspekt heraus entsteht die Anforderung, dass der Prüfstand sicher und leicht bedienbar ist. Denn die Überprüfung der Fahrzeugfunktionen sollte nicht nur bei der Fertigung erfolgen, sondern auch während des gesamten Produktlebenszyklus. Die ordnungsgemäße Funktionsfähigkeit der Assistenzsysteme nach einem Unfall und deren Analyse während der Hauptuntersuchung sind für Prüforganisationen und ebenfalls für den Kunden

interessant.

Die Kaufentscheidung des Kunden wird zukünftig durch die Personalisierung des Fahrzeuges und der damit verbundenen Komfortsteigerung beeinflusst. Die Fahrzeugindividualisierung ist bereits beim Kauf durch unterschiedliche Modellvarianten und anschließend durch Einstellungen am Bordcomputer möglich. Diese Individualisierung könnte zukünftig durch eine simulierte Fahrt mit vielfältigen Situationen durchgeführt werden, indem die Assistenzsysteme an die unterschiedlichen Komfortzonen der Kunden angepasst werden. Weiterhin kann mit dieser Datenerhebung auch die Entwicklung und Anpassung der Funktionen kundenorientierter gestaltet werden.

4. Realisierung

Für die Assistenzfunktions- und Systemüberwachung müssen multisensorielle Daten während einer realitätsnahen Nachbildung einer Fahrt analysiert werden. Für die Messwerterfassung wurde die regelbare Aktorik so implementiert, dass die Randbedingungen am System „Fahrzeug“ sichergestellt werden. Es können durch den verstellbaren Unterbau der Antriebsrollen verschiedenartige Fahrzeuge untersucht werden. Die Anpassung der Spurweiten und Achsabstände müssen zudem bei den Testszenarien berücksichtigt werden. Bei dem Bewegungsvorgang mit Ausschwenken des Hecks, welcher beispielsweise für das ESP-Testszenario grundlegend ist, müssen bereits sieben Antriebe die richtige Lage der Rollenpaare zum Rad sicherstellen [5]. Diese zu synchronisierenden Bewegungsabläufe sind durch parametrierbare und achsbezogene Übertragungsfunktionen realisiert.



Abbildung 3: Fahrzeug während Schwenk [3]

Bei Prüfungen mit unterschiedliche Antriebsarten sind die entsprechenden Plausibilitätsprüfungen der Zustände und die Randbedingungen für die einzelnen Testszenarien auszuwählen [6]. Es sind somit umfangreiche Maßnahmen zur Vorbereitung für das eigentliche Testszenario notwendig. Neben einer lückenlosen Protokollierung ist die permanente Datenaufnahme dieser Vorgänge vor allem für die Sicherheit notwendig. So werden der Prüfstand hinsichtlich Sicherheitsrisiken durch unerwartete Reaktionen des Fahrzeuges oder Bedieners und die Achswerte bezüglich ihrer einzelnen

Beschränkungen (unter anderem Beschleunigungen und Endlagen) überwacht. Mittels einer visuellen Rückmeldung vor dem Fahrzeug kann der Fahrer die aktuellen Messwerte und Anweisungen für den reibungslosen Prüfablauf erkennen. Diese Visualisierung wird aktuell von einem LabVIEW-System realisiert. Eine Erweiterung durch eine Simulation des Fahrzeugumfeldes für ein reales Fahrerempfinden ist möglich. Für die Untersuchungen des eigentlichen Assistenzsystems sind grundlegende Funktionen implementiert.

Bei dem ESP-Testszenario muss die Identifizierung der Bremswirkung stattfinden. Für diese Datenauswertung werden die Drehzahlen und Drehmomente der Antriebe sowie deren Ableitungen zur genaueren physikalischen Beschreibung genutzt. So ist es möglich die Bremswirkung radweise zu beobachten und folglich zu analysieren.

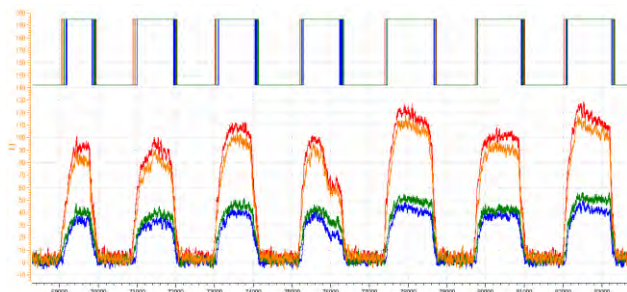


Abbildung 4: Identifizierung Bremswirkung (oben: radweises Bremsident-Bit, unten: Drehmomentverlauf Räder)

Diese Identifizierungsfunktion aus der obigen Abbildung initialisiert sich automatisch im Leerlauf und ermöglicht so eine zuverlässige Identifizierung und Auswertung der Bremskraftverteilung im Testfall. Hinzu kommen neben Untersuchungen der Bremswirkung für Testszenarien wie ABS und ESP auch Analysen der Beschleunigungsphase. Diese Traktionskontrolle beruht trotz herstellerabhängiger Namensgebung (u.a. ASR, ASC, TCS, TRC) auf der gemeinsamen Grundlage des aktiven Bremsens der angetriebenen Räder und/oder dem Eingriff in das Motormanagement zur Leistungsreduzierung, um das Durchdrehen von einem oder mehrerer Räder zu verhindern und die Stabilität des Fahrzeuges zu gewährleisten. Durch die implementierte Drehmomentbegrenzungsregelung [7] und den variablen Übertragungsfaktoren der Gleichlaufachsen können verschiedene Phasen der Beschleunigung des Fahrzeuges reproduzierbar auf dem Prüfstand nachgebildet werden.

Bei einem Kavaliertart mit unterschiedlichen Fahrbahnbeschaffenheiten der beiden Vorderräder liegt der Fokus der Traktionskontrolle bei einem Frontantrieb darin, dass die Antriebsräder einen entsprechenden Vortrieb aufbauen. Zu hoher Schlupf oder Stillstand durch die unterschiedliche Kraftübertragung sind kontraproduktiv, folglich wird das Antriebsmoment entsprechend zum schwerfälligen Rad verlagert. Eine vollständige

Angleichung der Raddrehzahlen an der Vorderachse erfolgt jedoch nicht, solange die Hinterräder stillstehen. Ein vollständiger Drehzahlangleich (unter Berücksichtigung einer gewissen Regelabweichung) lässt sich erst bei mitdrehenden Hinterrädern (Gleichlauf zwischen Vorder- und Hinterachse) beobachten, wie die folgende Abbildung zeigt.

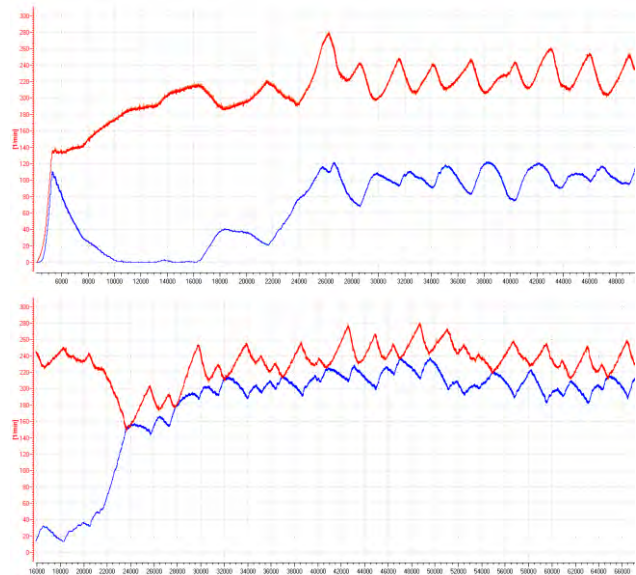


Abbildung 5: Front-Drehzahlen bei Modellierung von unterschiedlichen Phasen des Beschleunigungsvorganges und Fahrbahnbeschaffenheit an der Vorderachse (oben: Beginn, unten: Ende)

Diese auszugsweise vorgestellten Variationen der Parametrierung am Prüfstand ermöglichen die Analysen unterschiedlicher Kennfelder für den Eingriff der Assistenzsysteme in den einzelnen Beschleunigungsphasen. Auch allgemein bekannte Sachverhalte, wie die Wirksamkeit der Traktionskontrolle ausschließlich während des Beschleunigens, lassen sich daraus ableiten und kontrollieren.

Die Parametrierung des Prüfstandes ist fundamental für die Ergebnisse der Untersuchungen, da auf diese Weise die realen Fahrsituationen simuliert werden. Aus diesem Grund wurde die leichte und übersichtliche Bedienbarkeit des Prüfstandes berücksichtigt. Neben einer geführten Bedienung (Verriegelungen durch stetige Überprüfung der Randbedingungen) sind auch die Einstellungen mittels Touch-Panel entsprechend visualisiert.

Zusätzlich zu dem Einstellen der Testparameter können einzelne Teilfunktionen zu- oder abgewählt werden, wie am Beispiel der Stoßdämpferprüfung (Abbildung 6) erkennbar ist. Für den Bediener ist der aktuelle Zustand des Prüfstandes durch Aktualwerte der direkt beteiligten Antriebe am Testszenario und einer Visualisierung des Prüfablaufes immer ersichtlich. Im Beispiel des Stoßdämpfertests können unterschiedliche Hubformen der Stoßrollen im Testfall zugeschaltet werden. Neben bereits vorgegebenen lassen sich auch frei parametrierbare Kurven hinterlegen.

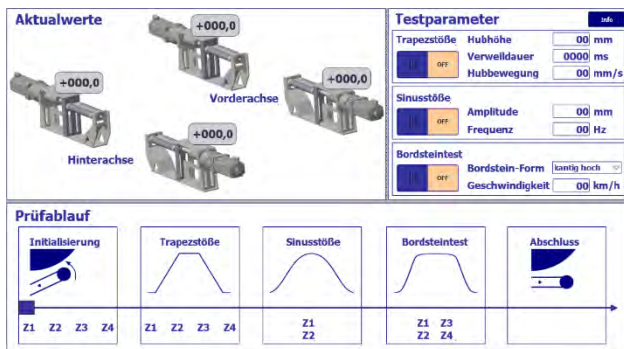


Abbildung 6: bedienerfreundliches und parametrierbares Konzept (Beispiel Stoßdämpfer-Testszenario)

Dieser modulare und folglich leicht erweiterbare Charakter prägt die gesamte Antriebsprogrammierung, um den Prüfstand entsprechend anpassbar an spezielle Anforderungen zu gestalten.

5. Ausblick

Mit dem vorgestellten Prüfstandssystem kann der Umfang subjektiver Realfahrten zukünftig reduziert werden, denn es bietet für die Untersuchungen an aktuellen Assistenzsystemen Reproduzierbarkeit und objektive Gütekriterien zur Verifizierung und Validierung. Weiterhin können neben den bereits weitverbreiteten statischen Prüfungen am Fahrzeug auch dynamische Analysen der Längs- und Querdynamik durchgeführt werden. Langfristig werden so Kosten eingespart und Risiken minimiert,

da moderne Funktionen ausgiebig getestet und Produktmängel, sowie auch verzögerte Markteinführungen, vermieden werden können.

Darüber hinaus bietet der innovative Ansatz die Möglichkeit den Prüfstand durch neue Hardware- und Softwareerweiterungen an zukünftige Entwicklungen anzupassen.

Quellenverzeichnis

- [1] H. Winner, S. Hakuli, F. Lotz, C. Singer (2015): Handbuch Fahrerassistenzsysteme - Grundlagen, Komponenten und Systeme für aktive Sicherheit und Komfort. 3. Auflage. Wiesbaden: Springer Vieweg
- [2] ISO 14512:1999-12, Personenkraftwagen - Bremsen bei Geradeausfahrt auf einseitig glatter Fahrbahn
- [3] „PrüfAss“-Prüfstand an der Westsächsischen Hochschule Zwickau
- [4] Präsentationsmaterial GPI - Gesellschaft für Prüfstanduntersuchungen und Ingenieurdienstleistungen mbH, Lichtentanne
- [5] ISO 3888-2:2002-11, Personenkraftwagen - Prüfgasse für einen schnellen Fahrspurwechsel - Teil 2: Ausweichmanöver
- [6] K. Reif (2010): Fahrstabilisierungssysteme und Fahrerassistenzsysteme. 1. Auflage. Wiesbaden: Vieweg+Teubner Verlag
- [7] J. Weidauer (2013): Elektrische Antriebstechnik - Grundlagen, Auslegung, Anwendungen, Lösungen. 3. Auflage. Erlangen: Publicis Publishing

ENTWICKLUNG EINER TECHNOLOGIE-PLATTFORM ZUM NACHRÜSTEN VON INDUSTRIE 4.0 FUNKTIONEN FÜR DEN MITTELSTAND

Martin Neumann, Patrick Bräuer, André Lange

EDC Electronic Design Chemnitz GmbH, Technologie-Campus 4, D-09126 Chemnitz

Die 4. Industrielle Revolution ist ein Megatrend und enorm wachsender Markt. Während große Konzerne Milliarden-Budgets für die Entwicklung von Strategien für die Digitalisierung ausgeben, steigt durch disruptive Technologien der Innovationsdruck besonders auf kleine und mittelständige Maschinenhersteller. Bereits am Markt verfügbare Lösungen sind oft technisch überdimensioniert und teuer, gleichzeitig sind eigene Strategien und Hardware-Entwicklungen risikobehaftet. Als Entwicklungs- und Fertigungsdienstleister für Industrieelektronik wollen wir diese Lücke für unsere mittelständische Kundschaft schließen und haben dafür die Technologie-Plattform „SmartFit Connect“ entwickelt. Der modulare Ansatz ermöglicht eine schnelle Anpassung an bestehende Steuerungselektronik in kurzen Projekten, unterstützt aktuelle IoT Protokolle wie MQTT und OPC UA und bringt bereits ein eigenes Dashboard für Servicearbeiten mit. In dieser Arbeit gehen wir auf das Konzept, die technischen Hintergründe und auf die damit möglichen Applikationen näher ein.

1. Einleitung

Seit dem durch die 4. Industrielle Revolution die Technologien der Digitalisierung in die Fertigungs-fabriken Einzug halten, steigt die Nachfrage nach technischen Lösungen vor allen Dingen seitens der vielen kleinen- und mittelständischen Maschinenherstellern, deren Produkte sich im internationalen Umfeld behaupten müssen. Diese sind hinsichtlich der genutzten Fertigungstechnologien äußerst leistungsfähig, jedoch werden moderne IoT-Protokolle selten unterstützt.

Weiterhin existieren weltweit in den Fertigungs-betrieben viele Anlagen, die zur Vernetzung mit modernsten Anlagen nur um eine passende Schnittstelle erweitert werden müssen. Laut mehrerer Studien ist das Umrüsten dieser Bestandsanlagen zur digitalen Vernetzung eine besonders für mittelständische Unternehmen geeignete Strategie zum Eintritt in die Industrie 4.0. Dabei stehen neben einigen Vorreitern noch fast ein Drittel der Unternehmen am Anfang¹⁻³.

Als einen möglichen Lösungsansatz für diese beiden Märkte wird in dieser Arbeit eine Kombination aus plattformbasierter Entwicklung und modularer Elektronik vorgestellt, deren Zukunftssicherheit durch die Unterstützung von offenen Standards gewährleistet ist.

2. Konzept


Das „SmartFit Connect“ genannte Konzept muss vielen Aspekten hinsichtlich Technologien, Märkte und unternehmensspezifischer Kompetenzen von EDC Electronic Design Chemnitz GmbH in sich vereinen. Folgende Ziele stehen dabei im Vordergrund: 1. Einfache und effiziente Erweiterung von Maschinen und Bestandsanlagen mit einer IoT-Schnittstelle; 2. Reduktion der Kosten für Entwicklung und Fertigung der Elektronik, für das Nachrüsten und Service-Arbeiten; 3. Sicherheit und Nachhaltigkeit durch Unterstützung von offenen Standards und Update-Funktionalitäten.

Um diese Ziele zu erreichen wird ein modularer Aufbau der Elektronik verwendet. Das erste Ziel wird durch die individuelle Anpassung der M2M-

Schnittstelle an die Anforderungen des Maschinenherstellers erreicht. Hinzu kommt, dass die platzsparende Elektronik nach erfolgter Hutschiene-Montage und Versorgung mit 24 VDC einfach in Betrieb genommen und mittels temporär aktivierbaren WLAN-Access-Point per Smartphone direkt parametrierbar werden kann. Die gewählte Modularität aus entwickelten Standardplatinen für die Netzwerkfunktionen und Bedienung, sowie kunden- bzw. applikations-spezifischer I/O-Platinen ermöglicht eine deutliche Reduktion der Entwicklungskosten. Gleichzeitig können Serienkosten durch Skaleneffekte bei den Standardplatinen weiter gesenkt werden. Weiteres Einsparpotential kann durch eine einfache Installation im Schaltschrank sowie die Parametrierung per WLAN-Access-Point und Web-App erzielt werden.

Der Nachhaltigkeit wird durch die Implementierung von offen dokumentierten Standards wie MQTT, Rest-APIs und OPC UA sowie aktuellen Verschlüsselungsmethoden erreicht. So sind die ausgerüsteten Anlagen für die Planung und Vernetzung durch Systemintegratoren verfügbar und können in höhere ERP- und Datenstrukturen lokal als auch im Internet eingebunden werden ohne dass der Maschinenhersteller selbst ein eigenes digitales Ökosystem betreiben muss. Außerdem kann über den für Service-Zwecke aktivierbaren WLAN Access-Point ein Update-Prozess initiiert werden.

3. Technologie



Aufbau	Platinen	Firmware
Ebene 1: HMI Status LED Buttons	standard	MQTT OPC UA Modbus TCP
Ebene 2: IoT Connect ESP32 Prozessor Ethernet Port	standard	individuell
Ebene 3: Custom I/O I/Os 24 VDC	individuell	Dashboard I/O Parameter Konfiguration

Abb. 1: Aufbau SmartFit Connect

Die SmartFit Connect Elektronik setzen sich aus 3 Platinen-Ebenen zusammen, wie in Abbildung 1

dargestellt.

Die erste Ebene „HMI“ dient zur Interaktion mit dem Service-Techniker und verfügt über Status-LEDs sowie einen Taster zur temporären Aktivierung des WLAN-Access-Points.

Die zentrale zweite Ebene „IoT Connect“ enthält die Logikeinheit ESP32 von Expressif sowie die Ethernet-Schnittstelle um Daten per IoT-Protokoll (MQTT, OPC UA) dem angeschlossenen Netzwerk zur Verfügung zu stellen. Ein Web-Server mit einem interaktiven Status-Dashboard wird ebenfalls über die Ethernet-Schnittstelle ausgeliefert. Beide Ebenen sind durch fertige Standardplatinen realisiert.

Die Individualisierung an die jeweils geforderte Applikation ist nur auf der dritten Platinen-Ebene „Custom I/O“ umgesetzt. Mögliche Anpassungen sind analoge und digitale I/Os, RS485, Anschlüsse für Strom-Sensoren, eine weitere Ethernet-Schnittstelle, Funkmodule etc. Spezielle Funktionen, die zusätzliche Mikrocontroller benötigen können ebenfalls hinzugefügt und programmiert werden. So unterstützt eine Variante die Kommunikation zu einer per Ethernet angeschlossenen SPS mittels Modbus TCP. In diesem Beispiel werden die Daten mittels eines Ringpuffers aus den steuerungsseitigen Registern ausgelesen, in eine MQTT-Nachricht übersetzt und versendet.

Ein großer Vorteil für die Maschinenhersteller ist es, dass die individuelle Anpassung in sehr kurzer Zeit durchgeführt werden kann. In einer Anfangsphase sind die zu erhebenden Daten und verfügbaren Maschinenschnittstellen zu spezifizieren, danach folgt eine Demonstrator-Phase zur hard- und software-technischen Umsetzung. Abschließend wird die Zertifizierung und Serienüberführung durchgeführt.

Im Vergleich zu bereits existierenden Angeboten zur Digitalisierung von Anlagen wird bewusst auf performantere, jedoch auch kostenintensive Embedded-PC-Technik verzichtet. So können die Kosten für leistungsstarke ARM-Prozessoren, DRAM und Schnittstellen eingespart werden ohne die geforderte Funktionalität einzuschränken. Als Folge muss die Komplexität der Softwarekomponenten gering gehalten werden. So wird statt auf, für Sicherheitsprobleme anfällige, Betriebssysteme auf einen schlanken Mikrocontroller-kompatiblen Code gesetzt werden muss.

So wird auf schlanken Mikrocontroller-kompatiblen Code gesetzt, statt auf, für Sicherheitsprobleme anfällige Betriebssysteme.

4. Applikationen

Zusammen mit Partnern aus der Industrie wurden bereits erste individuelle Umsetzungen der Elektronik erprobt. Ein Beispiel ist das Nachrüsten von Filteranlagen mit einem SmartFit Connect Modul. Diese Anlagen können nun aktuelle Informationen über den Status der Anlage sowie Fehlermeldungen senden und empfangen, wodurch neue Applikationen möglich sind.

Aus den erfassten Stromverbräuchen lassen sich

auf entsprechenden Dashboards genau die laufenden Kosten und die Auslastung der Filteranlage ermitteln, Filter rechtzeitig wechseln und im Fehlerfall Lehrvideos für die korrekte Nutzung anzeigen oder eine direkte Verbindung zum Support aufbauen.

Eine Effizienzsteigerung kann besonders dann erzielt werden, wenn die Filteranlagen mit weiteren Sensoren, Maschinen und Leitsystemen vernetzt sind. In Verbindung mit Staubsensoren können situationsbedingt Filteranlagen ihre Leistung anpassen, was Strom spart und den Geräuschpegel senkt. Es lässt sich eine intelligente Klappensteuerung realisieren, die nur dann warme Fabrikluft nach außen transportiert, wenn genau bekannt ist, dass der Umluftbetrieb in der Fabrik nicht erlaubt ist, was auf Basis des abgesaugten Materials unterscheidbar ist. Speziell diese Verknüpfung verhindert zudem, dass ungeeignete Filter eingesetzt werden oder es aufgrund eines Materialwechsels im Prozess zu problematischer Schichtbildung des Filterkuchens kommt, die wegen elektrochemischer Reaktionen zu Filterbrand führen kann.

Sich etablierende digitale Industrie-Plattformen, die ein digitales Typenschild sowie Fähigkeitsverzeichnisse für verschiedene Anlagentypen unterstützen, sind geeignet um noch komplexere Prozesse zwischen Maschinen, Teilerzeugnissen und nicht-digitalen Assets wie Personal oder Lagerstrukturen zu steuern und so die Effizienz von Bestandsanlagen im Verbund weiter zu steigern.

5. Zusammenfassung

Mit Hilfe der vorgestellten Technologie-Plattform „SmartFit Connect“ zum Nachrüsten von Industrie 4.0 Schnittstellen können neue sowie Bestandsanlagen mit geringem Entwicklungsaufwand kostengünstig und individuell für die digitale Vernetzung erweitert werden.

Speziell für mittelständische Unternehmen stellt dieser Ansatz einem einfachen, auf bereits vorhandenen Technologien aufbauenden Einstieg in die Industrie 4.0 dar.

Die Entwicklung der Elektronik konnte an Filteranlagen bereits getestet und deren Beitrag durch neue Applikationen zur effizienteren Einbindung in Fertigungsprozesse untersucht werden.

Danksagung

Die Autoren bedanken sich für die gemeinsame Zusammenarbeit mit der Firma TEKA Absaug- und Entsorgungstechnologie GmbH sowie den Partnern des Industry Business Network 4.0 e.V.

Literaturverzeichnis

- [1] L. Meyer, J. Reker, Deloitte - Industrie 4.0 im Mittelstand, Erfolgsfaktoren im Mittelstand (2016)
- [2] M. Radic, S. Dijk, Zukunftschance Digitalisierung – Ein Wegweiser, Mittelstand-Digital, BMWi (2016), 2. Auflage

- [3] L. Schebek, A. Campitelli, E. Abele, et al., Ressourceneffizienz durch Industrie 4.0 Potentiale für KMU des verarbeitenden Gewerbes, VDI Zentrum Ressourceneffizienz (2017)

***Integrierte
Produktentwicklung und
additive Fertigung***

AUTOMATISIERUNG UND DIGITALISIERUNG VON PROZESSEN FÜHRT ZU PRODUKTIVITÄTSSTEIGERUNGEN

Björn Schuster, Tobias Korb, Tobias Nentwich
N+P Informationssysteme GmbH, An der Hohen Straße 1, D-08393 Meerane

Kurzfassung:

Jeder von uns hat das Gefühl, dass die Zeit immer schneller vergeht bzw. Arbeiten immer kurzfristiger fertiggestellt sein müssen. Besonders deutlich wird dies im Spannungsfeld von täglich abzuarbeitenden Routineaufgaben und der Anforderung immer innovativer und kreativer Denken zu müssen. Parallel ergeben sich durch die neuen IT-Technologien Möglichkeiten durch Digitalisierung Routineaufgaben zu automatisieren. Wir als IT-Lösungsanbieter sehen uns als Partner und Umsetzer solcher Digitalisierungsprojekte und unterstützen unsere Kunden bei der Erschließung von Produktivitätsreserven oder der Entwicklung neuer datengetriebener Geschäftsmodelle.

Im Fokus des Beitrages stehen sowohl der Engineering-Bereich als auch datengetriebene Services und die Automatisierung der Produktion. Anhand konkreter Digitalisierungsszenarien werden erzielte Potenziale zur Produktivitätssteigerung aufgezeigt und Anregungen zur Optimierung von Bestandsprozessen gegeben, welche maßgeblich zur Steigerung der Wettbewerbsfähigkeit führen.

1. Einleitung

In mittelständischen Unternehmen gibt es eine Vielzahl verschiedener Softwaresysteme, die unzählige Daten erfassen und verarbeiten. Unsere Erfahrung zeigt, dass die Auswertung und aktive Nutzung der vorhandenen Daten eine deutliche Effizienzsteigerung mit sich bringen kann. Die tatsächliche Umsetzung von Prozessautomatisierung und Datennutzung ist in der Praxis jedoch noch unzureichend anzutreffen. Unsere Kundenerfahrung zeigt allerdings, dass Unternehmen, die sich mit ihren Daten aktiv auseinandersetzen und Prozesse automatisieren, eine wesentliche Produktivitätssteigerung erzielen. In den nachfolgenden Punkten werden verschiedene Ansätze vertieft, um das Potenzial der Digitalisierung aufzuzeigen.

2. Digitalisierungsansätze

2.1. Automatisierung von Routineaufgaben in der Konstruktion

Die Konstruktionsabteilung steht oft vor der Herausforderung, kundenindividuelle Wünsche in kürzester Zeit zu konstruieren. Zudem dient sie als Informationsquelle für andere Abteilungen, um einen möglichst reibungslosen Ablauf in der Auftragsabwicklung zu gewährleisten. Laut unabhängigen Untersuchungen entfallen circa 40 % der Arbeitszeit allein auf das Suchen von aktuellen Dateien und Dokumenten (Schöttner, 1999). Durch intelligente Produktivitäts-Tools können alltägliche und teils umständliche Routineaufgaben automatisiert werden. Mögliche Tools sind unter anderem:

- Automatisierung des Dokumentendrucks in beliebigen Formaten
- Automatisierte Dokumentation von Statusänderungen im Dokument
- Stücklistenexport im individuellen Format
- Artikelabgleich zwischen ERP- und PLM-System
- automatischer Stücklistenimport ins ERP-System nach Freigabe der Konstruktionszeichnung

Mit Automatisierungstools werden einfache und zeitraubende Arbeiten auf Knopfdruck erledigt. Das steigert die Produktivität und schafft Raum für mehr Kreativität. Ein Konstrukteur kann sich wieder auf die wesentlichen Kernaufgaben konzentrieren: dem Designen und Konstruieren.

2.2. Automatisierung durch Konstruktionsmethodik

Eine systematische Vorgehensweise in Konstruktionsabteilungen wird von Unternehmen häufig als Beschränkung für Kreativität und Agilität verstanden. Ziel der Etablierung einer solchen Methodik ist es, die CAD-Applikationen auszureizen. Es geht darum, performante 3D-Daten bereitzustellen, um die Effizienz in der Konstruktion sowie im gesamten Unternehmen zu erhöhen. Dabei werden zum Beispiel Nebentätigkeiten aus der Konstruktion ausgelagert, gezielt PLM-Lösungen implementiert und die Zusammenarbeit in Teams im eigenen Haus oder über verschiedene Standorte hinweg über moderne Collaborations-Tools wie z.B. Autodesk® Fusion Lifecycle oder PROOM Procad effizienter gestaltet.

Laut der PLM Studie (Jackson, 2018) verwalten 44 % der Entwicklungsabteilungen ihre Konstruktionsdaten auf

Desktops und Laptops, sowie 59 % auf freigegebenen Laufwerken und verwenden damit Explorerorientierte Arbeitsweisen und Ablagestrukturen. Jedes Kundenprojekt hat dabei seine eigene Projektdatei. Hinzu kommt, dass Stücklisten häufig noch manuell im Unternehmen verbreitet werden. Nicht zu vergessen die Zeichnungen, welche mehrfach in gedruckter Form existieren und nicht mehr nachvollziehbar ist, welche das aktuellste Plotdatum hat.

Der Einsatz von Software allein erzeugt allerdings noch keine Systematik in den Abläufen, kann aber wesentlich dazu beitragen. Methodik ist hier das Schlüsselwort.

Bei unseren Kunden dient die gemeinsam entwickelte firmenspezifische Konstruktionsmethodik zum Beispiel als Grundlage für eine Automation in der Konstruktion, als „Entlastung“ der Konstruktion oder

als Treiber von Innovationen – wie dem Einsatz von Augmented und Virtual Reality oder der Anreicherung digitaler Fabriklayouts um Fertigungsinformationen

2.3. Erhöhung der Maschinenverfügbarkeit durch Echtzeitinformationen

Wer heute in der Verantwortung für die Fertigung im Unternehmen ist, wird es aus seinem Alltag kennen: es gilt eine Vielzahl von parallelen Kundenaufträgen zu koordinieren, einen komplexen Maschinenpark im Blick zu behalten und gleichzeitig ein Auge auf die Qualität zu haben. Gleichmaßen müssen Auftrags- und Qualitätsparameter eingehalten werden und branchen- oder kundenbezogene Rückverfolgbarkeit der Fertigungsparameter gewährleistet werden. Die wenigsten Unternehmen produzieren heute lediglich eine kleine Anzahl von Standardteilen mit den exakt gleichen Fertigungsschritten. Jedes Produkt, welches unterschiedliche Prozessschritte durchläuft, erhöht die Komplexität der Fertigung als Ganzes. Die mit der fortschreitenden Individualisierung von Kundenanforderungen einhergehende Dynamik in Planung und Umplanung der Fertigung, wird es in Zukunft eher schwieriger als leichter machen, den Durchblick zu behalten. Neben Rückmeldungen aus dem Fertigungsprozess und dem Hinweis auf Abweichungen, ist es für die Steuerung der Produktion unerlässlich, die wichtigsten Kennzahlen ununterbrochen im Blick zu haben. Hier können moderne IoT-Lösungen unterstützen, welche in Echtzeit die Maschinen- und Produktionsinformationen aufbereitet zur Verfügung stellen. Dies können Kennzahlen, wie Maschinenzustände, Rüstgrad, Ausschussquote und OEE (Overall Equipment Effectiveness) sein, welche permanent mit Live-Daten gefüttert werden (Abbildung 1). Trendentwicklungen werden so frühzeitig erkannt. Die kontinuierliche Transparenz über alle wichtigen KPIs macht Abweichungen sofort deutlich, um Ursachen schneller zu ergründen und passende Maßnahmen einzuleiten. Zusätzlich bieten die erfassten Ist-Daten den Vorteil, zukünftige Produktionsplanungen exakt durchzuführen.

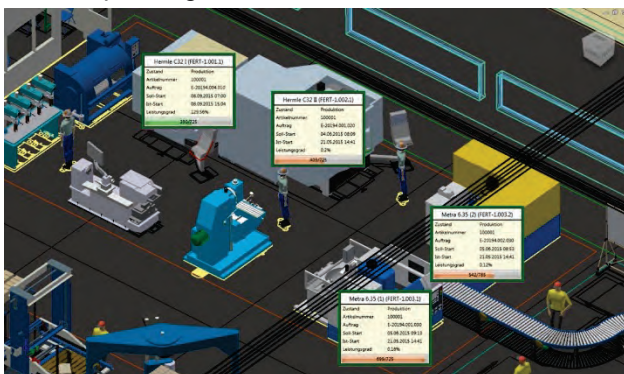


Abbildung 1: Echtzeitvisualisierung von Fertigungsdaten in der digitalen Fabrik

Quelle: N+P Informationssysteme GmbH

2.4. Automatisierung von Produktionsprozessen auf Basis von IoT-Daten

Basierend auf den erfassten IoT-Echtzeitinformationen in der Fertigung ist es möglich Prozesse aktiv zu steuern. So können unter anderem Fertigungsparameter an das zu produzierende Bauteil angepasst sowie die Einhaltung überwacht werden. Bei Nichteinhaltung dieser Parameter können diese auch sofort als Ausschussteile identifiziert und aus dem Fertigungsprozess ausgeschleust werden. Ebenso ist es möglich, auf Basis des identifizierten Bauteils eine automatische Zuordnung zu einzelnen Bearbeitungsschritten vorzunehmen. All diese Möglichkeiten erhöhen die Qualität der produzierten Bauteile und vermeiden eine kostenintensive Bearbeitung von Ausschussteilen. Die gesamte Produktivität einer Anlage kann somit wesentlich gesteigert werden

2.5. Augmented Reality (AR) zur Unterstützung von Prozessen

Auch in der Digitalen Fabrik findet Augmented Reality Anwendung. Mitarbeiter, die für die Instandhaltung und -setzung der Anlagen verantwortlich sind, erhalten durch die Nutzung mobiler Endgeräte, wie z. B. HoloLens oder Tablet-PCs, direkt an den betroffenen Objekten Zusatzinformationen, die sie in der Bearbeitung unterstützen. So kann der Mitarbeiter bei einer defekten Anlage die Lebenslaufakte angezeigt bekommen (siehe Abbildung 2). Diese zeigt ihm beispielsweise auf, dass bisher immer das gleiche Bauteil betroffen war. Auf dieser Basis erhält der Mitarbeiter einen ersten Anhaltspunkt und kann die Prüfung zügig durchführen.

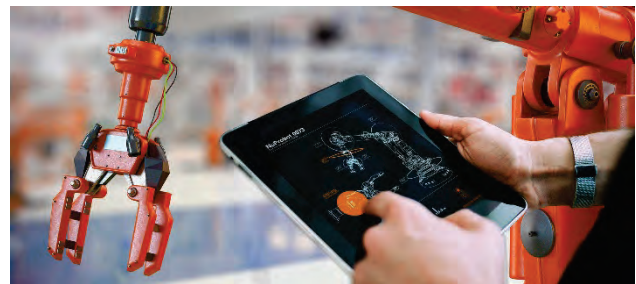


Abbildung 2: digitaler Zwilling macht Ort einer Maschinenstörung sichtbar

Quelle: N+P Informationssysteme GmbH

Gleichzeitig können Anweisungen für die Störungsbehebung oder Montageanleitungen (Abbildung 3) auf dem mobilen Endgerät angezeigt werden. Des Weiteren hat der Mitarbeiter durch Nutzung der AR-Technologie die Möglichkeit, bei der Begehung der Digitalen Fabrik mit Hilfe einer Ampelfunktion oder ähnlichen zu erfahren, bei welchen Objekten die Wartung ansteht oder bereits überfällig ist.



Abbildung 3: Wartungscheckliste mittels HoloLens

Quelle: N+P Informationssysteme GmbH

3. Zusammenfassung und Ausblick

Im Beitrag wird deutlich, dass die Digitalisierung von Prozessen und die daraus folgenden Produktivitätssteigerungen kein Mammutprojekt sein müssen. Weiterhin sind diese auch nicht von bestimmten Technologien abhängig. Es ist vielmehr notwendig, sich dem Thema „Digitalisierung“ als Unternehmensverantwortlicher zu stellen und konkrete Potenziale zu erschließen. Diese sollten anschließend in konkrete IoT-Prototypen umgesetzt und ausgebaut werden. Eine schematische Darstellung eines durchgängigen digitalen Prozesses ist in Abbildung 4 zu finden.

Wer heute nicht mit der Digitalisierung beginnt, wird auf mittlere Sicht eine erfolgreiche Weiterentwicklung der Firma verhindern.



Abbildung 4: Durchgängig digitalisierte Prozesse ermöglichen zentrale Planung, Steuerung und übergreifendes Controlling

Quelle: N+P Informationssysteme GmbH

Literaturverzeichnis

- [1] Jackson, C. (31.05.2018). Lifecycle Insights. Von <http://www.lifecycleinsights.com/study/the-product-lifecycle-management-plm-study/> abgerufen
- [2] Schöttner, J. (1999). Produktdatenmanagement in der Fertigungsindustrie. München: Carl Hanser Verlag

ERFOLGREICHE ETABLIERUNG DES PLM-GEDANKENS IN UNTERNEHMEN

René Ufer

Hochschule Mittweida, Technikumplatz 17, D-09648 Mittweida

Trotz des mittlerweile verbreiteten Einsatzes von PLM-Systemen auch in mittelständischen Unternehmen ergeben sich bei der Einführung von Systemen oder neuen PLM-gestützten Funktionen bei vorhandenen Systemen in Unternehmen häufig noch Hindernisse, die einer effizienten Nutzung von PLM im Wege stehen. Dabei sollte nicht nur das System im Vordergrund stehen, sondern der PLM-Gedanke unternehmensweit verinnerlicht werden. Hindernisse hierfür sind sowohl auf der Seite der Unternehmen selbst als auch auf der Seite der implementierenden IT-Experten zu finden. Der Vortrag zeigt Möglichkeiten auf, zu erwartende Hindernisse rechtzeitig zu erkennen, adäquat darauf zu reagieren und damit ein PLM-System nicht nur als System erfolgreich einzuführen, sondern die dahinterstehende Philosophie im Unternehmen zu etablieren.

1. Einleitung

Product Lifecycle Management erlangt im Zuge der Digitalisierung und Industrie 4.0 eine zunehmende Bedeutung. Gerade kleine und mittelständische Unternehmen stehen unter dieser Prämisse vor der Herausforderung, den Produktlebenszyklus ihrer Produkte, Fertigungsmittel und Anlagen digital zu begleiten und so revisionssicher die entsprechenden Erzeugnisse von der Anforderung über Entwicklung bis zum Service nachhaltig zu verwalten. Der Einsatz von PLM Systemen ist an dieser Stelle unumgänglich. Die Einführung solcher Systeme stellt aus den verschiedensten Gründen in nicht wenigen Fällen eine Herausforderung dar.

2. Vorgehensweisen

Die generische Vorgehensweise für eine PLM-Einführung wird in der VDI-Richtlinie 2219 beschrieben. Verschiedene Methoden und Ansätze hierzu sind in [1] zu finden, welche im 3. Schritt jeweils in einem Soll-Konzept münden. Typischerweise wird dabei eine Spezifikation oder Statement of Work (SOW) erstellt, welche das zu implementierenden PLM-Konzept beschreibt. Diese Spezifikation ergibt sich aus Gesprächen zwischen Vertretern von Systemanbieter und Unternehmen in denen die Anforderungen beschrieben werden. Solch eine Spezifikation dient zudem als Vertragsgrundlage. In den Vorgesprächen schildern Anwender oder IT-Mitarbeiter die vorhandenen, mutmaßlichen Anforderungen. Diese müssen jedoch nicht zwangsläufig mit den eigentlich notwendigen Anforderungen korrelieren, da i. d. R. eine notwendige ganzheitliche, abteilungsübergreifende Prozess- und Informationsflusskenntnis fehlt und PLM-

Methodenkenntnis nicht vorhanden ist. Auf dieser Basis wird dann häufig aus der technischen Sicht eines Beraters oder Solution Architect eine Spezifikation erstellt. Diese hat daher einen eher technisch orientierten Charakter. Zudem sind enthaltene Formulierungen branchen-, domänen- oder softwarespezifisch geprägt, so dass nur ein vordergründiges Verständnis dieser technisch geprägten Spezifikation durch die Mitarbeiter des Unternehmens vorhanden ist. Auf Unternehmensseite haben sich zudem über viele Jahre eigene Terminologien etabliert, die sich nicht nur zwischen branchengleichen Unternehmen unterscheiden, sondern auch zwischen den einzelnen Abteilungen im Unternehmen. Als Beispiel sei hier der Begriff Teilenummer genannt, der je nach Kontext oder verwendetem Softwaresystem oder Abteilung eine grundsätzliche verschiedene Bedeutung haben kann. So kommt es bei der Formulierung der Spezifikation oft zu Fehlinterpretationen.

Weiterhin geht der Einführung eines PLM-Systems häufig eine Prozessanalyse durch Drittunternehmen voraus, auf deren Basis dann die Erstellung eines Lastenheftes zum Teil auch durch eine Beschreibung mittels Use Cases erfolgt. Auch hier wird eine eigene Terminologie benutzt, die den PLM-Kontext nicht berücksichtigt. Die Beschreibung der Anforderungen beschränkt sich dadurch meist auf Arbeitsweisen und die Sicht des Anwenders, ohne PLM-Methoden dabei zu berücksichtigen. Unter Berücksichtigung der systemspezifischen Funktionen eines PLM-Systems lassen sich die im Lastenheft formulierten Anforderungen nur ungenügend umsetzen, da das evtl. schon zur Verfügung stehende oder ausgewählte System zwar methodisch oder funktionell geeignet ist, die

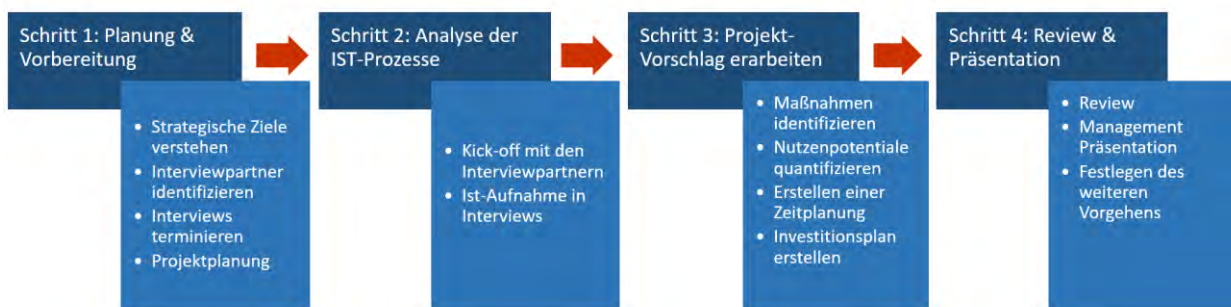


Bild 1: Phase 1 der P3 WIA-Methode

technische Umsetzung jedoch nicht die formulierten Anforderungen erfüllt.

Einen Schritt weiter gehen Methoden wie P3 WIA [2]. In der ersten Phase wird hier die Basis für eine Spezifikation gelegt, indem gezielte Gespräche mit Vertretern der Anwender geführt werden (Bild 1, Schritt 2). Der IT-Dienstleister bekommt durch diese gezielten Gespräche einen Einblick in die Unternehmensprozesse und kann damit Abläufe aus der Sicht des Unternehmens beurteilen. In Schritt 3 können zudem die Nutzenpotentiale wirtschaftlich quantifiziert werden. Mit der Eruiierung der jeweiligen Aufwände der analysierten Tätigkeiten ist man letztendlich in der Lage, auch die PLM-Einführung wirtschaftlich zu beurteilen und Einführungsaufwände und zukünftige laufende Kosten zusammenzufassen und den aktuellen Kosten für unerwünschte Effekte im aktuellen Entwicklungsprozess gegenüberzustellen. Damit steht der Unternehmensführung eine finanzielle Entscheidungsgrundlage zur Verfügung. In Schritt 4 wird das erarbeitete Konzept vorgestellt und diskutiert. Dennoch fehlt hier die Transparenz, um die Diskrepanz zwischen technischer Sicht und Unternehmenssicht aufzulösen.

Siemens Industry Software bietet dem Kunden mit Advantedge [3] einen Ansatz, bei dem zunächst die Ziele des Kunden, seine Prozesse und seine IT im Vordergrund stehen. Im Folgenden wird dann auf der Basis von Solution Templates, die von Siemens aus der langjährigen Erfahrung der Mitarbeiter in den Unternehmen der jeweiligen Branche entwickelt wurden, ein systemspezifischer Lösungsvorschlag unterbreitet, der dann bis zum Statement of Work (SOW) abgestimmt wird. Hinter dieser Methode stehen jedoch hohe Aufwendungen im Vorfeld des eigentlichen Projektes. Da sich vor allem bei kleinen und mittleren Unternehmen über Jahre hinweg unternehmensspezifische, gewachsene Prozesse etabliert haben, kann sich die Nutzung von Templates als Herausforderung darstellen. Zudem ist es nicht jedem Systemanbieter möglich, auf entsprechende Templates mit Best Practice Lösungen zurückzugreifen. Auch hier stehen die Prozesse im Vordergrund. Wichtige Lebenszykluseffekte werden dabei häufig nicht früh genug erkannt.

Letztendlich gibt es auf der einen Seite die eher prozessorientierte Sicht und Problembeschreibung des Unternehmens, auf der anderen Seite die eher technisch orientierte Sicht, die sich in einer der Spezifikation wiederfindet. Die Vermittlung des PLM-Gedankens kann so nicht ausreichend erfolgen. Dies führt im Laufe der Einführung eines PLM-Systems nicht nur zu unterschiedlichen Auffassungen zu den zu implementierenden oder bereits umgesetzten Funktionen und weiterhin zu notwendigen Anpassungen, die, je später im Implementierungszyklus sie vorgenommen werden, mit erheblichem Aufwand und Kosten verbunden sind. Weiterhin wird das Vertrauensverhältnis zwischen Dienstleister und Unternehmen nachhaltig belastet. Ausführliche und zielgerichtete Gespräche im Vorfeld der Implementierung mit den Anwendern schaffen zwar Verständnis für Abläufe im Unternehmen, die schriftliche Dokumentation und

Umsetzung in die Spezifikation ist hier jedoch unzureichend. Auch eine grafische Dokumentation der Geschäftsprozesse, bspw. mit ARIS, ist nicht zielführend, da wichtige Lebenszykluseffekte nicht erkannt werden.

3. Ein gemeinsames Verständnis

Eine nachhaltige Etablierung des PLM-Gedankens als Grundlage für eine erfolgreiche Einführung eines Systems kann nur eine gemeinsame Terminologie und darauf aufbauend ein gemeinsames Verständnis der Abläufe sein. Weiterhin gilt es, PLM-Methodenkenntnisse anhand von unternehmensspezifischen Produkten zu vermitteln und sowohl ein Verständnis für systemtechnische Belange auf Unternehmensebene als auch für unternehmensspezifische Belange auf der Anbieterseite zu erreichen.

Einen vielversprechenden Ansatz verfolgt hier das Lifecycle Mapping [4], [5]. Dabei stehen keine Abläufe oder Geschäftsprozesse im Vordergrund, sondern der Fluss der Informationen zwischen Teilmodellen. Ein Teilmodell zeichnet sich durch Inhalt, Struktur und ein bestimmtes Verhalten aus. Diese Teilmodelle sind im Zuge der Informationsflüsse in Unternehmen zu finden. Sie können sowohl analog, z. B. als Projektpläne oder beispielsweise Ordner für Werkzeugzusammenstellungen für die Fertigung existieren oder auch digital, typischerweise ein CAD-Modell einer Baugruppe oder auch eine Excel-Tabelle einer Klassifizierung. Im Produktlebenszyklus werden zwischen diesen Teilmodellen Daten ausgetauscht. Es fließen Informationen, welche die Teilmodelle verändern. Die Änderung einer Werkzeugbaugruppe erfordert bspw. die Aktualisierung der zugehörigen Werkzeugmappe. Dabei ist es unerheblich, wie der zugehörige Geschäftsprozess dokumentiert und definiert ist. Allein der Fluss der Informationen zwischen den Modellen ist hier ausschlaggebend um ineffiziente Prozesse, die oftmals durch Lebenszykluseffekte hervorgerufen werden, zu erkennen. Lebenszykluseffekte sind vielfach Hauptursachen für Inkonsistenzen und damit zusätzlichen, meist manuellen Aufwendungen. Ein Lebenszykluseffekt ist z. B. der Progression Split [6]. Zwei abhängige Teilmodelle entwickeln sich dabei unabhängig voneinander weiter. Beispiele sind hier Stücklisten, die in elektronischer Form von der Entwicklung erzeugt und im weiteren Lebenszyklus der Fertigung in Papierform zur Verfügung gestellt werden.

Beim Sandboxing [5] entstehen Informationen in bestimmten Unternehmensbereichen, die den aktuellen Lebenszyklus beeinflussen und integriert werden müssen. Dies betrifft z. B. Kundenanforderungen oder unternehmensinterne Änderungen am Produkt durch KVP (Kontinuierlicher Verbesserungsprozess), die üblicherweise nach SOP (Start of Production) erfolgen. Diese beiden Effekte treten meist gemeinsam auf und haben aus diesem Grund gerade in der Entwicklungsphase einen erheblichen Einfluss auf den kritischen Pfad eines Projektes. Bild 2 zeigt vereinfacht die Informationsflüsse während einer Werkzeugentwicklung bei einem Automobilzulieferer.

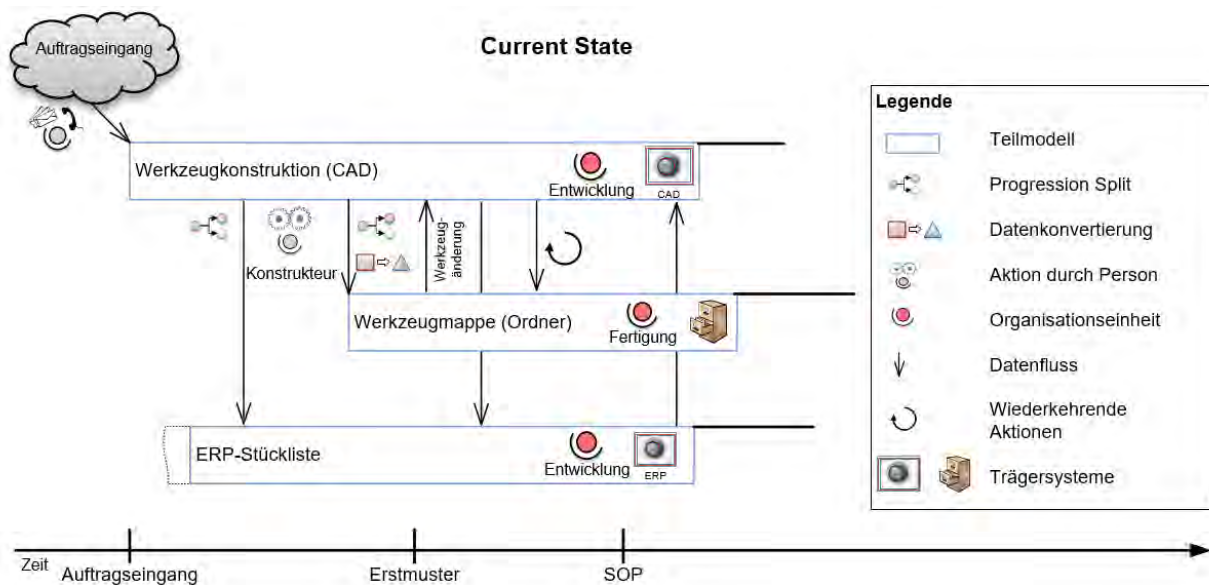


Bild 2: Vereinfachte Lifecycle Map für eine Werkzeugentwicklung in einem mittelständischen Unternehmen

Deutlich wird hier das Zusammenspiel von Progression Split und Sandboxing und die sich daraus ergebenden häufigen manuellen Änderungen. Im Bild sind zwei mögliche Quellen für Sandboxing-Effekte zu erkennen:

1. Werkzeuganpassungen durch die Fertigung erfordern im Nachgang die Anpassung der Werkzeugkonstruktion im CAD.
2. Die Änderungen eines Matrizen-Lieferanten kann Änderungen an der Stückliste zur Folge haben, wenn z. B. keine Einzelteile, sondern insgesamt kostengünstigere Komplettmatrizen geliefert werden. Hier wird zudem die unterschiedliche Semantik von Entwicklungs- und Konstruktionsstückliste deutlich.

Die Erstellung von Lifecycle Maps bietet bezüglich PLM eine neue, systemneutrale Sichtweise auf unternehmensinterne Abläufe. Sie schafft Transparenz, auf deren Basis der PLM-Gedanke und die Komplexität von Sachverhalten sowohl dem Unternehmen selbst, als auch unternehmensintern abteilungsübergreifend zu vermitteln sind. Sie lässt sich nicht nur in der Analysephase, sondern auch zur Präsentation des zu implementierenden Konzeptes und eventueller Alternativen anwenden und hilft somit, PLM nicht als System, sondern als Philosophie zu verstehen. Die Notwendigkeit eines PLM-Projektes wird offensichtlich, die Akzeptanz beim Anwender erheblich vergrößert und so, im Sinne eines Change-Managements, Widerstände in der Belegschaft abgebaut.

Zusammenfassung

Für eine erfolgreiche Etablierung des PLM-Gedankens in Unternehmen und letztendlich auch die erfolgreiche Etablierung eines Systems ist ein gemeinsames Verständnis die Grundlage. Dies kann man zunächst mit gezielten Gesprächen mit den Anwendern erreichen. Das Ergebnis dieser Gespräche lässt sich für beide Seiten transparent mit systemneutralen

Lifecycle Maps, denen der Informationsfluss zwischen Teilmodellen zugrunde liegt, dokumentieren und diskutieren, da hier wesentliche Lebenszykluseffekte transparent dargestellt werden können. Die zusätzliche kaufmännische Bewertung der Gesprächsergebnisse ermöglicht die Akzeptanz in der Führungsebene. Durch die Optimierung des Informationsflusses und die Dokumentation und Diskussion des Konzeptes mit Lifecycle Maps wird unternehmensinternen Widerständen entgegengewirkt und PLM als Philosophie im Unternehmen akzeptiert.

Literaturverzeichnis

- [1] Eigner, M.; Stelzer R.: Product Lifecycle Management - Ein Leitfaden für Product Development und Life Cycle Management. Springer 2009. S. 390 ff.
- [2] ComputerKomplett: PLM-Strategie hilft produzierendem Mittelstand bei der Zukunftssicherung - Effizienzgewinn für Unternehmen. Industrieanzeiger, Heft 10, 2011, S. 14.
- [3] Siemens: Der digitale Zwilling der erweiterten Wertschöpfungskette, in: PLMportal, URL: <https://www.plmportal.org/de/siemens-der-digitale-zwilling-der-erweiterten-wertschoepfungskette.html>, zugegriffen: 04.09.2017.
- [4] Völker, S.; Fischer, J. W.: Licht ins Dunkle - Wie sich Industrie 4.0 und Digitalisierungsszenarien mit Lifecycle Mapping gestalten lassen. ZWF, Heft 01-02/2016, S. 69-72.
- [5] Fischer, J.W.: Licht ins Dunkle - PLM verstehen heißt Lebenszykluseffekte (er)kennen. ZWF. Jahrg. 110. 2015 (01-02), S.36.
- [6] Fischer J.W.; Stowasser, S.: Industrial Engineering und Lean Product Development. Industrial Engineering 2/2013, S.20-27.

INTEGRIERTE WERKSTOFFMODELLE FÜR CAE-ANWENDUNGEN

Uwe Diekmann¹, Birgit Awiszus², René Ufer³, Jeannette Boll², Lucas Dann⁴

¹ MATPLUS GmbH, Hofaue 55, D 42103 Wuppertal

² TU Chemnitz, Reichenhainer Str. 70, 09126 Chemnitz

³ Hochschule Mittweida, Technikumplatz 17, 09648 Mittweida

⁴ thinkstep AG, Hauptstraße 111-113, 70771 Leinfelden-Echterdingen

Die Digitalisierung der produzierenden Industrie ist ein weltweites Thema. Durch die Erzeugung eines digitalen Abbilds der gesamten Wertschöpfungskette, ermöglicht der "digitale Zwilling" Ideenfindung und Optimierung in der virtuellen Welt. Der Umgang mit Werkstoff- und Halbzeuginformationen hat in diesem Szenario eine essentielle Bedeutung. Neben den stark gestiegenen Anforderungen an Materialmodelle aufgrund der immer weiter steigenden Bedeutung und Komplexität von Simulationen im Entwicklungsprozess wird auch die Charakterisierung von Materialmodellen immer anspruchsvoller. Die Integration von Simulations- und anderen Entwicklungswerkzeugen in PLM-Systeme, die in vielen Unternehmen Entwicklungsprozesse maßgeblich begleiten und unterstützen, ist bei wichtigen Systemen bereits Stand der Technik. Die konsistente Charakterisierung und Modellierung von Werkstoffen spielt hier jedoch nur eine ihrer Bedeutung nicht angemessene, untergeordnete Rolle. Einen fundamentalen Schritt geht hier die Firma thinkstep mit dem im PLM System Teamcenter© integrierten Modul „Integrated Material Management“. Im Beitrag wird ein ganzheitlicher Ansatz vorgestellt, der die Aspekte der Integrierten Materialverwaltung im PLM Kontext aufgreift und darstellt wie durch den digitalen Materialzwilling valide Werkstoffinformationen entlang der Produktwertschöpfungskette bereitgestellt werden.

1. Einsatz von Materialmodellen

Die Simulation von Prozessen, Systemen und Produkten gewinnt im Rahmen der komplexen Produktentwicklung immer mehr an Bedeutung. Dabei benötigen fortgeschrittene CAE-Simulationen, z. B. für Crash, Verzug und Umformtechnik zunehmend anspruchsvolle Materialmodelle als unverzichtbare Eingangsgrößen [1], [2], [3]. Auch für die numerische Abbildung gesamter Prozessketten, z. B. von der Materialherstellung über die Verarbeitung bis zum Versagen sind entsprechende Materialmodelle erforderlich, so dass der Einfluss auf das Material durch die vorangegangene Bearbeitung in der Crash-Simulation berücksichtigt werden kann. Für den Einsatz solcher anspruchsvollen, fortgeschritte-

nen Materialmodelle besteht somit ein stark wachsender Markt z. B. im Automobilbau und der Luftfahrtindustrie.

Parallel zu den gestiegenen Anforderungen an Materialmodelle wird die Charakterisierung der Werkstoffe deutlich anspruchsvoller. Während in der Vergangenheit einfache Fließkurven und Grenzformänderungsdiagramme ausreichend waren, sind heute weitergehende Beschreibungen z. B. des Versagens erforderlich. Die notwendigen Daten werden dafür aus zunehmend komplexeren Werkstoffprüfungen ermittelt, die große Datenmengen erzeugen. Die optische Erfassung lokaler Verformungen sowie thermographische Methoden erhalten dabei eine zunehmende Bedeutung.



Bild 1: Datenquellen und Datensenzen im Produktlebenszyklus (nach thinkstep [6])

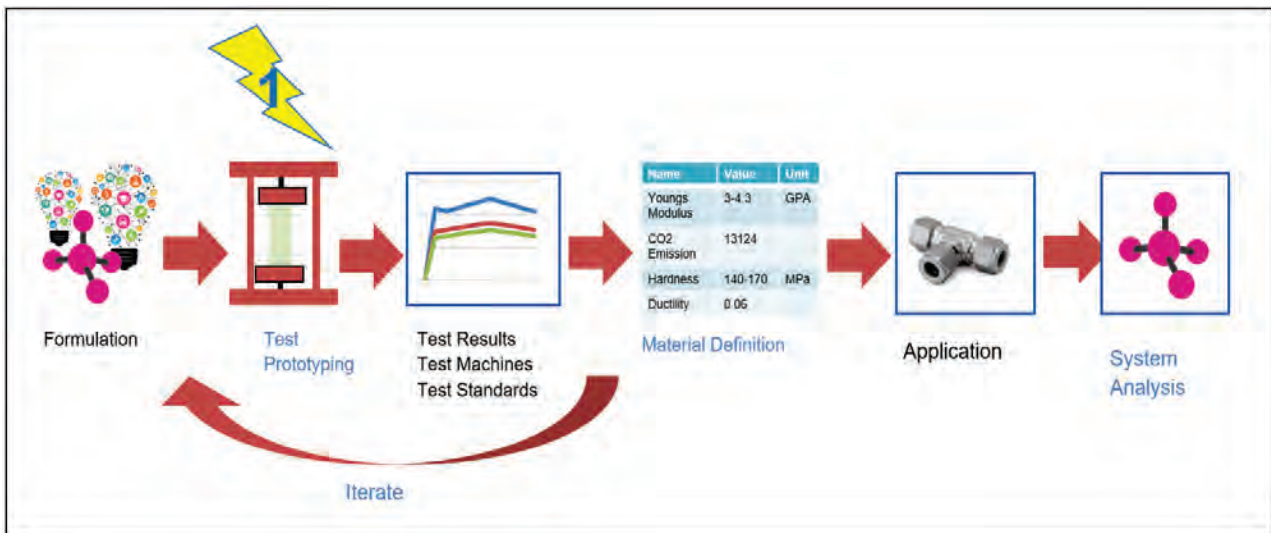


Bild 2: Integration von Materialinformationen in PLM (Quelle: thinkstep Integrated Material Management). Der Werkstoff-Prozess im PLM Kontext sowie die Herausforderung der konsistenten Datenreduktion von Werkstofftests.

2. PLM im Materialmodell-Kontext

Die Digitalisierung durchdringt globale Wertschöpfungsketten und treibt neue Geschäftsmodelle voran [4]. Zusammen mit der „horizontalen Integration“ und der „vertikalen Integration“ ist das „durchgängige Engineering“ eine der drei wesentlichen Charakteristika von Industrie 4.0 [5].

„Product Lifecycle Management“ (PLM) – Werkzeuge unterstützen die digitale Zusammenarbeit, bei der Entwicklung komplexer Produkte ermöglichen und alle Anwendungssysteme vom Konzeptentwurf über Konstruktion und Produktionsplanung bis hin zum Service integrieren. PLM-Lösungen sind das Rückgrat für ein „durchgängiges Engineering“ für fast alle Ingenieure in großen Unternehmen.

Aufgrund der zunehmenden Bedeutung von Werkstoffinformationen für die Industrie bietet thinkstep als einer der führenden Anbieter auf diesem Gebiet ein „Integriertes Materialdaten Management“ (IMM) für das PLM System Teamcenter an [6]. Bild 1 zeigt die von IMM adressierte Herausforderung der Verwaltung von Werkstoffdaten über den Produktlebenszyklus. Die IMM-Komponente ist eine aktuelle „Best Practice“ – Lösung und ermöglicht die Abbildung des Lebenszyklus von Materialien.

Jedoch gibt es jetzt erweiterte Anforderungen aus moderner Materialtechnologie und führenden CAE-Anwendungen: Besonders neue Werkstoffprüfungen, die digitale Bildkorrelation (DIC) [7] oder Infrarot-Sensoren (IR) verwenden und dabei große Datenmengen erzeugen sowie weiterverarbeiten, werden derzeit von keiner Materialdatenbank unterstützt.

1. Es gibt keinen klaren und konsistenten Pfad, um alle relevanten Materialinformationen aus großen Rohdatenmengen zu extrahieren, zu verdichten und die Rückverfolgbarkeit für fortgeschrittene Werkstoffprüfungen unter Verwendung von DIC und IR beizubehalten [Bild 2].

2. Es gibt keinen definierten Prozess für die Erstellung von Materialmodellen, der auf erweiterten Tests

sowie der inversen Analyse [8] basiert und eine gesicherte Rückverfolgbarkeit zu den verdichteten Testdaten garantiert.

3. Es gibt keine Master-Modelle, aus denen lokale Modelle für einzelne CAE-Systeme konsistent abgeleitet werden können. Dadurch unterscheiden sich die Werkstoffmodelle der verschiedenen Systeme und Anwendungen nicht nur bezogen auf ihre Notation, sondern weisen auch inhaltliche/physikalische Unterschiede auf.

4. Der Zielkonflikt zwischen der technischen Flexibilität von CAE-Benutzern (z. B. lokale Anpassung eines Materialmodells zum Erhalt einer konvergenten Lösung) und dem starren „Konfigurationsmanagement von Werkstoffdaten“ im PLM-System ist derzeit nicht gelöst.

Hierfür gibt bisher allenfalls proprietäre Insellösungen, die auch zusammengenommen die horizontale Integration der Werkstoffmodelle in die Industrie 4.0 Wertschöpfungsketten nicht unterstützen, da eine Vielzahl von Medienbrüchen die Transparenz, Vergleichbarkeit und Zusammenführung von Ergebnissen verhindern.

3. Ein neuer Ansatz

Für die genannten Herausforderungen ist eine ganzheitliche und prozessübergreifende Lösung für die Datenerfassung, -verdichtung und -auswertung sowie Modellbildung für anspruchsvolle Werkstoffprüfungen und deren horizontale und vertikale Integration in die Industrie 4.0 Wertschöpfungskette notwendig.

Völlig neu ist deshalb der gemeinsame Lösungsansatz der Firma Matplus [9] und thinkstep welche gemeinsam nun eine durchgehenden Wertschöpfungskette über die inverse Analyse, die Bildung eines Master-Modells bis zur Distribution CAE-spezifischer Modelle für die System- und Prozesssimulation unterstützen [Bild 3].

Der Lösungsansatz ist für alle Domänen der Prozesskette hoch attraktiv – und wird deshalb auch von Laboren und großen Kunden aus der Automobilindustrie als Vision formuliert. Ein Master-Modell kombiniert dabei alle komplexen Werkstoffeigenschaften in einer physikalisch konsistenten Form – widersprüchliche Modellbeschreibungen für unterschiedliche CAE-Systeme werden damit verhindert, so dass erhebliche Vorteile für die Simulation verschiedener Prozessschritte entstehen. Es können Rohdaten von Geräten unterschiedlicher Hersteller konsistent gespeichert und verarbeitet werden. Damit ist es z.B. möglich, Daten aus Werkstoffprüfungen unterschiedlicher Labore konsistent zusammenzuführen. Weiterhin ist es möglich charakteristische Merkmale auf einer gemeinsamen Basis zu extrahieren und zu verarbeiten.

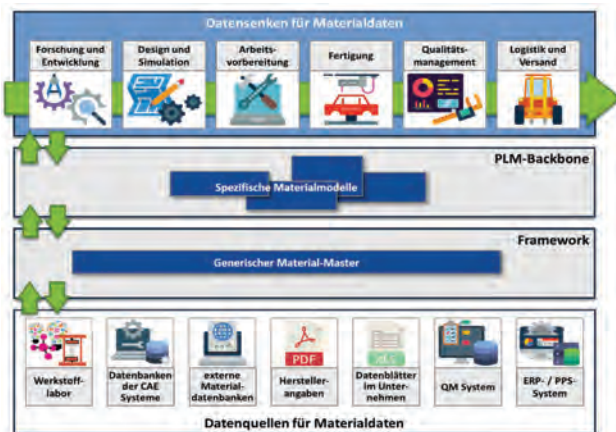


Bild 3: Datenquellen, Material-Master und Datenszenen

4. Potenziale

Das technologische Potenzial liegt im zukünftigen breiten Einsatz einer neuartigen offenen Softwarelösung für die Bereitstellung und Rückverfolgbarkeit von Werkstoffdaten sowie daraus abgeleiteten konsistenten Materialmodellen, so dass die Prozess- und Systemsimulationen im Umfeld von Industrie 4.0 mit verlässlichen und vergleichbaren Ergebnissen durchgeführt werden können. Dies gilt insbesondere für Aufgaben, die den Einsatz komplexer und konsistenter Werkstoffmodelle erfordern. Letztendlich kann mit diesem Ansatz ein echter digitaler Materialwilling zur Verfügung gestellt werden.

Damit verbunden sind Effizienzsteigerungen in Bezug auf Durchlaufzeit und Kosten, eine Erhöhung der Transparenz und Rückverfolgbarkeit der Ergebnisse durch Abbildung aller relevanten Teilprozesse, sowie die Ableitung neuer Erkenntnisse durch Analysemöglichkeiten über eine größere und wachsende Wissensbasis.

Literaturverzeichnis

- [1] J. Džugan, M. Španiel, A. Prantl, P. Konopík, J. Růžička, und J. Kuželka, „Identification of ductile damage parameters for pressure vessel steel“, Nucl. Eng. Des., 2016.
- [2] S. Heibel, W. Nester, T. Clausmeyer, und A. E. Tekkaya, „Failure assessment in sheet metal forming using a phenomenological damage model and fracture criterion: experiments, parameter identification and validation“, Procedia Eng., Bd. 207, S. 2066–2071, Jan. 2017.
- [3] S. Kim, „Dynamic and Quasi-Static Response of Warm and Hot Formed Aluminum Beams Under Three-Point Bending“, Master’s Thesis, University of Waterloo, 2018.
- [4] „Vorfahrt für den Mittelstand | Das Zehn-Punkte-Programm des BMBF für mehr Innovation in kleinen und mittleren Unternehmen - Vorfahrt_fuer_den_Mittelstand.pdf“. [Online]. unter: https://www.bmbf.de/pub/Vorfahrt_fuer_den_Mittelstand.pdf. [Zugegriffen: 29-Apr-2017].
- [5] Verein Deutscher Ingenieure e.V., „Statusreport - Durchgängiges Engineering in Industrie 4.0-Wertschöpfungsketten“. 2016.
- [6] thinkstep AG, Siemens AG, „White Paper: Integrated Material Management: Accelerating Product Innovation“, 2015. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.plm.automation.siemens.com/de/products/teamcenter/plm-platform-capabilities/integrated-material-management.shtml>. [Zugegriffen: 30-Nov-2017].
- [7] S. Cooreman, D. Lecompte, H. Sol, J. Van-tomme, und D. Debruyne, „Identification of Mechanical Material Behavior Through Inverse Modeling and DIC“, Exp. Mech., Bd. 48, Nr. 4, S. 421–433, Aug. 2008.
- [8] P. Åkerström und M. Oldenburg, „Studies of the thermo-mechanical material response of a boron steel by inverse modelling“, in Journal de Physique IV (Proceedings), 2004, Bd. 120, S. 625–633.
- [9] Matplus GmbH, EDA – Materials Data Analysis and Knowledge Management, 2018. [Online]. Verfügbar unter: <https://matplus.de/en/eda-2/> [Zugegriffen: 05-Sept-2018].

SELECTIVE LASER MELTING OF ALSI10MG: EXPERIMENTAL AND STATISTICAL ANALYSIS

Gennaro Salvatore Ponticelli (1), Matthias Horn (2), Robby Ebert (2), Horst Exner (2)

(1) University Niccolò Cusano, via Don Carlo Gnocchi 3, 00166 Rome, Italy

(2) Hochschule Mittweida, Technikumplatz 17, D-09648 Mittweida, Germany

Recently the Additive Manufacturing (AM) has experienced a significant growth in the global market thanks to the increasing demand of reduced processing time in combination with the request of personalized products. In particular, AM has become the latest trend in fabricating metals and alloys. Among them, aluminum alloys are considered very attractive structural materials due to their high specific properties, especially for automotive and aerospace applications. Therefore, standardization of AM processes is an important step to transform more and more from rapid prototyping to rapid manufacturing. In this light, the present investigation deals with an experimental and statistical analysis of Selective Laser Melting of AlSi10Mg alloy. A systematic approach based on Design of Experiment was adopted to identify and explain the effect of each operational parameter, i.e. volumetric energy density and building orientation, on the response variables, i.e. ultimate tensile strength, hardness and roughness. Results showed an overall improvement of the mechanical properties if compared with the die casted alloy. A two-factor interaction model showed that the volumetric energy density has major influence on the ultimate tensile strength, while its interaction with the building orientation strongly affects the hardness and the roughness.

1. Introduction

During the last three decades the global market has witnessed a remarkable growth of the Additive Manufacturing (AM) technology, with a value of \$4 billion in 2014 and an expectation of reaching more than \$21 billion by 2020 [1], especially thanks to the significant breakthrough in materials and technologies. The driving force of such improvement must be sought in the necessity of reduced processing time in combination with the request of personalized customer products, ranging from home furnishings [2], to bicycle parts [3], jewelry and fashion [1], electrical components [4], mechanical components [5] and recently for science and educational purposes [6]. In particular, AM has become the latest trend of processing technique in fabricating metals and alloys [7]. In general, the various metal AM processes follow the same route: the starting point is the realization of a 3D CAD model, which is then virtually sliced into thin layers and finally built by repetitive deposition of single layers and locally melting of the material by a heat source.

Standardization of AM processes is an important step in the advancement of such technique and it is currently on-going [8]. Not only a profound knowledge of the processes is required, but also of the microstructure resulting from the combination of the process parameters and consequently of the properties of the manufactured parts. This expertise is fundamental to let the AM processes to transform more and more from rapid prototyping to rapid manufacturing applications. Therefore, one of the main interests of manufacturers is the optimization of the production and the subsequent quality of components. However, both aspects are governed by a complex interaction between the process parameters and the properties of the processed materials. In particular, the parameters are usually adjusted and tuned one by one to provide the quality desired [9,10]. Specifically, the quality of parts

manufactured by Selective Laser Melting (SLM) are affected by several factors such as material characteristics, equipment, laser power, scanning speed, hatch distance and layer thickness [1]. In this light, statistical analysis, based on Design of Experiment (DoE), can be considered a very useful tool to study the effect of parameters on materials properties and applications [11].

Among metal materials, aluminum alloys are considered very attractive structural materials for AM technology due to their properties which make them suitable for applications that require high specific characteristics, such in the automotive and aerospace industries. One of the most popular Al alloys for SLM process is AlSi10Mg. It is typically used for cast parts with complex geometry, offering good strength, hardness and dynamic properties. AlSi10Mg is also ideal for applications which require a combination of good thermal properties and low weight [12].

Even if several studies have been recently published with the aim of improving the knowledge on the mechanical behavior of aluminum alloys, standard SLM manufacturing process of such materials has not been established yet. Therefore, the optimization of process parameters must be investigated more in details in order to achieve a deeper comprehension of the performance of such material in components made by Selective Laser Melting.

In this light, the present study deals with an experimental and statistical investigation of the SLM processing of AlSi10Mg alloy. A full factorial design (2×3), based on Design of Experiment, has been developed and successfully tested. Finally, the ANalysis Of VAriance (ANOVA) has been applied for the results analysis, with the aim to detect which and how the process parameters, i.e. volumetric energy density (V) and building orientation (B), affect the SLM process in terms of ultimate tensile strength, hardness and roughness.

2. Materials and Methods

The material adopted in the present study is a commercial pre-alloyed powder of AlSi10Mg (m4p Materials Solutions GmbH). The chemical composition of the powder is reported in Tab. 1.

Component	Weight (%)
Al	80-99
Si	< 15
Zn	< 8
Mg	< 5
Mn	< 5
Cu	< 5

Tab. 1: Chemical composition of AlSi10Mg powder declared by the producer.

The samples were fabricated using the additive manufacturing machine SLM 280HL (SLM Solutions GmbH). The production chamber was continuously flooded with Argon gas to prevent oxidation of the alloy (i.e. the content of oxygen was set $\leq 0.1\%$). The laser system is composed by a continuous wave Yb:YAG fiber laser with a Gaussian distribution, a maximum power of 400 W and a focus spot diameter of $\sim 80 \mu\text{m}$.

As reported in [13], the volumetric energy density can be used for representing the laser heat input, which is one of the most important source parameter, since it is the main control factor of the consolidation of the powder particles. In particular, the lower the value of V , the higher the productivity. But, if the energy input is too low, the component density can excessively decrease. So, the optimal value must be investigated. In general, the volumetric energy density (V) is directly influenced by the process parameters, i.e. laser power (P), scanning speed (S), hatch distance (H) and layer thickness (T), as reported in the following equation:

$$V = \frac{P}{S \cdot H \cdot T}$$

In this study, P and H were set at fixed values, 350 W and $100 \mu\text{m}$ respectively. The choice of such power level allows to use high scan speeds, while the hatch distance of $100 \mu\text{m}$ is sufficient to ensure no overlap between two consecutive scan lines.

The aim of this study was to detect how the volumetric energy density and the building orientation (i.e. control factors) affect the ultimate tensile strength, hardness and roughness (i.e. response variables). Thus, a systematic approach based on DoE [14] was adopted and a 2×3 full factorial experimental design was tested (see Tab. 2). Each experimental condition was replicated several times, depending on the mechanical test (see Tab. 3). Thus, the results were analyzed by means of ANOVA test.

Control factors	Levels	Units
Building orientation (B)*	0 45 90	Degree
Volumetric energy density (V)	71 76	J/mm ³

Tab. 2: Control factors and their levels. 3 terms of $B \times 2$ terms of $V = 6$ experimental scenarios. *: See Fig. 1.

Mechanical properties	Replications
Ultimate Tensile Strength (UTS)	10
Hardness (HV)*	3
Roughness (Ra)*	3

Tab. 3: N° of replications of each experimental scenario depending on the characterization test. *: 5 measurements were recorded for each replication.

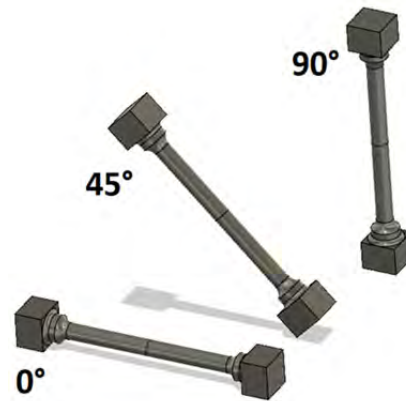


Fig. 1: Building orientation.

Tensile samples were made according to the ASTM E8/E8M standard (see Fig. 1). The ultimate tensile strength was tested by using Zwick Roell testing machine (Zwick Roell z010, Zwick GmbH & Co). All tests were carried out at room temperature. Moreover, the fracture surfaces were analyzed by using a scanning electron microscope (SEM Jeol JSM-6510LV, Jeol).

Hardness was tested by micro-Vickers hardness tester (Microindentation tester MHT3, Anton Paar) with a load of 2 N. The loading time was set at 15 s.

To characterize the surface quality, the arithmetic mean surface roughness (Ra) was used, according to the ISO 4287:1997 standard, providing a direct measure of the profile roughness. This parameter was measured with a mechanical profilometer (Sloan Dektak 3030). The acquired data were elaborated using the surface analysis software provided with the instrumentation.

3. Results and Discussion

The ANOVA test provides the statistical significance of the control factors (V and B) for the UTS, HV and Ra. The results consist of a table containing the degrees of freedom (DF), the adjusted sum of squares (SS), the adjusted mean squares (MS), the F-value (F), the p-value (p), and the contribution percentage (Π) of each parameter or parameter combination. Generally speaking, the adjusted square terms provide the variation of each parameter with respect to the response variables.

This information is provided by the Π term, which is the ratio between the SS term of the analyzed parameter and the total SS ($\Pi > 10$ was considered significant). The F-value is used to determine whether a term is associated with the response, comparing the result with the corresponding tabulated value (4.26 for 1-DF and 3.40 for 2-DF): the greater F the greater the influence on the response variable. In this case, the F-value is defined as the ratio between the MS value of the response variable investigated and the MS of the error. Finally, the p-value is used to determine the significance of the factors (the analysis was carried out at a 95% confidence level, thus, a process parameter or their combination are considered significant if $p < 0.05$).

Source	DF	SS	MS	F	p	Π
<i>B</i>	2	32232	16116	37	0.000	35
<i>V</i>	1	36095	36095	82	0.000	39
<i>B*V</i>	2	404	202	~0	0.633	~0
<i>Error</i>	54	23691	439	-	-	26
<i>Total</i>	59	92422	-	-	-	-

Tab. 4: ANOVA table for the ultimate tensile strength.

Source	DF	SS	MS	F	p	Π
<i>B</i>	2	2187	1094	137	0.000	79
<i>V</i>	1	57	57	7	0.000	2
<i>B*V</i>	2	324	162	20	0.015	12
<i>Error</i>	24	199	8	-	-	7
<i>Total</i>	29	2767	-	-	-	-

Tab. 5: ANOVA table for the hardness.

Source	DF	SS	MS	F	p	Π
<i>B</i>	2	45	23	12	0.000	27
<i>V</i>	1	~0	~0	~0	0.886	~0
<i>B*V</i>	2	20	10	5	0.008	12
<i>Error</i>	54	101	2	-	-	61
<i>Total</i>	59	166	-	-	-	-

Tab. 6: ANOVA table for the roughness.

Tab. 4, 5, and 6 show the ANOVA results, in which the F-value, the p-value and the Π term of each significant effect are highlighted by the bold text. These results indicate that HV and Ra are affected by the building orientation and the interaction term $B*V$ (see Tab. 5 and 6), while the effect of the volumetric energy density is relevant only for the ultimate tensile strength (see Tab. 4). The influence of the control factors on the response variables can be also graphically analyzed by means of the main effects plot and the interaction plot (see Fig. 2 and 3, respectively).

Samples	UTS (MPa)	HV	Ra (μm)
SLM-printed	280-380	100-134	2.9-9.5
Die casted	300-365	86-133	0.4-3.2

Tab. 7: Comparison between UTS, HV, Ra for the SLM and the die casted samples.

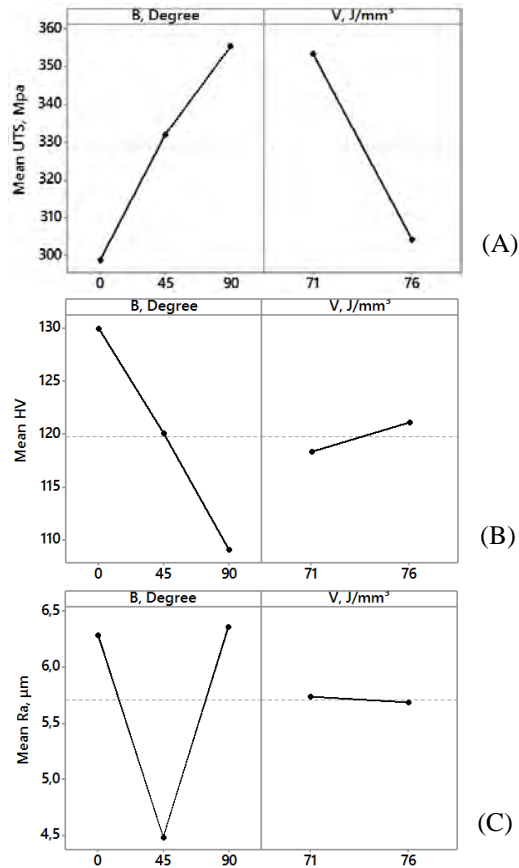


Fig. 2: Main effects plots for (A) ultimate tensile strength, (B) hardness, (C) roughness.

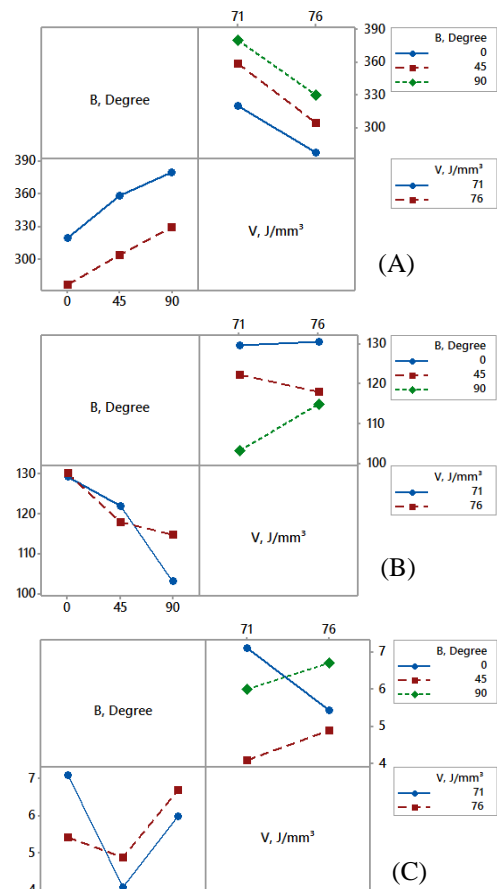


Fig. 3: Interaction plot for (A) ultimate tensile strength, (B) hardness, (C) roughness.

Tab. 7 reports the comparison between the mechanical properties of the SLM-printed AlSi10Mg samples and the typical values of the die casted specimens [15]. As shown in the latter, the samples printed with the SLM technique are characterized by an improvement of the ultimate tensile strength and the hardness or at least they have a comparable behavior, while there is a worsening of the roughness. It is worth to note here that the SLM samples show a strong anisotropy in their properties. In particular, the 90° orientation ensures the highest performance in terms of UTS, while the 0° orientation in terms of HV (see Fig. 2). This result is in contrast with the literature [16], in which is reported that the hardness should increase as the tensile strength increases [16]. In this case, the reason can be found in the building orientation. The 90° samples remain in contact with the substrate which is heated to 200 °C to ensure a better temperature distribution, for a longer time. In this way, the samples undergo a thermal treatment able to relieve the residual stress inside the samples and hence resulting in a reduced HV.

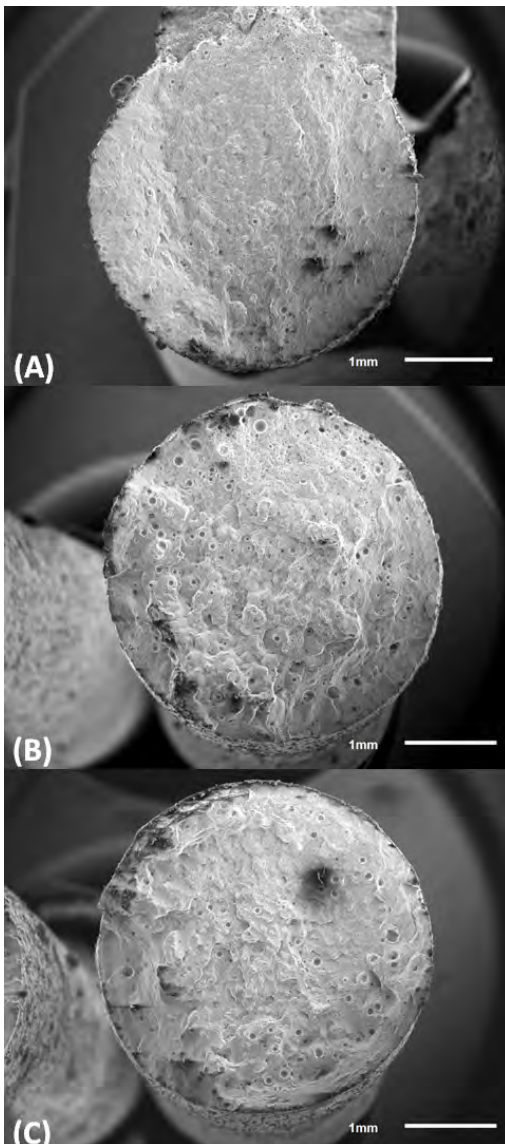


Fig. 4: SEM micrographs of AlSi10Mg samples for $V = 71 \text{ J/mm}^3$ and (A) $B = 0^\circ$, (B) $B = 45^\circ$, (C) $B = 90^\circ$.

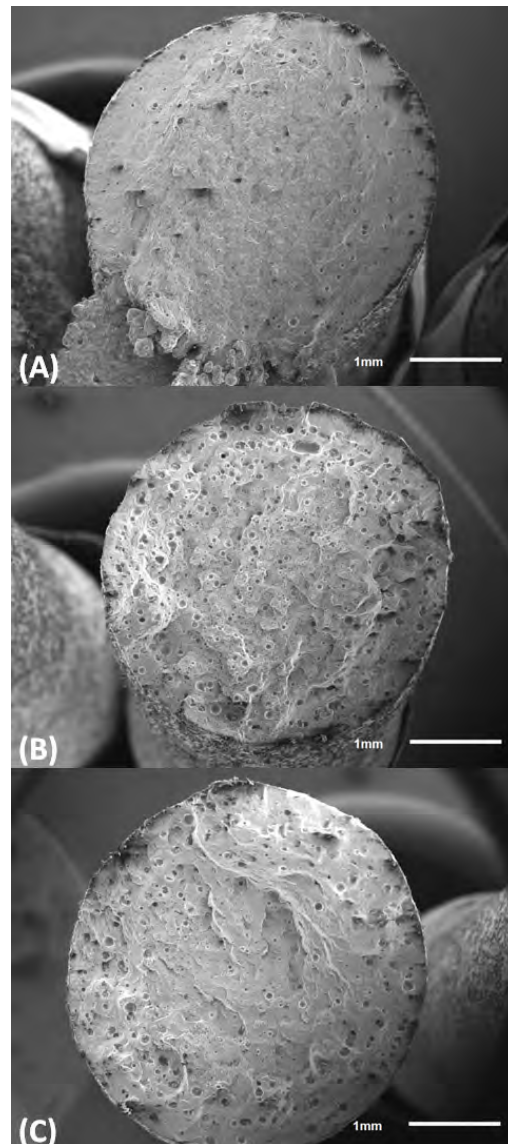


Fig. 5: SEM micrographs of AlSi10Mg samples for $V = 76 \text{ J/mm}^3$ and (A) $B = 0^\circ$, (B) $B = 45^\circ$, (C) $B = 90^\circ$.

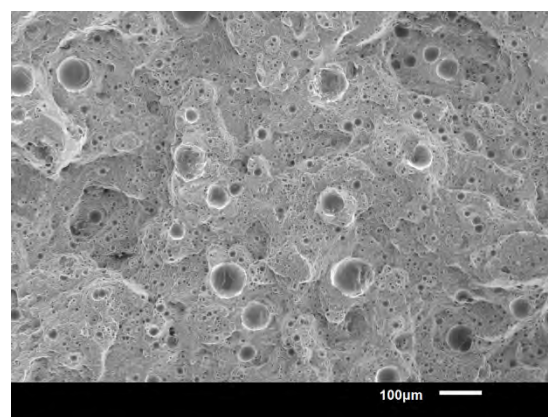


Fig. 6: High magnifications of SEM micrograph for $V = 76 \text{ J/mm}^3$ and $B = 45^\circ$.

About the roughness, the 0° and the 90° orientations exhibit similar values, while the samples built along the 45° orientation are characterized by lower values. This is due to the remelting of the previous layer by the laser during the next scan, which does not happen for 0° and 90°.

This dependency on the orientation is of extremely importance especially for complex structures since they can be characterized by the presence of parts favorably or unfavorably oriented.

Upon observation of the fracture surfaces of the tensile samples (see Fig. 4 and 5), it can be seen that they are very rough, irregular, and characterized by a great amount of voids. This is especially true for the 45° and 90° orientations (Fig. 4b and 4c respectively). In particular, increasing the volumetric energy density (Fig. 5) there is a worsening in terms of pore density for all the building orientations. It must be noticed that even if the best result in terms of density is obtained with a 0° orientation, the latter is characterized by the lowest values of UTS. At high magnification, as shown in Fig. 6, the fracture surface appears to contain a mix of small and big dimples and smooth areas. In particular, the larger pores are mostly located near the border of the samples, and they represent the largest defects in the part. So, at a high stress level they will become the critical defects which initiate inhomogeneous deformation, and since their location is close to the border, they cause the complete fracture of the sample.

4. Conclusion

The Selective Laser Melting of AlSi10Mg samples has been carried out with the aim of determining which and how the control factors (i.e. building orientation and volumetric energy density) influence the response variables (i.e. ultimate tensile strength, hardness and roughness). A two-factor interaction model by means of ANOVA test showed that the volumetric energy density has major influence only on the ultimate tensile strength, while its interaction with the building orientation and the building orientation itself strongly affect the hardness and the roughness.

The mechanical properties of the printed AlSi10Mg samples exhibit a strong anisotropy. In particular, the 90° orientation ensures the highest performance in terms of ultimate tensile strength, while the 0° orientation in terms of hardness and the 45° in terms of roughness. The presence of large pores along the border of the tensile samples make them sensitive to the crack initiation causing the complete fracture of the specimen.

Comparing the results with the typical values of the die casted specimen, it can be seen that there is an improvement or at least it is possible to obtain similar values of the ultimate tensile strength and hardness, while there is a worsening of the roughness.

Finally, the Selective Laser Melting technique is well suited for those applications requiring high degree in freedom of design, such in the automotive and aerospace industries. "Moreover, first investigations of the mechanical and surface properties promise sufficient performances, which must however be analyzed more in details in the future".

Acknowledgements

This work was supported by the Free State of Saxony and the European Union under the programme InnoTeam within the project HEIGHT and by the Erasmus+ programme of the European Union.

References

- [1] M.K. Thompson, G. Moroni, T. Vaneker, G. Fadel, R.I. Campbell, I. Gibson, A. Bernard, J. Schulz, P. Graf, B. Ahuja, F. Martina, CIRP Annals, Nr. 65 (2016), 737-760.
- [2] Z. Doubrovski, J.C. Verlinden, J.M.P. Geraedts, ASME, Nr. 9 (2011), 635-646.
- [3] L. Nickels, Metal Powder Report, Nr. 69 (2014), 38-40.
- [4] P.F. Flowers, C. Reyes, S. Ye, M.J. Kim, B.J. Wiley, International Journal of Additive Manufacturing, Nr. 18 (2017), 156-163.
- [5] E. Uhlmann, R. Kersting, T.B. Klein, M.F. Cruz, A.V. Borille, Procedia CIRP, Nr. 35 (2015), 55-60.
- [6] B.C. Gross, J.L. Erkal, S.Y. Lockwood, C. Chen, D.M. Spence, International Journal of Analytical Chemistry, Nr. 86 (2014), 3240-3253.
- [7] W.S.W. Harun, M.S.I.N. Kamariah, N. Muhamad, S.A.C. Ghani, F. Ahmad, Z. Mohamed, International Journal of Powder Technology, Nr. 327 (2018), 128-151.
- [8] W.E. Frazier, International Journal of Materials Engineering and Performance, Nr. 23 (2014), 1917-1928.
- [9] J. Damon, S. Dietrich, F. Vollert, J. Gibmeier, V. Schulze, International Journal of Additive Manufacturing, Nr. 20 (2018), 77-89.
- [10] I. Koutiri, E. Pessard, P. Peyre, O. Amlou, T. De Terris, International Journal of Materials Processing Technology, Nr. 255 (2018), 536-546.
- [11] S.L. Sing, F.E. Wiria, W.Y. Yeong, International Journal of Robotics and Computer-Integrated Manufacturing, Nr. 49 (2018), 170-180.
- [12] C.Y. Yap, C.K. Chua, Z.L. Dong, Z.H. Liu, D.Q. Zhang, L.E. Loh, S.L. Sing, International Journal of Applied Physics Reviews, Nr. 2 (2015).
- [13] N. Read, W. Wang, K. Essa, M.M. Attallah, International Journal of Materials Design, Nr. 65 (2015), 417-424.
- [14] D.E. Coleman, D.C. Montgomery, International Journal of Technometrics, Nr. 35 (1993), 1-12.
- [15] K. Kempen, L. Thijs, J. Van Humbeeck, J.P. Krutha, Physics Procedia, Nr. 39 (2012), 439-446.
- [16] A.P. Sekhar, S. Nandy, K.K. Ray, D. Das, 7th National Conference on Processing and Characterization of Materials, Nr. 338 (2018).

DRAHT- UND PULVERBASIERTE ADDITIVE FERTIGUNG ZUR HERSTELLUNG VON EIGENSCHAFTSOPTIMIERTEN HALBZEUGEN

Marcel Graf¹, Sebastian Härtel¹, André Hälsig², Kevin Höfer², Birgit Awiszus¹, Peter Mayr²

¹TU Chemnitz, Professur Virtuelle Fertigungstechnik, Reichenhainer Str. 70, 09126 Chemnitz

²TU Chemnitz, Professur Schweißtechnik, Reichenhainer Str. 70, 09126 Chemnitz

Die additiven Fertigungstechniken haben seit einigen Jahren an Beliebtheit gewonnen, da somit komplexe Geometrien erzeugt, als auch unterschiedliche metallische Werkstoffe und Werkstoffverbunde verarbeitet werden können. Mit dieser Technologie zur Herstellung von Bauteilen ist in der Regel eine lange Prozesszeit verbunden, wenn bspw. pulverbettbasierte Verfahren angewandt werden. Es existieren allerdings auch pulver- und drahtzufuhrbasierte additive Verfahrenstechniken, bei denen mittels Laser oder Lichtbogen das Material aufgeschmolzen, schichtweise abgelegt und erstarrt. Mit diesen sehr schnell arbeitenden Technologien können sowohl hochreine oder gezielte Hybrid-Werkstoffe zur Halbzeugherstellung erzeugt werden. Die Drahtzufuhrverfahren erlauben es, auch Halbzeuge mit gradierten Querschnitten, durch Variation der Schweiß- und Werkstoffparameter entstehen zu lassen. Bei den Pulverzufuhrverfahren können auch Werkstoffgradierungen erzeugt werden, die konventionell nicht fügetechnisch herzustellen sind. Unter Einhaltung von gewissen Prozessparametern ist die Möglichkeit gegeben, eine Warmumformung unter Ausnutzung der Schweißwärme zum Glätten der Oberflächen und gleichzeitig eine Gefügeveränderung vom Azikularferrit zu einem globulitischen Ferrit zu realisieren. Durch diese Inline-Bestrebung können Zeit und Kosten für die Bauteilherstellung verkürzt werden

The additive manufacturing techniques have gained in popularity for several years, since thus complex geometries generated as well as different metallic materials and composites can be processed. This technology for manufacturing components usually involves a long process time when using powder bed-based processes. However, there are also powder and wire feed-based additive process techniques in which the material is melted by laser or arc and is deposited layer by layer. With these very fast generating technologies, both high-purity or special hybrid materials can be used for the production of semi-finished products. The wire feed methods make it possible to create semi-finished products with graded cross sections by varying the welding parameters. In the case of the powder feed processes, it is also possible to produce material gradations, which are not to be joined by conventionally joining technologies. In compliance with certain process parameters, the process is given the opportunity to realize a hot forming by utilizing the welding heat to levelling the surface and a microstructural transformation of acicular ferrite to globulitic ferrite. With this inline process, the time and costs for the component production can be reduced.

1. Einleitung

Mit additiven Fertigungsverfahren ist die Herstellung komplexer und individueller Bauteile möglich. Im Prinzip können beliebige Geometrien aus nahezu jedem Konstruktionswerkstoff mittels additiver Fertigungsverfahren hergestellt werden. Die Bauteile entstehen durch lokales auf- oder abschmelzen von Werkstoffen, wobei die Geometrie Schicht für Schicht aufgebaut wird. Mittlerweile sind vielfältige Verfahren auch für metallische Materialien anwendbar. [1] Die additiven Fertigungsverfahren können in Abhängigkeit vom Ausgangsmaterial, der Größe der Werkstücke oder der Energiequelle klassifiziert werden. Darüber hinaus sind die metallischen additiven Fertigungsverfahren in das Pulverbett-, das Pulverzufuhr und das Drahtzufuhrverfahren unterteilt. [2]

Verglichen mit dem Pulverbettssystem besitzen die additiven Fertigungsverfahren auf Zufuhrbasis eine höhere Auftragsrate, preisgünstigere Zusatzwerkstoffe und erfordern weniger Investitionen [3]. Ein Bauteil, das durch die additiven Fertigungsverfahren hergestellt wird, kann die Zugfestigkeit eines geschmiedeten oder gegossenen komplexen Bauteils erreichen [4]. Die Oberflächengüte und Genauigkeit der Zufuhrverfahren ist jedoch im Vergleich zu konventionellen als auch zu pulverbettbasierenden Fertigungsverfahren geringer.

Um ein qualitativ hochwertiges Produkt zu produzieren, kann eine Möglichkeit die anschließende Umformung sein. Dabei können die geometrischen Abweichungen beseitigt [5, 6] und gleichzeitig wird die Mikrostruktur des Auftragswerkstoffes verändert werden, was die mechanischen und Gebrauchseigenschaften der additiv gefertigten Halbzeuge verbessert. Für das Drahtzufuhrsystem ist bereits eine Inline-Warmumformung unmittelbar nach dem Auftragen und Erstarren des Zusatzwerkstoffes je Lage untersucht wurden, um die Gefügeveränderungen herbeizuführen. So kann z. B. bei Stahlwerkstoffen der Azikularferrit in globularen Ferrit umgewandelt werden. [7]

Eine Prozessvorauslegung kann mit Hilfe numerischer Methoden, unter Berücksichtigung definierter Randbedingungen, durchgeführt werden. Ziel der numerischen Simulation additiver Fertigungsprozesse ist heute die mesoskopische Modellierungsebene für eine thermo-mechanisch gekoppelte Simulation ohne mikrostrukturelle Eigenschaften. Hierfür können verschiedene numerische Methoden angewendet werden. Zum einen wird mit der „Volume-of-Fluid“-Methode für die geometrische Vorhersage das Fließverhalten des geschmolzenen Werkstoffes als Tropfen betrachtet und dessen Erstarrungs- und Benetzungsverhalten auf den nächsten Tropfen modelliert [2]. Auf der anderen Seite können additive Technologien basierend auf der Element-Birth-Death-Methode zur

Bestimmung von Temperaturfeldern und Eigenspannungen modelliert werden, wobei die Lagengeometrie vereinfacht und idealisiert modelliert wird [8-10].

2. Pulverzufuhrverfahren mittels 3D-PMD

Ein Verfahren des Pulverzufuhrverfahrens ist das 3D-PMD (engl. für Plasma-Metal-Deposition), welches eine Modifikation des konventionellen Plasma-Pulver-Auftragsschweißens darstellt. Dabei wird das pulverförmige Ausgangsmaterial in den Plasmalichtbogen definiert hineingefördert und aufgeschmolzen. Dabei können Aufbauraten über $1.800 \text{ cm}^3/\text{h}$ realisiert werden. Auf Grund der coaxialen und symmetrischen Pulverzuführung, in Verbindung mit einem geeigneten Handlingsystem, wie einem 6-Achs-Knickarmroboter, kann eine weitgehende Geometriefreiheit sichergestellt werden (siehe Bild 1).

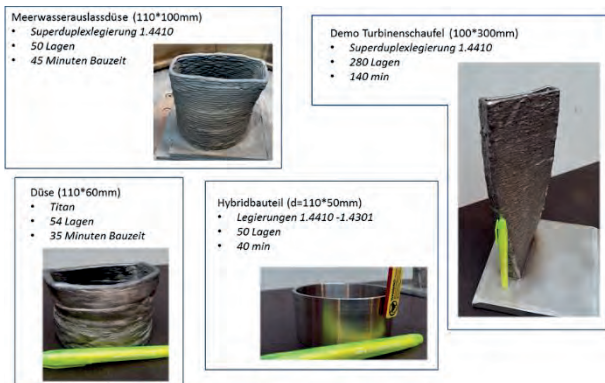


Bild 1: Reale Bauteile mittels 3D-PMD-Verfahren

Auf Grund der vom Schweißprozess unabhängigen Zuführung des Zusatzwerkstoffes erfolgen der Wärmeeintrag sowie der Aufmischungsgrad weitgehend frei. Damit können Verzug und Eigenspannungen begrenzt werden. Ein weiterer Vorteil dieser Technologie ist, dass die Pulver im Prozess gemischt werden können. Somit kann jede Lage eine andere chemische Zusammensetzung besitzen und der Übergang von einem zum anderen Werkstoff kann sukzessive erfolgen. Weiterhin kann durch die Verwendung von mehreren Pulvern ein Halbzeug hergestellt werden, welches über den Lagenquerschnitt gradiert ist. So kann z. B. bei der Rohrbogenherstellung Innen ein verschleißbeständiger, basierend auf Wolfram-Karbid Verstärkungspartikel, mit einem hochlegierten und chemisch beständigem Stahl Außen kombiniert werden. Die Vielfalt der erzielbaren Stoffeigenschaften ist fast unbegrenzt. Weiterhin stellt der Prozess keine hohen Anforderungen an die Pulverqualität, wodurch Pulver in einer Kornfraktion im Bereich zwischen 40 bis $350 \mu\text{m}$ unbedenklich verwendet werden können. Für das 3D-PMD-Verfahren ist allerdings anzumerken, dass auf Grund der Anlagenkonfiguration und der Prozessführung Pulververluste von 10 bis zu 20% anfallen (je nach Auftragstechnologie). Abschließend lässt sich konstatieren, dass der Wärmeeintrag in die Geometrie geringer als beim nachfolgend beschriebenen CMT-Verfahren ist und die additiven Geometrien unter gleichen Prozessbedingungen schneller abkühlen. Daraus resultiert auch, dass das wieder aufgeschmolzenen Nahtvolumens der

vorhergehenden Lage nur ungefähr 10 bis 20% beträgt. [11]

3. Drahtzufuhrverfahren mittels CMT

Für die drahtbasierte additive Fertigung (hier WAAM, engl. für Wire Arc Additive Manufacturing) wird das CMT-Verfahren (engl. für Cold-Metal-Transfer) der Firma Fronius als Metallschutzgasschweiß(MSG)-Verfahren betrachtet. Ein vorhandenes CAD-Modell wird analog zum 3D-PMD-Verfahren in Schichten unterteilt und mit einem 6-Achs-Knickarmroboter oder einem anderen 3D-fähigem Handlingsystem aufgetragen. Das Material wird mittels einem kurzschlussbehaftetem Lichtbogen aufgeschmolzen. Durch oszillierende (bis zu 130 Hz) Drahtbewegungen (1. Drahtvorschub; 2. Kurzschluss; 3. Tropfenablösung und Drahrückzug; 4. erneuter Drahtvorschub) wird der Wärmeeintrag im Vergleich zu konventionellen MSG-Verfahren verringert, was sich wiederum auf die Bauteilqualität und Aufbauraten auswirkt. Die Aufbauraten betragen bis zu $1500 \text{ cm}^3/\text{h}$. Die Ausbringung liegt bei dieser Technologie bei 99% , da der komplette Draht im Lichtbogen in den schmelzflüssigen Zustand überführt und auf dem Grundwerkstoff aufgetragen wird und dort erstarrt. Die Oberfläche des WAAM-Verfahrens ist im Vergleich zum 3D-PMD-Verfahren makroskopisch etwas unebener, weil durch den prozessspezifischen Wärmeeintrag bis zu 40% des darunterliegenden Lagenvolumens aufgeschmolzen wird und bis zum Zeitpunkt der Erstarrung breit fließen kann. Folglich ist das Schmelzbadvolumen beim 3D-PMD geringer. Bei der hier aufgeführten Technologie ist eine Inline-Gradiierung der Bauteileigenschaften über den Lagenquerschnitt, als auch über die Bauteilhöhe durch wechselnde Werkstoffe nicht möglich. Einzig ein schroffer Werkstoffübergang durch Unterbrechung des Auftragsprozesses und dem Wechsel der Drahtspule ist möglich.

Neben dem hohen Grad an Gestaltungsfreiheit können für das WAAM-Verfahren nahezu alle schweißtechnisch verarbeitbaren Werkstoffe lagenweise aufgetragen werden. Durch den höheren Wärmeeintrag sind die Prozessparameter je Werkstoff so zu wählen, dass die entstehenden Eigenspannungen durch das mehrfache Wiedererwärmen und den eventuellen Phasenumwandlungen als auch der Bauteilverzug die Bauteilqualität nicht beeinträchtigt. Nachfolgende Untersuchungen sollen die Möglichkeiten und Potenziale des WAAM-Prozesses aufzeigen, um Halbzeuge additiv zu fertigen (siehe Bild 2).

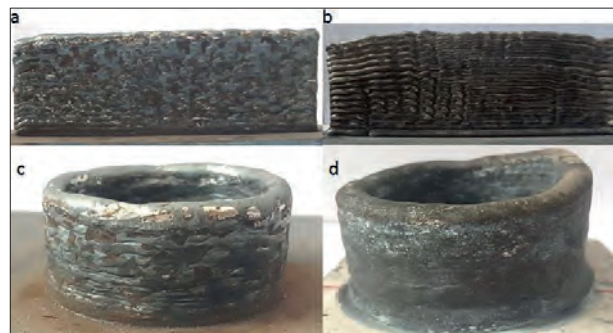


Bild 2: WAAM-Bauteile aus G4Si1 (a,c) und AZ31 (b,d)

Für die obigen Bauteile wurden:

- G4Si1 (1.5130) mit Drahtdurchmesser 1,2 mm;
- AZ31 Magnesiumlegierung mit Drahtdurchmesser 1,2 mm verwendet.

Während der Untersuchung wurde die Schweißgeschwindigkeit konstant ($v_{\text{Schweiß}}=40$ cm/min) gehalten. Einzig die Drahtvorschubgeschwindigkeit wurde im Bereich zwischen $v_{\text{draht}}=2,5\dots 5,0$ m/min variiert. Der Höhenversatz pro Schicht wurde mit 1,7 mm und ohne Pausenzeit zwischen den einzelnen Schichten, zum Abkühlen oder zum Erhalt einer definierten Schichttemperatur, eingestellt. Bei generativen Fertigung von Wänden wurde neben den bereits beschriebenen Prozessparametern auch noch die Auftragsrichtung (einsinnig oder wechselsinnig) untersucht:

- 200 mm lange Wände mit mindestens 20 Schichten, die mit einem kontinuierlichen Handling (von beiden Seiten) oder einer diskontinuierlichen Bewegung (von einer Seite) realisiert;
- Rohre mit einem Durchmesser von 60 mm und 20 Lagen, die mit kontinuierlicher Bewegung durch eine Kombination von Kreisen realisiert wurden, wobei die Verschiebung auf der Z-Ebene unmittelbar nach dem Abschluss des darunter liegenden Kreises erfolgte.

Für den WAAM-Prozess bestand auch die Bestrebung der numerischen Abbildung des Prozesses, weshalb auch die Schweißparameter gemessen wurden:

- G4Si1 mit $v_{\text{Draht}}=2,5$ m/min war Strom $I=90-110$ A, Spannung $U=11,5-13$ V; Schutzgas 15 l/min (82% Ar und 18% CO_2)
- G4Si1 mit $v_{\text{Draht}}=5,0$ m/min war Strom $I=135-165$ A, Spannung $U=13-14,5$ V; Schutzgas 15 l/min (82% Ar und 18% CO_2)
- AZ31 mit $v_{\text{Draht}}=2,5$ m/min war Strom $I=35-40$ A, Spannung $U=9-11$ V; Schutzgas 15 l/min Argon
- AZ31 mit $v_{\text{Draht}}=5,0$ m/min war Strom $I=45-55$ A, Spannung $U=11-12$ V; Schutzgas 15 l/min Argon

Um das Temperaturniveau der einzelnen Lagen zu analysieren, wurden mehrere Thermoelemente Typ K in die Probe integriert. Die Thermoelemente wurden unmittelbar nach dem Auftragen in das noch schmelzflüssige Schweißbad gesteckt. Zusätzlich wurde in einigen Proben die Temperaturverteilung in der Grundplatte gemessen, um den Wärmeübergang zum Grundkörper realitätsnah zu modellieren. Mit Hilfe des Versuchsaufbaus konnte das Temperatur-Zeit-Niveau während des Schweißens, Abkühlens und Wiedererwärmens in den definierten Schichten und Positionen im Halbzeug experimentell und numerisch analysiert werden, wobei in der FE-Modell die Lagenanzahl auf sechs begrenzt wurde (siehe Bild 3 und Bild 4) [12].

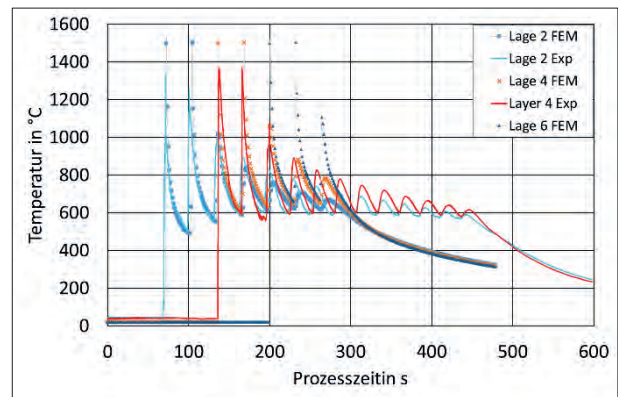


Bild 3: Vergleich zwischen gemessener (Exp) und simulierter (FEM) Temperatur in verschiedenen Lagen bei ein-sinnigem Wandaufbau für G4Si1

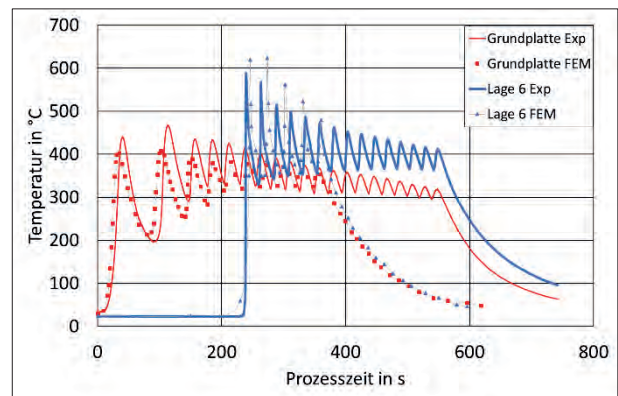


Bild 4: Vergleich zwischen gemessener (Exp) und simulierter (FEM) Temperatur in verschiedenen Lagen bei additiver Rohrerzeugung für AZ31

Durch die Implementierung der gemessenen und berechneten thermo-physikalischen Werkstoffdaten in die FE-Software MSC Marc unter Beachtung der Prozessbedingungen konnte eine gute Übereinstimmung erzielt werden.

4. Umformung der additiven Halbzeuge

Auf Grund der Prozessführung beim mehrlagigen Aufbau des additiven Fertigers können sich Defekte (Poren, Oxide) im inneren der Schweißlagen befinden. Zudem ähnelt die Mikrostruktur einer Gusstruktur, die nadelförmig und grobkörnig aufgebaut ist. Um die mäßigen mechanischen Eigenschaften eines additiven Halbzeuges zu verbessern, kann die Kombination mit anderen Fertigungsverfahren eine Lösung darstellen. Im entwickelten und untersuchten Kombinationsprozess wurde die Kombination von Mehrlagenschweißen mit einem nachgeschalteten Umformprozess analysiert. Neben der Umwandlung des Erstarrungsgefüges in ein globulitisches Gefüge wird die Oberfläche eingeebnet und bei entsprechender Anlagengeometrie kann das Halbzeug durch Umformwerkzeuge (z.B. Rollen/Walzen) gerichtet werden, um den beim Auftragen resultierenden Verzug zu kompensieren. Dieser Ansatz stützt sich auf erste experimentelle und numerische Ergebnisse, wo inline eine Schweißnaht mittels Walzprozess eingeebnet wurde (siehe Bild 5).

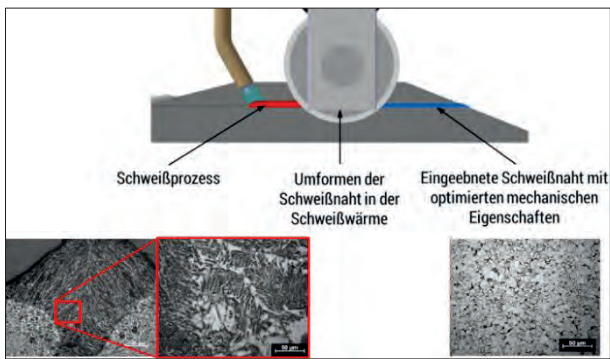


Bild 5: Gefügeveränderung bei der Inline-Schweißnaht-Warmumformung für S235

Durch die Ausnutzung der Schweißwärme erfolgt der Umform-/Einebnungsprozess oberhalb der Rekristallisationstemperatur, wo durch dynamische und metadynamische Rekristallisation eine Kornfeinung erzielt wurde und sich letztendlich die mechanischen Eigenschaften verbessern. Die charakteristischen Härteverläufe (Härteabfall nahe der Schweißnaht im Grundmaterial und Aufhärtung in der Schweißnaht) innerhalb der Wärmeeinflusszone kann somit homogenisiert und eine Steigerung der Duktilität in der Schweißnaht von über 20 % bei etwas reduzierter Festigkeit erreicht werden. Mit dieser Prozessführung kann die bisherige Herstellroute, bestehend aus Schweißen, Kaltumformung, Wärmebehandlung, verkürzt werden. Numerische Untersuchungen des Prozesses dienen zum einen dazu, die Position des Schweißroboters zu bestimmen, damit die Nahttemperatur im Walzspalt immer oberhalb der Rekristallisationstemperatur liegt. Zum anderen konnte durch die Simulation das Maß der Umformung oder die notwendige Höhe der Schweißnaht für hinreichend hohe Umformgrade ermittelt werden, damit die Rekristallisationsvorgänge aktiviert werden können.

Der Umformansatz für die Einebnung der additiven Halbzeuge wurde durch momentan noch entkoppelte Prozesse nachgewiesen. Dazu wurden aus einer Superduplexlegierung additiv gefertigte Wände aus dem 3D-PMD-Verfahren kaltumgeformt und anschließend einer Rekristallisationsglühung unterzogen. Außerdem ist eine aus G4Si1 erzeugte WAAM-Wand nach der vollständigen Herstellung wiedererwärmt und bei 1100 °C warmgewalzt worden (siehe Bild 6). Dabei war der Walzspalt des verwendeten DUO-Walzwerkes auf 5 mm eingestellt, wodurch nur eine Einebnung der Nahtüberhöhung stattfinden konnte.

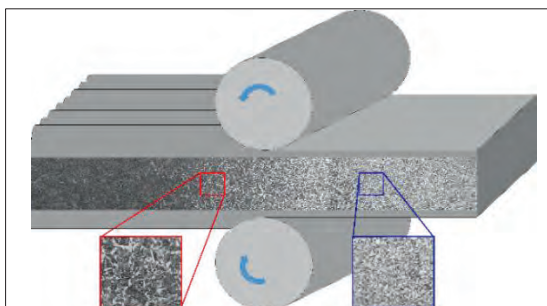


Bild 6: Mikrostrukturelle Veränderung einer G4Si1-Wand nach der Warmumformung

Die Kornfeinung ist auch hier deutlich zu erkennen und es deutet darauf hin, dass in allen Probenbereichen der Umformgrad groß genug war, um die Rekristallisationsprozesse zu starten. Es ist allerdings zu konstatieren, dass sich bei der momentan noch entkoppelten Prozessführung des WAAM-Warmwalzprozesses der Azikularferrit bei der Wiedererwärmung thermisch einformt und eine Grobkornstruktur mit einigen Nadeln das Ausgangsgefüge bildet.

5. Zusammenfassung

Die additiven Fertigungsverfahren haben seit einigen Jahren große Bedeutung für die Prototypen- als auch Kleinserienfertigung gewonnen. Am häufigsten verwendet wird aktuell noch das Pulverbettverfahren, welches ein Sinterprozess für pulverförmige Ausgangsmaterialien ist. Diese Technologie ist zwar bzgl. Geometrie am flexibelsten, jedoch sind damit lange Prozesszeiten verbunden. Alternativ dazu wurden in diesem Artikel zwei additive Verfahren vorgestellt, die mit einer Aufbaurate von 1.500 bis 1.800 cm³/h viel schneller komplexe Geometrie durch CNC-gesteuerte 6-Achs-Schweißroboter erzeugen können. Die nachteilige gröbere Oberflächenstruktur als auch das gussähnliche Gefüge mit mäßigen mechanischen Eigenschaften wurden mittels Umformprozesse eliminiert und transformiert, wodurch Halbzeuge mit gesteigerten Eigenschaften entstanden. Um die Umformprozesse entsprechend in die vorhandenen Schweiß-/Auftragsprozesse integrieren zu können, wurde sich an numerischen Methoden bedient. Dabei sind die thermo-physikalische Werkstoffdaten für unterschiedliche Stähle als auch für Magnesiumlegierungen ermittelt, modelliert und in eine FE-Software implementiert wurden. Als Kalibrierungsgröße für die FEM diente die Temperatur in verschiedenen Lagen als auch in der Grundplatte. Unter Beachtung dieser Temperaturentwicklungen war es möglich, erste Inline-Warmumformprozesse durchzuführen, um infolge von dynamischen und metadynamischen Rekristallisationsvorgängen in den Schweißlagen eine Kornfeinung zu ermöglichen.

Literaturverzeichnis

- [1] Gebhardt, A.: Additive Fertigungsverfahren: Additive Manufacturing und 3D-Drucken für Prototyping-Tooling-Produktion; Carl Hanser Verlag, 2016; ISBN 978-3-446-44401-0
- [2] Ogino, Y. et al.: Numerical simulation of WAAM process by a GMAW weld pool model; *Welding in the World*, 62, 2018, pp. 393–401
- [3] Ding, J. et al.: Thermo-mechanical analysis of Wire and Arc Additive Layer Manufacturing process on large multi-layer parts; *Computational Materials Science* 50, 2011, pp. 3315–3322
- [4] Brandl, E. et al.: Additive manufactured Ti-6Al-4V using welding wire-comparison of laser and arc beam deposition and evaluation with respect to aerospace material specifications; *Physics Procedia* 5, 2010, pp. 595–606

- [5] Colegrove, P. A.; Coules, H. E.; Fairman, J.; Martina, F.; Kashoob, T.; Mamash, H.; Cozzolino, L. D.: Microstructure and residual stress improvement in wire and arc additively manufactured parts through high-pressure rolling; *Journal of Materials Processing Technology* 213, 2013, pp. 1782–1791
- [6] Fischer, G.; Röhrich, T.; Bambach, M.: Verfahren und Anlage zur kombinierten additiven und umformenden Fertigung; Patent 17174810.6; Veröffentlichungstag 10.01.2018
- [7] Graf, M.; Härtel, S.; Hälsig, A.: Numerische Auslegung des Mehrlagenschweißens als additives Fertigungsverfahren; 9. SAXON SIMULATION MEETING, Universitätsverlag Chemnitz, 2017 ISBN/ISSN: 978-3-96100-011-1
- [8] Tran, H.-S.; Tchuindjangb, J. T.; Paydasb, H.; Mertensb, A.; Jardina, R. T.; Duchênea, L.; Carusc, R.; Lecomte-Beckersb, J.; Habrakena, A. M.: 3D thermal finite element analysis of laser cladding processed Ti-6Al-4V part with microstructural correlations; *Materials & Design* 128, 2017, pp. 130–142
- [9] Bock, F. E. et al.: Thermal analysis of laser additive manufacturing of aluminium alloys: Experiment and simulation; *AIP Conference Proceedings* 1960, 140004, 2018
- [10] Graf, M. et al.: Numerical simulation of metallic wire arc additive manufacturing (WAAM); *AIP Conference Proceedings* 1960, 140010, 2018
- [11] Höfer, K.; Hälsig, A.; Mayr, P.: Arc-based additive manufacturing of steel components—comparison of wire- and powder-based variants; *Welding in the World*, 2017
- [12] Graf, M.; Hälsig, A.; Höfer, K.; Awiszus, B.; Mayr, P.: Numerical and Experimental Investigations for Wire Arc Additive Manufacturing (WAAM) for Semi-Finished Products; *Proceedings AMPT* 2018

ENTWICKLUNG UND HERSTELLUNG VON MIKRO-WÄRMEÜBERTRAGERN MITTELS LASERMIKROSINTERN

Stefan Gronau, Martin Erler, Matthias Horn, Robby Ebert, Horst Exner
Laserinstitut Hochschule Mittweida, Technikumplatz 17, D-09648 Mittweida

Mit Hilfe additiver Fertigungsverfahren können nach Stand der Technik Wärmeübertrager hergestellt werden, die eine bis zu 3,6-mal größere Kompaktheit (Wärmeübertragerfläche/Volumen) besitzen als konventionelle Standardwärmeübertrager. Durch die am Laserinstitut Hochschule Mittweida entwickelten Verfahren Lasermikrosintern und Mikro-SLM, mit denen Metallkomponenten mit Strukturauflösungen von bis zu 25 μm hergestellt werden können, soll ein Demonstrator mit einer bis zu 20-fach höheren Kompaktheit gegenüber der konventioneller Wärmeübertrager realisiert werden. Damit könnten Leistungen von 5 – 10 kW bei einem Übertragungsvolumen von 1 cm^3 transferiert werden, was eine enorme Steigerung der Leistungsdichte bedeuten würde. Die Kombination der Mikrotechnologie mit dem makroskopischen SLM-Verfahren erlaubt die kostengünstige Realisierung der gesamten Baugruppe einschließlich Anschlüsse. In folgender Veröffentlichung sollen auf die zu überwindenden Probleme wie die Dichtigkeit der Strukturen, Designoptimierung, das Entfernen des Pulvers aus den Kanälen und die Montage der Anschlüsse eingegangen und die bisherigen Ergebnisse vorgestellt werden.

1. Einleitung

Der Umsatz im Weltmarkt für Produkte und Systeme zur Wärmeübertragung betrug im Jahr 2014 14,1 Mrd. US-\$ und soll bis zum Jahr 2020 auf 20,6 Mrd. US-\$ anwachsen. Als Wachstumstreiber gelten hier vor allem die chemische Industrie durch enorme Investitionen im asiatisch-pazifischen Raum, die Klimaanlage-Industrie durch verbesserte Infrastrukturen und höhere Lebensstandards sowie die Öl- und Gasindustrie durch die Zunahme an Gasaufbereitungsanlagen, LNG-Anlagen und anderer damit verbundener Infrastrukturen. Einzig die steigenden Produktionskosten aufgrund ständig zunehmender Rohstoffpreise werden als Beeinträchtigung beim Wachstum des Marktes angesehen [1].

Daher geht der Trend bei Wärmeübertragern dahin, höhere Leistungsdichten zu erzielen, das heißt die erforderlichen Wärmeübertragungsleistungen bei kompakterer Bauweise zu realisieren. Zum einen wird dadurch Material eingespart, andererseits aber auch Volumen und Masse, was für bestimmte Anwendungen z. B. in der Luft- und Raumfahrt zusätzlich von Vorteil bzw. allgemein erwünscht ist.

Die additiv-generativen Verfahren bieten hierbei bedeutendes Potential zur ressourcenschonenderen und wirtschaftlicheren Herstellung effektiverer, leichter und platzsparender Bauteile.

Bisher sind Mikro-Wärmeübertrager überwiegend aus der Forschung bekannt. Mit dem Einsatz verschiedenster Techniken wie dem SLM, dem LIGA-Verfahren, dem 3D-Siebdruck oder dem Aufpressen von Drähten auf Folien haben sich schon diverse Forschungsinstitute und Firmen beschäftigt ([2] [3] [4] [5]). Die Heat Cubed GmbH bietet Wärmeübertrager aus Titan an, die Kanaldurchmesser von 0,4 mm x 0,4 mm aufweisen und eine Kompaktheit von 1.800 m^2/m^3 besitzen. Diese Bauteile wurden vermutlich (keine konkreten Angaben) mittels SLM hergestellt ([6], [7], [8], siehe Bild 1).

Bei konventionellen SLM-Anlagen sind die erreichbaren Strukturgrößen auf ca. 200 – 300 μm begrenzt. Für die Erzeugung von Wandstärken kleiner

100 μm sind derzeit nur das als Mikrolasersintern bezeichnete Verfahren der Firma 3D MicroPrint GmbH sowie das Lasermikrosintern mittels kurzgepulster Laserstrahlung vom Laserinstitut Hochschule Mittweida bekannt. Für Wandstärken < 100 μm ergibt sich der Vorteil, dass der Einfluss der Wärmeleitfähigkeit des verwendeten Materials auf den Wärmestrom vernachlässigbar klein wird. Vergleichbare Strukturgrößen konnten bisher nur mittels Mikrorehen und -fräsen von Metallfolien und anschließendem Verbinden durch z. B. Diffusionsschweißen erreicht werden [9]. Die Wirtschaftlichkeit dieses Verfahrens ist jedoch nicht gegeben.

Ziel der hier vorgestellten Forschungsarbeiten ist es, funktionsfähige Demonstratoren mit Kompaktheiten bis 10.000 m^2/m^3 zu erzeugen, womit bei einem wirksamen Volumen von 1 cm^3 Wärmeleistungen von bis zu 10 kW bei einer Druckfestigkeit von 160 bar übertragen werden sollen. Dabei sollen hier auf die zu überwindenden Probleme wie die Dichtigkeit der Strukturen, die Designoptimierung, die Pulverentfernung aus den Kanälen und die Montage der Anschlüsse eingegangen sowie weitere Lösungsansätze vorgestellt werden.



Bild 1: „Heat Cube Type 5“ der Firma Heat Cubed GmbH mit einer Wärmeübertragungsleistung von bis zu 60 kW (Wenger Engineering GmbH, [8]).

2. Anlagentechnik

Für die Untersuchungen stand eine Lasermikrosinter-Anlage mit einem Faserlaser mit einer maximalen Pulswiederholfrequenz von 1 MHz, einer Beugungsmaßzahl $M^2 \leq 1,3$ und einer mittleren Leistung von 50 W zur Verfügung. Der Fokussdurchmesser bei der verwendeten Brennweite von 100 mm betrug 22 μm . Zur Strahlablenkung wurde ein Galvanometerscanner mit maximaler Scangeschwindigkeit von 8 m/s verwendet.

Die Anlage besitzt eine neu entwickelte Rakeleinheit zum Auftrag dünner Pulverschichten (vgl. Bild 1). Die Bauplattform hat einen Durchmesser von 25 mm und erlaubt Bauhöhen von maximal 50 mm. Die Bearbeitung fand an Luft statt. Für die Untersuchungen wurde sphärisches Edelstahlpulver 316L mit einer Pulverkorngröße von $d_{90} < 10 \mu\text{m}$ verwendet.

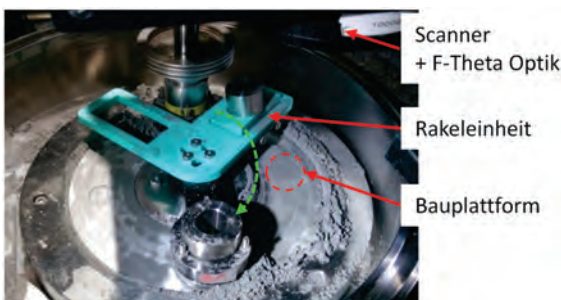


Bild 2: Foto der Bearbeitungskammer der Lasermikrosinter-Anlage mit neuer Rakeleinheit.

3. Design- und Konzeptoptimierung

Die Designoptimierung des Demonstrators orientierte sich an folgenden Kriterien:

1. Tauglichkeit für die additiv-generative Fertigung.
2. Hohe Kompaktheit.
3. Vermeidung von Stützstrukturen.
4. Geringer Strömungswiderstand.
5. Geringe Fertigungszeit.
6. Einfache Anbringung von Anschlusselementen.

Unter Beachtung dieser Randbedingungen entwickelte sich im Laufe des Projektes aus vorherigen Varianten [10] die in Bild 3 dargestellte Konstruktion. Sie besitzt eine einfache Zusammenführung der verschiedenen Medienkanäle, die zur Verminderung des Strömungswiderstandes im Anschlussbereich kontinuierlich bis auf das benötigte Endmaß verkleinert werden und die man nach Bedarf innerhalb des wärmeübertragenden Bereichs für eine nahezu Verdopplung der Kompaktheit in ein „Schachbrettmuster“ übergehen lassen kann (s. Bild 4, Schutzrecht angemeldet). Weiterhin besitzt der Wärmeübertrager einen Rahmen, der als Anschlag für mittels SLM gefertigte Anschlüsse sowie als „Lötstopp“ beim Fügen des Wärmeübertragers mit diesen dient. Die Anschlüsse sind dabei so konzipiert, dass sie gleichzeitig als Schutzrahmen für den Wärmeübertrager fungieren.

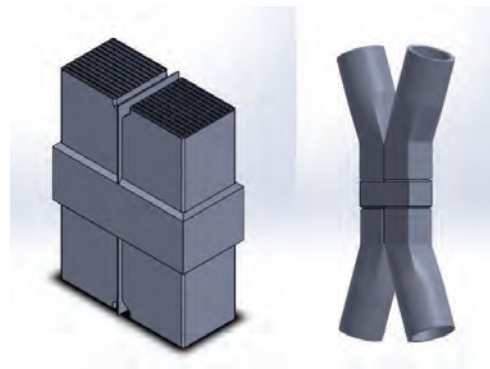


Bild 3: CAD-Bilder der Konstruktion des Wärmeübertragers ohne (links) und mit (rechts) Anschlüssen.

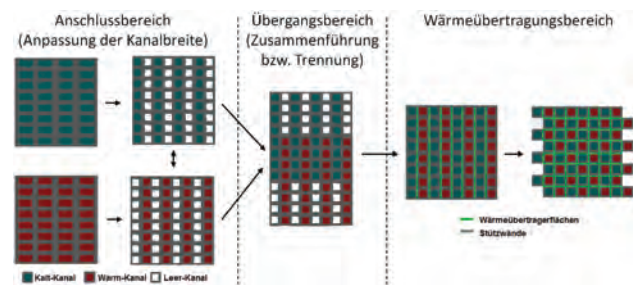


Bild 4: Schematische Darstellung des Strukturkonzeptes mit Anpassung der Kanalbreite zur Reduzierung des Strömungswiderstandes und schachbrettartiger Verteilung der Kanäle zur Erhöhung der Kompaktheit.

Die Struktur des Wärmeübertragers ist so gestaltet, dass möglichst wenige Scan-Vektoren für den Aufbau benötigt werden. Dazu wurde zusätzlich eine institutseigene Slicer-Software derart modifiziert, dass für den Aufbau nicht benötigte kurze Scan-Vektoren eliminiert werden. Als Beispiel dazu dient die in Bild 4 dargestellte Gitterstruktur, wie sie im mittleren Bereich des Wärmeübertragers vorkommt. Hierbei konnte die Anzahl der Scan-Vektoren von 8.804 auf 248 deutlich reduziert werden. Durch das Wegfallen vor allem der Beschleunigungs- und Bremsstrecken dieser Vektoren konnte die Bestrahlungszeit pro Schicht bei einer Scangeschwindigkeit von 2 m/s von 10 s auf 0,8 s drastisch reduziert werden.

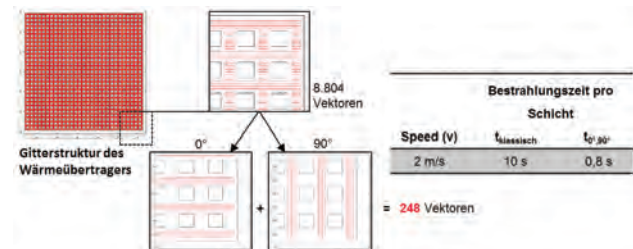


Bild 5: Skizze der neuen effektiveren Bestrahlungsstrategie durch Vermeidung kurzer Scan-Vektoren.

Unter Berücksichtigung der Rakezeit, die für den Pulveraufzug benötigt wird und ca. 4 s beträgt, konnte damit eine Reduzierung der Bauzeit um den Faktor 3 erreicht werden.

4. Ergebnisse Parameteruntersuchungen

Für die Parameteruntersuchungen wurden Wandstrukturen aufgebaut, bei denen keine Drehung der Bestrahlungsrichtung erfolgte. Es wurden lediglich 4 Scanlinien nebeneinander gelegt und von Schicht zu Schicht nicht verändert. Für jeden Parameter wurden Wandstrukturen mit einem Linienabstand zwischen 10 µm und 20 µm aufgebaut.

In vorangegangener Publikation zu dem Forschungsprojekt wurden schon folgende Erkenntnisse aus den Parameteruntersuchungen zur Porosität der erzeugten Strukturen bei Pulsdauern von 220 ns und Scangeschwindigkeiten von 2 m/s gewonnen [10]:

1. Bei Pulswiederholfräquenzen im Bereich von 100 kHz bis 500 kHz zeigte sich bei Zunahme der Pulswiederholfräquenz und gleichbleibender Pulsenergie eine Abnahme der Porosität.
2. Bei zu geringer Laserleistung traten Anbindungsfehler zwischen einzelnen Schichten auf. Des Weiteren kam es bei höheren Linienabständen nicht mehr zu einer Verbindung der einzelnen Linien und folglich zu einer höheren Porosität.
3. Bei zu hoher Laserleistung kam es zu vermehrter Porenbildung aufgrund von Verdampfung des Materials.
4. Für gleich bleibende Pulswiederholfräquenzen hatte eine Erhöhung der Schichtdicke eine Zunahme der Porosität zur Folge.
5. Die optimalen Bearbeitungsparameter wurden für $v = 2$ m/s mit einer Pulswiederholfräquenz von 500 kHz, einer Leistung von 35 W und einem Linienabstand von 15 µm bei einer Schichtdicke von 3 µm festgestellt, bei denen jedoch noch eine feine Porigkeit vorlag. Höhere Scangeschwindigkeiten wurden nicht untersucht, da sich durch steigende Scanner-Delays keine Verbesserungen der Bearbeitungszeiten ergaben.
6. Porositäten ergaben sich überwiegend im Bereich der Intensitätsspitze des gaußförmigen Strahlprofils.
7. Es konnten Überhänge mit einem Winkel von 70° erzeugt werden, fehlerfreie Überhänge bis zu einem Winkel von 50°.

Aufgrund der gewonnenen Erkenntnisse – vor allem der aus Punkt 1 – wurden Parameteruntersuchungen mit einer Pulswiederholfräquenz von 1 MHz durchgeführt. Hierbei konnte jedoch nicht wie erhofft eine weitere Abnahme der Porosität festgestellt werden. Aufgrund der Zunahme des Pulsüberlapps entwickelte sich anscheinend eine Schmelzbaddynamik, die aufgrund ungleichmäßiger Pulververteilung (Dichte und Korngröße) zu „Humping“-Effekten führte. Die Rakel stieß an die dabei entstehenden Aufwürfe an, was Baufehler oder einen Abbruch des gesamten Prozesses zur Folge hatte. Eine Abnahme der Laserleistung konnte zwar die Aufwurfhöhe reduzieren, führte jedoch auch wieder zu einer schlechteren Anbindung und einer höheren Porosität. Eine Verringerung der Vorschubgeschwindigkeit führte wahrscheinlich aufgrund einer gleichmäßige-

ren Schmelzbaddynamik zu einer Verringerung der Aufwürfe, sorgte jedoch für eine deutliche Zunahme der Bearbeitungsdauer und damit einer Abnahme der Wirtschaftlichkeit. Eine Zunahme der Schichtdicke auf 10 µm konnte ein Anstoßen der Rakel verhindern. Eine erhöhte Porosität der entstehenden Wände (Punkt 4) war jedoch die Folge.

Durch die auftretenden „Humping“-Effekte bei so hohen Pulswiederholfräquenzen wird deutlich, dass mit dem SLM-Verfahren mit cw-Laserstrahlung nicht so dünne Schichtdicken verarbeitet werden können wie beim Lasermikrosintern mit gepulst betriebem Laser.

5. Ergebnisse Ultraschalluntersuchungen

Für die Entfernung der Pulverpartikel aus den dünnen Kanälen wurden verschiedene Teststrukturen mit unterschiedlichen Höhen und Kanalabmessungen hergestellt und beschallt. Die Vorzugsrichtung der Beschallung verlief entlang der Kanäle und wurde mit Hilfe einer Sonotrode mit 7 mm Durchmesser bewerkstelligt. Die Schalleistung betrug 200 W. Mittels Durchlicht wurden die frei gewordenen Kanäle in Abhängigkeit der Schalldauer ausgezählt. Hierbei ergab sich ein deutlicher Anstieg der Beschalldauer für längere Kanäle und für Kanäle mit kleineren Abmaßen (Bilder 6+7).

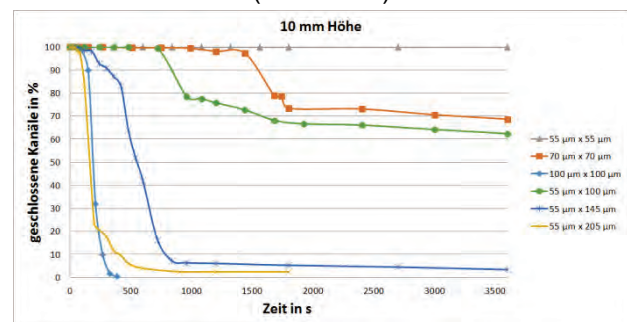


Bild 6: Abhängigkeit der Schalldauer von der Kanalgröße bei einer Kanallänge von 10 mm.

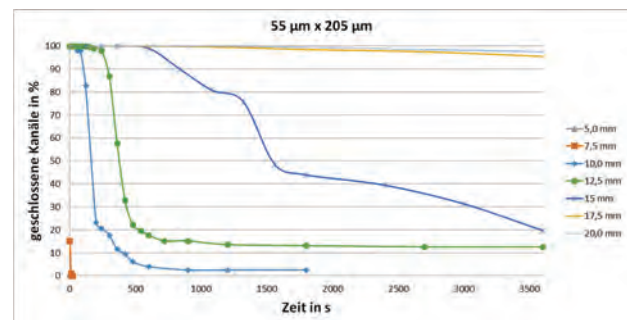


Bild 7: Abhängigkeit der Schalldauer von der Kanallänge bei einer Kanalgröße von 55 µm x 205 µm.

6. Demonstrator

Auf Grundlage der Parameteruntersuchungen, vorhergehender Drucktests – bei denen 85 µm starke Wände einem Druck von 160 bar standhielten [10] – und des neuen Designs wurde ein Demonstrator aufgebaut und vom Partner ILK Dresden mit den Anschlüssen verlötet (Bild 8).



Bild 8: Aufgebauter Demonstrator ohne Anschlüsse (links) und mit angelöteten Anschlüssen (rechts).

Der Test des gelöteten Demonstrators verlief jedoch unbefriedigend, da eine Undichtheit zwischen den Medienkanälen festgestellt wurde. Neben einem fehlerbehafteten Aufbau können dafür insbesondere auch Beschädigungen durch das Freischallen der Kanäle oder entstandene Spannungsrisse durch das Hartlöten verantwortlich sein. Die Fehlerquelle soll durch Untersuchungen an weiteren Demonstratoren ausfindig gemacht und beseitigt werden (z. B. durch schonendere Reinigung, Fügen der Anschlüsse mit Epoxidharz statt Hartlötten, vorheriges Tempern des Bauteils, um Spannungen im Material zu reduzieren, etc).

7. Ausblick

Um eine weitere Minimierung der Porosität zu erzielen, wurde eine Strahlformungsoptik beschafft, die eine Donut- und Top-Hat-förmige Strahlverteilung zulässt. Damit soll ein gleichmäßigeres Temperaturprofil bei der Bearbeitung gewährleistet und Porenbildung durch Intensitätsspitzen vermieden werden (Bild 9).

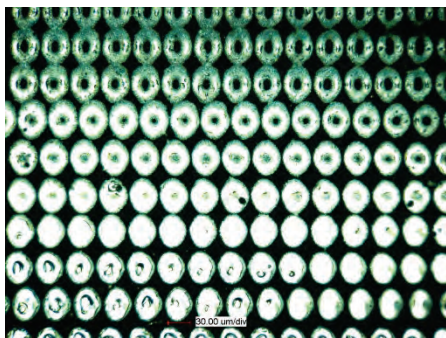


Bild 9: Abtrag auf beschichtetem Si mit verschiedenen Strahlprofilen, die mittels eines piShapers erzielt wurden.

Eine Verbesserung bei der Entfernung des Pulvers aus den Kanälen soll durch Beaufschlagung mit Druckluft in abwechselnder Richtung sowie eine Kombination von Beschallung mit gleichzeitiger Druckbeaufschlagung durch Luft oder Wasser erreicht werden. Dabei sollen die durchfließenden Medien die durch die Beschallung gelockerten Partikel aus den Kanälen befördern.

Danksagung

Das diesem Bericht zugrundeliegende Vorhaben wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung unter dem Förderkennzeichen 03ZZ0208G gefördert. Unterstützung bei der Erstellung der Anschlüsse kam von Projekt HEIGHT, das aus Mitteln des Europäischen Sozialfonds und des Freistaates Sachsen finanziert wird. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei

den Autoren.

Weiterhin danken wir Herrn Dr. Hempel und Herrn Stangl von unserem Partner Institut für Luft- und Kältetechnik - Gemeinnützige Gesellschaft mbH für die anspruchsvolle Aufgabenstellung sowie der Durchführung der Lötversuche und Drucktests.

Literaturverzeichnis

- [1] P&S Market Research: Global Heat Exchangers Market Size, Share, Development, Growth and Demand Forecast to 2020 – Industry Insights by Type (Shell & Tube, Plate & Frame, Air Cooled, Printed Circuit), by End-User (Chemical, Petrochemical and O&G, HVAC & Refrigeration, Food & Beverages, Power), by Construction Material (Steel, Non-Steel), Report Code CM10595
- [2] S. Tsopanos, C. J. Sutcliffe, and I. Owen, "The Manufacture of Micro Cross-Flow Heat Exchangers by Selective Laser Melting" in "Enhanced, Compact and Ultra-Compact Heat Exchangers: Science, Engineering and Technology", Ramesh K. Shah, Subros Ltd, Noida, UP, India; Masaru Ishizuka, Toyama Prefectural University, Toyama, Japan; Thomas M. Rudy, ExxonMobil Research & Engineering Co., Fairfax, VA, USA; Vishwas V. Wadekar, HTFS, Hyprotech UK Ltd, Harwell, Oxfordshire, UK Eds, ECI Symposium Series, (2005). <http://dc.engconfintl.org/heatexchangerfall2005/45>
- [3] C. Harris, M. Despa, K. Kelly: Design and Fabrication of a Cross Flow Micro Heat Exchanger, Journal of Microelectromechanical Systems, Vol. 9, No. 4 (2000), 502-508
- [4] Fachinformation des Fraunhofer IFAM: https://www.ifam.fraunhofer.de/content/dam/ifam/de/documents/dd/Infobl%C3%A4tter/struktur_optimier-te_mikrowaermeuebertraeger_fraunhofer_ifam_dresden.pdf (06.09.2018)
- [5] Patent US 2012/0261104 A1, Oktober 2012
- [6] www.heatcubed.com, zuletzt geprüft am 06.09.2018
- [7] <https://www.konstruktionspraxis.vogel.de/wie-simulationsexperten-start-ups-und-erfinder-auf-die-zielgerade-bringen-a-471698/>, zuletzt geprüft am 06.09.2018
- [8] <https://www.wenger-engineering.de/en/micro-heat-exchanger/>
- [9] K. Schubert, J. Brandner, M. Fichtner, G. Linder, U. Schygulla, A. Wenka: Microstructure devices for applications in thermal and chemical process engineering, Microscale Thermophysical Engineering, Volume 5, Issue 1 (2001), 17-39
- [10] M. Erler, S. Gronau, R. Ebert, H. Exner: Prozessoptimierung für die generative Fertigung von Mikrowärmeübertragern, Scientific Reports, 10. Mittweidaer Lasertagung, Nr. 2 (2017), 67-71

VIRTUALISIERUNG ADDITIVER FERTIGUNGSPROZESSE FÜR DAS RAPID TOOLING

Tobias Mussehl, Martin Rambke
Ostfalia Hochschule für angewandte Wissenschaften
Fakultät Maschinenbau, Institut für Produktionstechnik
Salzdahlumer Straße 46/48, 38302 Wolfenbüttel

Additive Fertigungsverfahren werden heute bereits im Bereich der schnellen Werkzeugherstellung (Rapid Tooling) eingesetzt. Dabei sind die Anforderungen hinsichtlich der Virtualisierung enorm hoch. Beim Metall-Lasersintern (SLM) wird beispielsweise Metallpulver lokal aufgeschmolzen und erstarrt anschließend. Die während der Abkühlung entstehenden Eigenspannungen führen zu Verzügen und damit zur Abweichung von der Sollgeometrie. Eine Vorhersage dieser Verzüge und die entsprechende Kompensation in der zu druckenden Geometrie sind daher enorm wichtig, um eine zeitaufwendige Ausschussfertigung zu vermeiden. Im Vortrag werden aktuelle Ergebnisse von Prozesssimulationen und ein Abgleich mit Realversuchen, die auf einer Metall-Lasersinteranlage an der Ostfalia durchgeführt wurden, vorgestellt. Diese Ergebnisse sind Bestandteil einer Forschungsstrategie, bei der es um die virtuelle Auslegung von Werkzeugen für das Presshärten geht.

Today, additive manufacturing processes are already used in the field of rapid tooling. The requirements regarding virtualization are enormously high. In metal laser sintering (SLM), for example, metal powder is locally melted and then solidified. The residual stresses generated during cooling lead to distortions and thus to deviations from the nominal geometry. Predicting these distortions and the corresponding compensation in the geometry to be printed are therefore extremely important in order to avoid time-consuming scrap production. In the presentation current results of process simulations and a comparison with real tests, which were carried out on a metal laser sintering unit at Ostfalia, will be presented. These results are part of a research strategy involving the virtual design of tools for press hardening.

1. Einleitung

An der Ostfalia Hochschule studieren zurzeit ca. 13.000 Studierende an den vier Standorten Wolfenbüttel, Wolfsburg, Suderburg und Salzgitter in 12 Fakultäten. Am Institut für Produktionstechnik (IPT) der Fakultät Maschinenbau sind momentan sieben Professorinnen und Professoren sowie 16 wissenschaftliche Mitarbeiter in der Lehre und Forschung tätig.

Vor vier Jahren wurde das Fabrication Laboratory (www.FabLab38.de) initiiert, aus dem in 2017 - unter Beteiligung weiterer Fakultäten - die Gründung des Zentrums für additive Fertigung (ZaF) erfolgte. Auf mittlerweile 25 „3D Druckern“ werden studentische Projekte und Forschungsarbeiten in diversen Verfahren (FDM, SLA, SLS, Polyjet etc.) realisiert.

Im letzten Jahr konnte im Rahmen einer EFRE-Infrastrukturmaßnahme eine Renishaw AM400 beantragt und beschafft werden, die die Fertigung maschinenbaulich relevanter Teile mit dem Metall-Lasersintern (SLM) ermöglicht [1].

2. Zielsetzung

Das übergeordnete Ziel am IPT ist die konsequente Virtualisierung der Produkt- und Prozessentwicklung. Mit der Einführung des Metall-Lasersinterns und dem gleichzeitigen Bewusstwerden der neuen Herausforderungen hinsichtlich der Beherrschung auftretender Eigenspannungen und damit verbundener Verzüge wurde entschieden, dass die simulative Abbildung dieses generativen Verfahrens zwingend erforderlich ist.

3. Stand der Technik

Das Aufschmelzen eines festen Stoffes, die anschließende Erstarrung und die daraus folgenden

Eigenspannungen und Verzüge sind generell aus der Fügetechnik bekannt [2] und Basis der Berechnungsansätze für die Simulation des Metall-Lasersinterns.

Die erste Version der Software *Additive* der Fa. Simufact arbeitete mit einem rein mechanischen Ansatz. Hier wurden vordefinierte Proben real gefertigt, die nach dem Trennvorgang auftretenden Verzüge gemessen und auf dieser Basis eine parallel durchgeführte Simulation kalibriert. Diese Software-Version wurde am IPT für eine erste Validierung eingesetzt. Die Untersuchungen an einem komplexen Bauteil ergaben, dass die mit *Additive* vorausgesagten Verzüge und die darauf basierenden Verzugskompensationen gute Ergebnisse hinsichtlich der Bauteilgenauigkeiten erzielten [3]. Problematisch waren hier allerdings Konstellationen, bei denen die Bauteilkontur um 45° verkippt und das Volumen der Stützstrukturen reduziert wurde. Hier war die Vorhersagegenauigkeit der Simulation sehr viel geringer. Die Autoren vermuteten, dass das an der fehlenden thermischen Abbildung des Prozesses in der Simulation lag. In das neue Release (*Additive 3.1*) wurde nun ein thermomechanischer Ansatz integriert, der Gegenstand dieser Untersuchungen ist und belegen soll, ob die erreichbaren Genauigkeiten - insbesondere bei den dargestellten Problemfällen - höher ist.

4. Thermomechanische Simulation

Im Gegensatz zum mechanischen Berechnungsansatz wird für die thermomechanische Simulation keine Kalibrierung auf Basis vordefinierter Proben durchgeführt. Die Einstellung des Temperaturfeldes erfolgt über eine thermische Simulation der Bauteile und der Bauplatzform.

Der thermomechanische Ansatz basiert auf Materialkennwerten und den thermischen Eigenschaften des eingesetzten Pulvermaterials und der Bauplattform, welche aus dem gleichen Material bestehen muss wie das eingesetzte Pulver. Zu den thermomechanischen Eigenschaften zählen der Emissionsgrad und der Wärmeübergangskoeffizient. Der Emissionsgrad (emissivity) beschreibt den strahlungsbedingten Wärmeverlust des Materials während des Fertigungsprozesses. Der Wärmeübergangskoeffizient (heat transfer coefficient) ist ein materialabhängiger Parameter, welcher die Intensität des Wärmeübergangs zwischen aufgeschmolzenem Material und Pulver ausdrückt. Dieser Parameter ist sehr stark von anderen Faktoren abhängig und ist daher in der Realität nicht konstant, wurde in der Simulation allerdings als konstant angenommen. Die Belichtungsdauer (exposure time) und der Energieanteil der Belichtungsdauer (exposure energy fraction) werden mit einer thermischen Untersuchung ermittelt, wobei darauf zu achten ist, eine realitätsnahe Abbildung des Temperaturfeldes zu erreichen (Abb. 1). Aus diesem Grund wird in der thermischen Untersuchung ausschließlich das entstehende Temperaturfeld simuliert. Unter Berücksichtigung der Materialkennwerte des hier verwendeten Pulvers (AlSi10Mg) und der Bauplattform wird auf Grundlage des Simulationsergebnisses der thermischen Simulation die thermomechanische Simulation durchgeführt.

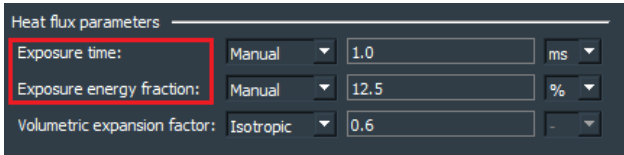


Abbildung 1: Einstellung der thermischen Parameter

In der thermomechanischen Analyse wird die Deformation der Bauplattform ebenso berücksichtigt, wie der Verzug des Bauteils aufgrund der thermischen Effekte während des Fertigungsprozesses.

Zunächst wird die Maschine ausgewählt, auf der das Bauteil gefertigt werden soll, um eine Übereinstimmung der Bauplattformabmessungen zu gewährleisten (Abb. 2). Die Bauteildeformation ergibt sich aus der Simulation des Fertigungsprozesses und dem simulierten Entfernen der Bauplattform sowie der Stützstrukturen.

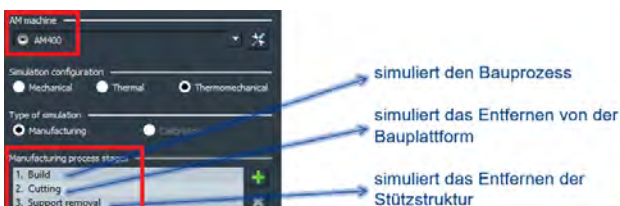


Abbildung 2: Auswahl der Fertigungsanlage und des Simulationsumfangs

Die Verzugskompensation kann auf zwei verschiedene Arten erfolgen. Zum einen besteht die Mög-

lichkeit einen Skalierungsfaktor einzustellen (z. B. -0,9), mit dem der negative Geometrie-Offset durchgeführt wird. Die zweite Methode besteht in der Optimierung des Skalierungsfaktors, bis der Verzug und damit die Abweichung zwischen simulierter Bauteilgeometrie und der Sollkontur einen definierten Grenzwert unterschreitet (Abb. 3).

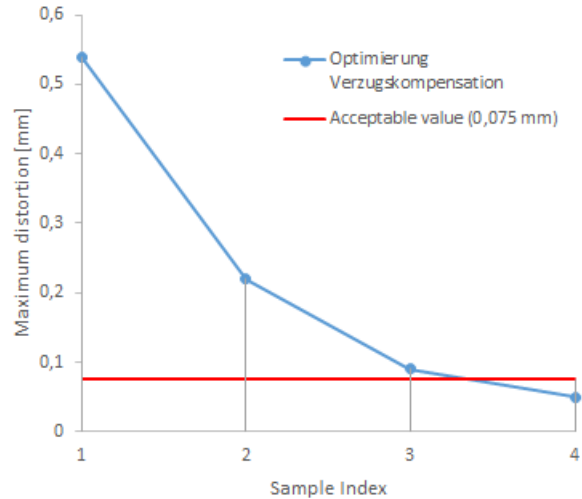


Abbildung 3: Optimierung der Verzugskompensation

Die auf diese Weise verzugs-kompensierten Bauteile wurden real gefertigt, um anhand von Verzugsmessungen den thermomechanischen Ansatz der Simulationssoftware zu validieren.

5. Realversuche / Validierungen

Die Fertigung aller Bauteile erfolgte aus AlSi10Mg-Pulver mit einer Schichtdicke von 30 µm und einer Laserleistung von 400 W. Die Bauplattform wurde für alle Bauteile auf 170°C vorgeheizt, da diese Einstellung sich hinsichtlich der Reduzierung von Eigenspannungen im Bauteil bewährt hat [3]. Für die Untersuchung wurde das um 45° verkippte Bauteil verwendet (Abb. 4), da hier die Vorhersagegenauigkeiten bei Verwendung des mechanischen Berechnungsansatzes am geringsten waren [3].

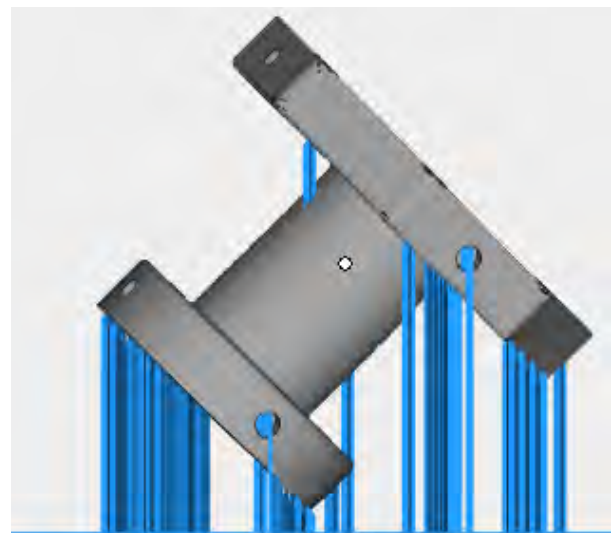


Abbildung 4: Bauteil mit Stützstruktur

Durch den thermomechanischen Ansatz wurde eine Verbesserung der Simulationsergebnisse erwartet, da hier die thermischen Einflüsse innerhalb des Fertigungsprozesses berücksichtigt werden.

In Abbildung 5 sind die untersuchte Bauteilgeometrie sowie die für die Validierung verwendeten Maße dargestellt.

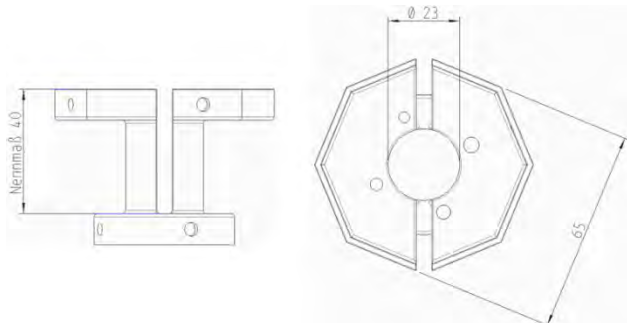


Abbildung 5: Bauteilgeometrie und Sollmaße

Abbildung 6 und 7 zeigen beispielhaft eine Auswertung, in der die Maßabweichungen der verzugskompensierten Geometrien von der Sollkontur dargestellt sind. Verglichen werden hier Ergebnisse auf Basis des mechanischen Ansatzes [3] mit den Ergebnissen auf Basis des thermomechanischen Ansatzes (mit fest eingestelltem Skalierungsfaktor) sowie mit automatischer Optimierung des Skalierungsfaktors. Der thermomechanische Berechnungsansatz konnte die Erwartungen hinsichtlich der Bauteilgenauigkeit durch Verzugskompensation nicht ganz erfüllen:

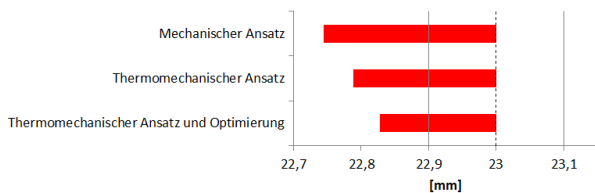


Abbildung 6: Auswertung der Messwerte

Die Maßhaltigkeit ließ sich im Vergleich zur Simulation mit mechanischem Berechnungsansatz zwar verbessern, jedoch liegen die Abweichungen weiterhin oft oberhalb von 0,1 mm.

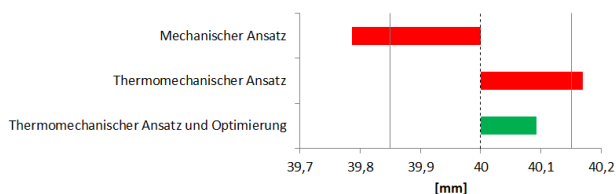


Abbildung 7: Auswertung der Messwerte

Geringe Mengen an Stützstrukturen besitzen hinsichtlich Kosten- und Zeitaufwand bei der additiven Fertigung Vorteile. Die geringe Wärmeabfuhr führte jedoch bei der Simulation mit mechanischem Berechnungsansatz zu hohen Verzügen, die sich nicht kompensieren ließen. Der thermomechanische Ansatz sollte für eine Verbesserung der Maßhaltigkeit sorgen. Im Rahmen dieser Untersuchung wurde jedoch deutlich, dass neben der Wärmeabfuhr wei-

tere Faktoren den Bauteilverzug beeinflussen und diese in der Simulation berücksichtigt werden müssen. Die Anordnung der Bauteile auf der Bauplattform (Abb. 8) ist dabei ebenso zu beachten wie die gegenseitige Beeinflussung von Bauteilgruppen.

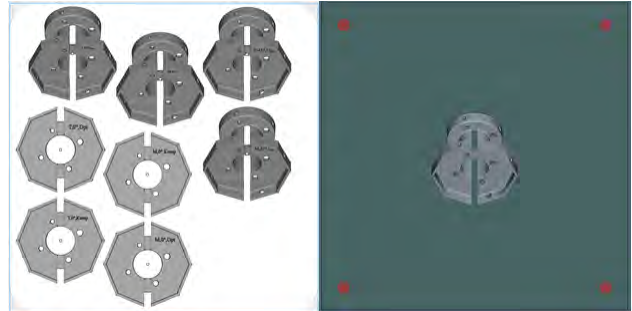


Abbildung 8: Anordnung in der Realität (links) und der Simulation (rechts)

In Abbildung 9 ist der Einfluss der Bauteilanordnung auf die Verzugskompensation dargestellt. Bei dem rot dargestellten Bauteil wurde die Simulation mit einem in der Mitte der Bauplattform positionierten Bauteil durchgeführt. Das blau dargestellte Bauteil wurde an der Stelle der Bauplattform simuliert, an der es real gefertigt wird.

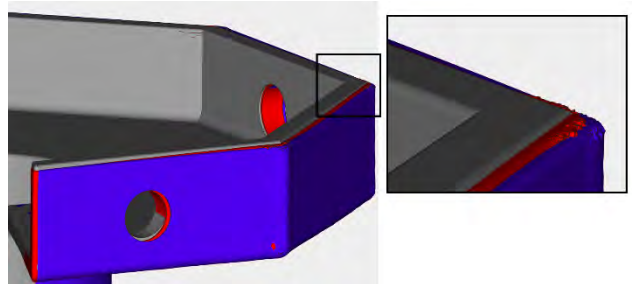


Abbildung 9: Vergleich der Verzugskompensation in Abhängigkeit von der Position auf der Bauplattform

Eine gegenseitige Beeinflussung von Bauteilgruppen lässt sich auf Simulationsergebnisse zurückführen, bei denen alle Bauteile auf der Bauplattform thermomechanisch simuliert wurden. Trotz einer Optimierung der Verzugskompensation ergaben sich Abweichungen von 0,2 bis 0,3 mm (Abb. 10). Diese Ergebnisse wiederum decken sich mit den vorhandenen Messergebnissen (Abb. 6 und 7).

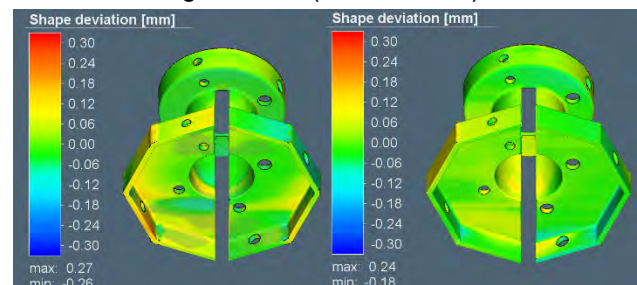


Abbildung 10: Konturabweichung des simulierten Bauteils in Abhängigkeit von der Position auf der Bauplattform (links = mittig simuliert, rechts = positionsgetreu simuliert)

Die Anlage richtet den Laser zum Aufschmelzen des Pulvers über ein Spiegelsystem aus, wodurch es zu einer Verzerrung des Laserpunktes zu einer Ellipse kommt, je weiter ein Bauteil von der Mitte der Bau-

plattform entfernt ist. Solche Streuungen der Fertigungsparameter sollten zukünftig ebenfalls beachtet werden.

Für eine Validierung der Simulationssoftware sind daher noch weitere Untersuchungen vorzunehmen, damit eine verlässliche Vorhersage der Verzüge realisiert werden kann. Momentan wird die Fertigung und Vermessung von Bauteilen durchgeführt, bei denen die Positionierung in der realen Fertigung in der Simulation berücksichtigt wurde. Darüber hinaus werden Bauteile gefertigt, bei denen die Beeinflussung durch Bauteilgruppen berücksichtigt wurde. Diese Bauteile sind jedoch mit dem manuell gewählten Skalierungsfaktor verzugskompensiert, da eine Optimierung unter Berücksichtigung von mehreren Bauteilen Software-seitig noch nicht implementiert ist.

6. Zusammenfassung und Ausblick

Der Schritt vom rein mechanischen zum thermomechanischen Berechnungsansatz in der Simulationssoftware Simufact *Additive* 3.1 führt zu einer verbesserten Prognosegenauigkeit der beim Metall-Lasersintern auftretenden Verzüge. Allerdings sind auch hier die Abweichungen zwischen Simulation und Realversuch immer noch relativ groß.

Vermutet wird, dass weitere Parameter in der Simulation berücksichtigt werden müssen, wie die gegenseitige Beeinflussung von mehreren Bauteilen auf der Plattform sowie die Orientierung der Bauteile zueinander. Grundsätzlich diskutiert werden sollte auch, ob ein „globaler“ Skalierungsfaktor für die Verzugskompensation an einer kompletten Bauteilgeometrie zielführend ist.

Entsprechend weiterführende Untersuchungen wurden jetzt am IPT der Ostfalia Hochschule gestartet. Durch den Einsatz von optischen Messmethoden wird dabei zukünftig die gesamte 3D Kontur erfasst, um Abweichungen detaillierter interpretieren zu können.

Literaturverzeichnis

- [1] www.ostfalia.de/cms/de/zaf/detail/news/9d1868e-43a4-11e8-a117-d96edd3be9f9
Abrufdatum: 22.08.2018.
- [2] Braess, H.-H.; Seiffert, U.; Vieweg Handbuch Kraftfahrzeugtechnik; Verlag: Vieweg (2012).
- [3] Mussehl, T.; Rambke, M.: Rapid-Tooling-Ansätze mit dem Metall-Lasersintern - erste Ergebnisse, 19. Round Table, Simulation Manufacturing, Tagungsband, Marburg, Mai 16-17, (2018).

HOCHGESCHWINDIGKEITS 3D-DRUCK ZUR HERSTELLUNG VON PROTHESENELEMENTEN

Jörg Matthes¹, Claudius Petzold¹, René Göbler²

¹ Hochschule Mittweida, Technikumplatz 17, D-09648 Mittweida

² FGMD GmbH, Hohe Straße 2, 09244 Lichtenau

Eines der ungelösten Probleme in der orthopädischen Erstversorgung ist eine schnelle, kostengünstige Herstellung von Prothesenelementen bzw. Helmschalen. Ausgangspunkt stellt die Aufnahme der körpernahen Konturen durch den Einsatz eines 3D-Scanners dar. Der Herstellungsprozess soll zukünftig unter Anwendung additiver Fertigungsverfahren wesentlich vereinfacht und beschleunigt werden. Der dafür zu entwickelnde 3D-Drucker erhält neben einem rotierenden Arbeitstisch auch mehrere parallel einsetzbare Druckköpfe. Der Beitrag betrachtet neben der aktuellen Technik auf dem Gebiet der 3D-Scanner auch Neuentwicklungen auf dem Gebiet der Additiven Fertigung in diesem Bereich. Der geplante Prozessablauf und das Konzept werden vorgestellt und diskutiert. Der Vortrag stellt die Zielstellungen des Innovationsnetzwerkes pro-O-light vor.

1. Einleitung

Pro-O-light ist ein Innovationsnetzwerk mit dem Hauptaugenmerk auf die Medizintechnik im Bereich der Entwicklung neuer Technologien und Materialien zur Herstellung medizinischer Hilfsmittel für Erkrankungen des menschlichen Bewegungsapparates. Gefördert wird das Vorhaben durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) und koordiniert durch die FGMD GmbH. Aktuell betreut das Netzwerk neben dem Projekt „Entwicklung eines 3D Hochgeschwindigkeitsrotationsdruckverfahrens“ (3D-HRD) sechs weitere Forschungsprojekte aus dem Bereich der Medizintechnik.

Ziel des Forschungsprojektes „3D-HRD“ ist es, den bisherigen Arbeits- und Zeitaufwand der Herstellung von orthopädischen Hilfsmitteln wie Orthesen, Prothesen oder Helmen auf ein Minimum zu reduzieren. So benötigt die Herstellung eines orthopädischen Helms aktuell circa 2 Arbeitstage. Mit dem zu entwickelnden 3D-Drucker soll die Herstellungszeit auf bis zu 2 Stunden reduziert werden. Um diese Reduzierung zu erreichen, erhält der neukonzipierte Drucker bis zu 4 separat steuerbare Druckköpfe und eine rotierende Druckplattform. Ebenso entfällt die zeitintensive Modellherstellung mittels Gipsabdrücken vor dem Druck, die betroffene Körperpartie wird unter Verwendung eines 3D-Scanners erfasst.

Neben der Hochschule Mittweida arbeiten fünf weitere Partner an der Lösung der Forschungsaufgabe.

2. Innovationen aus dem Bereich FFF-Hochgeschwindigkeits-Druck

Zu Beginn des Projektes wurde der Stand der Technik im Bereich des Hochgeschwindigkeits-3D-Drucks genauer untersucht. Hauptaugenmerk lag hierbei auf dem Stand im Bereich des Fused Filament Fabrication (FFF) -Druck mit Blick auf die eingangs erwähnten technischen Funktionalitäten. Die Recherche ergab neben neuartigen Lösungsansätzen im Bereich des Hochgeschwindigkeits-FFF-3D-Drucks nur wenig relevante Vorhaben zu dem geplanten 3D-Drucker. Eine interessante Neuentwicklung zeigt die Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften (ZHAW).

Während ihres Masterstudiums entwickelten zwei Studenten der ZHAW einen sechssachsigen FFF-Drucker. Dieser Prototyp [siehe Abbildung 1] ist mit einer dreiachsigen Kinematik für den Druckkopf und einer dreiachsigen-rotationsfähigen Kinematik für die schwenkbare Bauplattform ausgestattet. Durch die schwenkbare Bauplattform ist es den Entwicklern gelungen auch große Überhänge an Bauteilen ohne Stützstrukturen zu drucken, wodurch Zeit und auch Material eingespart werden konnten. Zusätzlich entfallen Nachbearbeitungsschritte, wie das Entfernen der Stützstrukturen, was wiederum mit einer besseren Oberflächenqualität der gedruckten Objekte einhergeht. Durch die bewegliche Bauplattform ist es ebenso möglich, Bauteile aus anderen Materialien während des Druckvorgangs einzubetten. Der Drucker wurde weitestgehend aus

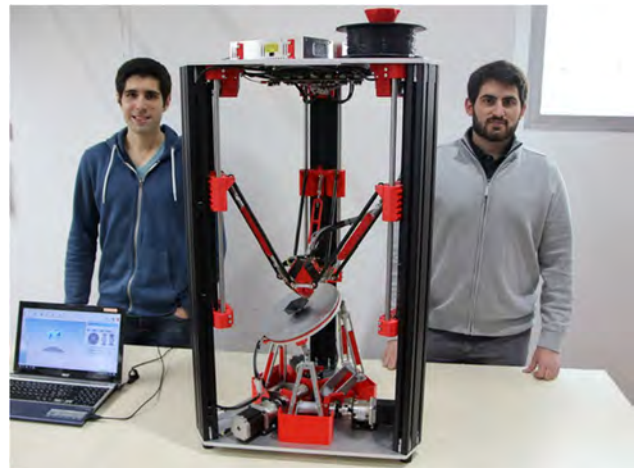


Abbildung 1: sechssachs 3D-Drucker der ZAHW [1]

bestehenden Komponenten konstruiert, so lag die Herausforderung vielmehr in der korrekten Ansteuerung und Synchronisation der sechssachsigen Plattform, als im Bau des Prototyps [1].

Eine ähnliche Herangehensweise wendete eine Forschungsgruppe der Technischen Hochschule Köln im Rahmen eines Forschungsprojektes zum mehrachsigen 3D-Druck an. Hierbei wird das zu druckende Objekt bewegt und der Druckkopf steht nahezu fest im Raum [siehe Abbildung 2]. Bauteil und Plattform werden um den Druckkopf bewegt. In diesem Projekt soll-

ten die bisherigen Schwachstellen des 3D-Drucks minimiert werden. Dies betrifft die lange Druckzeit, das Entfernen der Stützstrukturen und die damit einhergehenden schlechteren Oberflächeneigenschaften. Zudem sollten auch die infolge der Schichtung vorhandenen ungünstigen mechanischen Eigenschaften der gedruckten Objekte verbessert werden. Die Bauplattform und somit das zu druckende Objekt wurde hierbei an einem sechsachsigen Roboterarm angebracht. Zu-



Abbildung 2: Versuchsaufbau der TH Köln [2]

sätzlich verfügt der Druckkopf über eine weitere Bewegungsachse. Durch diese kinematische Aufteilung ist es möglich, weitestgehend ohne Stützstrukturen auszukommen und die zu druckenden Schichten untereinander versetzt zu drucken. Was wiederum eine Zeitersparnis aber auch eine Verbesserung der Materialeigenschaften mit sich bringt. So wurden in ersten Testreihen 80% der normalerweise benötigten Zeit eingespart und eine Festigkeitssteigerung von 28% erreicht [2].

3. Beabsichtigte Entwicklung und angestrebte technische Funktionalitäten

Dieses neuartige Konzept eines 3D-Druckers beabsichtigt die Herstellung zylindrischer oder kegelähnlicher dünnwandiger Geometrien zu realisieren. Speziell Stümpfe für Prothesen oder orthopädische Helme sollen schneller, günstiger und sauberer hergestellt werden. Als wesentliche Neuerung im Bereich der additiven Fertigung besitzt der zu konstruierende Drucker bis zu 4 separat steuerbare Druckköpfe [siehe Abbildung 3]. Diese können entweder mit dem gleichen oder unterschiedlichen Material bestückt werden. Damit lässt sich einerseits in kurzer Zeit bedeutend mehr Kunststoff aufschmelzen und zum Druck bereitstellen. Andererseits können unterschiedliche Materialien verwendet werden, um Schichten mit verschiedenen Funktionen gleichzeitig aufzubauen. Beide Optionen haben das Ziel, durch den Einsatz mehrerer gleichzeitig im Einsatz befindlicher Druckköpfe Zeit einzusparen. Als Bauplattform ist ein rotierender Teller vorgesehen, der über eine verstellbare Drehachse verfügt, wodurch sich das Bauteil zudem exzentrisch verfahren lässt. Durch die Rotation des Werkstücks werden neuartige Düsengeometrien [siehe Abbildung 3] benötigt, da nicht wie bei den meisten bisher vorhandenen FFF-Druckern senkrecht von oben auf eine stehende oder

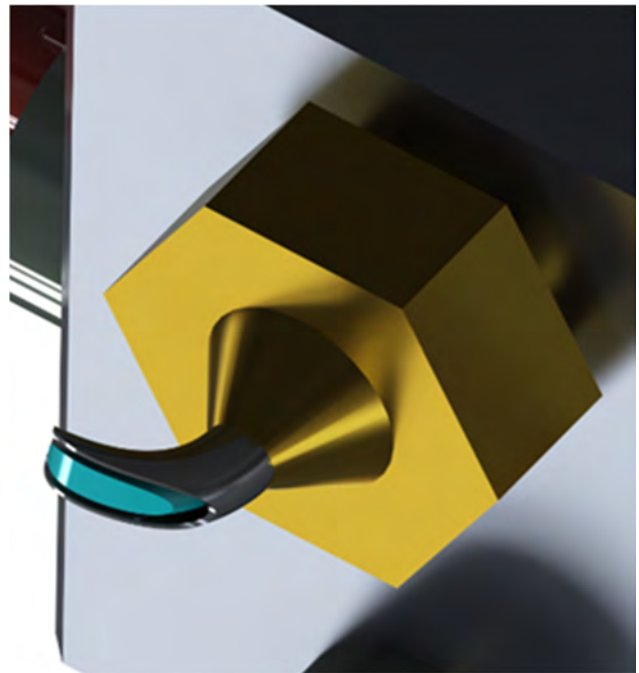


Abbildung 3: Mögliche Düsengeometrie [3]

sich linear bewegende Bauplattform gedruckt wird. Weiterhin soll es möglich sein, zusätzliche Bauteile, wie zum Beispiel Halterungsstifte, am Prothesenstumpf während des Drucks einzubetten. Für diese

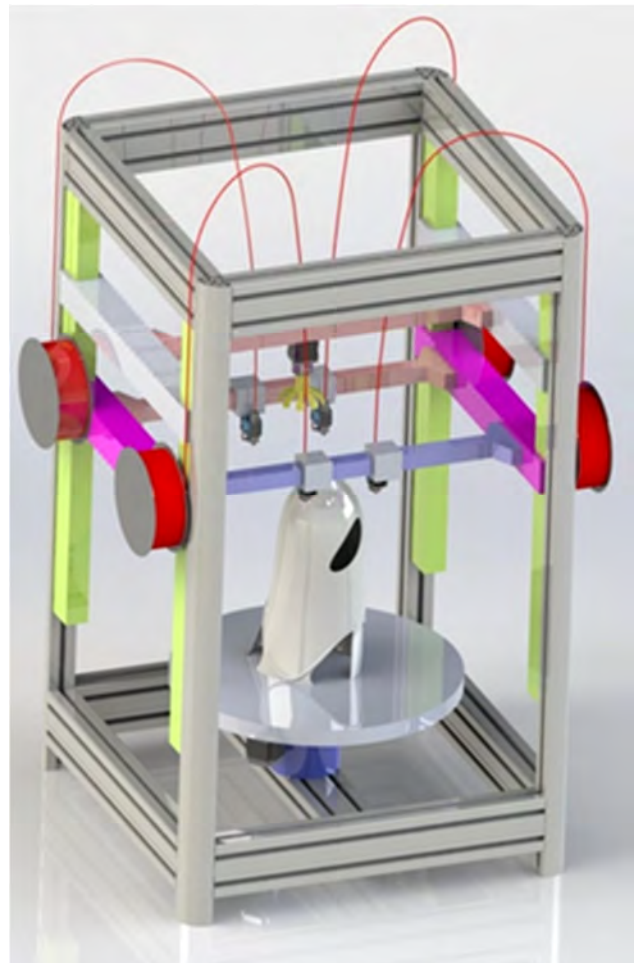


Abbildung 4: Vorstudie des Hochgeschwindigkeits-3D-Druckers [3]

Funktion ist eine fünfte Achse als Greiferachse notwendig.

Möglicherweise können zukünftig solche Zusatzbauteile an der Bauplattform angebracht und der Druckvorgang von da aus begonnen werden. Vorerst soll das Verfahren an speziellen, kopfformangepassten Helmen erprobt werden. Die Anforderungen sind ähnlich, nur die Festigkeit der Bauteile ist wesentlich geringer einzustufen. Das für den Druck benötigte Material sollte in erster Linie verträglich für die Patienten sein, aber auch über die mechanischen Eigenschaften verfügen, ähnlich der aktuell verwendeten Stoffe. Weitere Anforderungen an das Material sind kurze Aushärtezeiten bzw. Abkühldauer. Gegebenenfalls muss der Bauraum des Druckers aktiv gekühlt werden, falls das Aushärten der vorhergehenden Schichten nicht schnell genug erfolgt. Derzeitig verfügbare Materialien erfüllen nur unzureichend die hier gestellten Anforderungen.

4. Aufteilung der Arbeitsprojekte

In dem Forschungsprojekt „3D-HRD“ sind neben der Hochschule Mittweida fünf weitere Industriepartner vertreten. Die Hochschule Mittweida übernimmt hierbei die Konzipierung des gesamten 3D-Hochgeschwindigkeitsdruckers mit allen seinen Komponenten und die Durchführung der Berechnungen und Simulationen der Bewegungsabläufe. Die saXcare GmbH mit Sitz in Chemnitz bringt fundiertes Wissen und Erfahrungen aus der Orthopädietechnik in das Projekt ein. Zudem stellt die saXcare GmbH Modelle zur Verfügung, die erste 3D-Scans ermöglichen. Im späteren Verlauf des Projektes sollen Probanden für die Praxistestreihen der Prototypen vermittelt und betreut werden. Die Ehnert Maschinenbau GmbH & Co. KG aus Marienberg ist für Entwicklung des Werkzeugtisches und des Druckergestells zuständig. Die ATZ GmbH Industrieautomation mit Sitz in Reinsdorf entwickelt die Steuerung der Komponenten des Druckers. Der Druckkopfantrieb sowie die Drückköpfe mit den dazugehörigen Düsen werden von der Jenaer Antriebstechnik GmbH entwickelt und in das Projekt eingebracht. Zur Entwicklung eines geeigneten Materials konnte das Kunststoffzentrum Leipzig gGmbH für das Projekt gewonnen werden. Zur Unterstützung der Hochschule Mittweida im Bereich der Softwareentwicklung soll die Firma CADsys einbezogen werden. Die Entwicklung umfasst die software-technische Abbildung des Prozesses von der Datenaufnahme mittels Scan bis hin zur Bereitstellung der Daten für den 3D-Druck.

5. Forschungsanteil der HSMW

Die hier angestrebte, neuartige Drucktechnologie verfolgt die Zielstellung der Zeitersparnis durch die intelligente Aufteilung des Druckprozesses in einzelne Teilprozesse. Die Teilprozesse werden wiederum auf die jeweiligen Düsen des Druckers aufgeteilt. Die aus dem Pflichtenheft abgeleiteten Anforderungen an diese 3D-Hochgeschwindigkeitsdrucktechnologie ergeben die erforderlichen Parameter zur Ermittlung der Bewegungsbereiche. Damit lassen sich nunmehr die Bewe-

gungsfunktionen jeder einzelnen der vier Düsen ermitteln. Mit der Festlegung der physikalischen Randwerte bei der Materialbereitstellung und den über eine definierte Schnittstelle importierten Geometriedaten lassen sich die Bewegungsbahnen in Abstimmung von Düse und Druckplattform berechnen. Um die physikalischen Randwerte der verwendeten Materialien bestimmen zu können müssen im Vorfeld erste Proben entwickelt und einfache Versuche gefahren werden. Das benötigte Material zur Herstellung der orthopädischen Hilfsmittel, muss im Gegensatz zu bisherigen Materialien, schneller einen formstabilen Zustand annehmen. Die Zeit zwischen zwei aufeinanderfolgenden Lagen ist wesentlich geringer als bei den bisherigen FFF-Verfahren. Dabei sollen zudem Stützstrukturen weitestgehend vermieden werden. Diese Herausforderung lässt sich bei hohen, hohlzylindrischen Objekten, die während des Druckprozesses rotieren ggf. durch eine zusätzliche exzentrische Bewegung realisieren. Durch die rotierende Bewegung des Bauteils sind herkömmliche Düsen nicht verwendbar. Die zu entwerfenden Düsen sollten tangential zum Bauteil extrudieren, um einen gleichmäßigen sauberen Druck zu gewährleisten. Um die Bewegungsfunktionen der Druckköpfe ermitteln zu können, wird ein CAD-Modell des zu druckenden Hilfsmittels benötigt. Dieses wurde vorher unter Verwendung eines 3D-Scans [siehe Abbildung 5] der zu versorgenden Körperregion erstellt.

Die Herausforderung hierbei ist es, einen verwertbaren Scan zu generieren und diesen mit möglichst gering-

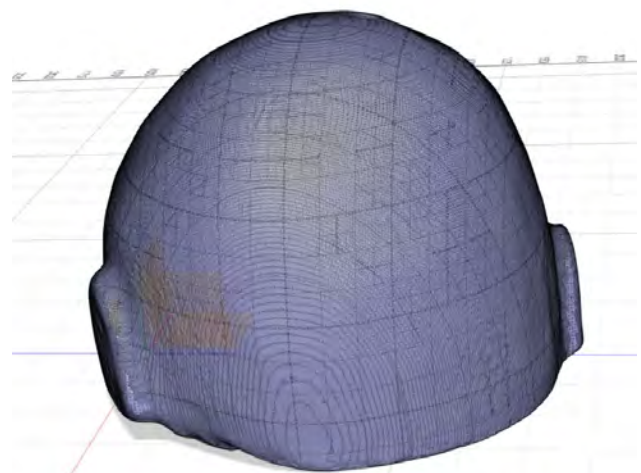


Abbildung 5: Scan eines Kopfgipsmodells

gem Nachbearbeitungsaufwand als Modell verwenden zu können. Zur Generierung des CAD-Modells wird auf eine Software zurückgegriffen, die es ermöglicht Fehlstellen beim Scannen zu korrigieren und beliebige Freiformgeometrien zu modellieren. Mit dem generierten CAD-Modell und einer optimalen Bauraumpositionierung erfolgt nun der komplizierteste Abschnitt, die Vorbereitung für den 3D-Druck. Neben dem schichtweisen Zerlegen (slicing) des Modells müssen sich nunmehr vier Extruder gleichzeitig bewegen. Im ersten Fall soll durch den gleichzeitigen Einsatz von vier Düsen die Schichtbreite des Bauteiles mit einer Umdrehung der Bauplattform erzeugt werden. Später erfolgen zudem

die Einarbeitung von Sonderbauteilen und die geplante exzentrische Bewegung der Plattform. In der Realisierung dieser Forderungen besteht auch ein erhebliches technisches Risiko des Teilprojekts. Die Erarbeitung einer Gesamtkonzeption für den 3D-HRD sowie die Zerlegung in Teilstrukturen erfolgen nach den klassischen Verfahren der Konstruktionsmethodik. Dadurch wird gewährleistet, dass die bestehenden Anforderungen eingehalten, die verschiedenen Lösungsprinzipien gefunden und technische Risiken minimiert werden. Die hieraus abgeleiteten Antriebslösungen sowie die Geometrieinformationen der Prothesen liefern die Grundlage zur mathematischen Bestimmung aller Antriebsfunktionen mit Hilfe der inversen Kinematik unter Beachtung der Synchronisation der vier Druckköpfe. Der Aufbau eines aussagefähigen Simulationsmodells soll dabei die Lösungsfindung unterstützen. Das bestehende Konzept des 3D-HRD sollte als realitätsnahes Simulationsmodell abgebildet werden. Dazu sind neben der kinematischen Struktur, die Antriebsfunktionen und die Geometriedaten einzubeziehen. Mit der Abbildung der Bewegungsabläufe soll der Abgleich zum realen Modell erfolgen. Außerdem lassen sich damit Grenzbereiche besser untersuchen und aufwendige Versuchsaufbauten begrenzen.

6. Anforderungen und kinematische Konzepte

Anhand der zu druckenden orthopädischen Hilfsmittel, wie Prothesenstumpf und Helmschalen, beschränkt sich das Projekt auf Objekte, die auf einer sich drehenden Plattform herstellbar sind. Die Abmessungen des Bauraums liegen in einem klar

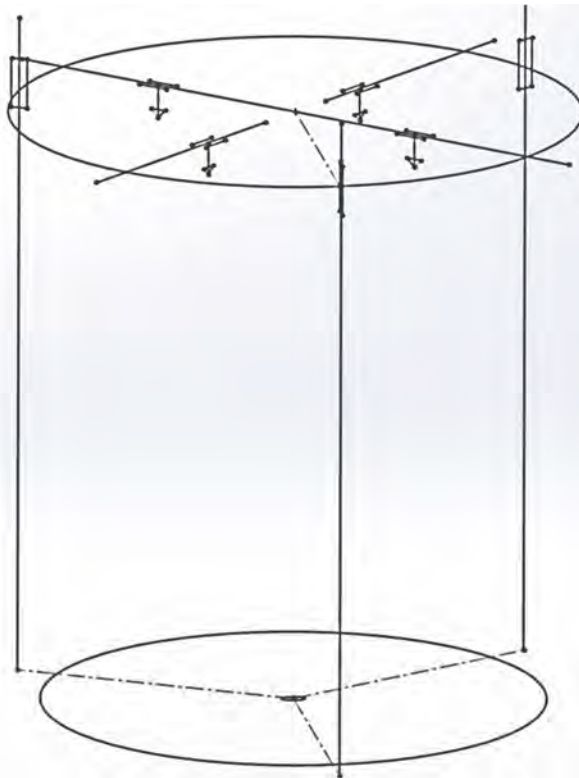


Abbildung 6: Ansatz eines kinematischen Konzepts

definierbaren Bereich. Beginnend bei der Helmschale für ein Kleinkind bis hin zu erwachsenen Personen. Die höchste Drehzahl, mit der die Plattform rotiert, kann anhand der vorgegebenen max. Abmessungen und der Fertigungsdauer vordefiniert werden. Von diesem Wert ausgehend, lassen sich für die verschiedenen kinematischen Studien die Verfahrbewegungen der Druckköpfe ermitteln. Eine dieser Studien zeigt Abbildung 56. Hier sind drei vertikale Linearachsen an je einer Säule angeordnet, die einen Ring bewegen. An diesem sind die vier horizontal-verfahrbaren Druckköpfe angebracht. Eine Achse ist hierbei durchgängig und ermöglicht so die mittigen Konturen zu drucken. Der Drehteller mit dem späteren Bauteil wurde nicht eingezeichnet, sitzt jedoch bei jedem Konzept mittig. Eine spätere außermittige Bewegung des Drehteller soll mit Hilfe zweier Exzentrerscheiben erreicht werden. Diese Arbeiten und die Neukonzipierung des Zusammenspiels zwischen Druckkopf und Werkstückaufnahme stellen den innovativen Kern der Hochschule Mittweida dar.

7. Zusammenfassung und Ausblick

In dem Beitrag haben wir das Forschungsprojekt „Entwicklung eines 3D Hochgeschwindigkeitsrotationsdruckverfahrens“ (3D-HRD) des Innovationsnetzwerkes Pro-O-light vorgestellt. Die Entwicklung eines neuartigen 3D-Druckers für orthopädische Hilfsmittel, der Innerhalb von 2 Stunden den additiven Fertigungsprozess abgeschlossen hat, zählt zur Hauptaufgabe der sechs Forschungspartner. Zur Realisierung der hohen Fertigungsgeschwindigkeit ist es notwendig, mehrere Druckköpfe gleichzeitig und mit geringen Verfahrwegen zum Einsatz zu bringen. Da sich diese jedoch während des Druckvorganges über ihre mechanischen Führungen behindern würden, ist ein Konzept für die Koordination und Synchronisation von vier Druckköpfen zu entwickeln. Mit Hilfe einer Vorstudie wurde ein erster Denkansatz entworfen, den es nunmehr gilt in die Realität zu überführen. Neben der Aufteilung der Arbeitsschritte steht insbesondere die Definition, der Anforderungen und die Konzeptfindung im Mittelpunkt der Anfangsphase des Projektes. Ein CAD-Modell des ersten Objektes steht zur Verfügung und dient der Definition der Randbedingungen und der kinematischen Simulationen. Die größte Herausforderung und somit auch das größte Risiko eines erfolgreichen Gelingens des Projektes besteht in der Zusammenarbeit und Koordination der Projektpartner.

Das Netzwerkprojekt wird gefördert durch das Zentrale Innovationsprogramm Mittelstand (ZIM) des BMWi

Literaturverzeichnis

- [1] <https://www.zhaw.ch/de/engineering/ueberuns/news/news/news-single/zhaw-masterstudenten-entwickeln-neuartigen-3d-drucker/>
- [2] https://www.th-koeln.de/hochschule/3d-druck-ohne-stuetzstrukturen_43722.php
- [3] <http://www.pro-o-light.de/index.php/id-3d-highspeed-druck.html>

ENTWICKLUNG EINER BIEGEHILFE FÜR ORBITA-IMPLANTATE AUF BASIS EINES ANATOMISCH-STATISTISCHEN MODELLS

Hans-Martin Dörfler¹, Peter Schulze¹, Thomas Hierl²

¹HTWK Leipzig / Karl-Liebknecht-Straße 132, 04277 Leipzig

²Helios Vogtland-Klinikum Plauen / Röntgenstraße 2, 08529 Plauen

Die dritthäufigste Fraktur im Kiefer- und Gesichtsbereich ist die Fraktur der Orbitawände. Zielstellung der Arbeit ist, die operative Versorgung solcher Frakturen signifikant zu verbessern. In mehreren Arbeitsschritten, die aus der Segmentierung, der Festlegung anatomischer Landmarken, der Entfernung nicht relevanter Bereiche, der Vor- und der, finalen Registrierung und schließlich der Generierung eines anatomisch-statistischen Modells (ASM) bestehen, wurde eine mittlere Geometrie aus 125 Patienten-CT-Datensätzen erstellt. Diese mittlere Geometrie auf der Basis der anatomisch-statistischen Patientendaten bildet die Grundlage für die Entwicklung der Biegehilfe. Diese Biegehilfe wird als ein zweiteiliges Werkzeug ausgeführt, mit dem ebenes Material in die Form des ASM überführt werden kann.

Nach dem Import der mittleren Geometrie in eine CAD-Software wurde eine Flächenrückführung vorgenommen und aus dem Flächenmodell ein zweiteiliges Werkzeug konstruiert. Am Ende der Entwicklung wurde dieses Werkzeug mittels eines generativen Verfahrens hergestellt und in der Praxis erprobt.

1. Einleitung

Orbitawandfrakturen (Frakturen der Augenhöhlenwände) stehen nach Nasenbein- und Jochbeinfrakturen an dritter Stelle der häufigsten Frakturen im Kiefer- und Gesichtsbereich [1]. Genaue Angaben zur Häufigkeit liegen nicht vor, es ist jedoch von einer operativen Versorgung allein in Deutschland von mehreren Tausend Patienten im Jahr auszugehen. Typische Ursachen sind Schläge auf Wange oder Auge bzw. Stürze oder Sportunfälle [2]. Am häufigsten brechen in der Augenhöhle die dünnen Knochen des Bodens und der medialen Wand. Dies kann als ein Schutzmechanismus des Nasennebenhöhlensystems für wichtige Strukturen angesehen werden, da so die Wahrscheinlichkeit einer Augenverletzung mit möglichem Sehverlust verringert wird [3]. Kommt es jedoch zu einer Fraktur, können die Folgeschäden, je nach Ausmaß und Lage, beträchtlich sein. Neben einer ästhetischen Beeinträchtigung in Folge des Zurück- und/oder Absinkens des Augapfels, können schwerwiegende funktionelle Störungen (z. B. Doppelbildsehen) resultieren. Ein Verlust der Fahrtauglichkeit oder des Arbeitsplatzes kann die Folge sein. [4]



Abbildung 1 S-förmiger regelrechter Verlauf des Orbitabodens (Quelle: MKG-Chirurgie des UKL Leipzig)

Die Behandlung derartiger Frakturen ist kompliziert und zwei Probleme verhindern bisher die regelhaft einfache Frakturversorgung:

- Die Anatomie ist komplex, da alle vier Wände nicht gerade, sondern S-förmig gekrümmt sind (Abbildung 1). Plane Rekonstruktionsmaterialien sind daher ungeeignet, den Orbitainhalt in die beabsichtigte Position zu führen.
- Der Zugangsweg ist klein und der Inhalt der Augenhöhle kann während der Operation nur gering angehoben werden. Stärkerer Druck durch Abhalten des Augenhöhleninhalts kann zu Druckspitzen im Bereich des Sehnervs führen, welche den Sehnerv schädigen können.

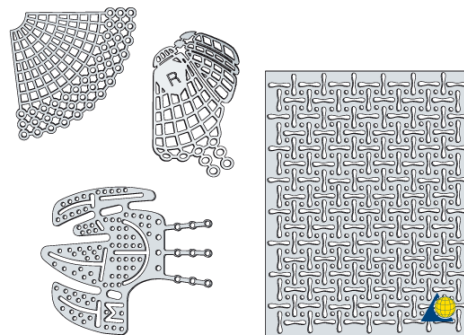


Abbildung 2 Typische alloplastische Materialien zur Versorgung von Orbitawandfrakturen (Titannetze). (Quelle: AO International Therapieanleitung)

Neben planen, manuell intraoperativ zu adaptierenden und patientenspezifischen Implantaten (Abbildung 2), nehmen präformierte Orbita-Gitternetzplatten eine Mittelstellung ein. Präformierte Osteosynthese-Systeme basieren auf anatomisch-statistischen Modellen (ASM), da die menschliche Anatomie in vielen Bereichen eine große Formkonstanz aufweist [5]. Sie sind jederzeit verfügbar, kostengünstiger als patientenspezifische Implantate und anatomisch vorkonfiguriert. Im Idealfall müssen sie deshalb intraoperativ kaum angepasst werden [6].

Nachteile der derzeit erhältlichen präformierten Platten sind die Vorgabe eines Materialtyps (Titangitternetzplatte) und die Vorgabe der maximalen Größen, d. h. die Platte kann verkleinert, jedoch nicht vergrößert werden und ist somit für größere Frakturen ungeeignet. Deshalb entstand die Idee zur Entwicklung einer Biegehilfe basierend auf einem anatomisch-statistischen Modell, um bezüglich des Materials und der Größe des Implantates so wenig wie möglich eingeschränkt zu sein.

Diese Biegehilfe soll es ermöglichen, im Rahmen einer kurzen, aber effektiven OP-Planung ein planes Implantat aus einem beliebigen verformbaren Material in eine anatomisch korrekte Form zu bringen und somit eine Passgenauigkeit zu erreichen, die nur geringe, oder im Einzelfall keine intraoperative Anpassung benötigt. Mit einer solchen Biegehilfe wäre man nicht weiterhin auf das Material beschränkt, das als präformiertes Implantat angeboten wird, sondern könnte sämtliche verformbare Gitter oder Folien einsetzen. Die Biegehilfe wäre außerdem wiederverwendbar und kostengünstiger als patientenspezifische Implantate. Um eine anatomisch korrekte Form abbilden zu können, sollte die Grundlage für die Form der Biegehilfe ein anatomisch-statistisches Modell bilden, welches auf möglichst vielen Patientendatensätzen basiert.

2. Erstellung eines anatomisch-statistischen Modells

Ausgangspunkt für die Erstellung des anatomisch statistischen Modells waren 138 Patienten-CT-Datensätze aus der Datenbank der Klinik und Poliklinik für Mund-, Kiefer- und Plastische Gesichtschirurgie des Uniklinikums Leipzig. Auf Grundlage dieser Datensätze wurde in mehreren Arbeitsschritten unter Verwendung verschiedener Computerprogramme das anatomisch-statistische Modell erstellt. Bei sieben Datensätzen war das Segmentieren auf Grund der schlechten Qualität der CT nicht möglich, sodass 131 Datensätze für die Erzeugung des anatomisch-statistischen Modells verwendet werden konnten. Kurz abgehandelt stellen sich die einzelnen Bearbeitungsschritte wie folgt dar:

- Segmentierung der Knochenstruktur der Orbitae
- Entfernung der nicht relevanten Bereiche und Festlegung der anatomischen Landmarken für die Vorregistrierung (die spätere Biegehilfe soll die typischen Frakturstellen abdecken – die mediale und inferiore Orbitawand, Abbildung 3)
- Vorregistrierung mit Hilfe der Landmarken und finale Registrierung der geometrischen Flächen
- Generierung des anatomisch-statistischen Modells aus letztendlich 125 Patienten-CT-Datensätzen

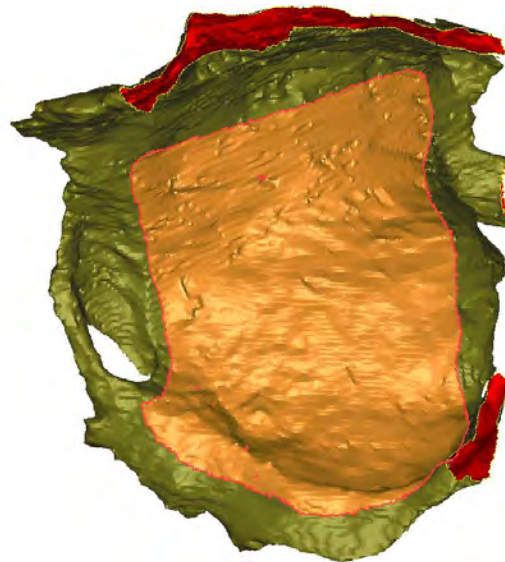


Abbildung 3 mediale und inferiore Orbitawand, relevanter Bereich orange markiert.

Nach der finalen Registrierung und vor der Erstellung des anatomisch-statistischen Modells wurden sechs der 131 Datensätze (Ausreißer) aussortiert, weil bei diesen Orbitae überdurchschnittliche Abweichungen festzustellen waren. Im Resultat basiert das anatomisch-statistische Modell somit auf 125 Patienten-CT-Datensätzen aus der Datenbank der Klinik und Poliklinik für Mund-, Kiefer- und Plastische Gesichtschirurgie des Universitätsklinikums Leipzig. Das resultierende anatomisch-statistische Modell ist in Abbildung 4 dargestellt.

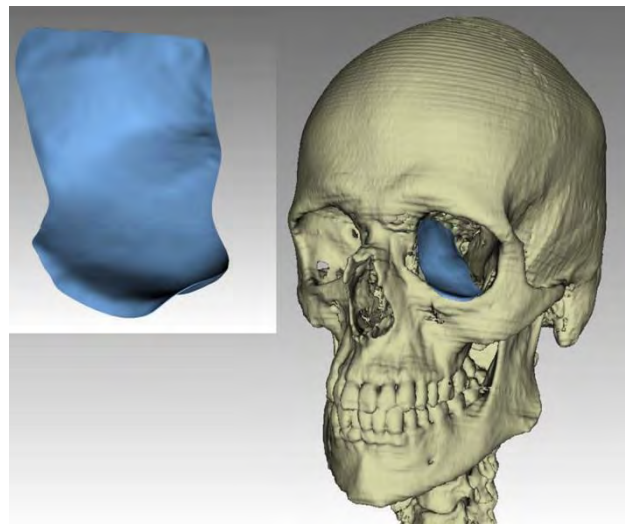


Abbildung 4 Links oben: anatomisch-statistisches Modell vergrößert; Rechts: anatomisch-statistisches Modell beispielhaft eingepasst in eine Schädelrekonstruktion

3. Konstruktion der Biegehilfe und Herstellung des Prototyps

Das anatomisch-statistische Modell bildete die Grundlage für die Konstruktion der Biegehilfe. Die Biegewerkzeuge sollten als doppelseitiger Stempel ausgeführt werden, in den der Anwender ein planes, verformbares Material einlegt und die Stempelseiten zusammenpresst, um so die Geometrie auf das

eingelegte Material zu übertragen. Im ersten Schritt wurde die erzeugte Geometrie des anatomisch-statistischen Modells als STL-File (Standard Triangle Language) in eine CAD Software (CATIA V5, Dassault Systems, Frankreich) importiert. Aus dem importierten Netz wurde mittels einer Flächenrückführung eine NURBS-Fläche (Non-Uniform Rational B-Spline) erzeugt (Abbildung 5).

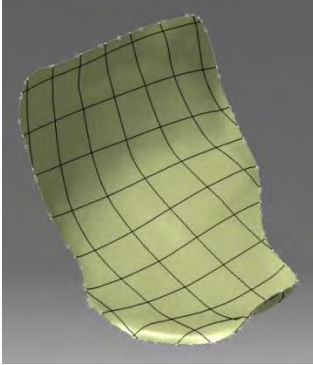


Abbildung 5 Ergebnis der Flächenrückführung: Geometrie des anatomisch-statistischen Modells überführt in eine NURBS-Fläche

Im nächsten Schritt wurden aus der erzeugten NURBS-Fläche durch Extrusion in entgegengesetzter Richtung zwei dreidimensionale Körper erzeugt. Die extrudierten Körper wurden in mehreren Schritten konstruktiv weiterentwickelt, um die finale Form der Stempel zu erhalten. Dabei wurden die notwendigen Elemente wie Ränder und Führungselemente für das kollisionsfreie sowie vorgegebene aufeinander Gleiten des unteren und oberen Stempels eingearbeitet. Des Weiteren wurden die Wandstärken und die statisch-dynamisch belasteten Elemente für einen aus Kunststoff, mittels additivem Verfahren hergestellten Prototypen ausgelegt. Die Ober- und Unterseite des fertigen Stempel-Prototypen ist in Abbildung 6 dargestellt.

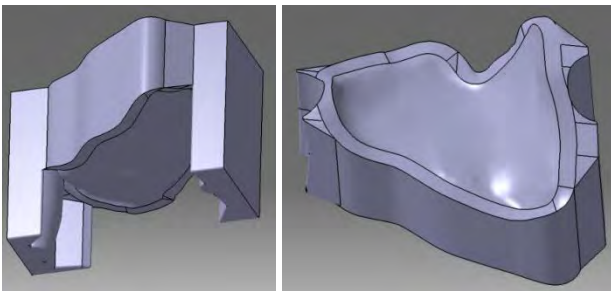


Abbildung 6 Links: Oberseite Stempel (CAD); Rechts: Unterseite Stempel (CAD)

Dieses zweiteilige Werkzeug wurde generativ mittels FDM (fused deposition modeling) Verfahren hergestellt. Der so hergestellte Prototyp ist in Abbildung 7 geöffnet und geschlossen, mit und ohne eingelegter Gitternetzplatte dargestellt.

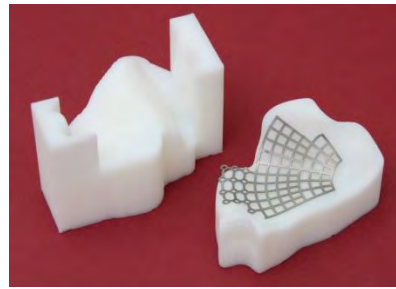


Abbildung 7 geöffneter Stempel mit verformter Gitternetzplatte

4. Zusammenfassung und Ausblick

Auf Basis von 125 Patienten-CT-Datensätzen wurde ein anatomisch-statistisches Modell generiert. Dieses Modell bildete die Grundlage für die Konstruktion der zweiteiligen Biegehilfe. Ein Prototyp dieser Biegehilfe wurde mittels FDM-Verfahren hergestellt. Es konnte gezeigt werden, dass die Verformung einer Gitternetzplatte mit dem Prototypen möglich ist.

Aufbauend auf dieser Arbeit kann auf Grundlage des anatomisch-statistischen Modells und auf Basis des konstruierten Prototyps in weiterführender Bearbeitung ein Medizinprodukt entwickelt werden.

Auch für die OP-Planung bzw. die navigierte Chirurgie kann das anatomisch-statistische Modell zukünftig eingesetzt werden. Mittels virtueller Einprobe kann im Vorfeld der OP geprüft werden, ob eine ausreichende Passgenauigkeit beim betreffenden Patienten vorliegt oder nicht. So können Ausreißer vorab identifiziert werden und es kann schon vor der OP entschieden werden, ob dieses Modell eingesetzt werden kann oder nicht.

Der erarbeitete Workflow kann auf Fragestellungen aus anderen medizinischen Bereichen, bei denen Knochengewebe rekonstruiert werden muss, wie beispielsweise in der Orthopädie oder der Unfallchirurgie, übertragen werden und so über die Orbita und die Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie hinaus von klinischem Nutzen sein. Insbesondere für den Vergleich der Geometrien mit existierenden Implantaten oder auch die Ableitung neuer Implantatgeometrien kann nach dem hier aufgezeigten Schema vorgegangen werden.

5. Danksagung

Die Autoren bedanken sich beim Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie für die Möglichkeit zur Durchführung des Projektes 3D-Orbita, welches im Rahmen des „Zentralen Innovationsprogramms Mittelstand“ (ZIM) gefördert wurde.

Literaturverzeichnis

- [1] KELLEY, Patrick ; CRAWFORD, Marcus ; HIGUERA, Stephen ; HOLLIER, Larry H.: Two Hundred Ninety-Four Consecutive Facial Fractures in an Urban Trauma Center: Lessons Learned. In: Plastic and Reconstructive Surgery 116 (2005), Nr. 3, 42e-49e
- [2] VANDEGRIEND, Zachary P. ; HASHEMI, Araz;

- SHKOUKANI, Mahdi: Changing trends in adult facial trauma epidemiology. In: The Journal of craniofacial surgery 26 (2015), Nr. 1, S. 108–112
- [3] LEE, Thomas S. ; KELLMAN, Robert ; DARLING, Andrew: Crumple zone effect of nasal cavity and paranasal sinuses on posterior cranial fossa. In: The Laryngoscope 124 (2014), Nr. 10, S. 2241–2246
- [4] CLAUSER, Luigi ; GALIÈ, Manlio ; PAGLIARO, Francesco ; TIEGHI, Riccardo: Post-traumatic enophthalmos : Etiology, principles of reconstruction, and correction. In: The Journal of craniofacial surgery 19 (2008), Nr. 2, S. 351–359
- [5] WAGNER, Daniel ; KAMER, Lukas ; ROMMENS, Pol M. ; SAWAGUCHI, Takeshi ; RICHARDS, Robert Geoff ; NOSER, Hansrudi: 3D statistical modeling techniques to investigate the anatomy of the sacrum, its bone mass distribution, and the trans-sacral corridors. In: Journal of orthopaedic research : official publication of the Orthopaedic Research Society 32 (2014), Nr. 11, S. 1543–1548
- [6] METZGER, Marc Christian ; SCHÖN, Ralf ; SCHMELZEISEN, Rainer: Preformed titanium meshes : A new standard? In: Skull base : official journal of North American Skull Base Society ... [et al.] 17 (2007), Nr. 4, S. 269–272

PARAKNOT3D – EIN HYBRIDES KONZEPT FÜR LEICHTBAUSTRUKTUREN IN DER ARCHITEKTUR

Martin Dembski, Cristoph Dijoux, Alexander Stahr
HTWK Leipzig, Karl-Liebknecht-Str. 132, 04277 Leipzig

Additive Fertigungsprinzipien eröffnen neue Perspektiven für die Realisierung von Leichtbaukonstruktionen in der Architektur, denn sie repräsentieren ein Fertigungskonzept, welches mit dem geometrisch bzw. strukturell individuellen Charakter der Entwürfe direkt harmoniert. Auf der Basis des Standes der Technik markieren zum jetzigen Zeitpunkt die Dimensionen der zu errichtenden Struktur sowie ihrer Bauteile und die umfangreichen Anforderungen in Bezug auf Festigkeiten, Dauerhaftigkeit und ggf. Brandschutz besondere Herausforderungen.

ParaKnot3D ist ein digital basiertes Konzept für eine neuartige Knotenverbindung zur Realisierung einlagiger, geometrisch flexibler Stabwerke im Kontext hochgradig ressourceneffizienter Leichtbaukonstruktionen in der Architektur. Das Projekt fokussiert auf die Nutzung der Potenziale additiver Fertigungsverfahren und mathematischer Optimierungsalgorithmen zur Erschließung des natürlichen Bauprinzips der doppelten Krümmung für leichte Tragkonstruktionen weitspannender Dächer oder hoher Türme. Das Konzept wurde prototypisch in Form eines Messepavillons realisiert.

1. Einleitung

Architektur und Bautechnik schaffen mit ihren Projekten das organisatorisch-räumliche sowie infrastrukturelle Rückgrat der modernen Zivilgesellschaft. Obwohl die Baubranche nahezu die Hälfte des weltweiten materiellen Ressourcenverbrauchs und 60 Prozent des Müllaufkommens sowie über 70 Prozent des Transportvolumens verantwortet [1], gilt sie zurecht als „Innovationsträger“ und nimmt den vorletzten Platz im Digitalisierungsindex ein [2]. Im Kontext einer stetig wachsenden Weltbevölkerung braucht es daher dringend neue Konzepte um den Ressourcenverbrauch und die Auswirkungen des Bauens auf die Umwelt deutlich zu reduzieren. Gekrümmte Tragwerke sind effizienter als planare, ein Fakt den uns die Natur täglich vor Augen führt. [3] Mit den oben aufgeführten Punkten ist dies einer der Hauptgründe, warum organische Formen in der Architektur zunehmend an Bedeutung gewinnen. Da die anthropologische Industrie, vor allem im Bereich des Bauwesens, aus ihrer Historie heraus, jedoch auf die Produktion, Verarbeitung und Montage linearer, ebener Systeme spezialisiert wurde, werden effizientere gekrümmte Bauteile oft nur über zusätzlichen finanziellen und materiellen Aufwand möglich. So ergeben sich oft Konflikte zwischen Formeffizienz, Produktion und Kosten.



Bild 1: MERO-Kugelsystemknoten

Als Lösung dieses Konflikts wird meist, bereits in der Entwurfsphase, auf das Werkzeug der Abstraktion und Vereinfachung zurückgegriffen, um den Bau einer globalen Freiformgeometrie lokal mit linearen oder ebenen Werkstücken zu realisieren und die Komplexität auf wenige Details zu beschränken. Dabei werden oft, zu Lasten der Formtreue der Ursprungsform, die Details so geplant, dass diese sich in der Konstruktion wiederholen, um auf finanzieller Seite die Kosten für Unikate zu vermeiden. (Bild 1)

Betrachtet man jedoch die sich heutzutage immer weiter entwickelnden additiven Fertigungsverfahren steht der Produktion kostengünstiger und konkurrenzfähiger Unikate und Kleinserien in naher Zukunft und zum Teil heute schon nichts mehr entgegen. Mit diesen grundlegenden Themen setzt sich das Projekt ParaKnot3D auseinander und macht sich die Entwicklung und Umsetzung einer raumbildenden gekrümmten Struktur durch Minimierung der konstruktiv-geometrischen Komplexität auf eine einzelne Singularität – den Knoten – und dessen unikalere Produktion mittels individueller additiver Fertigung zum Ziel. Dadurch ist es möglich durch ein hybrides System standardisierter Elemente und geometrisch lokal konzentrierter komplexer additiv gefertigter Teile tragwerkseffizienter, konstruktiv materialsparender und architektonisch gestaltungsfreier zu werden.

2. Generelle Lösungsansätze zur Planung und Umsetzung frei geformten Stabwerkskonstruktionen im Leichtbau

Stabwerke bestehen hauptsächlich aus zwei strukturellen Elementen, den Stäben und den Knoten. Daher macht es aus wirtschaftlicher Sicht Sinn diese zwei Teile seriell immer gleich auszuführen und jedes Element auf eine, ihm eigene, Geometrie festzulegen. Dies limitiert die möglichen lokalen und globalen Strukturformen jedoch extrem. Freiformen lassen sich so nicht umsetzen. Daher gibt es bei der Realisierung von Freiform-Stabwerken prinzipiell drei logische Grundkonzepte. Die geometrisch einfachste und

ursprungsformtreuste, jedoch bisher unwirtschaftlichste, Lösung ist die Verwendung individueller Stäbe und Knoten in einer Struktur. Aus bereits genannten Gründen ist diese Vorgehensweise im Bauwesen heute zu Tage jedoch vollkommen unüblich und wird erst nach der Lösung des Individualisierungsproblems großmaßstäblicher Bauteile - Bauteile > 2m - zu konkurrenzfähigen Konditionen und Zeiten seriell gefertigter Teile relevant und kann somit in der weiteren anwendungsbezogenen Betrachtung vernachlässigt werden. Aus dieser Betrachtung lassen sich allerdings die beiden anderen im Bauwesen praktizierten Konzepte ableiten – die Änderung der Stabgeometrie bei gleichbleibender Knotengeometrie, oder die Änderung der Knotengeometrie bei gleichbleibender Stabgeometrie. Dabei haben beide Methoden unterschiedlich viele konstruktive, herstellungsbedingte und gestalterische Vor- und Nachteile.

2.1 Konzept – Stabgeometrieänderung

Um bei gleichbleibenden Knoten Freiformen generieren zu können, ist es notwendig die Stabformen/-längen zu variieren. Dabei beeinflussen, neben den unterschiedlichen Stablängen, ebenfalls die bei der Planung für die Knoten festgelegten Anschlusswinkel, der Knotenpunkte zu den Stäben, die Gesamtform maßgeblich. Beides im Zusammenspiel lässt jedoch nur bedingten Spielraum für eine völlig freie Formgestaltung, bedingt jedoch eine sehr wirtschaftliche Produktion der Knotenelemente, sowie oftmals eine entsprechende technologische Anpassung der Schnittstelle zwischen Knoten und Stab und somit oftmals die physische Anpassung der Stabenden. (Bild 2)

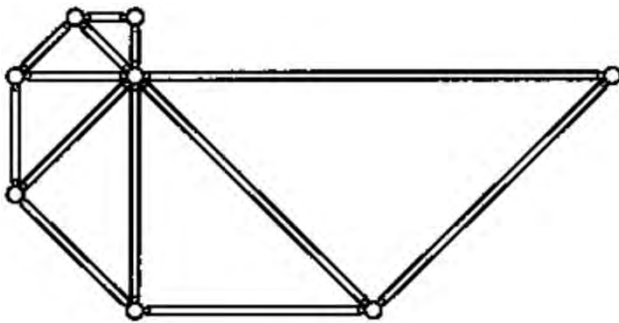


Bild 2: MERO-Systemelemente – gleiche Knoten, unterschiedliche Stablängen [4]

2.2 Konzept – Knotengeometrieänderung

Im Gegensatz zur Stabgeometrieänderung, sind variable Knotengeometrien derzeit relativ aufwendig in der Produktion. Dies liegt vor allem an der oftmals komplexen Geometrie, die auf einen kleinen Bereich konzentriert wird und der immer noch vorwiegend traditionellen Fertigung, durch z.B. Zusammenschweißen aus mehreren Teilen, dieser Elemente. (Bild 3) Dabei muss in jedem Schritt, die Maßhaltigkeit gewährleistet werden.

Der große Vorteil bei dieser Methode besteht allerdings darin, eine höhere ursprungsformtreue erreichen zu können, als bei einer Stabgeometrieänderung mit gleichbleibenden Knoten. Ebenfalls können

bei diesem Prinzip ohne größeren Mehraufwand oder Stabanpassungen entsprechend lokal differenzierte Stabprofile eingeplant, verwendet und ästhetisch überblendet werden. Zudem ist, durch die Begrenzung der Komplexität und Geometrieindividualität auf die Knoten, damit also auf die kleinste Einheit des Konstruktionssystems, der Platz- und Großgerätebedarf für die Herstellung prinzipiell wesentlich geringer.



Bild 3: eine Knotenverbindung von Seele des Glas-Schalendachs in Westfield, London – Jeder Knoten besteht aus 20 von Hand zusammengesetzten, verschweißten Einzelteilen

3. ParaKnot3D – Der digitale Knoten

Auf Grundlage dieser Betrachtungen bietet die Nutzung additiver Fertigungsverfahren für die Knotenherstellung, aus baurechtlichen Gründen vor allem im Bereich der metallischen Werkstoffe, viele Möglichkeiten. Manuell aufwendige Schritte bei der Herstellung können so vereinfacht und automatisiert werden, wodurch geringere Toleranzen, eine höhere Maßhaltigkeit und ein effizienterer Fertigungsprozess ermöglicht werden. [5]

Die in Hinblick auf das Konstruktionsvolumen und die Konstruktionsfläche in der Gesamtkonstruktion den kleinsten Anteil ausmachenden Knoten können so bereits mit aktuell, aus der Anlagenbau-, Automobil-, Luft- und Raumfahrtindustrie zur Verfügung stehenden, seriellen Maschinen und deren Bauraumgrößen gefertigt werden.

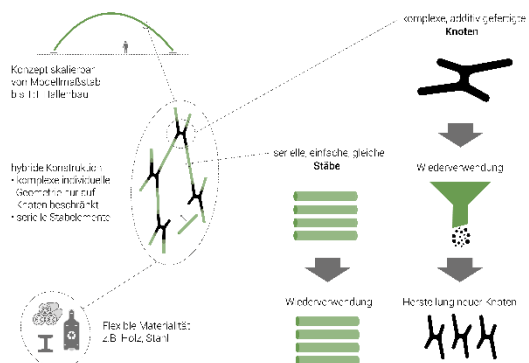


Bild 4: ParaKnot3D - Konzept

Damit ist die Umsetzung und Herstellung des Grundkonzepts von ParaKnot3D – Die hybride Verknüpfung additiv lokal komplexer individuell adaptierbarer, bzw. parametrischer Knoten in Kombination mit seriell ge-

fertigten Standardstabelementen – möglich und bietet Potentiale die bisherigen Fertigungsmethoden abzulösen und vollumfänglich alle Möglichkeiten der additiven Technologien auszuschöpfen. (Bild 4)

3.1 individuelle Form

Die dadurch gewonnene neue Freiheit in der Gestaltung der Knotengeometrie ermöglicht, ohne größer werdenden Herstellungsaufwand, eine Vielzahl an Optionen. Die in der manuellen Fertigung mit großem Aufwand verbundene Umsetzung räumlicher Winkel ist mit additiven Technologien ohne zusätzlichen Aufwand möglich. So können ebenfalls Winkel auf kleinem Raum umgesetzt werden, die mit bisherigen Fertigungsverfahren zu unökonomisch in der Herstellung oder nicht produzierbar waren. Zudem ist die Technologie transferierbar. Knoten für mehrlagige Strukturen weisen, unter Verwendung von 4- oder 5-Achs-Technologien, die Stützstrukturen in der Fertigung nahezu obsolet machen [6], denselben Bearbeitungsaufwand auf, wie einlagige Knoten. In den additiven Fertigungsprozess selbst können so auch smarte, funktionale Knotenanschlüsse wie beispielsweise Press-, Schraub- und Steckverbindungen ohne größeren Nachbearbeitungsaufwand integriert werden. Zudem kann aus ästhetischen Gründen ohne fertigungstechnischen Mehraufwand eine einheitliche Formensprache von Knoten und Stäben hergestellt werden. In begrenztem Umfang ist so auch ein geometrischer Netztoleranzausgleich, durch individuelle Knotenastlängen, von Nicht-Chebyshev-Netzen – Netzstrukturen mit gleichen Stablängen [7][8] – möglich, was eine größere Formensprache und eine noch genauere Annäherung an die Basisform ermöglichen kann. (Bild 5)

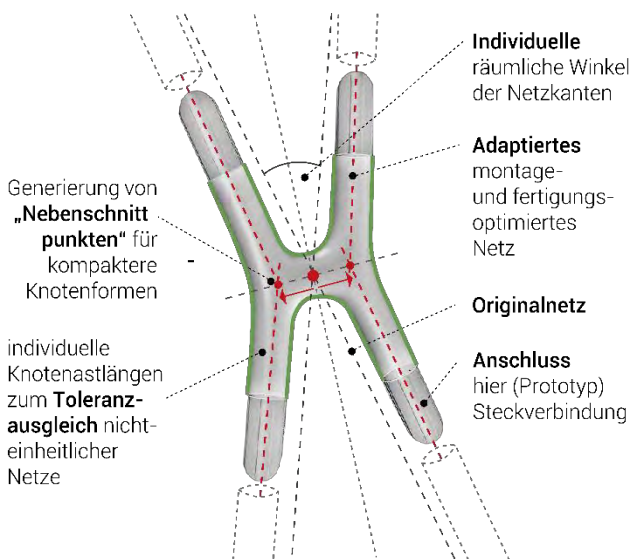


Bild 5: Knotengeometrie aus dem ParaKnot3D - Prototypenmodell

3.2 NC gesteuerte additive Fertigung

Das wichtigste in diesem ganzen Prozess ist jedoch eine entsprechende Datengrundlage. Dies ist vor allem im architektonischen Bereich stark abhängig von

den Entwurfswerkzeugen und dem Entwurfsprozess. Während in maschinenbautechnischen Disziplinen bereits seit langem algorithmische und parametrische Modelle vollständig implementiert sind, ist dieser Trend in der Architektur, trotz der Masseneinführung vor 15 Jahren durch Bentley Systems Generative Components, durch die träge Entwicklung der Bauindustrie relativ jung [9]. Wächst jedoch zunehmend seit der Einführung visueller Programmiersprachen im Designbereich seit 2007 und der seit 2010 fortschreitenden Implementierung in BIM-Software, sowie der zunehmenden Digitalisierung des Bauwesens. So bedingt diese Art der Datengenerierung und des Entwerfens nahezu eine lückenlose algorithmisch-parametrische digitale Planung um nicht jeden Knoten einzeln entwerfen zu müssen, sowie ein entsprechendes 3D Modell jedes individuellen Knotens zur Generierung der Fertigungsdaten. (Bild 6)

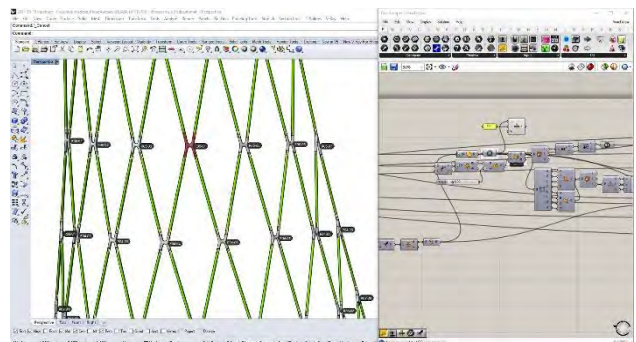


Bild 6: Parametrisches Modell des ParaKnot3D – Prototypen programmiert mit Grasshopper einer visuellen Programmiersprache von Robert McNeel & Associates

Liegt ein entsprechendes 3D CAD-Modell vor kann dieses, je nach verwendetem Gerät, in den entsprechenden notwendigen Maschinencode durch z.B. Slicing übersetzt werden. Mit dem daraus generierten Maschinenpfad mit Steuerungsanweisungen, z.B. in Form von G-Code, wird schließlich der Knoten gefertigt.

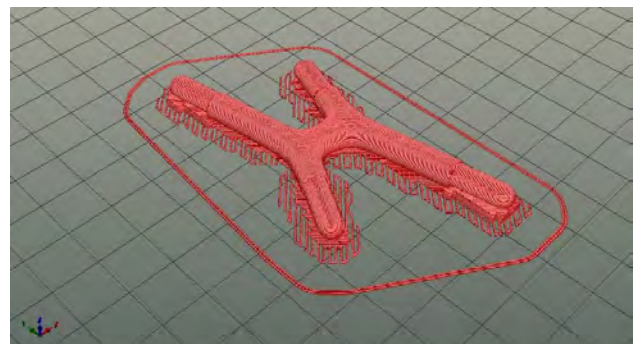


Bild 7: Geslichter Prototypenmodellknoten

Ein weiterer Vorteil, neben der maschinellen Genauigkeit, im Gegensatz zur manuellen ist die einfache Skalierbarkeit des Systems unter Berücksichtigung der allgemein gültigen Punkte, wie z.B. Wandstärken, Materialmaße, Details, etc.

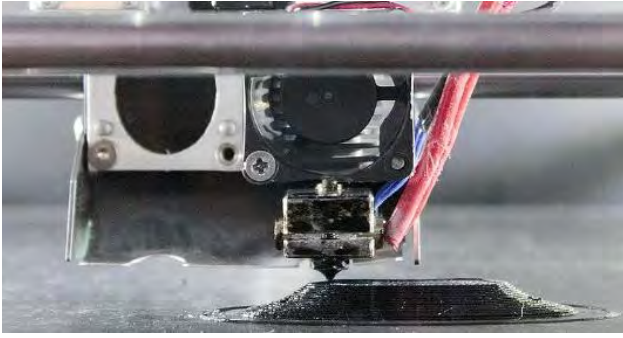


Bild 8: Druckprozess mittels eines Extrusionsverfahrens (hier FDM) eines Auflagerelements des Prototypenmodells

4. Hybride Leichtbaustrukturen – Das Beste aus zwei Welten

Das Konzept ParaKnot3D wurde prototypisch und zunächst kleinmaßstäblich anhand eines Messepavillons umgesetzt. Dieser bestand aus 343 individuellen 3D-gedruckten Knoten aus Polylactide (PLA), einem biokompatiblen Kunststoff auf Maisstärkebasis. Die Stäbe der Konstruktion bildeten 554 handelsübliche Papiertrinkhalme. Bei einem Gewicht von nur 2,5 kg verteilt auf eine Oberfläche von zirka 8 m² lässt die prototypische Umsetzung des Konzepts im ParaKnot3D-Pavillon das Potenzial von Stabwerken erahnen.



Bild 9: ParaKnot3D - Prototyp

Der Prototyp veranschaulicht dabei sehr gut die vorhergehend ausgeführten Punkte. Die Verbindung serieller, gerader und gleich langer Stabelemente mit räumlich gekrümmten, additiv gefertigten Knoten ist nun in den Maßstab 1:1 zu überführen.

Danksagung

Die Autoren bedanken sich für die materielle, sowie finanzielle Unterstützung der Prototypenumsetzung bei studifit, Bio-Strohhalme.com und fabmaker, als auch für das enthusiastische Mitwirken im Projekt von Dr.(l) Arch. Monica Rossi, Lukas Franke, M.Sc., Marina Jostina, B.A., Ken Kermer, B.A., Georg Fischer, B.A., Felix Schmidt-Kleespies, B.A., Friederice Kühn und Jakob Rüdlich.

Literaturverzeichnis

- [1] N. Becker, Kurzanalyse Nr. 2 – Ressourceneffizienz der Tragwerke, (2013)
- [2] Telekom Deutschland, techconsult, Digitalisierungsindex, (2017)
- [3] A. D'Arcy Wentworth Thompson, On Growth and Form, (1917)
- [4] J. Chilton, Space Grid Structures, (2000), 30ff
- [5] R. Naboni, I. Paoletti, Advanced Customization in Architectural Design and Construction, (2015), 103-106
- [6] M. Kynast, M. Eichmann, G. Witt, Rapid.Tech – International Trade Show & Conference for Additive Manufacturing, (2017), 156
- [7] F. Otto, IL10: Gitterschalen = IL10: Grid Shells. Sonderforschungsbereich Weitgespannte Flächentragwerke Mitteilungen, Stuttgart: Institut für Leichte Flächentragwerke, Universität Stuttgart, (1974)
- [8] Y. Masson, A. Ern, O. Baverel, L. Hauswirth, Existence and construction of Chebyshev nets with singularities and application to gridshells, (2017)
- [9] H. Pottmann, A. Asperl, M. Hofer, A. Kilian, Architekturgeometrie, (2007)

ANALYSE UND KRITIK DES GROßFORMATIGEN 3D-DRUCKENS IM BAUBEREICH UND PERSPEKTIVEN ZUKÜNFTIGER LÖSUNGEN

Thomas Wiedemann
HTW Dresden, F.-List-Platz 1, D-01326 Dresden

Die Idee des großformatigen 3D-Drucks im Baubereich ist nicht so neu, wie es aktuelle Pressemeldungen annehmen lassen. Nach dem Aufkommen erster 3D-Drucker Anfang der 90er Jahre stellte der amerikanische Professor Behrokh Khoshnevis bereits 1996 erste Ideen zum Hausbau damit vor. Obwohl mit einer ganzen Anzahl von US-Förderprogrammen stark unterstützt, kam dieses Projekt bislang nicht zum großen Durchbruch. Auch bei anderen, sehr ähnlichen Projekten in China sind zwar Prototypen verfügbar, ein echter Durchbruch für einen Masseneinsatz ist jedoch ebenfalls nicht sichtbar. Der Artikel beleuchtet prinzipielle Probleme der bisherigen Ansätze und stellt darauf aufbauend bereits vorhandene und auch neue Lösungsansätze aus eigener Forschung vor,

The paper analyses the history and actual state of 3D-printing in the area of architecture and construction and presents some new ideas for improving the performance and quality of the approach.

1. Einleitung

Die wirtschaftliche Situation im Bauwesen ist durch eine sehr harte, weltweite Konkurrenz und Gewinnmargen im Bereich von wenigen Prozent charakterisiert. Eine Hauptursache dafür sind die gleichen verwendeten Basistechnologien zur Fertigung von Bauwerken, welche dadurch keine preisliche Differenzierung über das Produkt erlauben. Nur durch immer größere Senkungen bei den Arbeitslöhnen und den Materialkosten können noch positive Gewinnmargen erzielt werden. Leider führt dies immer häufiger zu Qualitäts- und Terminproblemen, wie der Berliner Flughafen und der Einsturz der Kölner U-Bahn-Baustelle sehr negativ zeigen. Es stellt sich die Frage, ob mit moderneren technologischen Mitteln eine Änderung der Situation möglich ist.

Eine erste positive Antwort gab bereits Mitte der 90er Jahre der amerikanische Professor Behrokh Khoshnevis mit einem auf einem 3D-Drucker basierenden Ansatz. In den letzten 5 Jahren sind weitere Projekte aus China und Europa in diesem Bereich entstanden. Es fällt jedoch auf, dass sowohl der US-Ansatz seit nunmehr 20 Jahren und auch die anderen Lösungen über den Prototypenstatus nicht hinauskommen. Mögliche Ursachen und Lösungsoptionen sollen nachfolgend untersucht werden.

2. Das Contour-Crafting-Verfahren

Bereits seit 1996 entwickelt Prof. Behrokh Khoshnevis von der University of Southern California ein 3D-Druckverfahren für Häuser. Die Vorgehensweise ist stark an herkömmliche 3D-Drucker angelehnt und basiert auf einem sehr großen Portalsystem mit einer Düse zum Ausbringen von Beton- oder betonähnlichen Stoffen.

Das Verfahren wurde zum Patent angemeldet (US-Patent 5,529,471) und unter dem Namen Contour-Crafting (zukünftig kurz CC-Verfahren) als Produkt seit 1996 entwickelt. Videos und Details zum Verfahren können [1] entnommen werden. Für 2018, also nach ca. 22 Jahren Entwicklung, ist der professionelle Vertrieb des entwickelten 3D-Druckers geplant.

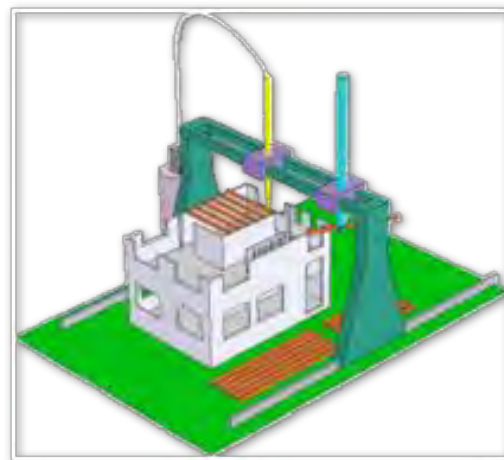


Bild 1: Prinzipskizze Contour-Crafting nach [1]

Die relativ lange Entwicklungsdauer ist wahrscheinlich auf die sehr hohen Entwicklungskosten für einen 3D-Drucker mit den großen Abmessungen (in [2] werden ca. 7 x 12 m angegeben) zurückzuführen.

Es gibt jedoch noch weitere Gründe für die noch nicht stattgefundene Anwendungs-„Explosion“:

- Es erfolgt ein schichtweises Auftragen von Beton mit Schichtdicken von ca. 0.5 bis 5 mm. Hierbei ist der Zeitablauf kritisch, da entweder Deformationen existierender Schichten oder ein schlechtes Abbinden möglich sind. Es ergibt sich generell kein monolithischer Betonblock, sondern eine stark geschichtete Struktur, welche bei seitlichen Belastungen reißen könnte. Eine Abnahme durch den Prüfstatiker dürfte (zumindest in Deutschland) so fast ausgeschlossen sein.
- Durch das periodische Überfahren der Schichten mit dem aufragenden Rüssel ist das Einbringen von Bewehrungen erschwert bis unmöglich.
- Durch das Aufbringen von Beton ohne Schalungen ist das Erzeugen überstehender Strukturen oder von Decken ebenfalls kaum realisierbar.

Eine gute Vorstellung vom Ausbringen des Betons und auch der dabei entstehenden Wandflächen zeigt Bild 2.

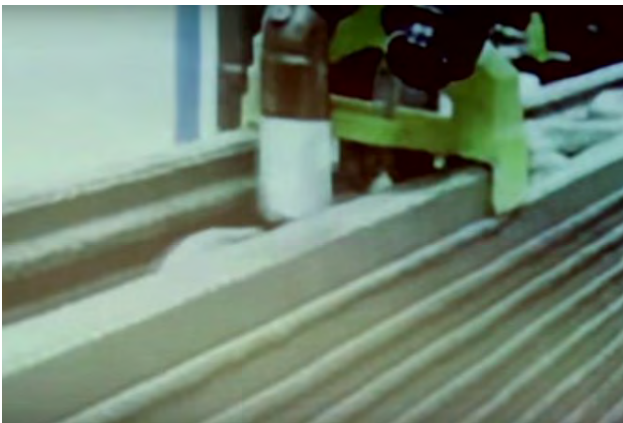


Bild 2: Druckkopf (Ausschnitt aus Video aus [1])

Es erscheint schwer vorstellbar, wie dieser sehr kompakte Druckkopf auch noch um Bewehrungselemente herum den Beton korrekt ausbringen soll.

In China werden nach dem gleichen Ansatz bereits erste Häuser gebaut. Leider hält sich der Hersteller bedeckt zu den Parametern des Druckers und des Verfahrens. Entsprechend der verfügbaren Informationen wird weniger das Haus direkt, als vielmehr Einzelteile in einer Fabrik gedruckt und dann auf der Baustelle herkömmlich zusammengesetzt



Bild 3: Gedruckte Beton-Fertigteile nach [3]

In Bild 3 sind die farblich unterschiedlichen Schichten leicht zu erkennen. Auf dem Foto sind auch keinerlei Bewehrungselemente sichtbar, so dass die bereits kritisch angemerkten Punkte auch hier sehr wahrscheinlich gelten.

Weiterhin fallen besonders die streng rechteckigen Strukturen auf, welche natürlich auf das verwendete Druckverfahren zurückgehen. Damit wird aber ein wesentlicher Vorteil von 3D-Druckverfahren: die fast völlig wahlfreie Gestaltung 3-dimensionaler Oberflächen und Körpern verschenkt.

Weiterhin ist auch zu hinterfragen, ob die gezeigten Fertigteile nicht nach den bereits seit Jahrzehnten üblichen Fertigteilverfahren (vgl. die Fertigteilbasierten Wohnblöcke in der DDR) wesentlich schneller und inklusive Bewehrungen erzeugt werden könnten. Nach den eigenen Erfahrungen mit

Standard-3D-Druckern darf angenommen werden, dass der Druck aufgrund der nötigen Zeiten zum Abbinden der Schichten der gezeigten Teile wahrscheinlich mehrere Tage dauert.

3. Mögliche technische Weiterentwicklungen

Die beim CC-Verfahren identifizierten Probleme lassen sich durch die nachfolgenden Lösungen im Projekt „ConSolution“ weitgehend beseitigen oder stark reduzieren. Wesentliche Änderungen sind:

1. Der Hauptunterschied des „ConSolution“-Verfahrens (zukünftig ConS) besteht im **3D-Druck der Schalung** statt des Baukörpers selbst. Nach dem schichtenweisen Aufbau von etwa 25 bis 50 cm Schalung werden 25 bis 50 cm Beton auf einmal in die Form eingebracht.
2. Vor dem Einbringen des Betons können bzw. müssen entsprechende **Bewehrungselemente** ebenfalls automatisiert eingebracht werden. Dabei wird das Handhabungssystem zum Schweißen vorgefertigter Matten o.ä. verwendet.
3. Die Schalung kann als **verlorene Form** nach dem Betongießen durch Abschmelzen automatisiert abgebaut oder nach teilweisen Abbau als Dämmschicht stehen bleiben.

Der Gesamtaufbau ist in Bild 4 dargestellt.

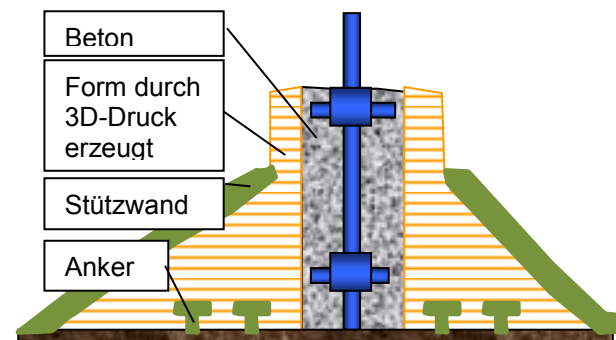


Bild 4: Schalungsaufbau mit 3D-Druck und herkömmliches Betongussverfahren mit Bewehrung

Bei den Schalungsmaterialien herrscht weitgehende Wahlfreiheit: es lassen sich alle durch Düsen formbare Materialien verwenden – dies reicht von Hartwachsen über Gips-ähnliche Materialien bis hin zu Leim-Sägespangemischen, welche ein Fachwerkhaus 2.0 ermöglichen würden.

Mit diesem Verfahren lassen sich alle wesentlichen Kritikpunkte bzgl. einer Abnahme durch den Prüfstatter beheben. Zusätzlich lassen sich durch unterstützende Schalungen beliebige überstehende Gebäudeteile wie auch Decken oder hervorstehende Elemente mit beliebigen 3D-Formen erzeugen.

Es bleibt die immer noch sehr lange Zeitdauer zum 3D-Druck entsprechender Formen. Es kann jedoch festgestellt werden, dass bei Häusern oder ähnlichen Bauwerken nicht immer sehr viele kleine Strukturen vorherrschen, sondern häufig große, meist nur leicht gewölbte Flächen. Anstelle eines Komplettdrucks der gesamten Schalung kann diese auch

teilweise durch das Schneiden großer Formenblöcke aus Hart-Styropur (o.ä. Materialien) erfolgen.

Die sehr hohen Investitionskosten für Dutzende Meter große 3D-Druckportale lassen sich sehr effizient reduzieren durch die Umstellung auf ein Drucken mit kleinen mobilen Robotern. Im Gegensatz zum großen und starren Portaldrucker lassen sich die Druckroboter leicht skalieren. Damit könnten größer Bauwerke ggf. durch eine größere Anzahl von Druckrobotern parallel gebaut werden, was die zeitliche Komponente weiter entschärft.

Im Gegensatz zu den in der anfänglichen Analyse betrachteten Verfahren, welche rein auf 3D-Druck fixiert sind, wird im aktuellen Consulation-Projekt auf die effektivste Generierung der Schalung fokussiert, da das Material und die Art der Schalung nur sekundär für die endgültige Bauform sind. Damit lassen sich alle nur möglichen Verfahren kombinieren: vom klassischen 3D-Druck der Formen, über das schnelle und kostengünstige Schneiden grossvolumiger Schalungsteile bis hin zu weiteren Rapid-Prototyping-Ansätzen auf der Basis von völlig neuen, aber ebenfalls 3D-basierten Konstruktionsverfahren, wie z.B. das ParaKnot3D-Verfahren von Prof. Stahr (HTWK Leipzig) [4]. Im Ergebnis werden auf der Baustelle verschiedenste Formteile je nach optimaler Form- und Zeitplanung zusammengesetzt (vgl. Bild 5). Bei leichten Styro-Formteilen sind Oktokopter als Positioniermedium denkbar, ansonsten herkömmliche Kräne.

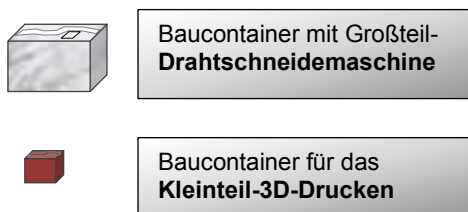
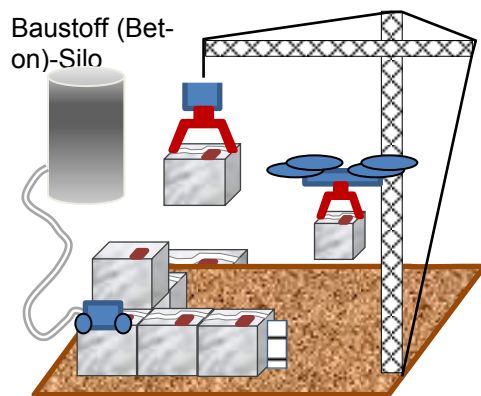


Bild 5 Baustelle mit Schalungsteilfertigung und weitgehend automatisierter Positionierung mit anschließender Betonbefüllung durch kleine mobile Roboter

4. Betriebswirtschaftliche Betrachtungen

Bei einer gesamtheitlichen Betrachtung des 3D-Drucks im Baubereich zeigt sich, dass durch die Erzeugung beliebig komplexer Baustrukturen ohne größere Mehrkosten im Projekt CS auch weitere funktionale Komponenten bereits im Rohbau eingebracht werden können.

So sind Heißluftheizungen, Abwasserkanäle, Treppen und selbst Möbel wie begehbare Wandschränke direkt in den Rohbau integrierbar, wodurch sich der Anteil der beeinflussbaren Kosten von ca. 25% (reiner Rohbau) auf deutlich mehr als 50% erhöhen kann. Da insbesondere die Installations- und Ausbauarbeiten sehr preisintensiv sind, können erhebliche Kosteneinsparungen erreicht werden. Das CC-Ziel eines kompletten Häuserbaus erscheint beim aktuellen Stand jedoch immer noch sehr riskant. Es ist sinnvoller, zuerst kleinere Bauelemente mit Abmessungen von bis zu 2m x 2m praktisch zu realisieren und danach langsam zu skalieren.

Bei einem erfolgreichen Einsatz des Systems CS im Baubereich würde sich die Ertragssituation für die teilnehmenden Baufirmen nachhaltig verbessern, da bei geringeren Kosten wesentlich aufwändigere Formen gebaut werden könnten. Dies könnte der deutschen Bauindustrie das Überleben im globalen Wettstreit sichern. Das Bausystem könnte auch über ein Franchisesystem an Baufirmen verliehen werden und damit das finanzielle Risiko bei der Bauausführung selbst reduziert werden.

Die weiteren Auswirkungen volkswirtschaftlicher Art sind gegenwärtig noch nicht vollständig abzuschätzen (z.B. durch höhere Margen für beteiligte Bauunternehmer, neue Architekturoptionen etc.). Ein durch die Automatisierung eintretender negativer Effekt auf den Arbeitsmarkt im Baubereich könnte kompensiert werden durch die deutlich höhere Nachfrage nach Bauleistungen selbst. Es würde sich zudem eine Umschichtung, weg von schlecht bezahlten Billigarbeitskräften und hin zu hochqualifizierten und sehr gut bezahlten Ingenieuren und Architekten, ergeben. Damit sollte für Deutschland ein positiver Arbeitsplatzsaldo, bezogen auf die Bruttolohnsumme, im Bauwesen erreichbar sein.

Literaturverzeichnis

- [1] <http://www.contourcrafting.com/>
- [2] <https://www.3d-grenzenlos.de/magazin/zukunftsvisionen/contour-crafting-3d-drucker-serienfertigung-27280013/>
- [3] https://www.welt.de/finanzen/immobilien/article140264641_Die-chinesische-Luxus-Villa-aus-dem-3-D-Drucker.html
- [4] <https://flex.htwk-leipzig.de/flexprojekte/paraknot3d/>

Alle URL's zuletzt besucht am 7.9.2018

***Mobilität:
elektrisch-vernetzt-autonom***

MULTISENSORSYSTEME IM AUTOMATISIERTEN UND AUTONOMEN FAHRZEUG

Jan Thomanek

IAV, Carnotstraße 1, D-10587 Berlin

Automatisiertes Fahren ist einer der wichtigsten Trends der Mobilität: Besserer Komfort, höhere Effizienz und mehr Sicherheit sind die Vorteile, die entsprechende Fahrzeuge bieten sollen. Eine Vielzahl an Sensortechnologien bildet dafür die Grundlage. Doch erst die Kombination verschiedener Techniken bzw. die Fusion komplementärer Daten ermöglicht eine vollständigere Erfassung und Interpretation des Fahrzeugumfeldes.

Highly automated driving is one of the most important trends of mobility: Higher comfort, efficiency and safety should be the advantages of such intelligent cars. A variety of different sensor technologies is the basis for all driver assistance systems and automatic driving. However, only a combination of different techniques or complementary data can be provide a complete view of the environment in many applications.

1. Einleitung

Ein Schwerpunkt in der Fahrzeugindustrie liegt heute in der Entwicklung von assistierenden und pilotierenden Systemen und Anwendungen, wie beispielsweise Stauassistent, vollautomatisches Einparken und autonomes Fahren. Die unterschiedlichen Automatisierungsgrade werden durch fünf SAE-Stufen abgebildet, wobei die Stufen L1 und L2 den heutigen Assistenzsystemen entsprechen und die Stufe 5 einen autonomen Roboter repräsentiert, der alle Situationen selbständig beherrscht [1].

Grundlage aller Assistenzsysteme und automatisierter Fahrfunktionen bildet unter Anwendung verschiedener Sensortechnologien eine hinreichend detaillierte Kartierung des Fahrzeugumfeldes. Mit einem einzigen Sensor ist es allerdings unmöglich, eine Umgebung komplett zu erfassen. So wie auch der Mensch seine verschiedenen Sinnesorgane gleichzeitig benutzt, ermöglicht erst die Kombination unterschiedlicher Sensoren eine vollständigere Erfassung und Interpretation des eigenen Umfelds.

Dabei erfassen und bewerten hochgenaue Sensoren zunächst die Umgebung und klassifizieren die detektierten Objekte. Ein Sensor kann dabei auch eine V2X-Einheit im Fahrzeug sein. Im folgenden Schritt der Prozesskette erfolgen durch intelligente Algorithmen die Datenfusion und die Szenenanalyse. Schließlich übernehmen mechatronische Systeme die Längs-, Quer- und Vertikalregelung des Fahrzeugs.

Dieser Beitrag beschreibt ein Schema zur Datenfusion für assistierende und autonome Systeme. Dabei werden im Kapitel 2 zunächst kurz das Prinzip und die Ziele einer Sensordatenfusion dargelegt. Im darauffolgenden Kapitel wird ein allgemeines Framework zur Fusion vorgestellt. Im Kapitel 4 wird ein Sensorsystem zum automatisierten Einparken als konkretes Anwendungsbeispiel für die Verwendung des Fusionschemas beschrieben. Kapitel 5 beschließt den Beitrag mit einer Zusammenfassung.

2. Ziele der Multisensordatenfusion

Das primäre Ziel der Datenfusion ist die Gewinnung von Umweltdaten mit dem Anspruch auf Vollständigkeit, mehr Sicherheit, höhere Widerspruchsfreiheit und eine bessere Genauigkeit im Vergleich zur

Verwendung der Daten nur eines einzelnen Sensors. Die Genauigkeit eines jeden Sensors ist jedoch durch seine intrinsischen Eigenschaften definiert und kann deshalb nicht beliebig erhöht werden. Durch die Verarbeitung mehrerer Sensordaten kann aber die Gesamtunsicherheit reduziert werden, was einer Erhöhung der Genauigkeit gleichkommt.

Einzelsensorlösungen erfassen immer nur einen räumlich begrenzten Bereich der Umgebung. Ebenso sind die Genauigkeit und der Wertebereich der Messdaten durch physikalische und herstellungsbedingte Gegebenheiten beschränkt. Zusätzlich führt ein Ausfall des Sensors unweigerlich zum vollständigen Verlust der Daten der beobachteten Szene. Die Kombination mehrerer Sensoren soll die Probleme von Einzelsystemen minimieren und die Stärken gewinnbringend kombinieren. Die folgenden Aspekte sind dabei zu berücksichtigen [2]:

Redundanz: Die Verwendung mehrerer Sensoren führt zu Redundanz, wodurch das System robuster gegenüber Ausfällen oder Störungen einzelner Sensoren wird.

Komplementarität: Unterschiedliche räumliche Erfassungsbereiche der Sensoren führen zu einem vergrößerten Sichtbereich und damit zu Komplementarität. Weiterhin erhöht sich durch die Kombination unterschiedlicher Sensortechnologien und Messverfahren bei Beobachtung des gleichen Objekts der entsprechende Informationsgehalt. Indem mehrere Sensoren das gleiche Ziel oder Objekt bestätigen, erhöht sich die Wahrscheinlichkeit einer korrekten Annahme.

Messrate: Durch eine parallele Verarbeitung der Sensordaten erhöht sich effektiv die Akquisitionsgeschwindigkeit.

Kosten: Die Kosten eines jeden Sensorsystems spielen eine wesentliche Rolle für die praktische Umsetzbarkeit. Um die Kosten zu senken, kann zum Beispiel ein teurer Einzelsensor durch die Kombination zweier preiswerter Sensoren ersetzt werden. Ebenso kann durch Verwendung eines multisensorgestützten Systems angestrebt werden, mehrere Anwendungsfälle abzudecken.

3. Fusionsframework

Wie eingangs erwähnt, bildet ein präzises Modell der Fahrzeugumgebung die Grundlage für fast alle

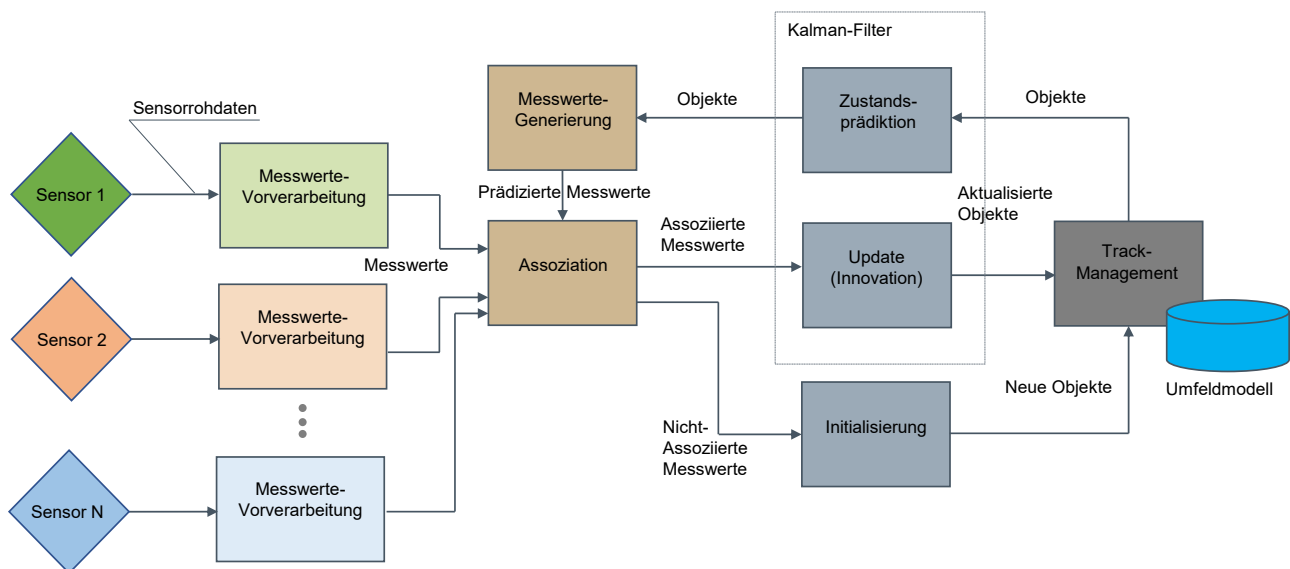


Bild 1: Fusionschema

automatisierten Fahrfunktionen. Ein solches Umfeldmodell beinhaltet eine vollständige Abbildung aller Objekte, Hindernisse und Freiräume. Im Rahmen der Sensordatenfusion werden nun die spezifischen Stärken jedes einzelnen Sensortyps sowohl zur komplementären Vervollständigung des Umfeldmodells als auch zur Verifikation der Objektdaten aus unterschiedlichen Sensoren gegeneinander genutzt. Das Umfeldmodell dient als Datenbasis für die nachfolgenden Algorithmen zur Situationsanalyse und Regelung.

Das entwickelte generische Fusionschema mit dem Umfeldmodell als zentrale Kernkomponente ist in Bild 1 dargestellt und im Folgenden beschrieben.

Messwertevorverarbeitung: In diesem Block werden aus den Rohdaten auf Basis von Annahmen bzw. Heuristiken Merkmale extrahiert, aus denen Merkmals-hypothesen zu einer Objekthypothese (Messwert) abgeleitet werden. Aufgrund mehrerer Sensoren ist es notwendig, hierbei eine gemeinsame Referenz für die Information zu finden.

Zustandsprädiktion: Für die gefundenen Objekte der vergangenen Iterationen erfolgt bei der Zustandsprädiktion eine rechnerische Bestimmung der Lage- und Bewegungsinformation für den aktuellen Messzeitpunkt anhand bekannter Objekt-historie und physikalischer Gesetzmäßigkeiten. Diese Gesetzmäßigkeiten werden durch mathematische Modelle beschrieben. Je komplexer ein solches Systemmodell ist, d. h. die Eigenschaften der realen Objekte sehr gut nähert, desto besser ist die Zustandsschätzung.

Messwertegenerierung: In der Regel befinden sich die verfolgten Objekte und die Messwerte in unterschiedlichen Merkmalsräumen. Bei der Messwert-generierung erfolgt schließlich die Transformation des Objektzustands in den Merkmalsraum der Messwerte.

Assoziation: Die Assoziationskomponente übernimmt die Zuordnung eines in den vergangenen Messzyklen beobachtetes Objekt zu einer Messung im aktuellen Messzyklus. Ein geeignetes Ab-

standsmaß entscheidet, welche Messwerte zur Aktualisierung eines Objektzustandes herangezogen werden und welche als nicht assoziierte Messwerte neue Objekte initialisieren.

Innovation: Im Verarbeitungsschritt Innovation erfolgt eine filterbasierte Zustandsaktualisierung der Objekte. Die Bestimmung der aktuellen Objekt-position und -geschwindigkeit erfolgt durch eine nach Unsicherheit des Objekts und Messung gewichteten Zusammenführung.

Initialisierung: Bei der Initialisierung werden basierend auf den nichtassoziierten Messwerten neue Objekte angelegt. Um die Fehlalarmrate zu reduzieren, erfolgt das Anlegen neuer Objekt-Tracks in Abhängigkeit einer positionsabhängigen Entstehungswahrscheinlichkeit.

Track-Management: Das Track-Management verwaltet die verfolgten Objekte anhand eines Score-Wertes. Der Score-Wert ist ein Maß für die Existenzwahrscheinlichkeit eines Objekts. Wird ein vorhandenes Objekt durch einen Messwert bestätigt, erhöht sich dessen Score-Wert. Bleibt ein Objekt in einem Messzyklus unbestätigt, verringert sich sein Score-Wert. Fällt der Score-Wert aufgrund eines über mehrere Messzyklen unbestätigten Objekts unter eine definierte Schwelle, wird es aus dem Umfeldmodell entfernt.

4. Anwendungsbeispiel: Sensordatenfusion für automatisiertes Einparken

Systeme, die den Fahrer beim Einparken unterstützen, indem sie mittels akustische und/oder optische Signale über den verbleibenden Abstand nach hinten bzw. auch nach vorn informieren, gibt es bereits seit vielen Jahren auf dem Markt. Ebenso findet man in aktuellen Fahrzeugen sogenannte Einparkassistenten, die das Auto automatisch sowohl in Längs- als auch in Querparklücken ein- und ausparken können. Der Nachteil solcher auf Ultraschallsensoren basierten Systeme ist, dass man niedrige oder schmale Hindernisse wie Bordsteinkanten, Pfosten

oder Kinderspielzeug nicht immer sicher erkennen kann. Deshalb kann eine Kombination mit der verbauten Rückfahrkamera die Detektionsrate und damit die Sicherheit wesentlich erhöhen [3].

Das vorgestellte Sensorsystem zum automatisierten Einparken besteht somit aus den vier im Heckstoßfänger verbauten Ultraschallsensoren und einer 180°-Rückfahrkamera. Durch die Kombination der Daten können die Vorteile beider Sensortechnologien genutzt werden. So liefern die Ultraschallsensoren präzise Abstandsinformationen, die dabei fehlende laterale Auflösung wird durch die Kamera gut erfasst.

4.1 Umfeld- und Systemmodell

Das Umfeldmodell ist der Container der aktuell detektierten Objekte bzw. Hindernisse in der Umgebung des Fahrzeugs. Jedes Objekt wird dabei über einen Zustandsvektor mit folgende Elementen repräsentiert:

- Position in Welt- bzw. Fahrzeugkoordinaten
- Geschwindigkeit in Welt- bzw. Fahrzeugkoordinaten
- Breite und Höhe

Zugehörig zum Zustandsvektor existiert für jedes Objekt eine Kovarianzmatrix, welche die Unsicherheit der Zustandselemente widerspiegelt.

Zur Modellierung der Bewegung dynamischer Objekte wird das CV-Modell (*constant velocity*) herangezogen, wo von einer konstanten Geschwindigkeit zwischen zwei Messzyklen ausgegangen wird. Die Zustandsschätzung erfolgt mittels *Kalman-Filter* [4].

4.2 Messwertevorverarbeitung

Die Ultraschallsensoreinheit liefert als Rohdaten für jeden der vier Sektoren metrische Abstandsinformationen, die im Rahmen der Messwertevorverarbeitung in Welt- bzw. Fahrzeugkoordinaten umgerechnet sowie für die spätere Assoziation in Bildkoordinaten transformiert werden.

Im Kamerabild hingegen werden auf Basis des optischen Flusses Regionen identifiziert, die potentielle Hindernisse darstellen können [5]. Diese Bildbereiche bilden in Form von Rechteckgruppen die Rohdaten des Kamerabildes. Aufgabe der Messwertevorverarbeitung der Kameradaten ist es, die einzelnen Rechteckgruppen durch eine umschließende Hülle zu einem Polygon zusammenzufassen. Durch ein Polygon kann im verzerrten Bild der 180°-Kamera der Umriss eines Hindernisses besser detektiert werden. Für jedes Messwertepolygon werden der Fußpunkt sowie die Breite und Höhe des erkannten Objekts in Metern berechnet (Bild 2).

4.3 Zustandsprädiktion

Basierend auf dem System- bzw. Bewegungsmodell wird die neue Position und Geschwindigkeit aller derzeit im Umfeldmodell gespeicherten Objekte auf den aktuellen Messzeitpunkt geschätzt. Die neue Position bestimmt sich aus der aktuellen Geschwin-

digkeit des Objekts. Die Geschwindigkeit selbst wird zwischen zwei Messzeitpunkten, d.h. zwischen zwei Video-Frames als konstant angesehen. Ebenso gilt eine fixe Breite und Höhe des Objekts.

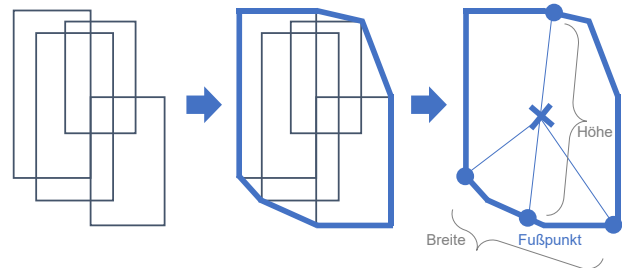


Bild 2: Erzeugung eines Polygons auf Basis von Rechteckgruppen

4.4 Messwertegenerierung

Die Assoziation zwischen den bereits existierenden, im Umfeldmodell gespeicherten Objekten und den neuen durch die Sensoren detektierten Objekthypothesen erfolgt im Wesentlichen in der Bild-Domäne. Deshalb müssen die prädizierten Objektpositionen in Bildkoordinaten transformiert werden. Die Polygonfigur wird beibehalten, kann jedoch in Abhängigkeit der Distanz vom Fahrzeug in ihrer Größe variieren (Bild 3).

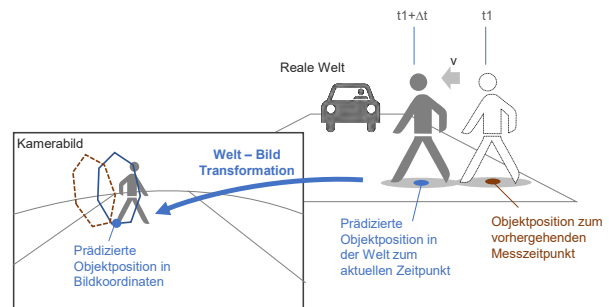


Bild 3: Messwertegenerierung

4.5 Assoziation

Objekthypothesen, die zum aktuellen Messzeitpunkt detektiert wurden, müssen den existierenden Objekten im Umfeldmodell zugeordnet werden. Die Regeln für die Assoziation werden sowohl in der Welt- als auch in der Bilddomäne angewandt und sind wie folgt:

- Überlappungsgrad der Polygone (Bild)
- Ähnliche Polyгонgrößen (Bild)
- Abstand der Polygonschwerpunkte (Bild)
- Geringe Distanz der Fußpunkte (Welt)

Diese vier Metriken (Bild 4) werden für alle Kombinationen aus Messobjekten und Objekten im Umfeldmodell ermittelt. Alle Metriken werden schließlich zu einer Assoziationswahrscheinlichkeit kombiniert. Ein Objekt gilt durch eine Messung als bestätigt, sofern die Assoziationswahrscheinlichkeit über einer konfigurierbaren Schwelle liegt.

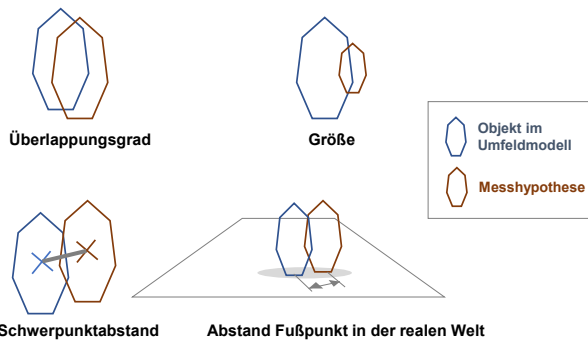


Bild 4: Assoziationskriterien

Zusätzlich zur Assoziationswahrscheinlichkeit wird eine räumliche Wahrscheinlichkeit (*spatial likelihood*) zwischen dem Fußpunkt der Messung und dem prädierten Objekt berechnet. Diese Wahrscheinlichkeit bestimmt sich über die bivariate Normalverteilung der aktuellen Objektposition in der Welt, welche sich aus der aktuellen Kovarianzmatrix des Objekts berechnet (Bild 5).

In Abhängigkeit der Assoziations- und der räumlichen Wahrscheinlichkeit berechnet sich schließlich die Wichtung für den Innovations- bzw. Update-Schritt.

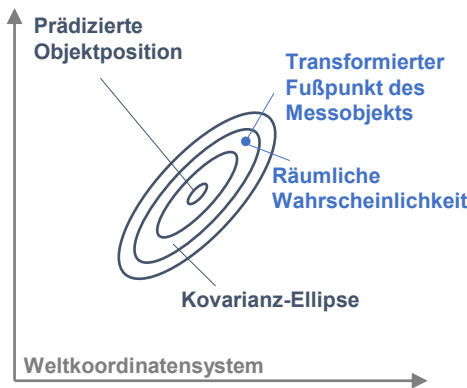


Bild 5: Bestimmung der räumlichen Wahrscheinlichkeit zwischen Objekt und Messung

4.6 Innovation

Jedes Objekt im Umfeldmodell wird durch die jeweilig assoziierten Messhypothesen hinsichtlich ihres Zustandes (Position, Geschwindigkeit) mittels des Kalman-Update-Schrittes gewichtet aktualisiert. Dabei werden die jeweiligen Unsicherheiten der unterschiedlichen Sensoren berücksichtigt (Bild 6).

4.7 Initialisierung und Track-Management

Alle Messobjekte, die keinem Objekt im Umfeldmodell zugeordnet werden konnten, werden als neue Objekte im Umfeldmodell angelegt.

Jedes Objekt besitzt dabei einen *Confidence-Level*, der die Existenzwahrscheinlichkeit des Objekts repräsentiert. Mit jeder Messwertassoziation erhöht sich der Confidence-Level und mit dem Ausbleiben der Objektbestätigung durch eine Messhypothese verringert er sich. Objekte mit einem zu geringen Confidence-Level werden verworfen.

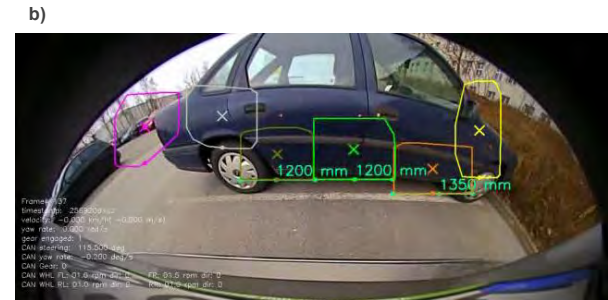
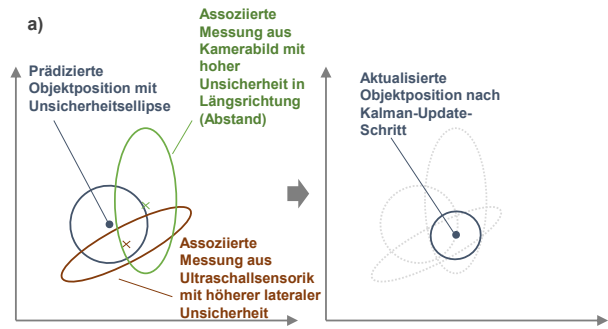


Bild 6: a) Update-Schritt, b) Darstellung im Kamerabild

5. Zusammenfassung

Um die Anforderungen zukünftiger assistierender und pilotierender Systeme erfüllen zu können, sind die Verwendung mehrerer Sensoren und der Ansatz der Sensordatenfusion essentielle Voraussetzungen. Durch eine entsprechende Gestaltung der Architektur kann das Sensordatenfusionssystem eine Abstrahierung der Umfeldwahrnehmung von den eingesetzten Sensoren darstellen. Somit kann das in Kapitel 3 beschriebene Framework neben dem vorgestellten Sensorsystem zum automatisierten Einparken (Kapitel 4) sowohl für andere Anwendungen als auch unter Nutzung anderer Sensoren leicht adaptiert werden.

Literaturverzeichnis

- [1] SAE International Standard, J3016: Taxonomy and Definitions for Terms Related to On-Road Motor Vehicle Automated Driving Systems – SAE International, 2014.
- [2] Darms, Michael: Fusion umfelderfassender Sensoren. In: Winner, Hermann (Hrsg.): Handbuch Fahrerassistenzsysteme. Wiesbaden: Vieweg+Teubner, 2012.
- [3] Finn Seán; Hughes, Ciarán; Thomanek, Jan; Tadjine, Hadj Hamma: Camera and ultrasonic based obstacle detection with fusion in the world. National patent DE102012023746.4, Valeo / IAV GmbH, 2012
- [4] Kalman, Rudolph E.: A new approach to linear filtering and prediction problems. In: Transactions of the ASME–Journal of Basic Engineering (1960), Nr. D, S. 35–45
- [5] Finn Seán; Hughes, Ciarán; Thomanek, Jan; Tadjine, Hadj Hamma; Faber, Susan: Optical flow based obstacle detection with ego-vehicle motion compensation. National patent DE102012011121.5, Valeo / IAV GmbH, 2011

STEIGERUNG DER ENERGIEEFFIZIENZ DURCH INTELLIGENTE VERKEHRSSYSTEME

Christian Andrä

Sächsische Energieagentur – SAENA GmbH, Pirnaische Straße 9, D-01069 Dresden

Die Einführung von Intelligenten Verkehrssystemen ist mit vielen Erwartungen verbunden. Zum einen soll die Verkehrssicherheit im Individualverkehr erhöht werden, Hersteller sprechen von der *Vision Zero*. Des Weiteren steht zur Aussicht, dass verkehrsträgerübergreifend ein bedarfsgesteuertes Mobilitätskonzept entsteht. Besitz rückt in den Hintergrund, das Angebot von bezahlbaren Mobilitäts-Services ist das, was der Kunde erwartet. Und der Verkehr der Zukunft soll sauberer und nachhaltiger werden.

Cooperative Intelligent Transport Systems (C-ITS) are expected to solve various today's traffic problems. First of all the safety is addressed. Manufacturers are proposing *vision zero*. Secondly, mobility of the future is not to be covered just by one mode of traffic, all modes have to be involved on demand. Ownership will not play as an important role as it did until recently. And finally, traffic of the future is to be more sustainable.

1. Einleitung

Die Einführung von kooperativen vernetzten Verkehrssystemen ist auch immer verbunden mit der Installation von Infrastrukturelementen entlang des Korridors. Die dafür verwendeten Roadside Units (RSUs) kommunizieren zum Beispiel die aktuelle Ampelphase an die sich nähernden Fahrzeuge. Bilden diese eine Kolonne, kann, wenn die Ampel bedarfsgesteuert die Phasen beeinflussen kann, die Grünphase vorziehen und/oder ausweiten.

2. Kooperative Fahrmanöver, Kommunikation

Um eine Abstimmung von Verkehrsteilnehmern zu erreichen, müssen Kommunikationsstandards eingeführt und eingehalten werden. Aktuell zeichnen sich zwei Wege des Datenaustausches ab. Mit Automotive WLAN können zwei Teilnehmer ad hoc einen Informationsaustausch vornehmen. Die Reichweite dieser Kommunikation ist damit natürlich begrenzt. Diese Netzwerke werden als infrastrukturlos bezeichnet, da sie keine weiteren Elemente als die zwei miteinander in Austausch tretenden Geräte beinhalten. Die infrastrukturbasierten Kommunikationen benötigen immer einen Basis oder BaseStation, über die die Informationen ausgetauscht werden. Dies kann nicht überall gewährleistet werden, bietet auf der anderen Seite aber die Anbindung an ein Backbone-Netzwerk. Aus diesem Backbone können Informationen aus Schwarmintelligenzen oder anderen Zentralen bezogen werden, um die Parameter der aktuellen Fahrt nachzusteuern. Aktuell zeichnet sich eine hybride Architektur ab, in der beide Ansätze verfolgt werden. In dem neuen Mobilfunkstandard 5G sind viele neue Netzwerktechnologien vorgesehen. Unter anderem auch die infrastrukturlose, also ad hoc Kommunikation mit anderen Teilnehmern. Damit wird diese Technologie die Möglichkeit bieten, die Vorteile der jeweiligen Kommunikationsweise auf einer Antenne/Hardware zu vereinen. Bis aber alle Verkehrsteilnehmer damit ausgerüstet sein werden, wird noch Zeit vergehen. Das sächsisch geförderte Projekt IVS-KOM untersucht hierfür die verschiedenen Ansätze.

3. Lokalisierung

Wenn nun Verkehrsteilnehmer Daten über ihren aktuellen Fahrtzustand miteinander oder mit der Infrastruktur austauschen können, benötigen sie im nächsten Schritt eine genaue Positionsangabe, damit die Entscheidung sinnvoll getroffen werden kann. Um sich zu lokalisieren, finden auch verschiedene Ansätze ihren Weg in heutige Fahrzeug. Ein Chemnitzer Start-up untersucht einen softwarebasierten Ansatz, um die Lokalisierungsgenauigkeit zu erhöhen und Effekte wie Multi-Path und Shadowing zu minimieren. In anderen Projekten werden Ansätze untersucht, die vorhandenen Signale mit Korrekturdaten aus der GPS-basierten Lokalisierung aufzubessern - Stichwort DGNS. Auch bildverarbeitungs-basierte Verfahren, die anhand der Erkennung von bekannten Landmarken, deren exakte Position hinterlegt ist, können die Lokalisierungsgenauigkeit erhöhen.

4. Sicherheit & Vernetzung

Um sicherzustellen, dass die bereitgestellten Informationen auch authentisch sind, müssen Verfahren angewendet werden, die die Originalität der Quelle belegen. Das Projekt Fast Sign untersucht z.B. Authentifizierungsmechanismen und einen sicheren Funkkanal. Sind die Informationen auf einem sicheren Kanal, von einer sicheren Quelle empfangen, wird die Verkehrssicherheit durch Vernetzung und Automatisierung erhöht werden. Kooperative Manöver, die im Projekt SYNCAR untersucht werden bieten den Fahrzeugen eine Vorausschau, um kritische Situationen zu vermeiden und Manöver mit anderen abzustimmen.

Werden nun viele Dienste miteinander kombiniert, kann ein verkehrsträgerübergreifendes Mobilitätskonzept entstehen, in dem Mobilität bedarfsgerecht und entsprechend der Verfügbarkeit von Verkehrsmitteln optimal und individuell gestaltet werden.

5. Effizienzsteigerung

Das Zusammenwirken der einzelnen Teile wird zu einer verbesserten Nutzung der vorhandenen Ressourcen und somit zu einer Schonung der Umwelt

beitragen. Für Individualfahrzeuge im Verbund werden Anfahrvorgänge an intelligenten bedarfsgesteuerten Ampel minimiert, Parksuchverkehr wird durch Daten-Dienste zwischen Kommune und Parkplatzsuchendem reduziert und Buchung von Mobilität funktioniert einfach per App und kann so multimodale Reiseketten und damit den ÖPNV stärken. Im Güterfernverkehr wird das Platooning bzw. die „virtuelle Deichsel“ untersucht. Dabei fahren LKW so dicht hintereinander, dass Windschatteneffekte zur Einsparung von Kraftstoff führen. Damit die Sicherheit nicht gefährdet wird, sind die Fahrzeuge auf dem Kommunikationsweg miteinander verbunden. Die innerstädtische Belieferung von Privatpersonen kann mit attraktiven E-Lastenrader-Angeboten für Kurierdienste agil und schnell gestaltet werden. Auch auf der Schiene werden Güter transportiert. Verschieden Projekte untersuchen Assistenzsysteme, die den Zugführer entlasten sollen. In Annaberg-Buchholz ist in Kooperation mit der TU Chemnitz der Smart Rail Connectivity Campus entstanden. Zu den Assistenzsystemen sind alternative Antriebstechniken dort ebenso Forschungsgegenstand, wie die intelligente Vernetzung von Systemen.

Frachtschiff- und Luftfahrt runden das zu bearbeitenden Themengebiet ab.



Bild 1: Sächsische Energieagentur – SAENA GmbH

Die Forschungslandschaft in Sachsen

Die Sächsische Energieagentur – SAENA GmbH ist das unabhängige Kompetenz- und Beratungszentrum zu den Themen erneuerbare Energien, zukunftsfähige Energieversorgung und Energieeffizienz. Gesellschafter sind der Freistaat Sachsen und die Sächsische Aufbaubank – Förderbank –.

Viele weitere sächsische Projekte und Akteure zum Thema Effiziente Mobilität finden Sie unter <https://www.effiziente-mobilitaet-sachsen.de>. Entdecken Sie den Umfang der Themen, verlinkte Pro-

jektwebseiten und Informationen zum Netzwerk, Veranstaltungen und Förderlandschaft. Die SAENA nimmt mit der Koordinierung der Projekte eine zentrale Rolle ein und ist erster Anlaufpunkt für Unternehmen, Forschungseinrichtungen und Ministerien, sowohl auf Landes- als auch auf Bundesebene.

Sprechen Sie uns gern an.

Kontakt:

Sächsische Energieagentur
Dr Christian Andra
Pirnaische Straße 9
D-01069 Dresden

Tel: +49 (0) 351 4910 3188

E-Mail: christian.andrae@saena.de

LADETECHNIKEN UND INTEGRATION VON ELEKTROAUTOS IN DAS STROMNETZ

Jérémie Foulquier

Hochschule Mittweida, Technikumplatz 17, D-09648 Mittweida

Das Thema Netzintegration spielt eine entscheidende Rolle für den Ausbau der Elektromobilität. In den letzten Jahren sind zahlreiche Forschungsprojekte von der Bundesregierung zu den Themen intelligentes Laden, Vehicle-to-Grid-Kommunikation, zur Verknüpfung von Elektromobilität und erneuerbaren Energien sowie dem Beitrag von Elektromobilität zum Lastmanagement im Stromnetz gefördert worden. Neben der weiteren Forschungsförderung und der Definition von Normen und Standards steht insbesondere die Anpassung gesetzlicher Rahmenbedingungen für die Netzintegration und Sektorenkopplung im Fokus. An der Hochschule Mittweida wurde der Prototyp einer intelligenten DC-Ladesäule entwickelt welche netzdienliche Funktion bereitstellt.

1. Klimaschutzziele erfordern eine Sektorkopplung

Mit dem vom Bundeskabinett im November 2016 beschlossenen Klimaschutzplan 2050 wurden auch für den Verkehrsbereich anspruchsvolle Klimaziele festgeschrieben. Die Treibhausgase im Verkehrssektor sollen bis zum Jahr 2030 um 40% gegenüber 1990 gesenkt werden. Im 2017 sind die CO₂-Emissionen aber im Vergleich zum Vorjahr um 2% gestiegen. Der Anteil an Erneuerbarer Energien in dem Verkehrssektor durch Biokraftstoffe beträgt lediglich 5% in 2016. Die erforderlichen Maßnahmen für die Umsetzung der Klimaziele werden den Verkehrssektor tiefgreifend verändern. Dieser Wandel muss in engem Zusammenwirken mit allen betroffenen Akteuren gestalten werden. Dabei ist eine systemische Herangehensweise, die die Vernetzung mit anderen Sektoren einbezieht, unverzichtbar – Stichwort „Sektorkopplung“. Eine wichtige Rolle beim Klimaschutz kann Elektromobilität nur spielen, wenn der Strombedarf der Elektrofahrzeuge überwiegend aus erneuerbaren Energien gedeckt wird. Diese Potentiale lassen sich jedoch nur realisieren, wenn die entsprechenden politischen, rechtlichen und ökonomischen Rahmenbedingungen vorhanden sind. Der Aufbau von Ladeinfrastruktur, die Anreizsetzung für Elektrofahrzeuge sowie deren Integration in das Energiesystem sind aktuell die wichtigsten Themenbereiche.

2. Stand der Ladeinfrastruktur und Ladetechniken

Die Batterie des Elektrofahrzeugs wird immer mit Gleichstrom geladen. E-Fahrzeuge können aber an AC oder DC-Ladestation geladen werden. Die AC-Ladestation verbindet das E-Fahrzeug direkt mit dem elektrischen Netz. Alle E-Fahrzeuge sind mit Ladeelektronik ausgestattet, bestehen aus Gleichrichter & DC/DC-Wandler, und können an einer AC-Ladestation geladen werden. Diese „on-board“ Ladegeräte in E-Fahrzeugen werden mit geringerer Leistung, bis 22 kW, verbaut um an Größe, Gewicht und Kosten zu sparen. Eine vollständige Ladung dauert zwischen 15 Std. (2,3 kW) und 1,5 Std. (22 kW) Ladeleistung. AC-Ladesäulen beinhalten nur einen Stromzähler „Smart-Meter“, eine Steuerung sowie Leistungsschütze und Schutzschalter. Bei einer DC-Ladestation befindet sich die Lade-

elektronik in der Ladestation selbst. Es sind höhere Ladeleistungen möglich. Zurzeit etwa zwischen 50 kW und 150 kW und bald auch bis zu 350 kW. Demzufolge sind kürzere Ladezeiten zwischen 50 Min. (50 kW) und 15 Min. (150 kW) möglich.

In 80% der Fälle wird zu Hause AC geladen. Der Markt bietet dafür viele feste oder mobile Ladestationen für den Heimbereich an, von der einphasigen Ladung mit 2,3 kW bis hin zur dreiphasigen Ladung mit 22 kW. Die fehlende Ladeinfrastruktur für die Stadteinwohnern die nachts laden möchten ist derzeit eines der zentralen Hemmnisse für die Anschaffung eines E-Autos. In Deutschland gibt es über 10000 öffentlichen Ladepunkten mit AC und 1200 mit DC-Ladung.

Das Förderprogramm Ladeinfrastruktur und der Umweltbonus sind beide Teil des Marktanreizpakets der Bundesregierung zur Förderung der Elektromobilität. Das Bundesförderprogramm Ladeinfrastruktur soll das so genannte Henne-Ei-Problem lösen sodass der Aufbau und Betrieb von Ladeinfrastruktur Ende 2020 ein tragfähiges Geschäftsmodell bildet und eines flächendeckenden Ladenetzes für Elektrofahrzeuge entsteht. Die Erfolge dieses Entwicklungsweges sind noch bescheiden: Der „Umweltbonus“ für Elektroautos gilt mit nicht einmal einem Zehntel der erwarteten Abrufe als Schlag ins Wasser. Das aufgesetzte Ladesäulen-Förderprogramm fördert vor allem „dumme“ Ladesäulen sowohl bei Normal- (≤ 22 kW) und Schnellladeinfrastruktur (> 22 kW). In der Förderrichtlinie wird für die Kommunikation zwischen Ladesäule und E-Fahrzeug um einen intelligenten Laden zu ermöglichen die Berücksichtigung der ISO-Norm 15118 empfohlen. Es gibt allerdings seitens der Automobilindustrie keine klare Zusage, diese Technologie in die zukünftigen Fahrzeuggenerationen zu implementieren [6]. Dies mindert die Nachfrage nach „intelligenten“ Ladesäulen seitens der Infrastrukturbetreiber. Aktuell sind die Intransparenz der Stromtarife und langwierige Anmeldeverfahren noch problematisch. Die Anbindung der Ladesäulen an Roaming-Plattformen ist Voraussetzung für die Gewährung von Fördermitteln. Diese Roaming-Plattformen erleichtern das Anmelde- oder Authentifizierungsverfahren und bieten transparente Tarife an.

3. Strombedarf der Elektromobilität und Auswirkungen auf das Stromnetz

Es gibt bei weitem ausreichend erneuerbare Energien, um die gesamte deutsche Pkw-Flotte zu elektrifizieren. Eine vollständig elektrifizierte deutsche Pkw-Flotte von 45 Millionen Fahrzeugen hätte einen Strombedarf von rund 90 Terawattstunden (TWh) [3]. Dies entspricht weniger als einem Sechstel der aktuellen Bruttostromerzeugung in Deutschland. Der Anteil der Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien beträgt aktuell bereits rund ein Drittel. Die 2017 erzeugte EE-Strommenge von 210 TWh ist also doppelt so hoch wie der Bedarf einer komplett elektrischen Fahrzeugflotte. Zu bemerken ist, dass andere treibhausgasneutrale Optionen, insbesondere strombasierte Kraftstoffe, einen um ein Mehrfaches höheren Strombedarf nach sich ziehen würden. Jedenfalls ein weiterer EE-Ausbau in der Stromerzeugung wurde mit dem Klimaschutzplan 2050 erneut bestätigt.

Eine weitgehende Verbreitung von E-Fahrzeugen in Zukunft wird das Stromnetz belasten. Das Stromnetz muss aufgrund der Überlast durch Ladevorgänge von Elektroautos perspektivisch angepasst werden. Besonders die unteren Spannungsebenen sind für die Übertragung der Ladeleistung nicht ausgelegt. Bei höheren Elektrofahrzeugdurchdringungen und Ladegleichzeitigkeiten kann es daher zu Kabel- bzw. Transformatorüberlastungen kommen. Um die Notwendigkeit des Netzausbaus zu begrenzen sind Flexibilitätsmechanismen im Stromnetz notwendig, die es ermöglichen sollen, den Bezug von Strom so netzverträglich wie möglich zu gestalten. Dabei können flexible Verbraucher ihren Stromverbrauch zeitlich variabel gestalten und so helfen, besonders teure und kritische Lastspitzen zu vermeiden. So ist es sicher sinnvoll, dass nicht alle Elektrofahrzeuge direkt nach Feierabend geladen werden. Für die meisten Verbraucher wird eine angepasste Ladezeit nachts ausreichend sein, da das Fahrzeug ohnehin erst am nächsten Morgen wieder bewegt werden soll. Das Laden zu Hause über Nacht spielt also eine große Rolle für das Lastmanagement.

Aktuell ist das ungesteuerte Laden mit der maximal zulässigen Ladeleistung am weitverbreitetsten. Es garantiert dem Nutzer maximale Mobilitätsflexibilität. Die technische Umsetzbarkeit von Konzepten für gesteuertes Laden wurde in Feldversuchen gezeigt. Die breite Einführung des gesteuerten Ladens mit Lademanagementsystem benötigt aber einen finanziellen Anreiz oder eine gesetzliche Vorlage, welche die Fahrzeugnutzer verpflichten ihre Ladezeiten flexibler zu gestalten. Wer sofort mit maximaler Leistung laden möchte muss mit teureren Stromtarifen rechnen.

Schnellladestationen werden auf Grund ihrer hohen Leistungsanforderung vor allem am Mittelspannungsnetz oder mit Zwischenspeicher betrieben.

4. Netzintegration von Elektrofahrzeugen

Die erste Phase der Netzintegration von Elektrofahrzeugen als zeitlich verschiebbare Last, gesteuert von variablen Tarifen wird durch die Netzbelastungsgrenzen immer mehr relevant. Die zukünftige Nutzung von E-Fahrzeugen als steuerbare Lasten und mobilen Speichern ist aber alles andere als trivial. Obwohl E-Auto 95 % der Zeit parken ist es nicht überall sinnvoll es in das Energieversorgungsnetz zu integrieren. Die Entwicklung plug & smart charging und plug & V2G (vehicle to grid) setzt insbesondere die Berücksichtigung vieler technischer wie organisatorischer Voraussetzungen, Bedingungen und Methoden voraus. Auf der Kommunikationsebene müssen E-Fahrzeugen in Leitsystem des Netzbetreibers integriert werden, nicht einzeln sondern durch Pool-Koordinator, die Ladesäulenparks betreiben. Die technischen Schnittstellen zwischen den einzelnen Automatisierungskomponenten sind zu vereinheitlichen: Leitsystem (IEC 61850) ↔ Ladesäule (ISO 15118) ↔ E-Fahrzeug. Aus der Sicht des Übertragungsnetzbetreibers wird das Stromnetz die E-Mobilität nicht begrenzen aber bietet keine großen Geschäftsmöglichkeiten bei der Nutzung der E-Fahrzeuggatterie als Netzspeicher. Die Stromversorgung in Deutschland ist sicher und zählt zu den zuverlässigsten weltweit. Die Netzbetreiber benötigen verlässige Erzeugungs- und Speicheranlage für die Kapazitätsreserve. Aus heutiger Sicht gibt es nur positive Ergebnisse in der Forschung, es besteht aber noch kein Willen oder Interesse der beteiligten wirtschaftlichen Akteure (Fahrzeughersteller, Ladesäulenhersteller, Ladesäule- und Netzbetreiber, Fahrzeugnutzer) E-Fahrzeugen am Strommarkt teilnehmen zu lassen. Pool-Koordinator bedingen sich nur bei einer hohen Anzahl an Fahrzeugen in einem Pool rentabel darstellen zu können. Hohe Erlöse sind grundsätzlich derzeit am Regelleistungsmarkt erzielbar. Präqualifikationsanforderungen für einen Pool von Elektrofahrzeugen (bspw. in Bezug auf die vorzuhaltende Arbeitsreserve und die Zustimmung des Verteilnetzbetreibers) sind fraglich. Heute sind vor allem Geschäftsmodelle für Elektromobilität wirtschaftlich, welche auf Eigenstromerzeugung basieren (PV und BHKW). Die Sorge der Fahrzeugnutzer vor einem Mobilitätsverlust infolge der Flexibilitätsbereitstellung dürfte durch die steigenden Akkukapazitäten und deutlich größere „Reichweitenpuffer“ der zukünftigen Elektrofahrzeuggenerationen, sich deutlich abmildern.

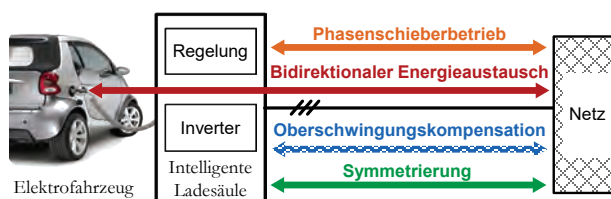


Bild 1: Funktionen der intelligenten Ladesäule

5. Netzdienliche Funktionen einer Ladesäule

Für die Forschung zukünftiger Elektromobilitätskonzepte wurde an der Hochschule Mittweida eine intelligente DC-Ladesäule entwickelt, welche die Netzurückwirkungen während der Ladung minimiert und zusätzliche Netzdienstleistungen wie Netzstützung, Phasenschieberbetrieb, Netzsymmetrierung und Oberschwingungskompensation übernimmt [5]. Damit bekommt der Netzbetreiber die Möglichkeit zur dezentralen Regelung der Netzspannungsqualität im Verteilnetz. Das Ziel, diese Funktionen während des Ladebetriebes gleichzeitig nutzen zu können, wurde mit der Entwicklung einer frequenzselektiven Stromregelung des Wechselrichters der Ladesäule erreicht. Die Reduzierung der Netzurückwirkung bedingt eine Ladestromentnahme am Netzanschlusspunkt mit einem hohen Leistungsfaktor nahezu eins und einer Anpassung der Ladeleistung an die vorliegende Netzbelastung. Eine ohmsche Regelung des Ladestromes wurde zu diesem Zweck erarbeitet und befähigt die intelligente Ladesäule als ohmsche Last am Netz zu arbeiten. Die Regelung des Wirkleistungsflusses ermöglicht zusätzlich durch ein Entladen der E-Fahrzeuggatterie eine Netzstützung für den Erhalt der Netzstabilität bei einem hohen Anteil an regenerativen Erzeugungsanlagen. Während der Schnellladung mit einem hohen Ladestrom (150 A) kompensiert die intelligente Ladesäule den Spannungsabfall an ihrem Anschlusspunkt mittels Blindleistungseinspeisung und reduziert somit ihre Netzurückwirkung. Mit der Blindleistungskompensation ist die intelligente Ladesäule zusätzlich ein dezentrales Stellglied für die Einhaltung des Spannungspegels im Netz und trägt damit zur Effizienz des Netzes bei. Die Stromregelung der intelligenten Ladesäule ist fähig, kapazitive sowie induktive Blindleistung einzuspeisen. Eine E-Fahrzeuggatterie muss dazu noch nicht einmal angeschlossen sein.

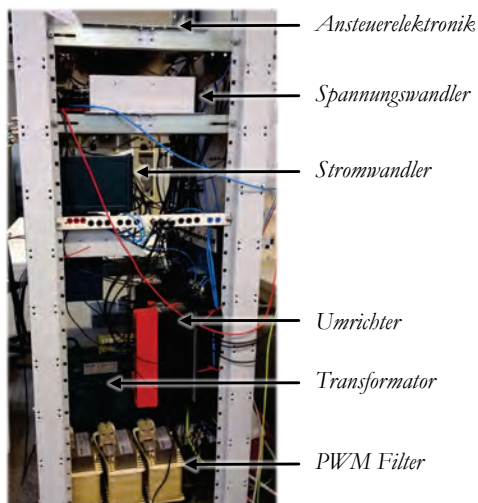


Bild 2: Prototyp der intelligenten Ladesäule

Selbstverständlich ist die intelligente Ladesäule mit ihrem dreiphasigen Anschluss ein symmetrischer Verbraucher. Die Unsymmetrie der Netzspannung kann zusätzlich durch die entwickelte Spannungsregelung aktiv kompensiert werden. Die intelligente

Ladesäule gleicht die Leistungen der drei Leiter des Netzes wieder aus und erhöht somit die Effizienz des Netzes. Neue Forschungsergebnisse im Bereich der dezentralen Regelung der Netzspannungsqualität wurden mit dem Thema der Kompensation der Oberschwingungen des Netzes erreicht. Die frequenzselektive Kompensation der Spannungsüberschwingungen mit der intelligenten Ladesäule verhindert Überschreitungen einzelner Verträglichkeitspegel und trägt für die Einhaltung der Netzspannungsqualität nach DIN 61000 2-2 bei. Die Filterung der Spannung statt des Stromes bietet den Vorteil eines universellen Einsatzortes der Kompensation mit der intelligenten Ladesäule und die Möglichkeit unbekannte, nichtlineare Lasten zu kompensieren. Eine kooperative Kompensation mit mehreren selbständigen intelligenten Ladesäulen wurde entwickelt, um flächendeckend die Oberschwingungen zu kompensieren. Für die Kompensation mit minimalem Energieaufwand kam ein Extremwertregler (EWR) zum Einsatz, welcher die selektive Unterdrückung der Oberschwingungen am Anschlusspunkt der Ladesäule optimiert. Im Vergleich zur herkömmlichen ohmschen Kompensation kann das hier entwickelte Verfahren die optimale Phasenlage des Kompensationsstromes ermitteln und somit die Kompensationsstromstärke reduzieren. Die Modulation eines sinusförmigen Messsignals kleiner Amplitude auf den Kompensationsstrom, befähigt den EWR die Netzsituation zu ertasten und sich darauf anzupassen. Dies führt zu weiteren Vorteilen bei der Stabilität und der Robustheit und macht die kooperative Kompensation der Spannungsüberschwingungen mit mehreren Ladesäulen möglich.

Literaturverzeichnis

- [1] E. Blasius, Ein Beitrag zur Netzintegration von Elektrofahrzeugen als steuerbare Lasten und mobile Speicher durch einen Aggregator, Dissertation, Technischen Universität Cottbus-Senftenberg, 2016
- [2] R. Uhlig, Nutzung der Ladeflexibilität zur optimalen Systemintegration von Elektrofahrzeugen, Dissertation, Universität Wuppertal, 2017
- [3] Kurzinformation Elektromobilität bzgl. Strom- und Ressourcenbedarf, BMU, 2016
- [4] Wissenschaftliche Unterstützung bei der Erstellung von fahrzeugbezogenen Analysen zur Netzintegration von Elektrofahrzeugen unter Nutzung erneuerbarer Energien, Fraunhofer-Institut IWES
- [5] J. Foulquier, Kompensation von Oberschwingungen der Netzspannung durch eine „Intelligente Ladesäule“ am Smart Grid für Hybride- und Elektrofahrzeuge, Dissertation, Technischen Universität Chemnitz, 2018
- [6] Die Integration von E-Autos ins Stromsystem, LichtBlick und WWF, 2017

ÖPNV UND AUTONOMES FAHREN – STAND UND PERSPEKTIVEN, AUCH AUS REGIONALER SICHT

Ulrich Reichel

REGIOBUS Mittelsachsen GmbH, Altenburger Straße 52, D-09648 Mittweida

1. Einleitung

„Kein Land ist bei den technischen Fragen des autonomen Fahrens so weit wie wir“

Andreas Scheuer

Bundesverkehrsminister
in ADAC motorwelt 5 / 2018

Die allgemeinen Auswirkungen des automatisierten und autonomen Fahrens hat der VDV, Verband Deutscher Verkehrsunternehmen, bereits im Oktober 2016 in einem Leitfaden zu Handlungsfeldern zum automatisierten und autonomen Fahren für den VDV und seine Mitgliedsunternehmen gefasst und veröffentlicht.

Allgemein wird darin festgestellt:

„Die Entwicklung der Automatisierung der Fahraufgabe bis hin zum fahrerlosen Fahren hat sich nicht zuletzt durch den Eintritt neuer Marktteilnehmer insbesondere im straßengebundenen Verkehr stark intensiviert, sodass es geboten ist, sich mit Auswirkungen auf den Verkehrsmarkt von Personen und Gütern strategisch und operativ zu befassen.

Zu erwarten ist, dass das autonome Fahren ein weiterer Treiber für das Vordringen von Fahrdiensten, Sharing-Modellen und digitalen Mobilitätsplattformen sowie das Konzept „Mobilität als Service“ sein wird. Vor diesem Hintergrund geht es für die Branche des öffentlichen Verkehrs (ÖV) darum, sowohl die Chancen und Risiken des autonomen Fahrens an sich als auch die daraus getriebenen Marktentwicklungen zu erkennen und hieraus unternehmerische Strategien abzuleiten. Der Politik sollte verdeutlicht werden, dass das autonom fahrende Fahrzeug nicht nur ein industriepolitisches sondern als Endstufe der Automatisierung vor allem ein verkehrspolitisches Thema ist. Denn die Technologie wird gravierende Auswirkungen auf unsere Verkehrssysteme, die Geschäftsmodelle, das Nutzerverhalten und die Gestaltung der Verkehrsanlagen haben. In besonderer Weise trifft das auch den ÖV.

Schon heute gilt es zu überprüfen, welcher Einfluss auf die langfristige Unternehmensstrategie, die Investitions- und Personalplanung und den Aufbau von relevanten Mobilitätsplattformen besteht. Operativ gilt es, die technischen Entwicklungen zu begleiten und insbesondere die rechtlichen und planerischen Aspekte in die Bahnen zu lenken, die zu mehr Urbanität, Klimaschutz und lebenswertere Städte führen. Denn zunehmend automatisierte Privat-PKW werden gleichermaßen komfortabler und sicherer

und aus der Sicht der öffentlichen Verkehrsunternehmen damit zunächst eine Gefahr für deren Marktanteile. Allein schon deshalb muss auch die Branche des öffentlichen Verkehrs Potentiale zur Produktverbesserung und Kostensenkung, die mit der zunehmenden Automatisierung verbunden sind, auch für sich nutzbar machen und umsetzen. Autonomes Fahren führt aber gemäß bisheriger Erkenntnisse auch zu noch mehr Straßenverkehr mit den damit verbundenen Umweltbelastungen, Flächen- und Energieverbräuchen. Vermutlich wird auch die Zersiedlung gefördert. Autonome Fahrzeuge besitzen als Privat-PKW auf lange Sicht das Potential, den ÖV und die Partner im Umweltverbund im Vergleich unattraktiver zu machen. Modal-Split-Anteile werden zurück zum motorisierten Individualverkehr (MIV) gehen – und neuer Verkehr induziert. Das voll autonome Fahren besitzt aber auch z. B. als „Uber“-Robo-Taxi das Potential als Teil einer voll entwickelten Sharing-Ökonomie den eigenen PKW-Besitz überflüssig zu machen. Schon heute ist absehbar, dass das autonom fahrende Fahrzeug nicht nur als Privatfahrzeug verkauft, sondern als fahrerloses Flottenfahrzeug zur Personenbeförderung eingesetzt werden wird – mit weitreichenden Folgen: Denn ohne die Kosten eines Fahrers könnte es möglich sein, mit kleinen, hochausgelasteten Fahrzeugeinheiten eine „taxi-ähnliche Beförderung zum ÖV-Preis“ zu realisieren. Die Beförderung von Personen wäre mit einem Schlag ein einträgliches Geschäft. Gleichzeitig führt dieses in weiten Teilen zu einem Verschmelzen von individueller und öffentlicher Mobilität und zu einem Schub für das Konzept „Mobilität als Service“. Szenarienrechnungen zeigen, dass die Mobilität eines Ballungsraumes in Deutschland mit nur 7% - 19% der heutigen PKW im Ride-bzw. CarSharing-Mode gemeinsam mit dem Hochleistungs-ÖV gewährleistet werden kann.

Sofern bei dem Konzept „Mobilität als Service“ internationale Großkonzerne dominieren, besteht die Gefahr, dass der ÖV zum Transporteur zweiter Klasse wird, der lediglich wenige Hauptachsen bedient und der die unwirtschaftlichen Marktlücken füllen muss, die die kommerziellen Anbieter übrig lassen. Damit verbunden wäre auch, dass der Einfluss der Kommunen auf die ressourcensparende Gestaltung von Verkehrsdienstleistungen stark zurückgeht. Es gilt, die Chance für neue Services und die Einbindung in eigenen marktführenden digitalen Mobilitätsplattformen selbst zu nutzen und so als kompetente „Trusted-Company“ städtische Verkehrsziele, die zu mehr Urbanität, Klimaschutz und lebenswertere Städte führen, umzusetzen.“

Diese Kernaussagen werden auch in dieser oder

sehr ähnlicher Form auf den ÖV im ländlichen Raum künftig zutreffen.

Handlungsfelder für den VDV und seine Mitgliedsunternehmen:

- Eigene Vision für Mobilität der Zukunft entwickeln
- Politische Kommunikation und Partnerschaften
- Technologische Forschung und Entwicklung
- Anpassung des Rechtsrahmens
- Digitalisierung und Mobilitätsplattformen
- Multimodalität und Sharing-Modelle
- Beschäftigte, Qualifizierung, Unternehmenskultur
- Bestellerthemen
- Verkehrsplanung, Verkehrsmanagement und Stadtentwicklung

2. „Die Zukunft hat begonnen“ – wenige praktische Beispiele

In diesem Abschnitt werden drei praktische Beispiele für Fahrzeuge des ÖV benannt, die für die Entwicklung hin zum voll elektrischen und autonomen Fahren stehen können:

- Seit dem 23. Juni 2016 sind die autonom fahrenden Shuttles in einer festgelegten Zone im öffentlichen Raum der Stadt Sion (CH) unterwegs. Hierbei handelt es sich um Kleinbusse des Typs NAVYA eines französischen Herstellers, wobei ein Fahrzeug auch bereits in Chemnitz, im Gelände des Klinikums Flemmingstraße, präsentiert wurde.
- Ein 12 m – Linienbus der EvoBus GmbH, Mercedes Benz, (Daimler) wird als „Future Bus“ auf der niederländischen Teststrecke als autonomes Fahrzeug getestet.
- Testbetrieb in Bad Birnbach (Bayern) im öffentlichen Verkehrsraum mit zwei E-Kleinbussen des französischen Herstellers EASYMILE im autonomen Betrieb seit 29.04.2017, Fahrgastbetrieb ab 25.10.2017:
Details zum Testbetrieb Bad Birnbach:
 - E-Kleinbus EASYMILE mit 6 Sitzplätzen
 - Testbetrieb mit 15 km/h, später Erhöhung auf 25 km/h
 - Steuerung durch GPS, Laserscanning und Odometrie
 - Testbetrieb: DB-Tochter Regionalbus Ostbayern GmbH
 - Marke: ioki (bringt On-Demand-Mobilität und autonomes Fahren in den öffentlichen Verkehr)
 - Strecke: Neuer Marktplatz – Atrium – Kurallee (ca. 700 m von 08:00 Uhr – 18:00 Uhr alle 20 Minuten)
 - Testbetrieb ohne Tickets, für Fahrgäste kostenfrei

- Streckenverlängerung bis Bahnhof Bad Birnbach geplant
- Projektgruppe: Landkreis Rottal-Inn, Marktgemeinde Bad Birnbach, TÜV Süd, DB-Tochter RBO GmbH, Fahrzeughersteller

3. Initiativen und Aktivitäten zum autonomen Fahren in der Region mit dem Blick auf den ÖPNV

- a) Kurzversion einer Projektskizze für die Erstellung einer Studie „Automatisiertes Fahren – Potenziale zur Bewältigung demographiebedingter Immobilität – Betrachtungen am Beispiel einer Kleinstadt (Mittweida)
Autoren:
Marco Rehme, IVM Institut für Vernetzte Mobilität gGmbH, Hohenstein-Ernstthal
Prof. Dr.-Ing. Christian Schulz, Hochschule Mittweida

Für dieses Projekt hat unser Unternehmen als ÖPNV-Dienstleister im Landkreis Mittelsachsen in Form eines „Letter of Intent“ seine Unterstützung zugesagt. Darin heißt es:

„Sehr geehrter Herr Dr. Weber, die in Ihrem Vorhaben angestrebte Analyse von Anwendungsfällen für automatisiertes Fahren, die dazu dienen können, die Mobilität mobilitäts eingeschränkter Personenkreise in ländlichen Regionen zu fördern bzw. überhaupt erst zu ermöglichen, ist für uns als regionaler Dienstleister in der Personenbeförderung von höchstem Interesse. Auch wir beobachten die demographischen Entwicklungen der Zukunft sehr genau, um mögliche Anpassungen in unserem Leistungsspektrum vornehmen zu können. Von besonderem Interesse sind für uns vor allem die Untersuchungen zum Regionalverkehr, Schülerverkehr und zum kleinen Stadtverkehr, die wir gern aktiv unterstützen werden.

Es ist auch unser Bestreben, Wissenschaft und Forschung auf dem Gebiet des autonomen Fahrens als Bestandteil (teil-)automatisierter Mobilitätsketten zu fördern, Synergien für die Mobilitätsdienstleister zu erreichen und an der Ausbildung des wissenschaftlichen Nachwuchses mitzuwirken und in der Region zu halten. Wir unterstützen gern das IVM Institut für Vernetzte Mobilität gGmbH und die Hochschule Mittweida im Forschungsprojekt „Automatisiertes Fahren – Potenziale zur Bewältigung demographiebedingter Immobilität – Betrachtungen am Beispiel einer Kleinstadt (Mittweida)“ und stehen bei den verschiedenen Herausforderungen auf dem Gebiet des Öffentlichen Personennahverkehrs (ÖPNV) gern beratend zur Seite. Gern stellen wir den Partnern nach Abstimmung auch Daten – beispielsweise zum Schülerverkehr oder dem Nutzerverhalten im

ÖPNV – zur Verfügung, um die Untersuchungen voranzubringen.

b) Entwurf einer Projektskizze:

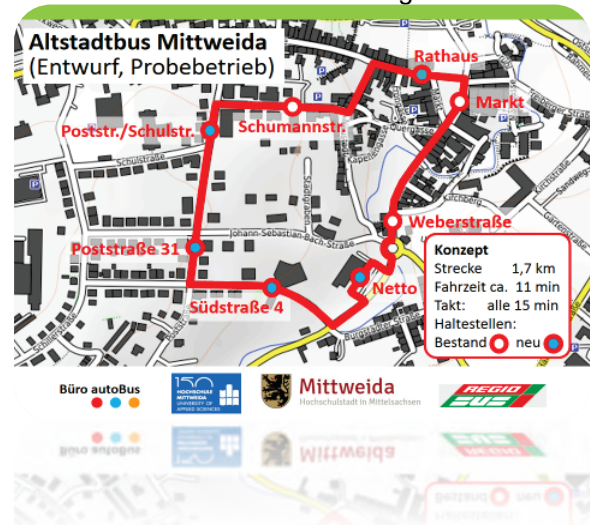
„Projektskizze für das autonome Fahren eines Elektrokleinbusses des Herstellers NAVYA im Stadtverkehr der großen Kreisstadt Mittweida als Pilotprojekt für drei Monate im Jahr 2017“

Projektbeteiligte und Aufgaben:

Die Stadt Mittweida als Projektträger, die Hochschule Mittweida für Evaluation und Marketing, die REGIOBUS Mittelsachsen GmbH als Betriebsführer und das Büro autoBus Berlin als Federführer für Konzeption und Umsetzung.



verkehrsliniennetz sind die zwei Haltestellen Rathaus (Rochlitzer Straße) und Markt vorgesehen. In Abhängigkeit der Fahrplanlagen sind ca. vier Fahrten pro Stunde in der Zeit zwischen 09:00 Uhr – 18:00 Uhr von Mo. – Fr. und Sa. von 09:00 Uhr – 12:00 Uhr technologisch sinnvoll. Die Streckenlänge beträgt 1,7 km und die Umlaufzeit mit Stopps an den Haltestellen im Metrobetrieb ist mit 11 Minuten konzipiert. Übergangszeiten zwischen zwei Umläufen sind an der Haltestelle Rathaus verkehrstechnologisch am günstigsten. Die Fahrstrecke umfasst zum überwiegenden Teil verkehrsberuhigte Innenstadtbereiche (20 km/h), wenig befahrene Nebenstraßen und nur eine kurze Distanz auf dem Innenstadtring.



Wesentliche technische Daten des Elektrokleinbusses NAVYA ARMA:

- 100% elektrisches und autonomes Fahrzeug zur Personenbeförderung
- Beförderungskapazität: 15 Personen
- Höchstgeschwindigkeit: 45 km/h
- Hochmoderne Multisensor-Technologien:
 - LIDAR-Sensoren
 - GPS RTK
 - Odometrie
 - Kamera-Stereovision
- Induktive Nachladung an mobiler Ladeinfrastruktur
- Durchschnittliche Einsatzzeit mit einer Batterieladung: ca. 8 – 10 Stunden (Nachladung auf dem Betriebshof des Betreibers des Fahrzeuges)

Vorschlag Fahrstrecke Innenstadt Mittweida für autonomes Fahren:

- Die vorgeschlagene Streckenführung ergänzt das vorhandene Stadtverkehrsnetz in Mittweida. Als zentrale Umstiegsstellen in das weitere Stadtverkehrs- und Regional-

Das Laden der Batterien des Elektrokleinbusses erfolgt auf dem Betriebshof der REGIOBUS Mittelsachsen GmbH. Die erforderliche induktive Ladetechnik soll mit dem Kleinbus gemietet werden, um ggf. Schnittstellenprobleme von vorn herein auszuschließen. Gegenwärtig wird davon ausgegangen, dass mit einer vollen Batterie (Ladung über Nacht) der Tagesdienst ohne Nachladung gefahren werden kann (ca. 60 km pro Tag von Mo. – Fr.).

Der Elektrokleinbus ist barrierefrei ausgestattet. Für den Pilotbetrieb sind die Bestands- und zusätzlichen Haltestellen als ÖPNV-Infrastruktur barrierefrei zu gestalten. An den Haltestellen Südstraße 4 und Schumannstraße 3 befinden sich Seniorenheime bzw. Seniorenwohnanlagen.

Geschätzter Aufwand:

Der Aufwand für die einzelnen Themen in der Phase des Probebetriebes wird wie folgt geschätzt

- Fahrzeugmiete incl. Wartung, Instandhaltung, Ladegerät: 50 T€
- Haltestelleneinrichtung: 15 T€
- Konzept, Genehmigungsverfahren, Planerische und betriebliche Begleitung: 25 T€

- Evaluation:	20 T€
- Öffentlichkeitsarbeit:	10 T€
Summe:	120 T€

Zuwendungsfähigkeit des Pilotbetriebes über drei Monate:

Der im Entwurf der Projektskizze beschriebene Pilotbetrieb über drei Monate ist eine Innovation im ÖPNV mit der Nutzung eines autonom gesteuerten Elektrofahrzeuges für den Personenverkehr auf öffentlichen Straßen. Die Machbarkeit unter Beweis zu stellen und Schlussfolgerungen für die Überführung in den Regelbetrieb bzw. die Nachnutzung in weiteren ÖPNV-Netzen abzuleiten, sollten Argumente für eine finanzielle Förderung des Pilotbetriebes in Mittweida sein.

Dies ist allerdings der Trugschluss in der gesamten Entwurfsphase des Projektes.

Die Zuwendungsfähigkeit war leider zu keinem Zeitpunkt der vielfältigen Gespräche zu erkennen.

Literaturverzeichnis:

- [1] M. Röhrleef, T. Ackermann, V. Deutsch, Leitfaden, Handlungsfelder zum automatisierten und autonomen Fahren für den VDV und seine Mitgliedsunternehmen, VDV Die Verkehrsunternehmen 6. Oktober 2016
- [2] M. Rehme, C. Schulz
Kurzversion einer Projektskizze für die Erstellung einer Studie „Automatisiertes Fahren – Potenziale zur Bewältigung demographiebedingter Immobilität – Betrachtungen am Beispiel einer Kleinstadt (Mittweida)“
- [3] U. Reichel
Entwurf Projektskizze für das autonome Fahren eines Kleinbusses des Herstellers NAVYA im Stadtverkehr der Großen Kreisstadt Mittweida als Pilotbetrieb für drei Monate im Jahr 2017

ATLAS – DEMONSTRATIONSANLAGE FÜR AUTONOMES FAHREN AUF DER SCHIENE

Christian Schulz

Hochschule Mittweida, Technikumplatz 17, D-09648 Mittweida

Autonome, fahrerlose Einzelfahrer bei der Bahn können ein Ansatz sein, um wieder mehr insbesondere Güterverkehr von der Straße auf die Schiene zu holen. Hintergrund, Probleme und Lösungsansätze werden aufgezeigt. Dann erfolgt eine kurze Vorstellung der in den letzten Jahren an der Hochschule Mittweida im Rahmen studentischer Projekte entwickelten Modellanlage zu ATLAS – „Asynchroner Transport-, Logistik- und Automatisierungsmodus auf der Schiene“. Abschließend wird über Möglichkeiten für die zukünftige Nutzung des Schienennetzes nachgedacht.

1. Einführung

Das fahrerlose autonome und vernetzte Fahren auf der Straße ist eines der hochaktuellen technischen Themen, an denen mit Hochdruck gearbeitet wird und das auch in den Medien sehr präsent ist. Es laufen inzwischen weltweit Testfahrten auf öffentlichen Straßen und Autobahnen, und in absehbarer Zukunft sind gewaltige Umwälzungen im Bereich der Mobilität zu erwarten.

Das autonome Fahren auf der Schiene führt dagegen ein Schattendasein, obwohl dort die Bedingungen eigentlich viel günstiger sind. Die Schiene bietet hervorragende Voraussetzungen für einen flexiblen, automatisierten Transport und damit für einen deutlich höheren Anteil am Verkehrsaufkommen, als es derzeit der Fall ist. [1]

Im Folgenden sollen einige grundsätzliche Überlegungen zum autonomen Fahren auf der Schiene und den dazu notwendigen Paradigmenwechseln im Bahnverkehr angestellt werden. Es wird dann die ATLAS-Demonstrationsanlage vorgestellt, die an der Hochschule Mittweida vor einigen Jahren im Rahmen studentischer Projekte entwickelt wurde und gegenwärtig tiefgreifend überarbeitet wird.

2. Hintergrund und Probleme

Ein kurzer Blick in die Historie: Die rasante Entwicklung der Eisenbahn etwa seit Mitte des 19. Jahrhunderts war unmittelbar verknüpft mit der industriellen Entwicklung. Die entscheidende Innovation war damals der Antrieb in Form der mobilen Dampfmaschine. Es ergab sich damit die Grundstruktur des Zuges mit Lokomotive und antriebslosen Wagen. Das neue Verkehrsmittel war dem damaligen Fernverkehr mit Pferdewagen haushoch überlegen und setzte sich in atemberaubendem Tempo durch. Es entstand rasch ein dichtes Netz von Eisenbahnstrecken. Das damalige Bautempo kann uns heute noch in Erstaunen versetzen und zeugt von der Faszination, die von dem neuen Verkehrsmittel ausging. Zudem wurden die Züge immer schneller, länger und schwerer. Die Reisezeiten verkürzten sich rapide, und der Welthandel in der heutigen Form, der große weltweite Transportkapazitäten zu Land und auf dem Wasser (zeitgleiche Entwicklung der Hochseedampfschiffahrt) voraussetzt, entstand.

Seit einigen Jahrzehnten ist eine zunehmende Verlagerung sowohl des Personen- als auch des Güterverkehrs auf die Straße zu beobachten. Die Bahn hat ihre Rolle als dominierendes Verkehrsmittel eingebüßt. Neben anderen sind drei wichtige Ursachen technischer Art zu nennen:

Erstens fahren bei der Bahn nach wie vor hauptsächlich Züge mit Lok und antriebslosen Wagen. Daraus ergibt sich der gesamte Betriebsablauf auf der Schiene, der im Vergleich zur Straße viel zu schwerfällig, langsam und unflexibel ist. Außerdem werden gewaltige Stahlmassen bewegt.

Zweitens geht die gesamte Sicherheitsphilosophie von dem Prinzip „schlaue Strecke – dummer Zug“ aus. Die Strecke steuert den Zug, und zwar meist mit einer punktförmigen Beeinflussung, auch wenn es hier in den letzten Jahren mit dem ETCS-System eine Weiterentwicklung gegeben hat [2]. Auf Grund der langen Bremswege sind Blockstrecken und/oder riesige Sicherheitsabstände nötig. Damit sind „ausgelastete“ Schienenwege im Vergleich zu einer befahrenen Autobahn praktisch leer (Bild 1).

Drittens sind die meisten Ziele mit der Bahn nicht direkt erreichbar. Im Personenverkehr bedeutet das einen zusätzlichen Weg zum und vom Bahnhof, im Güterverkehr bei allen Zielen ohne Bahnanschluss ein Umladen, das beim direkten Straßentransport entfällt.



Bild 1: Leere Schiene – volle Straße [3]

3. Lösungsansätze [4]

Logische Konsequenz und damit entscheidender Lösungsansatz ist der Übergang zu selbstfahrenden, fahrerlosen Einzelwagen (Einzelfahrer) und damit der Verzicht auf die Bildung von Zügen und einen Fahrplan. Zum einen ist ein Antrieb nichts Besonderes mehr, und es gibt deshalb keinen technisch vernünftigen Grund, an der Grundstruktur des Zuges festzuhalten. Zum anderen sind die Informations-, Kommunikations-, Automatisierungs- und Sensortechnik soweit fortgeschritten und die Bedingungen für ein automatisiertes Fahren auf der Schiene so günstig, dass ein Fahrer keineswegs notwendig ist.

Wenn auf eine Zugbildung verzichtet wird, können die Wagen wesentlich leichter gebaut werden. Damit sinkt der Energieverbrauch beim Beschleunigen, und die Bremswege verkürzen sich. Verringerte Achslasten bedeuten geringere Ansprüche an den Schienenweg und an Brücken und damit unmittelbar geringere Kosten.

Als Antrieb dürften Elektromotoren mit Batterie-, Hybrid- oder Brennstoffzellen-Stromversorgung sinnvoll sein. Es könnten vieles von den Entwicklungen für Elektroautos übernommen werden, wobei die technischen Bedingungen für einen Elektroantrieb auf der Schiene wesentlich günstiger sind als auf der Straße. Die Reibung ist geringer, und es bestehen ideale Möglichkeiten für eine 100%ige vorausschauende Fahrweise mit effizienter Energie-rückgewinnung beim Bremsen – das geht auf der Straße bis auf weiteres nicht.

Die Steuerung der Fahrzeuge kann vieles von dem übernehmen, was gegenwärtig für das autonome Fahren auf der Straße entwickelt und erprobt wird. Das betrifft sowohl die Sensorik (Kamera, RADAR, LIDAR, Ultraschall) als auch die Kommunikation der Fahrzeuge untereinander und mit der Infrastruktur.

Wichtig ist dabei, dass die Fahrzeuge untereinander eine Art verteilte Steuerung bilden. Sie wählen ihre Strecke und steuern sie an (insbesondere die Weichen) und nicht umgekehrt, also ein Wechsel zum Prinzip „schlaues Fahrzeug – dumme Strecke“.

Der gesamte bisherige Betriebsablauf der Bahn wäre grundlegend umzugestalten. Dabei sind die zu lösenden Probleme auf der Schiene wesentlich übersichtlicher als auf der Straße, und es gibt auf Grund des relativ abgeschlossenen Schienensystems viel weniger Unklarheiten. Insbesondere ist keine permanente Lenkung der Fahrzeuge erforderlich. Hauptpunkte sind die Abstandssteuerung und Kollisionsvermeidung, das Weichenstellen und die kooperative Fahr- und Streckenplanung.

Eine unabhängige vollständige Überwachung der Strecke kann mit IR-Kamerasystemen mit Bildauswertung erfolgen. Damit wäre redundant zu den vorliegenden Informationen der Fahrzeugpositionen und -trajektorien eine weitere Sicherheitsebene möglich, die auch unerwartete Hindernisse und andere Risiken behandelt.

Der jetzige Bahnbetrieb geht von einem abgeschlossenen System ohne Fremdeinflüsse aus und hat als Sicherheit gegen Störungen vor allem die Aufmerksamkeit des Lokführers vorgesehen. Bei unerwarteten Hindernissen auf der Strecke kommt es immer wieder zu schweren Unfällen.

4. ATLAS-Demonstrationsanlage

ATLAS ist in diesem Kontext die Abkürzung für „Asynchroner Transport-, Logistik- und Automatisierungsmodus auf der Schiene“. Das ist auch die Bezeichnung einer Demonstrationsanlage, die im Rahmen studentischer Projekte 2006/2007 entstand und gegenwärtig weiterentwickelt wird [5] [6]. Ziel dieser Anlage ist es, die genannten Lösungsansätze und Prinzipien zu demonstrieren und zu testen.

Als Grundlage wurde das LGB-System (Lehmanns Großbahn [7]) gewählt, das auf Grund der Spurweite von 45 mm und den damit relativ großen Fahrzeugen entspannte Bedingungen für eigene elektronische Komponenten bietet. Das Atlas-System besteht aus den Gleismodulen und den Fahrzeugen mit zugehöriger Handbedienung.

Die **Gleismodule** sind ein-, zwei- oder dreigleisig. Sie haben eine Basislänge von 1800 mm, daneben gibt es Kurven und kürzere Ausgleichsmodule sowie Endmodule mit Puffern. Insgesamt gibt es gegenwärtig etwa 50 Module mit einer Streckenlänge von über 100 m [8]. Sie enthalten 22 Weichen und etwa 130 Balisen, die elektronischen „Kilometersteine“. Weitere Gleismodule sind in Bau oder Vorbereitung [9] [10]. Einen Eindruck von einer aufgebauten Anlage vermittelt Bild 2.

Mit diesen Modulen kann relativ schnell eine große Anlage variabel aufgebaut werden. Die einzelnen Module sind mit ihrer Topologie, ihren Abmessungen und den individuellen Nummern der Balisen in einer Datenbank systematisch erfasst [8]. Aus ihrem Zusammenbau ergibt sich das Streckennetz, dessen Abbild für das Navigieren notwendig ist.



Bild 2: ATLAS-Teilanlage

Die **Balisen** dienen der elektronischen Kennzeichnung der Module und der eindeutigen absoluten Positionsbestimmung der Fahrzeuge. Es sind im ATLAS-System kleine, unter den Schwellen eingebaute Platinen [5] mit einem Infrarot-Sender, der ständig einen eindeutigen Code ausgibt (Bild 3). Dieser kann von dem passierenden Fahrzeug empfangen werden. – Jedes Gleismodul enthält mindestens zwei Balisen, die größeren auch mehr. Der typische Abstand ist etwa ein halber Meter.

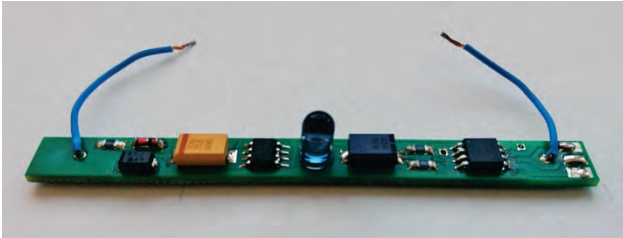


Bild 3: Infrarot-Balise im ATLAS-System

Im ATLAS-System werden die normalen elektrischen LGB-Weichen verwendet. In der ursprünglichen Anlage wurden sie über den im Modellbau üblichen DCC-Code zentral gesteuert. Das hatte neben der notwendigen sicheren Echtzeit-Kommunikation zwischen Fahrzeug und Zentrale den EMV-Nachteil, dass beim DCC-Code die gesamte Anlage ständig die Polarität wechselt.

Bei der gegenwärtigen Weiterentwicklung wird auf die zentrale Steuerung verzichtet, und die Weichen werden direkt vom Fahrzeug aus über eine Infrarot-Kommunikation im cm-Bereich gestellt [11] [12]. Damit dienen die Gleise ausschließlich der Versorgung mit Gleichstrom bei 24V.

Die Eigenbau-Fahrzeuge [5] [13] enthalten als Antrieb einen LGB-Motor. Die Steuerung verwendet einen M16C-Mikrocontroller von RENESAS. Zur vernetzten Kommunikation ist ein Nanonet-wireless-Modul der Firma agilion GmbH Chemnitz verbaut. Es gibt jeweils vorn und hinten am Fahrzeug einen Infrarotsender zum Ansteuern der Weichen und einen Infrarotempfänger für die Balisensignale. Außerdem ist ein optischer SHARP-Abstandssensor in beide Fahrtrichtungen vorhanden.



Bild 4: ATLAS-Fahrzeug

Gegenwärtig werden die sechs vorhandenen Fahrzeuge über jeweils zugeordnete Nanonet-Handbedienungen gesteuert.

Die Vorarbeiten für automatisches und gemischtes Fahren im ATLAS-System laufen. Die zu lösenden Probleme sind nicht simpel. Jedes Fahrzeug muss wie bei einem Navigationssystem das Streckennetz sowie die eigene Position und die der anderen Fahrzeuge kennen. Dann sind die jeweiligen Fahrwege und –ziele zu verrechnen und im Sinne eines kooperativen Fahrens zu koordinieren. Auf der Schiene kann nicht überholt werden, und ein Begegnen erfordert bei eingleisigen Strecken ein intelligentes Ausweichen. Das ergibt anspruchsvolle Aufgaben für zukünftige studentische Arbeiten.

5. Reale Bahn - Überlegungen und Visionen

Technisch erscheint das Gesamtkonzept des Einzelfahrers ohne weiteres machbar, alle notwendigen technischen Komponenten von der Sensorik über die Antriebskonzepte und die Telematik-Infrastruktur bis hin zum Echtzeit-Management großer Datenbanken existieren. Es fehlt jedoch eine umfassende, mindestens europaweit durchgesetzte Gesamtlösung. – Es ist nicht möglich und auch nicht notwendig, den gegenwärtigen Bahnbetrieb mit seinen Schienenfahrzeugen, der Sicherungstechnik und den Prinzipien der Verkehrsführung schlagartig „abzuschalten“. Über eine Integration neuer Lösungen und die Koexistenz von herkömmlichen Zügen und Einzelfahrern muss intensiv nachgedacht werden.

Die Organisationsstruktur der Bahn könnte sich an die im Straßenverkehr anlehnen. Das bedeutet ein öffentlich unterhaltenes Schienennetz einschließlich der notwendigen Telematik-Infrastruktur sowie ein vorwiegend privat bewirtschaftetes rollendes Material für den Personen- und Güterverkehr. Es ließe sich ein präzises und gerechtes Abrechnungssystem einführen, da die jeweilige Nutzung des Schienennetzes detailliert erfassbar ist.

Es ist notwendig, eine grundlegend neue Sicherheitsphilosophie für den Schienenverkehr zu entwickeln. Dabei muss ein Nebeneinander von „klassischem Zugverkehr“ und Einzelfahrern für viele Jahre möglich sein.

Die Weichen müssen auf Initiative des Einzelfahrers hin gestellt werden können, oder es werden prinzipiell andere Lösungen für den Gleiswechsel gefunden. Die „letzten Meter“ von der Schiene bis zum Ziel müssen überbrückbar sein. Entweder kann der Einzelfahrer selbständig die Schiene verlassen, oder es gibt ein Shuttle-System zum Kurzstrecken-Transport der Schienenfahrzeuge auf der Straße. Bahnhöfe sind nicht notwendig, sie reduzieren sich auf diese Schnittstellen zwischen Schiene und Straße.

Es wäre intensiv darüber nachzudenken, ob das Schienennetz neben dem Transport nicht auch andere Funktionen übernehmen kann, etwa:

- Schienennetz als komplexes Logistikzentrum mit Lagerhaltung und exakter „just-in-time“-Anlieferung (genauer als auf der Straße); damit verbunden wäre eine vernünftige Nutzung der heute praktisch brachliegenden Rangier- und Güterbahnhöfe und der Nebenstrecken
- Produktion auf der Schiene sowie Firmen, die flexibel ihren Standort wechseln und zu den Aufträgen oder auch zu den Arbeitskräften fahren (Baufirmen, „fahrender Schlachthof“ statt tagelanger Tiertransport ...)
- Urlaub, Ausflüge (statt Bus), Schulfahrten mit rollender Jugendherberge und mitgeführtem Klassenraum, Ausstellungen, Tagungen, ...

Die Bahn hat das Potential auf einen wesentlich größeren Anteil am Personen- und insbesondere am Güterverkehr, wenn die „Erblasten“ des 19. Jahrhunderts überwunden werden und ein Paradigmenwechsel stattfindet. Interessant ist auch die weitere Nutzung des ausgedünnten und verfallenden Nebenstreckennetzes (Bild 5), da die Anforderungen an die Strecke bei den wesentlich geringeren Achslasten viel unkritischer sind.

Vielleicht können die dargestellten Gedanken zu einer Erneuerung der Bahn beitragen, und die ATLAS-Anlage kann dazu nicht nur technisch, sondern auch mit ihrem Spielwert ihren Teil liefern...



Bild 5: Reste der Chemnitzalbahn 2006

Danksagung

Der Autor bedankt sich bei den beteiligten Studentinnen und Studenten, die mit ihren Abschlußarbeiten dieses Projekt vorangebracht haben und weiter voranbringen. Dank gilt auch dem Prorektorat Forschung der Hochschule Mittweida für die 2006 erfolgte Anschubfinanzierung des Projektes.

Ein besonderer Dank geht an die Firma agilion GmbH Chemnitz und ihrem Geschäftsführer Herr Sven Sieber sowie dem Mitarbeiter Herrn Tino Krauß für die technische Unterstützung und die vertrauensvolle Zusammenarbeit.

Literaturverzeichnis

- [1] R.H. Rauschenberg: Potentiale für die Verringerung der externen Effekte des Verkehrssektors durch einen dezentralisierten und automatisierten Gütertransport der Bahn; Goethe-Universität Frankfurt/Main; Dissertation 2006
- [2] H. Schilling: Trainguard – ETCS-Lösungen für Europa; Vortrag auf der 18. IWKM der Hochschule Mittweida am 10.11.2006, Tagungsgruppe Automatisiertes Fahren auf der Schiene
- [3] ADAC-Motorwelt 8/2001
- [4] C. Schulz: ATLAS-Projekt: Idee, Teilschritte, Vorhaben; Vortrag auf der 18. IWKM der Hochschule Mittweida am 10.11.2006, Tagungsgruppe Automatisiertes Fahren auf der Schiene
- [5] T. Krauß: Versuchs- und Demonstrationsanlage für Projekt ATLAS; Hochschule Mittweida, Fachbereich Informationstechnik & Elektrotechnik; Diplomarbeit 2006
- [6] R. Schneider: Komponenten für Projekt ATLAS; Hochschule Mittweida, Fachbereich Maschinenbau, Diplomarbeit 2007
- [7] Firmen-WEB-Seite zu LGB unter www.lgb.de
- [8] N. Bu, G. Wan: ATLAS-System-Datenbank; Hochschule Mittweida, Fakultät Ingenieurwissenschaften; Bachelorarbeit 2018
- [9] S. Zhang, M. Shi: Überarbeitung von Gleismodulen und Bau neuer Module; Hochschule Mittweida, Fakultät Ingenieurwissenschaften; Bachelorarbeit 2018
- [10] J. Yao, X. Kong: Weiterentwicklung ATLAS-Gleisanlage; Hochschule Mittweida, Fakultät Ingenieurwissenschaften; Bachelorarbeit 2018
- [11] M. Wang: Infrarot-Kommunikation und Lichtsteuerung für ATLAS-Fahrzeug; Hochschule Mittweida, Fakultät Ingenieurwissenschaften; Bachelorarbeit 2018
- [12] T. Shen: Funktionsmuster für ATLAS-Weichenansteuerung über Infrarot-Schnittstelle; Hochschule Mittweida, Fakultät Ingenieurwissenschaften; Bachelorarbeit 2018
- [13] Y. Lu, J. Li: Projekt ATLAS Geschwindigkeitsmessung; Hochschule Mittweida, Fakultät Ingenieurwissenschaften; Bachelorarbeit 2018

Vertrauen und Transparenz in der Digitalen Kommunikation

SUBJEKTIVE GLAUBWÜRDIGKEITSKONZEPTE VON POLITIKJOURNALISTEN IN DEUTSCHLAND

Lisa Kleine & Falk Tennert

SRH Fernhochschule – The Mobile University, Lange Straße 19, 88499 Riedlingen

falk.tennert@mobile-university.de

Abstract: Aktuell erfährt das Thema Glaubwürdigkeitsverlust im Journalismus ein anhaltend hohes Interesse. Vor dem Hintergrund, dass die wissenschaftliche Forschung sich vorrangig mit der Wahrnehmung von Glaubwürdigkeit durch Rezipienten auseinandergesetzt hat, stellt der vorliegende Beitrag die Glaubwürdigkeit aus der Perspektive von Politikjournalisten dar. Mithilfe von leitfadengestützten Experteninterviews konnten Faktoren ermittelt werden, die die Journalisten aus ihrer subjektiven Sicht dem Konstrukt Glaubwürdigkeit zuordnen. Zudem war es möglich, die aus journalistische Perspektive verantwortlichen Faktoren für eine ausgeprägte Medienskepsis und den konstatierten Vertrauensverlust zu extrahieren.

1. Journalismus und Glaubwürdigkeit: aktuelle Relevanz und Zielsetzung

Die Themen Glaubwürdigkeit und Glaubwürdigkeitsverlust im Journalismus haben in den letzten Jahren eine Renaissance erfahren. Die Glaubwürdigkeit von Medien und ein erodierender Vertrauensverlust, insbesondere im Zusammenhang mit gesellschaftspolitischen Ereignissen wie der Flüchtlingskrise, der Griechenlandkrise oder dem Ukraine-Konflikt, sind in den vergangenen Jahren Gegenstand kommunikationswissenschaftlicher Analysen gewesen (Reinemann, Fawzi & Obermaier 2017; Newman et al. 2016). Während vor dem Hintergrund aktueller politischer Ereignisse häufig Untersuchungen zur Glaubwürdigkeits- bzw. Vertrauensmessung in den Medien durchgeführt wurden, sind Langzeitdaten deutlich seltener zu finden. Betrachtet man jedoch die vorhandenen Langzeitergebnisse, so kann seit den 1990er Jahren nicht von einem kontinuierlich abnehmenden Vertrauen gesprochen werden: ein Großteil der deutschen Bevölkerung steht den etablierten Medien bereits seit Langem sehr skeptisch gegenüber (Reinemann, Fawzi & Obermaier 2017: 81 f.). Die von den Rezipienten attribuierte Glaubwürdigkeit hängt allerdings stark mit dem Medium und dem Thema der Berichterstattung zusammen. So gibt es vor allem in der Auseinandersetzung zur Flüchtlingskrise ein ausgesprochenes Misstrauen seitens der Bevölkerung. Kritisch eingestellt sind in diesem Zusammenhang insbesondere politisch interessierte Rezipienten (Köcher 2015: 4).

Vor dieser Befundlage kommt auch Kepplinger (2017:10) aktuell zu der Einschätzung: „Trotz ihrer im internationalen Vergleich bemerkenswerten Qualität befinden sich die deutschen Journalisten und Medien in ihrer bisher größten Legitimationskrise“. Begründet wird die Diagnose vor allem mit dem Vertrauensverlust großer Teile der Bevölkerung hinsichtlich der Medienberichterstattung. Haller (2017: 142) ist ebenfalls überzeugt, dass ein nicht unerheblicher Anteil der Deutschen spätestens seit der Berichterstattung über die Flüchtlingskrise der Unabhängigkeit der Medien skeptisch gegenüberstehe. Ruß-Mohl (2017: 186 f.) bezeichnet den Vertrauensverfall als *Jahrhundert-Thema* und kritisiert, Journalisten hätten über den sich schon lange ab-

zeichnenden Verlust bis zu den Vorwürfen der „Lügenpresse“ im Jahr 2015 weitgehend hinweggesehen. Die Diskussion um eine abnehmende Glaubwürdigkeit von Medien und ihren Kommunikatoren ist allerdings nicht neu. Bereits 2005 schrieb Dernbach (150 f.), dass das Publikum Journalisten unterstelle, von Wirtschaft und Politik nicht unabhängig zu berichten und stellt die Frage, ob der Qualitäts- und der damit verbundene Vertrauensverlust gestoppt werden könne. In ähnlicher Weise äußert sich aktuell auch Weischenberg (2018: 139): Er glaubt, Journalisten hätten in den letzten Jahren Reichweiten vor die Glaubwürdigkeit gestellt. Dabei wird die Glaubwürdigkeit von Journalisten in einer komplexeren, digitalen Welt auch vor dem Hintergrund der Debatte um Fake News, der unter anderem durch die Digitalisierung zugenommenen Geschwindigkeit sowie dem zugenommenen wirtschaftlichen Druck auf Medienorganisationen ein immer relevanteres Thema.

Rezipienten sind darauf angewiesen, Journalisten glauben zu können, da es ihnen nicht möglich ist, jede Information nachzuprüfen. Es ist daher nicht nur für Medienorganisationen selbst von Interesse, dass sie glaubwürdig wahrgenommen werden, sondern auch für die Gesellschaft, denn ohne Glaubwürdigkeit kann Journalismus sowohl aus wirtschaftlicher als auch aus demokratischer Sicht nicht funktionieren (Appelman & Sundar, 2016: 62; Donsbach et al. 2009: 41). Insbesondere die Glaubwürdigkeit von Politikjournalisten ist für das Gelingen einer Demokratie essentiell, da Medien in einer komplexen Gesellschaft durch korrekte und umfassende Information Orientierung bieten und eine Meinungsbildung ermöglichen sollen (Donsbach et al. 2009: 130). Diese Aufgaben können Journalisten allerdings nur erfüllen, wenn Rezipienten ihnen Glauben schenken. Nach Donsbach et al. können Medienmacher nur dann als glaubwürdig wahrgenommen werden, wenn sie glaubwürdige Informationen übertragen und nur dann können etwa auch interviewte Politiker als authentisch empfunden werden (ebd.: 41). Die Glaubwürdigkeit des Journalismus und der Medien ist daher ebenso relevant für die Glaubwürdigkeit derer, über die berichtet wird. Wird die journalistische Berichterstattung als verzerrt, werden

Journalisten selbst als nicht vertrauenswürdig wahrgenommen, können sie somit wichtigen Funktionen wie bspw. der Herstellung von Öffentlichkeit daher nicht nachkommen. Vor dem Hintergrund der beschriebenen Relevanz stellt der vorliegende Artikel subjektive Glaubwürdigkeitskonzepte von Journalisten dar. Die forschungsleitende Frage für diesen Artikel lautet: *Welche subjektiven Auffassungen haben Politikjournalisten von Glaubwürdigkeit?* Auf der Basis einer qualitativen Untersuchung werden Faktoren ermittelt, die die journalistische resp. mediale Glaubwürdigkeit determinieren. Fernerhin wird diskutiert, wie Journalisten die ausgeprägte Medienskepsis seitens des Publikums attribuieren. Die Untersuchung beschränkt sich auf Leitfadeninterviews mit Politikjournalisten, da vor dem Hintergrund der demokratischen Funktion des Journalismus die Glaubwürdigkeit in diesem Bereich aus gesellschaftlicher Sicht besonders relevant ist.

2. Glaubwürdigkeit: Begriff und Konzeption

Immer dann, wenn Informationen entscheidungs- oder handlungsrelevant sind und sich der eigenen Wahrnehmung entziehen, stellt sich die Frage nach der Glaubwürdigkeit in besonderer Weise. Ein definitorisches Wesenselement ist, dass die Zuschreibung von Glaubwürdigkeit immer zweier Akteure bedarf: dem, dem geglaubt wird, und dem, der glaubt (Möllerling & Sydow 2005: 66 f.). Die Objekte können zwei Personen sein, also Sender und Empfänger bzw. Kommunikator und Rezipienten. Ein solches Bezugsobjekt kann statt einer Person allerdings auch ein Medieninhalt oder eine Medienorganisation sein. Aus der Überlegung, Glaubwürdigkeit bedürfe immer zweier Kommunikationsobjekte, ergibt sich zudem die Erkenntnis, dass das Konstrukt aus verschiedenen Perspektiven betrachtet werden kann. Köhnken, der sich ihm aus psychologischer Sicht nähert, beschreibt etwa: „Glaubwürdigkeit liegt vor, wenn ein Kommunikator an einen Rezipienten eine Information vermittelt, von der er *glaubt*, dass sie zutreffend ist, wenn also der Kommunikator keine Täuschungsabsicht hat. Entscheidendes Bestimmungsstück ist hierbei die *Intentionalität*.“ (Köhnken 1990: 4). Demnach ist der Kommunikator selbst derjenige, der Glaubwürdigkeit durch eine positive Absicht erzeugen kann.

Häufiger wird in der Kommunikationswissenschaft Glaubwürdigkeit als eine Zuschreibung durch den Rezipienten angesehen. Nach Wirth kann Glaubwürdigkeit als „*prinzipielle Bereitschaft verstanden werden, Botschaften eines bestimmten Objekts als zutreffend zu akzeptieren und bis zu einem gewissen Grad in das eigene Meinungs- und Einstellungsspektrum zu übernehmen. Dabei kann die Bereitschaft auf konkreten Evaluationsprozessen oder auf Images beruhen, die sich beim Subjekt herausgebildet haben, von ihm jedoch als Objekteigenschaften wahrgenommen werden.*“ (Wirth 1999: 55). Demnach geht der Rezipient davon aus, das Bezugsobjekt sei objektiv gesehen glaubwürdig. Tatsächlich geht die Bereitschaft ihm zu glauben allerdings

von der subjektiven Überzeugung des Rezipienten aus, die er etwa über eigene Beobachtungen gewinnt. Aus der Sicht des Rezipienten definieren auch Dernbach und Meyer das Konstrukt: „Wenn ich etwas oder jemanden *glaubwürdig* finde, *glaube* oder *vermute* ich, ohne Beweise dafür zu haben, dass etwas *wahr* oder jemand *wahrhaftig* ist. Ich *zweifle* nicht daran, weiß es aber auch nicht.“ (Dernbach & Meyer 2005: 15). In dieser Definition wird deutlich, dass Glaubwürdigkeit nur dann von Bedeutung ist, wenn der Rezipient selbst nicht über genügend Möglichkeiten verfügt, um Mitgeteiltes zu überprüfen, wenn also die Richtigkeit der Aussage unsicher ist. Bentele plädiert ebenfalls dafür, Glaubwürdigkeit müsse im Kommunikationsprozess vom Empfänger attribuiert werden, bezieht aber zudem Voraussetzungen ein, die der Kommunikator mitbringen müsse, um überhaupt als glaubwürdig gelten zu können. Glaubwürdigkeit ist demnach eine „Bezeichnung für eine Eigenschaft, die Menschen, Organisationen oder deren kommunikativen Produkten (mündliche oder schriftliche Texte, audiovisuelle Darstellungen) von jemandem (Rezipienten) in Bezug auf etwas (Ereignisse, Sachverhalte etc.) zugeschrieben wird. Eine Person oder Organisation ist dann glaubwürdig, wenn man darauf vertrauen kann, dass deren Aussagen richtig sind.“ (Bentele 2013: 109). Dabei müssen laut Bentele zwei Bedingungen gegeben sein: Zum einen bedürfe es des Vertrauens des Rezipienten, dass die Person oder Institution den Sachverhalt richtig erkläre bzw. dass ihre Äußerungen wahr seien, zum anderen müsse sie ein stimmiges Kommunikationsverhalten zeigen (2008: 168). Damit stellt Bentele einen Kompromiss zwischen den beiden Perspektiven her, indem er der *subjektiven Zuschreibung* zustimmt, darüber hinaus aber überzeugt ist, der Kommunikator müsse *Grundvoraussetzungen* mitbringen, um ihm Glaubwürdigkeit attestieren zu können.

3. Medienglaubwürdigkeit und Glaubwürdigkeitsmodelle

In den Ausführungen ist deutlich geworden, dass ein Bezugsobjekt nötig ist, dem Glaubwürdigkeit attribuiert werden kann. Appleman und Sundar (2016: 61 f.) zufolge sind solche Bezugsobjekte neben der Quelle das Medium, die Botschaft oder die Art und Weise der Präsentation. So könne etwa der Text eines Autors in einem Medium mit sehr gutem Image als besonders glaubwürdig wahrgenommen werden, während derselbe Text des Autors in einem anderen Medium weniger glaubwürdig eingeordnet wird. Etwas ausführlicher unterscheidet Wirth zwischen vier Bezugsobjekten: Medieninhalten als primären sowie Personen, Mediensystemen und Mediengattungen als sekundären Bezugsobjekten. Dabei ist die Glaubwürdigkeit eines primären Bezugsobjekts direkter zu beurteilen als die eines sekundären Bezugsobjekts. Bezogen auf sekundäre Bezugsobjekte geschieht die Glaubwürdigkeitsbeurteilung laut Wirth erst über aufgebaute Images. Personen könn-

ten als Bezugsobjekte medieninterne Individuen, etwa Journalisten, oder medienexterne Personen wie Politiker sein. Unter Medieninhalten versteht Wirth Genres oder spezifische Sendungen etc., unter Mediensysteme fallen beispielsweise unterschiedliche Medienunternehmen wie ARD oder Sat1, unterschiedliche Organisationsformen, wie private oder öffentlich-rechtliche Sender oder Redaktionen. Letztere können allerdings, je nach Sichtweise, auch unter Personen geordnet werden. Unter Mediengattungen sind laut Wirth Fernsehen, Hörfunk, Tageszeitungen zu verstehen (Wirth 1999: 55 f.). Eine ähnlich detailliertere Systematik hinsichtlich Bezugsobjekten im Medienbereich legt Schweiger (1999) vor. Er unterscheidet zwischen sechs Hierarchiestufen: Dem Präsentator, zu dem der

Journalist zu zählen ist, dem Urheber der berichteten Aussage, zum Beispiel einem Politiker, der redaktionellen Einheit, also etwa einem Artikel oder TV-Beitrag, dem Medienprodukt, zum Beispiel ARD, dem Subsystem einer Mediengattung, etwa privates Fernsehen, und der Mediengattung, also Tageszeitung, Hörfunk etc. (Schweiger 1999: 91 ff). Schweiger vermutet, Glaubwürdigkeit sei zwischen den einzelnen Stufen übertragbar (Schweiger 1999: 56). Wirth (1999: 93) meint ebenfalls, dass durch Verallgemeinerungs- und Transferprozesse Images entstehen würden, die dazu führten, dass sich etwa die Glaubwürdigkeit eines Journalisten auf die Glaubwürdigkeit einer von ihm übertragenen Botschaft auswirke.

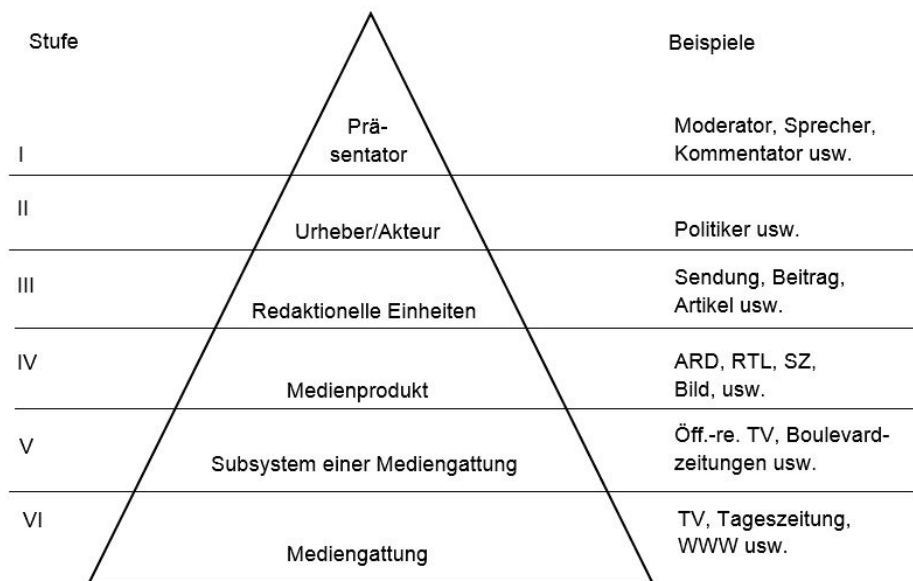


Abbildung 1: Hierarchiestufen medialer Glaubwürdigkeitsobjekte

Quelle: eigene Darstellung in Anlehnung an Schweiger 1999: 91

Im weiteren Verlauf konzentrieren wir uns auf Ansätze im Rahmen der kommunikationswissenschaftlichen Glaubwürdigkeitsforschung. Während Nawratil (1997, 1999) und Wirth (1999) vor allem auf die Dimensionen hinsichtlich der Glaubwürdigkeit (medialer) Quellen eingehen, haben Appelman und Sundar (2016) in einer neueren Untersuchung eine Operationalisierung speziell zur Glaubwürdigkeit journalistischer Botschaften erarbeitet. Zudem findet das Modell von Kuhnhen (2014) Erwähnung, das neben kommunikationswissenschaftlichen auch linguistische Aspekte berücksichtigt.

Nawratil und Wirth identifizieren jeweils sieben Komponenten der Glaubwürdigkeit. Die vier Glaubwürdigkeitsdimensionen Vertrauenswürdigkeit, Kompetenz, Dynamik und Attraktivität nennen beide Autoren, wobei Wirth Kompetenz unter den Stichwörtern Sachkenntnis/ Expertise /Qualifikation führt (1999: 49). Während Nawratil allerdings die Ähnlichkeit von Quelle und Rezipient, das Sprechverhalten und soziale Billigung als

Dimensionen nennt (1999: 26), heißen die weiteren, von Wirth zusammengefassten Faktoren Objektivität, Verständlichkeit und Ethik. Vertrauenswürdigkeit kann unter anderem durch die Begriffe Ehrlichkeit, Aufrichtigkeit, Unabhängigkeit, Unparteilichkeit, Selbstlosigkeit, Zuverlässigkeit und Konsistenz von Reden und Handeln beschrieben werden (Nawratil 1997: 130; Wirth 1999: 49f.). Kompetenz zeigt sich laut Nawratil als Glaubwürdigkeitskriterium einer Quelle in der Qualifikation, durch eine Führungsposition, in Fachwissen, Erfahrungen, Intelligenz oder Leistung (1997: 130). Dynamik äußere sich bezogen auf Personen in Aktivität, Stärke und in Charakteristika des Sprechens (ebd.: 131). Wirth betont, dass sie sich auch in stilistischen und gestalterischen Merkmalen einer Botschaft ausdrücken könne (Wirth 1999: 50). Attraktivität bringt Wirth unter anderem mit Entspannung, Humor und Unterhaltsamkeit in Verbindung (ebd.: 51), Nawratil mit dem Begriff Sympathie. Ähnlichkeit, etwa in der Werthaltung, Sprechverhalten und Soziale

Billigung, also Akzeptanz oder Ablehnung, rechnet Nawratil ebenfalls zu den Faktoren, die die Glaubwürdigkeit einer Person aus Sicht eines Rezipienten bestimmen können. Wirth nennt in seiner Übersicht darüber hinaus die Objektivität, unter die er die Indikatoren Unverzerrtheit, Unparteilichkeit, Unpersönlichkeit und Aufgeschlossenheit ordnet. Weitere übergreifende Dimensionen

sind laut Wirth die Verständlichkeit oder Stimmigkeit und Ethik. Nawratil unterscheidet bezüglich der Dimensionen zudem zwischen der Glaubwürdigkeit von Quellen im Allgemeinen (so etwa von Politikern oder Wissenschaftlern) und der von Medien und kommt zu dem Schluss, dass die übergeordneten Faktoren dieselben sind (siehe Abb. 2).

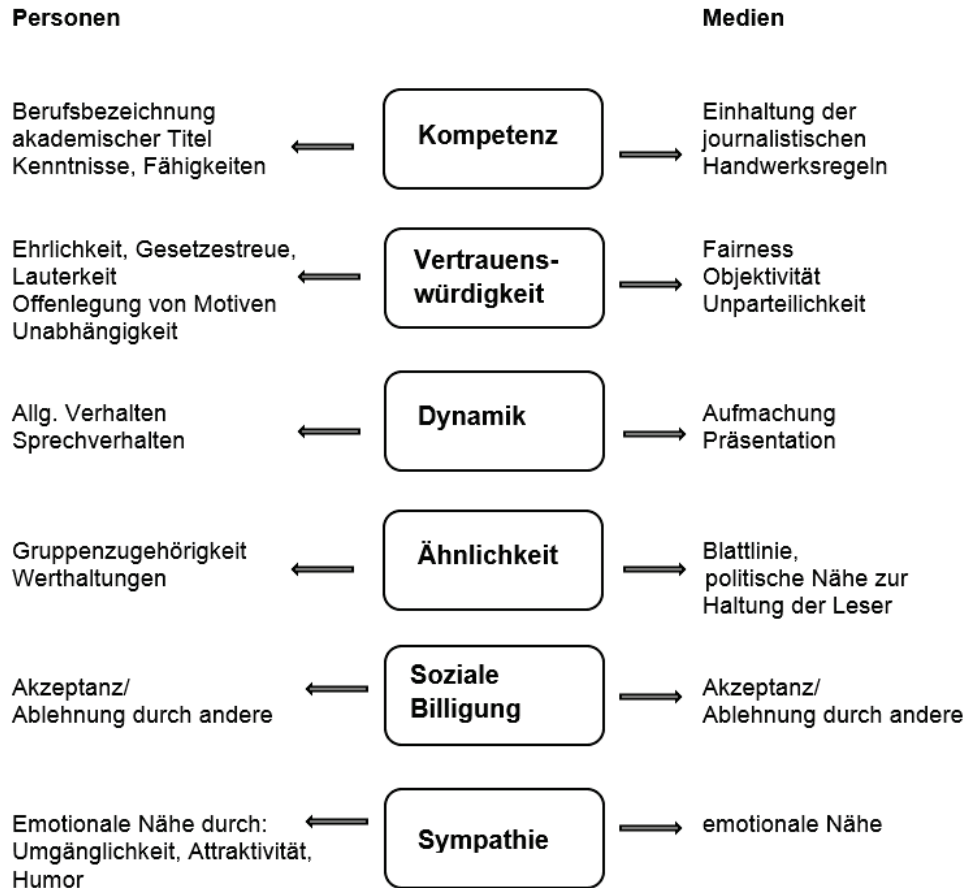


Abbildung 2: Faktoren von Glaubwürdigkeit und ihre Ausprägungen nach Nawratil

Quelle: eigene Darstellung in Anlehnung an Nawratil 1999: 27

Während etwa Kompetenz bezogen auf eine Person die Fachkompetenz derselben zum Ausdruck bringen soll, ist das analoge Konstrukt im Hinblick auf Medien laut Nawratil (1999: 25 ff.) die Vermittlungskompetenz. Diese zeige sich etwa darin, Aussagen richtig wiederzugeben, ihre Urheber vorzustellen, bedeutende Quellen zu nutzen und die W-Fragen zu beantworten. In anderen Worten geht es um die Richtigkeit und Sorgfalt der Recherche und Bearbeitung, also um professionelle Qualitätsstandards (Deutscher Presserat 2017: 4) des Journalismus. Diese Qualitäten ordnet Nawratil der „Einhaltung der journalistischen Handwerksregeln“ unter. Vertrauenswürdigkeit äußert sich bezogen auf Medien laut Nawratil in einer objektiven, fairen und unparteiischen Berichterstattung, in der keine Seite bevorzugt wird, Inhalte richtig wiedergegeben und Information und Meinung getrennt werden. Zudem wird

soziale Billigung als Glaubwürdigkeitskriterium aufgeführt, das durch Akzeptanz oder Ablehnung durch andere konkretisiert werden könne. Dynamik hänge mit der Aufmachung der Nachricht zusammen, Ähnlichkeit werde durch die Nähe zur politischen Haltung des Rezipienten gekennzeichnet, Sympathie durch emotionale Nähe. Sympathie und Ähnlichkeit sind Nawratil zufolge dabei im Gegensatz zu Kompetenz, Vertrauenswürdigkeit und Dynamik eher als untergeordnete Kriterien zu betrachten.

Appelman und Sundar (2016: 65 ff.) nehmen eine konfirmatorische Faktorenanalyse speziell bezogen auf (medienvermittelte) Botschaften vor. Sie verwenden die Indikatoren Qualität, Expertise und Fairness und dazugehörige Items aus der Literatur und zeigen, dass Prägnanz, Vollständigkeit, Konsistenz, eine gute Präsentation (der Qualität untergeordnet), Repräsentativität bzw. die Abbildung verschiedener

Seiten, Objektivität, keine Meinungsmache (der Fairness untergeordnet) sowie Einfluss, Professionalität und Expertentum (der Expertise untergeordnet) die Glaubwürdigkeit einer Botschaft bestimmen. Kuhnhenh (2014: 318 ff.) nutzt für ihre Untersuchung zur Glaubwürdigkeit von politischen Kommunikatoren die vier Faktoren Sachkompetenz, soziale Einbettung/Sympathie, Verlässlichkeit/ Reputation und Verständlichkeit und damit sehr ähnliche Dimensionen, wie sie von Wirth und Nawratil herausgestellt werden. Diese Studie ist vor dem Hintergrund interessant, dass sie neben kommunikationswissenschaftlichen Aspekten auch linguistische berücksichtigt. Sie konzentriert sich zwar auf die Untersuchung der Aussagen von politischen Akteuren, einige von ihr herausgearbeitete Faktoren und Indikatoren lassen sich aber auch als relevant für journalistische Kommunikation annehmen. So sind laut Kuhnhenh Indikatoren für Sachkompetenz etwa der Verweis auf Experten oder Beweise in Form von Zahlen, Daten und Fakten und das Herausstellen von Hintergrundinformationen. Soziale Einbettung wird unter anderem durch die Bezugnahme zum Rezipienten abgebildet und steht mit Vertrauenswürdigkeit in engem Zusammenhang. Das Zugeben von Fehlern wird unter Verlässlichkeit geordnet. Verständlichkeit zeigt sich etwa in bildhafter Sprache oder angemessener Wortwahl. Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass Glaubwürdigkeit ein vertrautes und gleichzeitig illusorisches Konzept ist (Self 2009: 449). Diese Beschreibung von Self ist ein gutes Resümee der theoretischen Erkenntnisse. Auch kann der Aussage zugestimmt werden, die Literatur zu Glaubwürdigkeit sei generell „plentiful, contradictory and confused“ (ebd.: 435). Dennoch lassen sich aus der Theorie relevante Erkenntnisse für die Präzisierung der Forschungsfragen und die Operationalisierung gewinnen. Glaubwürdigkeit lässt sich als subjektive Zuschreibung eines Rezipienten in Bezug auf einen Kommunikator beschreiben, wobei der Kommunikator selbst Grundvoraussetzungen mitbringen sollte, um eine solche Attribution zu rechtfertigen.

Die stark verdichteten Ausführungen spiegeln die Heterogenität der Forschung wider. Für die vorliegende Untersuchung, die auf einer breiten theoretischen Basis aufbaut, da der qualitative Forschungsprozess möglichst offen gestaltet werden soll, soll eine zu starke Verengung des Konstrukts nicht stattfinden. Vielmehr sollen die Ausführungen zu den diskutierten Dimensionen helfen, ein Vorverständnis zu erlangen, um die von den Journalisten im empirischen Teil genannten Glaubwürdigkeitsfaktoren besser zu verstehen und einzuordnen. Wie die vorherigen Ausführungen verdeutlichen, können die aufgeführten Faktoren Kompetenz und Vertrauenswürdigkeit als konstituierende Dimensionen des Glaubwürdigkeitskonzepts angenommen werden. Unter Kompetenz bzw. Expertise können die von Kuhnhenh genannte Sachkompetenz sowie die von Appleman und Sundar herausgestellten Komponenten Qualität und Expertise eingeordnet werden. Fairness und Verlässlichkeit lassen sich wie Ethik

dem Konzept der Vertrauenswürdigkeit zuordnen. Objektivität wird von Wirth und Bentele als relevantes Glaubwürdigkeitskriterium beschrieben, weswegen es entgegen der Einteilung von Nawratil als eigenständige Dimension neben- statt untergeordnet werden sollte. Neben Kompetenz, Vertrauenswürdigkeit und Objektivität können fünf weitere Dimensionen aus den obigen Ausführungen abgeleitet werden, nämlich Dynamik, Attraktivität und Ähnlichkeit, Soziale Billigung sowie das Sprechverhalten. Auf der Basis der diskutierten Ansätze können nun acht Dimensionen von Glaubwürdigkeit identifiziert werden. Indikatoren, die sich diesen Dimensionen unterordnen lassen, ergeben sich zum Teil aus verschiedenen theoretischen Ansätzen. Einen Überblick über die in der Theorie gewonnenen und zusammengefassten Dimensionen und Indikatoren zeigt die nachfolgende Systematisierung:

- **Kompetenz:** Vollständigkeit, Verständlichkeit, Prägnanz, Richtigkeit und Sorgfalt in der Recherche, Verweis auf Experten, Qualifikation, Konsistenz, Status
- **Vertrauenswürdigkeit:** Unabhängigkeit, Fairness, ethische Standards, Bezugnahme zum Rezipienten, gesellschaftliche Kommunikationsrolle
- **Objektivität:** Transparenz und Nachprüfbarkeit, Richtigkeit, Vollständigkeit, Unparteilichkeit; Übereinstimmung von „Realität“ und „Medienrealität“
- **Dynamik:** Aufmachung, Präsentation
- **Soziale Billigung:** Akzeptanz, Ablehnung
- **Ähnlichkeit:** Haltung, politische Nähe
- **Attraktivität:** Entspannung, Unterhaltsamkeit, emotionale Nähe
- **Sprechverhalten:** Sprachgeschwindigkeit, Stil

Unter Berücksichtigung des theoretischen Hintergrunds lässt sich die gestellte Forschungsfrage *Welche subjektiven Auffassungen haben Politikjournalisten von Glaubwürdigkeit?* weiter differenzieren:

- F1: *Wie beschreiben Journalisten das Konstrukt Glaubwürdigkeit?* Wie herausgestellt wurde, gibt es keine einheitliche Glaubwürdigkeitsdefinition. Vielmehr kann die Bedeutung des Begriffs subjektiv unterschiedlich ausgelegt werden. Daher soll zunächst herausgefunden werden, was die Journalisten darunter verstehen.
- F2: *Inwieweit liegt die Bemühung um Glaubwürdigkeit im Fokus der journalistischen Arbeit?* Glaubwürdigkeit kann als eines von etlichen anderen Kriterien angesehen werden, auf die Journalisten im Alltag achten müssen. Es soll demnach herausgefunden werden, welchen Stellenwert Glaub-

würdigkeit in der alltäglichen journalistischen Praxis hat.

- F3: *Welche Faktoren machen aus Sicht der Politikjournalisten Glaubwürdigkeit aus?* In der bisherigen Diskussion wurde gezeigt, dass das Konstrukt Glaubwürdigkeit schon vielfach untersucht und etliche, teils sehr heterogene Faktoren herausgestellt wurden, die das Konstrukt beschreiben. Bis dato wurde die Glaubwürdigkeit (journalistischer) Botschaften oder Quellen aber vor allem aus Sicht der Rezipienten betrachtet. Daher sind Interviews mit Journalisten notwendig, um herauszufinden, ob sie mit den ermittelten Dimensionen übereinstimmen oder in ihrem Berufsalltag Glaubwürdigkeit an anderen Faktoren festmachen.
- F4: *Worin sehen die Journalisten die hohe Medienskepsis begründet?* Diese Frage bezieht sich auf die subjektiv wahrgenommenen Ursachen des Glaubwürdigkeitsverlustes.

4. Methodische Umsetzung

Zur Beantwortung der forschungsleitenden Fragen wird ein *qualitatives Forschungsdesign* gewählt, welches gegenüber dem Untersuchungsgegenstand – subjektive Glaubwürdigkeitsauffassungen von Politikjournalisten – möglichst offen und flexibel ist. Qualitative Forschung begreift Kommunikation demnach als relevanten Teil der Datenerhebung, versucht ständig die Nachvollziehbarkeit von Interpretationen zu gewährleisten und erachtet den Prozesscharakter und die Reflexivität als relevant. Als Datenerhebungsmethode dient in dieser Untersuchung das *leitfadengestützte Experteninterview*. Ein Leitfadeninterview bietet sich also vor allem dann an, „wenn einerseits subjektive Theorien (...) zu rekonstruieren sind und so maximale Offenheit gewährleistet werden soll, und wenn andererseits von den Interviewenden (aufgrund des Forschungsinteresses) Themen eingeführt werden sollen und so in den offenen Erzählraum strukturierend eingegriffen werden soll“ (Helfferrich 2009: 179). Es ermöglicht unter anderem, Begründungen, Deutungen, detaillierte Beschreibungen sowie Alltagstheorien zu erheben (Mey & Mruck 2010: 431). Weil zudem mit Politikjournalisten eine Zielgruppe im Zentrum steht, die einen spezifischen Berufsstand umfasst, handelt es sich spezieller um ein *leitfadengestütztes Experteninterview*.

Die theoretisch erarbeiteten Dimensionen und Indikatoren von Glaubwürdigkeit bilden die Grundlage für die Entwicklung eines differenzierten Interviewleitfadens. Die Entwicklung der Fragen orientiert sich an den Vorgaben zur Leitfadengestaltung (Gläser & Laudel 2010: 145). Zudem werden im Leitfaden erzählgenerierende, übergeordnete Fragen, die möglichst offen gestellt werden, und spezielle, ihnen zugeordnete Nach- bzw. Detailfragen unterschieden, die das 45 bis 60-minütige Gespräch lenken oder

zum Weitererzählen anregen sollen (Helfferrich 2009: 104 f.). In der Untersuchung wird mithilfe des qualitativen Quotenplans eine kriteriengeleitete, absichtsvolle Fallauswahl getroffen. In einem qualitativen Quotenplan müssen die Fälle im Gegensatz zum quantitativen Pendant nicht zwingend die Grundgesamtheit repräsentieren (Meyen et al. 2011: 71 f.). Die Merkmale sollen vielmehr helfen, Einseitigkeit zu vermeiden. Als Kriterien für die Fallauswahl werden die Mediengattung und die Organisationsform herangezogen, um möglichst unterschiedlicher Medienangebote einzubeziehen. Hinsichtlich der Mediengattung werden die Ausprägungen Print, Online und Rundfunk (Hörfunk sowie Fernsehen) unterschieden. Insgesamt konnten im Frühjahr 2018 zehn Politikjournalisten interviewt werden. Die Interviewdaten wurden aufgezeichnet, entsprechend der sozialwissenschaftlichen Leitlinien verschriftlicht und anonymisiert. Die Auswertung der Daten wird mithilfe der qualitativen Inhaltsanalyse – speziell der inhaltlich-strukturierenden Inhaltsanalyse (Kuckartz 2016: 100 ff.) – vorgenommen. Zentrales Merkmal dieses Auswertungsverfahrens ist ein kategorienbasiertes und somit systematisch regelgeleitetes Vorgehen. Das Ziel der inhaltlich-strukturierenden Inhaltsanalyse ist es, das Material nach speziellen Themen zu durchsuchen, es mithilfe von festgelegten Kriterien bzw. Kategorien zu ordnen und zu kontextualisieren (Mayring 2015: 67). Dieses Vorgehen bietet sich zur Beantwortung der verschiedenen thematischen Schwerpunkte resp. der forschungsleitenden Fragen an. Eine ausführliche Beschreibung des Auswertungsverfahrens findet sich in Kuckartz (2016) sowie Mayring (2015).

5. Ergebnisse

Glaubwürdigkeit als eine zentrale Herausforderung

Glaubwürdigkeit stellt eine – wenn auch keine exklusive – Herausforderung für den aktuellen Journalismus dar. Allerdings wird sie neben Geschwindigkeit und Komplexität sowie Erreichbarkeit des Publikums, die alle eng mit dem Konstrukt Glaubwürdigkeit zusammenhängen, als eine der größten Herausforderungen beschrieben. Dass Glaubwürdigkeit wiederholt genannt wird, kann jedoch auch im Zusammenhang mit dem vorgegebenen Thema der Untersuchung stehen. Die Mehrheit der Interviewpartner, insbesondere die Online- und Rundfunkjournalisten, sprechen Glaubwürdigkeit als große Herausforderung an (IP 1,4,5,6,7,8,10). Es ist die Rede von einem „Vertrauensverlust“ (IP6), von der „Debatte um Fake News“ und der „Frage der Glaubwürdigkeit von Medien“ (IP8). Mehrere Experten glauben, der Journalismus werde immer mehr infrage gestellt (IP 5,7,10). Ein Journalist sieht die Gefahr, dass sich unpassende Begriffe wie „Systempresse“ oder „Staatsrundfunk“ etablieren könnten (IP8). Gleichzeitig wird teils Skepsis geäußert, ob tatsächlich so viele Menschen an den Medien zweifeln, wie es oft dargestellt wird (IP4). Die Mehr-

heit der Interviewten, insbesondere Online- und Printexperten, sprechen darüber hinaus die Herausforderung der zunehmenden Geschwindigkeit an, die unter anderem auf die Digitalisierung zurückzuführen ist (IP1,2,6,7,9,10). Sie könne mit der Glaubwürdigkeit eng verknüpft sein, wie IP7 beschreibt:

„Und gleichzeitig wird der Journalismus immer schneller und wir haben immer mehr den Druck, dass wir aktuelle Nachrichten machen und haben immer weniger Zeit, Dinge auch zu verifizieren und diesen Spagat hinzukriegen auf der einen Seite schnell zu sein, auf der anderen Seite aber glaubwürdig zu bleiben, indem wir gut recherchieren und einfach nachhaltig guten Journalismus machen, das ist manchmal schwierig.“ (IP7)

Mehreren Journalisten zufolge kann Geschwindigkeit im Konflikt mit sorgfältiger Arbeit bzw. der Aufrechterhaltung der journalistischen Qualität stehen; die Onlinejournalisten nennen das vor allem eine Herausforderung für ihre Mediengattung, da es dort kaum Barrieren gebe und Nachrichten direkt veröffentlicht werden könnten (IP 1,7,10). Auch für das Fernsehen sei die Geschwindigkeit besonders herausfordernd, konstatiert ein TV-Journalist, da vor der Kamera innerhalb von Sekunden Sachverhalte eingeordnet werden müssten (IP9). Die Schwierigkeit immer schneller zu werden, trotzdem sorgfältig zu arbeiten und sich mit Qualität gegen Laien durchzusetzen, die schneller, aber oft nicht verifizierte Informationen verbreiten, sieht IP9 auch in Zukunft als große Herausforderung an.

Auf der Grundlage der Interviewdaten kann konstatiert werden, dass die Bemühung um Glaubwürdigkeit für die Journalisten ein übergeordnetes, äußerst wichtiges Ziel ist, sowohl im Hinblick auf das journalistische Geschäftsmodell als auch bezüglich der demokratischen Funktion. Die Interviewten gestehen ihr eine entscheidende und übergeordnete Rolle zu (IP2,5,6,10). Als „Daseinsgrundlage“ (IP6) tituliert sie ein Journalist, ein weiterer nennt sie die „zentrale Herausforderung“ (IP8), ein dritter die „wichtigste Komponente (...), wenn man auch weiterhin Wertschätzung für seine Arbeit bekommen will“ (IP7). Erst durch Glaubwürdigkeit werde Journalismus ermöglicht (IP1). Von ihr hänge das journalistische Ansehen ab, insbesondere Nachrichten seien Vertrauenssache (IP4). Glaubwürdigkeit wird zudem als die „Geschäftsgrundlage“ (IP7) der Medien bezeichnet. Nur wenn die Nutzer Journalisten zugestehen würden, dass diese seriös recherchierten und einordneten, würden Medienprodukte gekauft (IP6). Werde die Glaubwürdigkeit hingegen infrage gestellt, könne die Informations- sowie Kontrollfunktion und somit die demokratische Aufgabe des Journalismus nicht erfüllt werden (IP5). Manche Experten sehen für den Journalismus ohne Glaubwürdigkeit keine Zukunft: IP7 zufolge werden nur glaubwürdige Medienmarken überleben, denn „je umkämpfter und je schwieriger der Medienmarkt wird, desto wichtiger

wird Glaubwürdigkeit“ (IP7). Wenn das Publikum keinen Unterschied zwischen der Berichterstattung von Profis und Laien wahrnehme, sei dies das Ende des klassischen Journalismus, beschreibt auch IP6. Die Glaubwürdigkeit müsse durch konstante Bemühungen im Alltag aufrechterhalten werden, ist IP10 überzeugt. Ihre Bedeutung hat nach Ansicht von IP8 in der täglichen journalistischen Arbeit vor dem Hintergrund aktueller Anschuldigungen noch zugenommen.

„(...) wir wollen uns das auch einfach nicht gefallen lassen, viele Dinge, die einem da so unterstellt werden, sondern man kann auch sehr gut argumentieren, dass manche der Vorurteile oder auch der Kampagnen, die sozusagen von interessierten Kreisen gefahren werden, schlichtweg falsch sind. Das heißt aber auch, dass man natürlich in der täglichen Arbeit diesem Anspruch dann gerecht werden muss, also der Auftrag und die Bedeutung der Glaubwürdigkeit haben zugenommen in dem Sinne, als dass wir uns vielleicht noch mehr als früher hinterfragen, werden wir dem auch gerecht?“ (IP8)

Wie sich das Bemühen um Glaubwürdigkeit konkret in der täglichen Arbeit äußert, beschreiben die interviewten Journalisten allerdings selten. Ein Grund kann sein, dass Glaubwürdigkeit in der täglichen journalistischen Arbeit nicht ständig im Fokus liegt sondern vielmehr in journalistischen Routinen eingebettet ist, wie auch ein Experte erklärt. Er empfindet Glaubwürdigkeit als abstraktes Gebilde im Hintergrund, über das zwar selten gesprochen werde, nach dem Journalisten ihre Arbeit aber hinterfragten. Glaubwürdigkeit verbindet der Interviewpartner mit der Einhaltung journalistischer Qualitätsstandards. Daher sei das Bestreben glaubwürdig zu sein, im journalistischen Handwerk verankert und somit ein Teil täglicher Routine (IP3).

Faktoren für Glaubwürdigkeit

Glaubwürdigkeit beschreiben die Experten als „etwas sehr, sehr Subjektives“ (IP10) und „nicht so einfach zu fassen“ (IP6). Sie versuchen sich der Wortbedeutung auf verschiedenen Wegen zu nähern, entweder über den Begriff selbst, über wichtige dazugehörige Faktoren oder über verwandte Begriffe. So nehmen einige Journalisten das Wort auseinander und beschreiben, jemand sei würdig, dass man ihm glaubt, weil er die Absicht habe, wahrhaftig zu sein bzw. den Nutzer, der nicht alles prüfen könne, nicht betrügen wolle (IP1,2,10). Sie sind demnach der Meinung, dass der Journalist selbst Voraussetzungen mitbringen müsse, um glaubwürdig zu sein. Ein Fernsehjournalist ist der Ansicht, Glaubwürdigkeit ergebe sich insbesondere aus einer qualitativ hochwertigen, seriösen Arbeits-

weise in der Vergangenheit. In seiner Definition hängt Glaubwürdigkeit stark mit dem Image einer Marke zusammen:

„(...) ,wenn ich irgendwo hinkomme, mit meinem blauen ARD-Mikro in der Hand, habe ich manchmal das Gefühl, dass die Leute mir immer noch einen Vertrauensvorschuss geben und sagen: ‚Ja, wären Sie jetzt von (nennt anderes Medium), dann würde ich nicht mit Ihnen reden, aber Ihnen glaube ich noch.‘“ (IP5)

Mehrere interviewte Journalisten definieren ihre Sicht des Begriffs Glaubwürdigkeit über Faktoren. Die Untersuchung kann die in der Theorie herausgearbeiteten Dimensionen der Glaubwürdigkeit bestätigen, ein Kriterium widerlegen und weitere ergänzen. Ein besonders relevanter Glaubwürdigkeitsfaktor ist aus der Sicht der Experten die Transparenz bezüglich Fehlern, Recherchewegen, Interessenskonflikten, Quellen, Wissenslücken und hinsichtlich der journalistischen Arbeit generell. Zudem werden die Richtigkeit von Fakten durch sorgfältige Recherche und Kontrolle, die Trennung von Nachricht und Meinung, eine unabhängige Positionierung und größtmögliche Objektivität bzw. Ergebnisoffenheit herausgestellt. Es kommt die Nähe zum Publikum zur Sprache, das Image des Mediums und die Fachkenntnis des Journalisten. Die Präsentation eines journalistischen Produkts wird vor allem von Rundfunkjournalisten, aber auch von Online-Journalisten als relevant wahrgenommen. Die von den Journalisten artikulierten Kriterien stimmen zu großen Teilen mit journalistischen Qualitätskriterien (Meier 2013: 236 f.) überein und zeigen somit den engen Zusammenhang, der aus Sicht der Experten zwischen journalistischer Qualität und Glaubwürdigkeit besteht. Die Ergebnisse bestätigen in Teilen theoretische Erkenntnisse bezüglich wichtiger Faktoren von Glaubwürdigkeit. Während die Experten Vollständigkeit, die etwa von Appelman und Sundar (2016: 74) als Glaubwürdigkeitsmerkmal beschrieben wird, nicht zwingend als sinnvolles Kriterium für Glaubwürdigkeit ansehen bzw. andere Merkmale vorziehen würden, nennen sie unter anderem Indikatoren als glaubwürdigkeitsfördernd, die der Theorie zufolge der Kompetenz, Vertrauenswürdigkeit, Objektivität oder Dynamik untergeordnet werden können.

Über die theoretisch erarbeiteten Faktoren hinaus konnten durch die offene Gesprächssituation weitere

Kriterien aufgezeigt werden, die Glaubwürdigkeit aus Sicht der Journalisten ausmachen. Sie sprechen neben größtmöglicher Objektivität auch dem gegenteiligen, nämlich absoluter Subjektivität, zu, glaubwürdigkeitsfördernd zu sein. Objektivität sehen die meisten Journalisten als relevanten Faktor an, wenn es um die Herstellung von Glaubwürdigkeit geht (IP3,4,7,8,9,10). Das Ideal zu erreichen, nennen viele Experten zwar unmöglich, da Objektivität schon durch die Selektion und die eigene Wahrnehmung von Journalisten nicht mehr gewährleistet sei; dennoch ist die Mehrheit überzeugt, es müsse zumindest versucht werden, sich der Objektivität zu nähern (IP1,3,5,6,7,10). Dazu beitragen kann laut IP10, dass der Journalist sich immer wieder selbst hinterfragt, wie er zu einem Thema steht. Ein Rundfunk- und zwei Onlinejournalisten erklären, Objektivität bzw. Neutralität könnten zwar glaubwürdigkeitsfördernd sein, aber auch ihr Gegenteil, absolute Subjektivität. Allerdings müsse diese dann wiederum transparent gemacht werden (IP1, 8,10).

„Es gibt (...) Situationen, wo ich jemanden glaubwürdiger finde, wenn er eigene Erfahrungen einbringt. Das kommt einfach auf das Thema drauf an. Also ein Journalist, der z. B. einen Artikel über Erziehung schreibt und dabei einfließen lässt, dass er selbst ein Kind hat. Und das zum Beispiel szenisch klar macht und in dem Artikel aber trotzdem Experten drin hat. Das (...) empfinde ich als Leser, wenn ich mich darein versetzte, als glaubwürdiger, weil ich da davon ausgehe, dass er auch weiß, wovon er spricht.“ (IP1)

Zudem nennen sie Überraschung mithilfe interessanter neuer Fakten, das Ablegen eines journalistischen Alleinvertretungsanspruchs sowie eine fehlerfreie Orthografie und Grammatik. Letztgenannter Faktor findet sich zum Teil in den Kriterien von Kuhnhehn wieder, die syntaktisch-grammatikalische Merkmale als bedeutend für die Verständlichkeit und damit die Glaubwürdigkeit von Aussagen aufzeigt. Die folgende Abbildung stellt die in den Experteninterviews genannten Glaubwürdigkeitsfaktoren dar. Da Vollständigkeit als Glaubwürdigkeitsfaktor unter den Experten umstritten ist, die Interviewpartner ihr tendenziell eine untergeordnete Bedeutung zuordnen und sie zum Teil sogar als nicht sinnvoll bezeichnen, ist dieser Faktor nicht im Schaubild verzeichnet.



Abbildung 3: Subjektive Glaubwürdigkeitsfaktoren von Journalisten

Quelle: eigene Darstellung

Die besondere Bedeutung, die Journalisten der Transparenz zugestehen, etwa auch bezogen auf journalistische Qualitätsmerkmale, wie Unabhängigkeit oder sorgfältige Recherche, ist überzeugend, da Rezipienten Qualitätskriterien als solche zunächst erkennen müssen, um in einem zweiten Schritt Glaubwürdigkeit attestieren zu können. Es lässt sich daraus schließen, dass der Transparenz als Glaubwürdigkeitskriterium ein höherer Stellenwert zuzuordnen ist, als es bisher theoretisch geschieht. Insbesondere in der schnelllebigen, digitalisierten Welt scheint Transparenz als Qualitäts- und Glaubwürdigkeitskriterium an Bedeutung zu gewinnen, worauf auch ein Experiment von Meier und Reimer hindeutet (Meier & Reimer 2011: 133 ff.). Fraglich bleibt, ob Nutzer journalistische Qualitätskriterien wie etwa die Richtigkeit von Fakten durch sorgfältige Recherche und Prüfung überhaupt erkennen können, wenn sie im Beitrag selbst nicht offengelegt werden, und ob sie sie heranziehen, um die Glaubwürdigkeit eines journalistischen Beitrags einzuschätzen, oder ob sie lediglich für Journalisten wichtige Glaubwürdigkeitsmerkmale darstellen. Auch ist ungewiss, ob Nutzer unter abstrakten Qualitätskriterien dasselbe verstehen. Besonders hervorzuheben ist vor diesem Hintergrund, dass Experten teils hinsichtlich der Frage, ob Objektivität ein wichtiges Glaubwürdigkeitskriterium sei, zwischen Nutzern und Journalisten unterscheiden. Für Journalisten sei es entscheidend, Nutzer forderten es zwar ein, meinten damit aber etwas anderes. Für sie sei, so nehmen manche Experten (IP9, IP10) an, das objektiv, was ihre Meinung bestätige.

„Also, wenn (...) jemand von den Lesern Objektivität von mir einfordert, dann meint er meist, dass meine Meinung nicht mit seiner zusammenfällt oder die Meinung, die er mir unterstellt, ist nicht seine. Und da merkt man auch schon, dass man da, glaube ich, teilweise auf Leser- und auf Journalistenebene aneinander vorbeiredet (...).“
(IP10)

Diese These deutet daraufhin, dass Nutzer und Journalisten zwar denselben Faktor, etwa Objektivität, als Dimension von Glaubwürdigkeit herausstellen, aber dennoch ein Kommunikationsproblem entstehen kann, weil sie abstrakte Begriffe auf verschiedene Art verstehen. Die Erkenntnis, dass häufig kein einheitliches bzw. trennscharfes Verständnis abstrakter Begriffe wie Objektivität, Neutralität etc. existiert, bestätigt sich in der Analyse wiederholt. Die Journalisten definieren diese in den Gesprächen teilweise noch einmal für sich und erklären, dass Begriffe nicht gleich verstanden werden müssen.

Ursachen für den Glaubwürdigkeitsverlust

In der vorliegenden Untersuchung konnten durch die qualitativen Interviews zudem Ursachen für eine hohe Medienskepsis identifiziert werden. Die interviewten Journalisten nehmen sowohl journalistische als auch vom Journalismus unabhängige Gründe wahr, die zu einer mangelnden Glaubwürdigkeit führen können. Die journalistische Arbeit wird aber überwiegend als nicht schlechter empfunden als früher, teils sogar als besser, weshalb der derzeitigen angenommenen Glaubwürdigkeitsverlust einigen Experten zufolge nur schwer journalistischen Fehl-

lern zugeordnet werden kann. Diese These ist vor dem Hintergrund der theoretisch erarbeiteten Erkenntnis, hohe Medienskepsis gebe es schon lange, allerdings kritisch zu betrachten.

Als vom Journalismus unabhängige Faktoren, die eine hohe Medienskepsis begründen, werden die neue Informationsvielfalt im Internet, eine zugenommene generelle bzw. übertriebene Skepsis des Publikums, fehlende Kenntnis journalistischer Arbeit sowie Propaganda, vor allem auf politischer Ebene, genannt. Ähnliche Ursachen wurden in der Theorie bereits herausgestellt. Es wird von den Experten unter anderem das Phänomen der Echokammern bzw. Filterblasen im Internet als Glaubwürdigkeitsproblem für etablierte Medien beschrieben. Das deckt sich mit der Feststellung von Jakob (2012: 275 f.), die Nutzung von alternativen Medien und Internetmedien korreliere negativ mit dem Medienvertrauen. Die Annahme der Journalisten, die übermäßige Skepsis des Publikums trage zu einem Glaubwürdigkeitsverlust bei, kann im Sinne attributionstheoretischer Ansätze als Externalisierung interpretiert werden. Dass Fake News bzw. Meinungsmache Medienskepsis begünstigen, glaubt die Hälfte der interviewten Journalisten. Zudem werden die in der Theorie herausgestellten Erkenntnisse, fehlende Medienbildung führe zu hoher Medienskepsis und Rezipienten könnten zwischen journalistischen und nicht-journalistischen Informationen häufig nicht unterscheiden (Donsbach et al. 2009: 132), auch von einigen Journalisten angesprochen. Die Experten sind sich allerdings nicht einig, ob Nutzer wirklich nicht zwischen journalistischen und nicht-journalistischen Beiträgen unterscheiden können oder ob diese Entscheidung für sie nicht mehr relevant ist. Würde letztere Annahme zutreffen, könnte das bedeuten, dass der Journalismus in seiner Funktion als Vermittler von glaubwürdigen Informationen an Relevanz verloren hat.

Die Journalisten vertreten außerdem die Ansicht, eine konfliktäre Vorstellung bzw. Meinung des Nutzers hinsichtlich der Berichterstattung könne als Ursache für mangelnde Glaubwürdigkeit der Medien gelten. Keplingers These (2017: 40), die von den Medien und der Mehrheit der Bevölkerung unterschiedlich wahrgenommene Realität liege unter anderem im verschiedenen politischen Denken von Nutzern und Journalisten begründet, wird von diesem Ergebnis bestätigt. Demnach könnte die in der Theorie als Dimension der Glaubwürdigkeit herausgestellte Ähnlichkeit einen wichtigeren Stellenwert einnehmen als ihr bisher zugestanden wird. Darüber hinaus nennen die Experten Verständnisprobleme durch gewachsene Komplexität als Ursache für Medienskepsis. Damit stimmen sie mit dem Ergebnis von Schultz et al. überein, nach dem die Mehrheit der Rezipienten äußerten, Verzerrung komme dadurch zustande, dass die Welt zu komplex sei (Schulz et al. 2017: 254). Jeweils ein Journalist nennt gleichförmiger werdende politische Debatten, Qualitätsprobleme infolge von Einsparungen und eine nicht umfassende Wahrnehmung journalisti-

scher Produkte. Auch wurde die leichter zu äüßern- de, sichtbarere Kritik als problematisch hinsichtlich der Glaubwürdigkeit eingeschätzt, da sich dadurch ein Nachahmer-Effekt ergeben und sie zumindest den Eindruck verstärken könne, die Medienskepsis habe insgesamt zugenommen.

Die Trennung in journalistische und vom Journalismus unabhängige Gründe für die hohe Medienskepsis, die in dieser Untersuchung herausgearbeitet und in den Interviews sowie der Auswertung beibehalten wurde, ermöglichte es, zu erkennen, dass die Rezipienten Gründe für mangelnde Glaubwürdigkeit häufig der Berichterstattung zuordnen, Journalisten sie teilweise aber vielmehr in vom Journalismus unabhängigen Ursachen begründet sehen. So äußern die Medienmacher wiederholt, dass die oben genannten, vom Journalismus unabhängigen Gründe zum Eindruck der Nutzer beitragen können, die Berichterstattung sei abhängig und verzerrt. Das trifft aus ihrer Sicht zum Beispiel dann zu, wenn Nutzer sich im Internet so einseitig informieren, dass die von ihnen wahrgenommene Realität nicht mit der Medienrealität übereinstimmt. Allerdings äußern die Interviewpartner auch journalistische Fehler, die zu einer mangelnden Glaubwürdigkeit beigetragen haben können. Während sie politische und wirtschaftliche Abhängigkeiten schwach ausgeprägt sehen und vielmehr eine übertriebene Skepsis der Nutzer oder die wahrgenommene Nähe der Journalisten zur Politik diesbezüglich für mangelnde Glaubwürdigkeit verantwortlich machen, stimmen sie einer Tendenz zur Vermischung von neutralen und wertenden Aussagen in Beiträgen mehrheitlich zu. Durch die starke Gewichtung einiger Themen, die Zitation gleicher Experten, zu wenig Mut zu abweichenden Meinungen und die einheitliche journalistische Sozialisation kann es zudem zu einer fehlenden Ausgewogenheit in der Berichterstattung kommen. Diese nehmen die Experten besonders hinsichtlich bestimmter politischer Themen wahr. Dem fehlenden Diskurs, den Haller in der Inhaltsanalyse zur Berichterstattung in der Flüchtlingskrise herausstellt, stimmen die Journalisten ebenfalls mehrheitlich zu.

Als weiteren Grund nennen die Interviewpartner die fehlende Nähe zum Publikum. Sie führen Fehler auf die ähnliche Ausbildung, einen ähnlichen Wohnort und sozialen Status von Journalisten zurück sowie auf eine journalistisch-politische Elitenblase. Mehrere Experten kommen darüber hinaus auf eine fehlende sorgfältige Recherche aufgrund zunehmenden zeitlichen und wirtschaftlichen Drucks sowie auf das Problem zu sprechen, andere Medien zu zitieren, ohne nachzurecherchieren. Beide zuletzt genannten Gründe werden auch von Rezipienten als Ursachen für Verzerrung angesehen (Schultz et al. 2017: 254). Generell kann konstatiert werden, dass die verschiedenen von den Experten genannten Gründe für hohe Medienskepsis häufig eng zusammenhängen. Abbildung 6 zeigt die herausgestellten Gründe sowie Faktoren, in denen deren Ursachen gesehen werden. Die Pfeile im Bild verdeutlichen, dass die in der

Theorie als journalismusspezifisch herausgestellten Gründe für die hohe Medienskepsis aus journalistischer Perspektive betrachtet zum Teil auch auf Ur-

sachen, die vom Journalismus unabhängig sind, zurückgeführt werden.

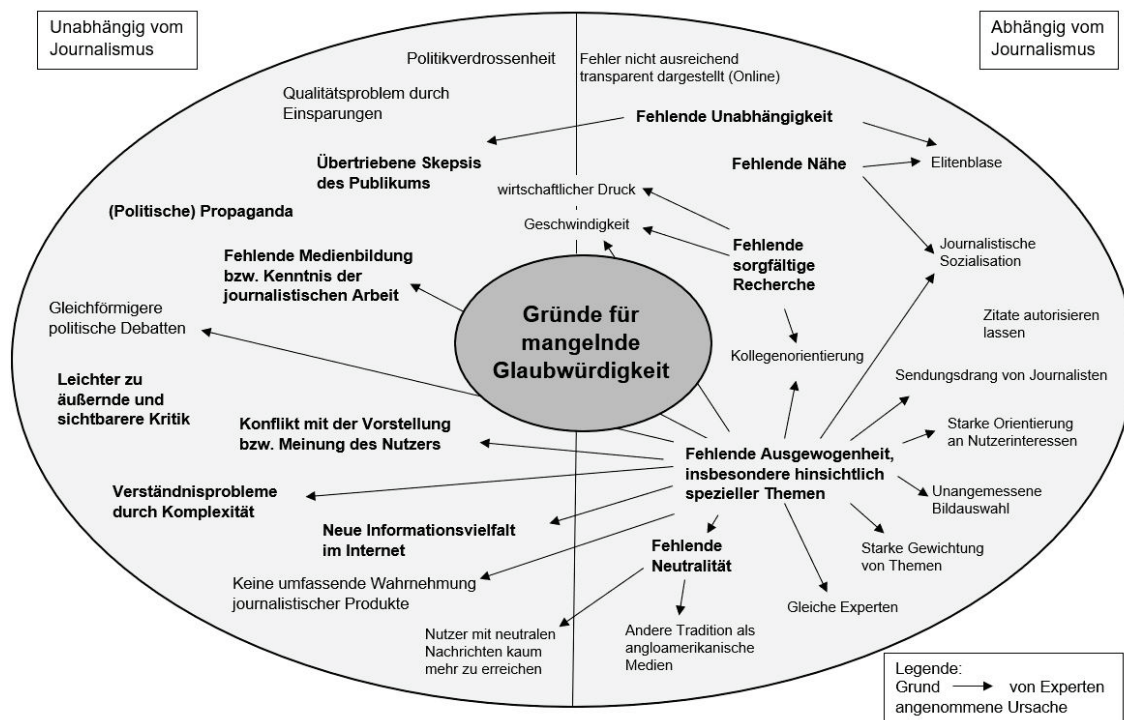


Abbildung 4: Gründe für den Glaubwürdigkeitsverlust

Quelle: eigene Darstellung

6. Zusammenfassung und Diskussion

Die vorliegende Untersuchung beschäftigte sich mit subjektiven Glaubwürdigkeitsauffassungen von Journalisten. Damit wird die in der Kommunikationswissenschaft übliche Sichtweise von Rezipienten zur Attribuierung von Glaubwürdigkeit um die Perspektive der Medienmacher ergänzt. Die Untersuchung leistet somit einen Beitrag, das Konstrukt Glaubwürdigkeit besser zu verstehen und liefert neue Erkenntnisse für die kommunikationswissenschaftliche Forschung und journalistische Praxis. Auf der Basis der qualitativen Leitfadenterviews kann gezeigt werden, dass Glaubwürdigkeit eine herausgehobene Relevanz hat, sie wird neben Geschwindigkeit und Komplexität sowie Erreichbarkeit des Publikums, die alle drei eng mit Glaubwürdigkeit zusammenhängen, als eine der größten Herausforderungen beschrieben. Aus der subjektiven Sicht der interviewten Journalisten werden unter anderem folgende Faktoren journalistischer Glaubwürdigkeit thematisiert: Besonderen Wert legen die Experten auf Transparenz, aber auch auf die Trennung von Nachricht und Meinung, Unabhängigkeit, Richtigkeit von Fakten durch sorgfältige Recherche und Prüfung sowie Ergebnisoffenheit, Objektivität resp. Ausgewogenheit. Somit bestätigen sie zu großen

Teilen journalistische Qualitätskriterien als relevant für die Glaubwürdigkeit. Darüber hinaus sehen sie aber auch weitere, in der Theorie bislang nicht beachtete Faktoren, wie etwa Subjektivität, als glaubwürdigkeitsfördernd an. In den letzten Jahren kann zudem vor allem hinsichtlich spezieller Ereignisse eine Entfremdung von Teilen der Bevölkerung von den Medien festgestellt werden. Auch zu den Ursachen dieses Glaubwürdigkeitsverlustes äußern sich die interviewten Journalisten und identifizieren sowohl journalistische Defizite als auch vom Journalismus unabhängige Faktoren. Sie stellen unter anderem die neue Informationsvielfalt im Internet, einen Konflikt mit Meinungen der Nutzer und eine übertriebene Skepsis des Publikums als mögliche Gründe für mangelnde Glaubwürdigkeit heraus. Daneben nennen sie aber auch eigene Fehler, etwa fehlende Nähe zum Publikum oder einen fehlenden Diskurs in der Berichterstattung. Zudem zeigt diese Arbeit Zusammenhänge zwischen den genannten Ursachen für hohe Medienskepsis auf und stellt Maßnahmen vor, mit denen Journalisten versuchen, ihre Glaubwürdigkeit zu wahren.

Literatur

- [1] Appelman, A./Sundar, S. S. (2016), Measuring Message Credibility: Construction and Validation of an Exclusive Scale, *Journalism & Mass Communication Quarterly*, 95 Jg., Nr. 1, S. 59-79.
- [2] Bentele, G. (2008), Objektivität und Glaubwürdigkeit: Medienrealität rekonstruiert. In: Wehmeier, S./Nothhaft, H./Seidenglanz, R. (Hrsg.), *Verlag für Sozialwissenschaften*, 1. Auflage, Wiesbaden, S. 63-332.
- [3] Bentele, G. (2013), Glaubwürdigkeit. In: Bentele et al. (Hrsg.), *Lexikon Kommunikations- und Medienwissenschaften*, 2. Auflage, Springer Fachmedien, Wiesbaden, S. 109-110.
- [4] Dernbach, B. (2005), Was schwarz auf weiß gedruckt ist... Vertrauen in Journalismus, Medien und Journalisten. In: Dernbach, B./Meyer, M. (Hrsg.), *Vertrauen und Glaubwürdigkeit, Interdisziplinäre Perspektiven*, 1. Auflage, VS Verlag für Sozialwissenschaften, Wiesbaden, S. 135-154.
- [5] Donsbach, W./Rentsch, M./Schielicke, A.-M./Degen, S. (2009) Entzauberung eines Berufs. Was die Deutschen vom Journalismus erwarten und wie sie enttäuscht werden. In: Institut zur Förderung publizistischen Nachwuchses (Hrsg.), *UVK Verlagsgesellschaft, Konstanz*.
- [6] Fletcher, R./Radcliffe, D./Levy, D. A./Nielsen R. K./Newman, N. (2015), *Reuters Institute Digital News Report 2015. Supplementary Report*.
- [7] Gläser, J./Laudel, G. (2010), *Experteninterviews und qualitative Inhaltsanalyse*, 4. Auflage, VS Verlag für Sozialwissenschaften/Springer Fachmedien, Wiesbaden.
- [8] Haller, M. (2017), Die „Flüchtlingskrise“ in den Medien. Tagesaktueller Journalismus zwischen Meinung und Information. In: Otto Brenner Stiftung (Hrsg.). *Frankfurt*.
- [9] Helfferich, C. (2009), *Die Qualität qualitativer Daten. Manual für die Durchführung qualitativer Interviews*, 3. Auflage, VS Verlag für Sozialwissenschaften, Wiesbaden.
- [10] Helfferich, C. (2014), Leitfaden- und Experteninterviews. In: Baur, N./Blasius, J. (Hrsg.), *Handbuch Methoden der empirischen Sozialforschung*, Springer Fachmedien, Wiesbaden, S. 559-574.
- [11] Jakob, N. (2012), Gesehen, gelesen – geglaubt? Warum die Medien nicht die Wirklichkeit abbilden und die Menschen ihnen dennoch vertrauen, *Olzog Verlag, München*.
- [12] Jakob, N./Quiring, O./Schemer, C. (2017), Wölfe im Schafspelz? Warum manche Menschen denken, dass man Journalisten nicht vertrauen darf – und was das mit Verschwörungstheorien zu tun hat. In: Renner, K. N./Schultz, T./Wilke, J. (Hrsg.), *Journalismus zwischen Autonomie und Nutzwert*, Herbert von Halem Verlag, Köln, S. 225-249.
- [13] Kepplinger H. M. (2017): Totschweigen und Skandalisieren. Was Journalisten über ihre eigenen Fehler denken, *Herbert von Halem Verlag, Köln*.
- [14] Köcher, R. (2015), *Vertrauen und Skepsis – Bürger und Medien. Eine Dokumentation des Beitrags von Prof. Dr. Renate Köcher in der Frankfurter Allgemeinen Zeitung*.
- [15] Köhnken, G. (1990), *Glaubwürdigkeit. Untersuchungen zu einem psychologischen Konstrukt*. In: Frey, D., Greif, S./Lantermann, E. D./Silbereisen, R. K./Weidenmann, B. (Hrsg.), *Fortschritte der psychologischen Forschung*, 5. Psychologie Verlags Union. München.
- [16] Kuckartz, U. (2016), *Qualitative Inhaltsanalyse. Methoden, Praxis, Computerunterstützung*, 3. Auflage, Beltz Juventa, Weinheim und Basel.
- [17] Kuhnhehn, M. (2014), *Glaubwürdigkeit in der politischen Kommunikation. Gesprächsstile und ihre Rezeption*, UVK Verlagsgesellschaft, Konstanz und München.
- [18] Meier, K./Reimer, J. (2011), *Transparenz im Journalismus. Instrumente, Konfliktpotenziale, Wirkung*, *Publizistik*, 56. Jg., Nr. 2, S. 133-155.
- [19] Mayring, P. (2015), *Qualitative Inhaltsanalyse. Grundlagen und Techniken*, 12. Auflage, Beltz Verlag, Weinheim und Basel.
- [20] Mey, G./Mruck, K. (2010), *Interviews*. In: Mey, G./Mruck, K. (Hrsg.): *Handbuch Qualitative Forschung in der Psychologie*, VS Verlag für Sozialwissenschaften, Wiesbaden, S.423-425.
- [21] Möllering, G./Sydow, J. (2005), *Kollektiv, kooperativ, reflexiv: Vertrauen und Glaubwürdigkeit in Unternehmungen und Unternehmungsnetzwerken*. In: Dernbach, B./Meyer, M. (Hrsg.), *Vertrauen und Glaubwürdigkeit. Interdisziplinäre Perspektiven*, VS Verlag für Sozialwissenschaften, Wiesbaden, S. 64-93.
- [22] Nawratil, U. (1997), *Glaubwürdigkeit in der sozialen Kommunikation*, Diss., *Studien zur Kommunikationswissenschaft*, Band 29, Westdeutscher Verlag, Opladen.
- [23] Nawratil, U. (1999), *Glaubwürdigkeit als Faktor im Prozess medialer Kommunikation*. In: Rössler, P./Wirth, W. (Hrsg.), *Glaubwürdigkeit im Internet. Fragestellungen, Modelle, empirische Befunde*, Verlag Reinhard Fischer, München, S.15-31.
- [24] Newman, N./Fletcher, R./Levy D. A. L./Nielsen R. K. (2016), *Reuters Institute Digital News Report 2016*.
- [25] Reinemann, C./Fawzi, N./Obermaier, M. (2017), Die „Vertrauenskrise“ der Medien – Fakt oder Fiktion? Zu Entwicklung, Stand und Ursachen des Medienvertrauens in Deutschland. In: Lilienthal, V./Neverla, I. (Hrsg.), *„Lügenpresse“*. Anatomie eines politischen Kampfbegriffs, 1. Auflage, Kiepenheuer & Witsch, Köln, S. 77-94.
- [26] Ruß-Mohl, S. (2017), *Auf dem Weg in die Desinformationsökonomie? Ein (verhaltens-)ökonomischer Blick auf den Glaubwürdigkeitsverlust des Journalismus*. In: Renner, K. N./Schultz, T./Wilke, J. (Hrsg.), *Journalismus zwischen Autonomie und Nutzwert*, Herbert von Halem Verlag, Köln, S. 185-211.

- [27] Self, C. C. (2009), Credibility. In: Stacks, D. W./Salwen, M. B. (Hrsg.), *An Integrated Approach to Communication Theory and Research*, 2. Auflage, Taylor & Francis, New York, Oxon, S. 435-456.
- [28] Schultz, T./Jacob, N./Ziegele, M./Quiring, O./Schemer, C. (2017), Erosion des Vertrauens zwischen Medien und Publikum. Ergebnisse einer repräsentativen Bevölkerungsumfrage, *Media Perspektiven*, Nr. 5, S. 246-259.
- [29] Schweiger, W. (1999), Medienglaubwürdigkeit – Nutzungserfahrung oder Medienimage? Eine Befragung zur Glaubwürdigkeit des World Wide Web im Vergleich mit anderen Medien. In: Rössler, P./Wirth, W. (Hrsg.), *Glaubwürdigkeit im Internet. Fragestellungen, Modelle, empirische Befunde*, Verlag Reinhard Fischer, München, S. 89-110.
- [30] Weischenberg, S. (2018), *Medienkrise und Medienkrieg. Brauchen wir überhaupt noch Journalismus?* Springer, Wiesbaden.
- [31] Wirth, W. (1999), Methodologische und konzeptionelle Aspekte der Glaubwürdigkeitsforschung. In: Rössler, P./Wirth, W. (Hrsg.), *Glaubwürdigkeit im Internet. Fragestellungen, Modelle, empirische Befunde*, Verlag Reinhard Fischer, München, S. 47-66.

ENTWICKLUNG EINES CROSSMEDIALEN WISSENSMANAGEMENTSMODELLS FÜR DIE BÜRGERBETEILIGUNG AUF KOMMUNALER EBENE

Christopher M. Brinkmann

Hochschule Mittweida, Technikumplatz 17, D-09648 Mittweida

Das Ziel von Open Government ist die Öffnung der administrativen und politischen Prozesse von Verwaltungen und Regierungen gegenüber der Bürgerschaft, eine breitere Beteiligung dieser und eine durch die Zusammenarbeit mehrerer Akteure aus verschiedenen Bereichen gestärkte gesellschaftliche Innovationskraft. Für Sachsen bestimmt die Digitalisierungsstrategie des Freistaates den Weg zu einem solchen Open Government. Mit der Öffnung und dem Willen zur Teilhabe ist ein hoher Wissenstransfer zwischen Verwaltungen, Regierungen und anderen gesellschaftlichen Akteuren zu vermuten. Gerade auf kommunaler Ebene, als meist kleinste strukturelle und politische Organisationseinheit, auf der Bürgerbeteiligung ihren Ursprung findet, wird ein solcher Wissensaustausch zwischen den lokalen Akteuren eine hohe Quantität aufweisen. Es bedarf hier der Prozesse, die die Strukturierung und nachhaltige Aufbereitung des Wissensflusses ermöglichen. Anhand einer Feldforschung im Raum Mittweida sollen daher Ansatzpunkte für ein crossmediales und lokal aktives Gesellschafts-Wissensmanagement entwickelt werden.

1. Gesellschaftliche Relevanz

Unter dem Schlagwort Open Government fordern Zukunfts- und Entwicklungsleitfäden, wie die Digitalisierungsstrategie des Freistaates Sachsen, eine Öffnung der Regierung und Verwaltung gegenüber der Bürgerschaft. Durch mehr Transparenz soll die Bürgerbeteiligung an politischen Entscheidungen und die Teilhabe der Bürgerinnen und Bürger an gesellschaftlichen Gestaltungsprozessen gefördert werden. Dies sind notwendige Wandlungsprozesse, um in Zeiten der Digitalisierung das Vertrauen der Bürgerschaft in die politische Ebene und den gesamtgesellschaftlichen Zusammenhalt zu stärken. Durch die heutige Ubiquität der Medien können ortsunabhängig die neusten Informationen abrufen werden. Damit erodiert zunehmend das Hoheitswissen. Bürgerinnen und Bürger fühlen sich gut informiert und fordern außerhalb von Wahlen Gehör zu finden und mehr Möglichkeiten zur informellen Beteiligung an politischen Entscheidungsfindungen. Die kommunale Ebene scheint dabei, als meist kleinste politische Organisationseinheit, besonders von diesem Wandlungsprozess betroffen zu sein. Durch den räumlich nahen Bezug der Akteure sowie die vor Ort getroffenen und direkt wirkenden Entscheidungen ist der Kontakt zwischen kommunalen Verwaltungen, politischer Ebene und Bürgerschaft eng. Bürgerbeteiligung nimmt so auf kommunaler Ebene seinen Ursprung. Mit der Öffnung der Stadtverwaltungen und der politischen Ebene gegenüber der Bürgerschaft und dem Einbeziehen verschiedener gesellschaftlicher Akteure in kommunale Entscheidungsprozesse gehen nun auch ein hoher Wissenstransfer und hohe Innovationskraft einher. In einer dialogisch geprägten Bürgerbeteiligung werden stetig Ideen, Konzepte und Informationen zwischen den beteiligten Akteuren ausgetauscht. Diesem, durch die Digitalisierung geprägten, Prozess eine nachhaltige Struktur zu geben und kommunales Wissen nutzbar zu machen, ist der Ausgangspunkt der hier beschriebenen Arbeit. Ziel ist es, ein Wissensmanagementmodell für die kommunale Bürgerbeteiligung zu entwickeln und damit einen Beitrag zur Demokratieförderung zu leisten. Dabei stützt sich die Arbeit auf das in der Wirtschaft etablierte SECI-

Modell nach Nonaka und Takeuchi, das weiterführende Ba-Konzept sowie der Betrachtung einer Wissensvision und Wissensgüter einer Organisation und entwickelt diese Theorie im Rahmen einer Feldforschung im Raum Mittweida für die kommunale Ebene weiter. Datengrundlage für diesen Entwicklungsschritt bilden qualitative, leitfadengestützte Interviews in den politischen, sozialen und medialen Akteursnetzwerken des genannten Forschungsumfeldes. In dem vorliegenden Paper findet zunächst eine theoretische Einführung in das zugrundeliegende Verständnis von Wissen, der Wissensspirale (SECI-Modell) und der Rahmenbedingungen für eine kollaborative Wissensschaffung statt. Anschließend wird mit aktuellen Erkenntnissen aus den bisher geführten Interviews der erste Entwicklungsversuch für ein kommunales Wissensmanagement-Modell unternommen.

2. Verständnis über Wissen

Von dem Chemiker und späteren Philosophen Michael Polanyi kennen wir die Aussage, „daß wir mehr wissen, als wir zu sagen wissen“ (Polanyi, S. 14). Polanyi beschreibt damit ein implizites Wissen - ein Erfahrungswissen oder Könnerschaft - das an ein Individuum und sein Handeln gebunden ist. Ausgehend davon entwickelte sich die Einsicht, dass Wissen in einen expliziten und in einen impliziten Teil zu gliedern ist. Das explizite Wissen ist leicht verbalisierbar und damit schnell zugänglich. Es kann verschriftlicht und so an andere Personen in Dokumenten oder anderen Formen weitergegeben werden. Das implizite Wissen hingegen ist schwerer zugänglich. Es ist das persönliche Erfahrungswissen und damit schwer zu verbalisieren oder formalisierbar. Durch sein kreatives, an ein Individuum gebundenes Potential gilt das implizite Wissen allerdings auch als Ausgangspunkt für Innovationen in einem Wissensschaffungsprozess (vgl. Nonaka / Takeuchi, S. 21 ff.). So ist das implizite Wissen eines Mitarbeiters für ein Unternehmen eine zentrale Produktionsressource, die für einen Innovationsprozess im Unternehmen nutzbar gemacht und nach Möglichkeit auch nach dem Ausscheiden des jeweiligen Mitarbeiters im Unternehmen gehalten werden soll.

3. SECI-Modell und Wissensschaffung

In ihrem Buch „Die Organisation des Wissens“ nehmen die japanischen Forscher Ikujiro Nonaka und Hirotaka Takeuchi Bezug auf Polanyi und machen die Unterteilung in explizites und implizites Wissen zur Grundlage ihrer Arbeit. Mit dem SECI-Modell, oder auch Wissensspirale, schlugen die beiden Wissenschaftler in den 90er Jahren einen Ansatz vor, wie im organisatorischen Kontext ein Wissensschaffungsprozess gestaltet werden kann. Sie beschreiben einen viergeteilten Prozess, bei dem implizites Wissen explizit gemacht, strukturiert und im Verlauf dessen für die weitere Nutzung in der Wissensschaffung und Innovationsprozess einer Organisation zur Verfügung gestellt werden kann. Der Prozess teilt sich in die Sozialisation, die Externalisierung, die Kombination und die Internalisierung des Wissens. In Abbildung 1 ist das Modell in einer Übersicht dargestellt.

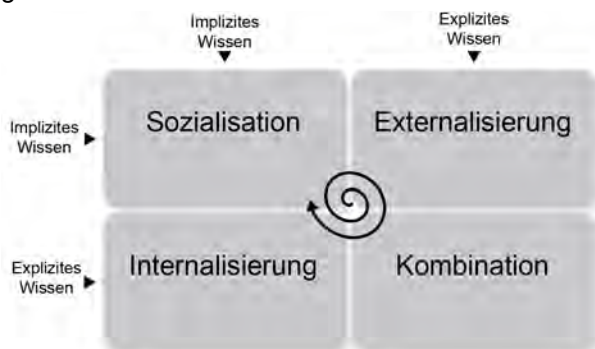


Abb. 1: Das SECI-Modell nach Nonaka und Takeuchi, S. 91, eigene Darstellung.

Die in den einzelnen Phasen geschaffenen Wissensinhalte wirken zusammen und beeinflussen die Ergebnisse des weiteren Prozesses. Im Folgenden werden nun die Stufen in einem kurzen Abriss erläutert.

Sozialisation

In der Phase der Sozialisation wird ein Interaktionsfeld aufgebaut, in dem Erfahrungen und mentale Modelle weitergegeben werden (vgl. Nonaka / Takeuchi, S. 89). Es erfolgt so ein Austausch von implizitem Wissen zwischen den Akteuren. Durch gemeinsame Erfahrungen und Arbeit wird das Verständnis füreinander gestärkt und die Akteure erhalten einen Einblick in die Weltsicht der Kooperationspartner (vgl. von Krogh / Ichijo / Nonaka, S. 9). Dies ist ein wichtiger Ausgangspunkt, um für den weiteren Wissensschaffungsprozess Vertrauen und eine einheitliche Sprache zu bilden.

Externalisierung

Bei der Externalisierung wird versucht, das individuelle implizite Wissen eines Akteurs in explizites Wissen zu übertragen. Da, wie bereits beschrieben, das implizite Wissen schwer zu formalisieren ist, wird versucht, in einem konstruktivem Dialog und kollektive Reflexion über sprachliche Metaphern und Analogien das an Einzelindividuen gebundene implizite Wissen für andere nachvollziehbar zu machen.

Kombination

Zur weiteren Schaffung neuen Wissens wird in der Kombination das im vorangegangenen Schritt zugänglich gewordene und damit explizite Wissen mit bestehendem explizitem Wissen anderer Akteure des Beteiligungsprozesses verbunden und es werden neue Modelle, ausgefeiltere Projektideen oder vertiefte Planungen geschaffen (vgl. Nonaka / Toyama / Konno, S. 9 f.).

Internalisierung

Mit der Internalisierung wird das neu geschaffene und in Memos, Projektleitfäden oder Briefing-Protokollen dokumentierte explizite Wissen von den beteiligten Akteuren aufgenommen und in ihr bestehendes, individuelles implizite Wissen eingefügt. Es erfolgt so ein Übergang von explizitem zu implizitem Wissen (vgl. Nonaka / Toyama / Konno, S. 10).

Mit jedem Absolvieren der vier Phasen findet die Wissensschaffung auf einer nächsthöheren Stufe der Organisation statt (vgl. Nonaka / Takeuchi, S. 93). Vom einzelnen Individuum werden so über Gruppen, Abteilungen und ganze Institutionen aufsteigend zunehmend mehr Akteure in den Prozess eingebunden. Für die kommunale Ebene könnte dies zum Beispiel bedeuten, dass ein einzelnes Vereinsmitglied eine Idee entwickelt und diese für andere Vereinsmitglieder in einem Memo nachvollziehbar macht. In einem nächsten Schritt findet sich dann eine kleinere Interessengruppe zusammen, die die Ausgangsidee weiter ausarbeitet und die Ergebnisse erneut für einen größeren Personenkreis zugänglich macht.

Im weiteren Verlauf werden nun immer weitere Akteure eingebunden und die bestehenden Konzepte mit zunehmender Expertise der Teilnehmenden verfeinert. Dieser aus der Bürgerschaft auf die politische Ebene wirkende Verlauf Bottom-Up ist auch Top-Down denkbar. Ein von der Stadtverwaltung oder politischen Ebene geplantes Projekt wird zunächst von einer Partei, einem Stadtrat oder einer Stadträtin entwickelt, im nächsten Schritt in eine Arbeitsgruppe eingebracht und im weiteren Verlauf in einer zunehmend breiteren Öffentlichkeit diskutiert.

4. Die Ba-Kommunikationsräume

Die Phasen dieses kollaborativen Wissensschaffungsprozesses sind dabei in eines von vier „Ba“ eingebettet. Das von Nonaka vorgeschlagene Konzept des „Ba“ beschreibt einen Kommunikationsraum oder gemeinsamen Kontext, in dem Wissen geteilt, geschaffen und angewendet wird (vgl. Nonaka / Toyama / Konno, S. 14). Jeder Schritt im SECI-Modell ist in ein eigenes Ba eingeordnet und findet unter bestimmten medialen und partizipatorischen Bedingungen statt. Ein Ba kann ein physischer Raum, zum Beispiel ein Büro, ein virtueller Raum, zum Beispiel E-Mail-Kontakt oder ein mentaler Raum, wie gemeinsame Ideen, sein (vgl. Nonaka / Toyama / Konno, ebd.). Ein Ba wird dabei durch die Teilnehmer je nach Bedarf geschaffen und auch

wieder aufgehoben (vgl. Nonaka / Toyama / Konno, S. 15). Abbildung 2 zeigt die jeweilige Zusammengehörigkeit. Im Folgenden werden diese dann kurz näher erklärt.



Abb. 2: SECI-Modell und Ba, nach Nonaka, S. 46, eigene Darstellung.

Originating Ba

Definiert ist das Originating Ba als Ort der individuellen, persönlichen Kooperation. Durch Gespräche Face-to-Face erfahren die Akteure die gesamte physische und emotionale Breite eines zwischenmenschlichen Kontaktes. Die Gespräche sind direkt, verbindlich und ermöglichen die Diskussion und den Austausch von komplexen Sachverhalten sowie gemeinsamen Erfahrungen (vgl. Nonaka / Toyama / Konno, S. 16 f.).

Dialoguing Ba

Das Dialoguing Ba fällt mit der Externalisierung zusammen. In einer kollektiven, persönlichen Interaktion wird das implizite Wissen in gemeinsame Begrifflichkeiten und Konzepte überführt. Die Teilnehmenden sollten dabei einen ausgewogenen Wissensbeitrag leisten können (siehe Nonaka / Toyama / Konno, S. 17).

Systemising Ba

Für Nonaka, Toyama und Konno ist das Systemising Ba durch eine kollektive, virtuelle Zusammenarbeit geprägt. So kommen hier digitale Technologien wie Social Softwares oder Datenbanken zum Einsatz. Das Systemising Ba bietet damit einen Raum für die Kombination expliziten Wissens (siehe Nonaka / Toyama / Konno, ebd.).

Exercising Ba

Im Exercising Ba findet sich schließlich die Internalisierung wieder. Auf individueller Basis nehmen die Akteure über virtuelle Medien, wie geschriebenen Anleitungen, das explizite Wissen auf (siehe Nonaka / Toyama / Konno, ebd.).

Da das Ba-Konzept für den Wissensschaffungsprozess einen geeigneten Rahmen setzt und auch die medialen Bedingungen Beachtung finden, wird es ebenfalls für ein Wissensmanagement-Modell in der Bürgerbeteiligung interessant. Allerdings ergibt sich auch ein Kritikpunkt, der für das geplante Modell auszuräumen ist. Die Zusammenarbeit der Akteure auf kommunaler Ebene findet, den ersten Ergebnissen aus den qualitativen Interviews folgend, in allen

Bereichen sowohl auf digitalem als auch auf persönlichem Weg statt. In dem zu schaffenden Modell muss diese Einsicht beachtet werden. Für die Phasen der Wissensschaffung muss ein medialer Rahmen gesetzt werden, der zu jeder Zeit neben der digitalen Zusammenarbeit, über zum Beispiel soziale Netzwerke, auch den persönlichen Kontakt in Arbeitskreisen oder Runden Tischen ermöglicht.

5. Wissensvision und Wissensgüter

Gestützt wird der Wissensschaffungsprozess zudem durch die Etablierung einer Wissensvision und die Wissensgüter (knowledge assets), die den Akteuren zur Verfügung stehen. Die Wissensvision zeigt auf, wo Akteure Wissen oder andere Akteure finden, die das nötige Wissen beitragen können. Sie schreibt zudem die Ziele eines Beteiligungsprozesses fest. Die Wissensgüter bestimmen, welche Ressourcen zur Verfügung stehen. Im Bereich der Experiential Knowledge Assets sind die Fähigkeiten und das individuelle Wissen der Beteiligten festgeschrieben. Die Conceptual Knowledge Assets beschreiben zum Beispiel bestehende Projektideen. Die Systemic Knowledge Assets halten bestehendes Wissen in Dokumenten oder Datenbanken fest. Die Routine Knowledge Assets bestimmen schließlich die Routinen in einer Organisation (vgl. Nonaka / Toyama / Konno, S. 20). Die Wissensgüter sind der Input und Output des SECI-Prozesses. Sowohl die Wissensvision als auch das Konzept der Wissensgüter sind als fördernde Elemente für ein Wissensmanagement-Modell in der Bürgerbeteiligung interessant.

6. Ein Modell für das Wissensmanagement in kommunalen Bürgerbeteiligungsprozessen

Die im vorangegangenen beschriebenen und aus der Literatur entnommenen theoretischen Vorüberlegungen sollen nun in der weiteren Arbeit unter Bezug auf Erkenntnisse aus qualitativen, leitfadengestützten Interviews auf die Zusammenarbeit der Akteure bei kommunalen Bürgerbeteiligungsprozessen übertragen werden. Unter Berücksichtigung des derzeitigen Arbeitsstandes lassen sich bereits ur erste Ansätze und ein skizzenhaftes Modell entwickeln.

Im Zentrum des Wissensmanagements von Bürgerbeteiligungsverfahren stehen die Phasen Sozialisation, Externalisierung, Kombination und Internalisierung. Die in der Wirtschaft erprobten Abläufe lassen sich nach ersten Erkenntnissen auch auf die Zusammenarbeit im kommunalen Bereich übertragen. Eingebettet ist der Prozess in einen einheitlichen medialen Kommunikationsraum. Dieser bestimmt die persönliche und digitale Kooperation. Um diese Einheit schließt sich dann ein Raum der Partizipations- und Beteiligungskultur. Dieser ist bestimmend für den gesamten Wissensschaffungsprozess. Geprägt wird dieser Raum von vier Grundprinzipien oder Bausteinen. Diese sind die Etablierung einer Wissensvision in einer Kommune, die Netzwerke einer Gemeinschaft, die Wissensgüter oder das Wissenspotential einer Gemeinde und die Moderati-

on eines Wissensschaffungsprozesses. Abbildung 3 zeigt dieses Schema zum derzeitigen Forschungsstand.

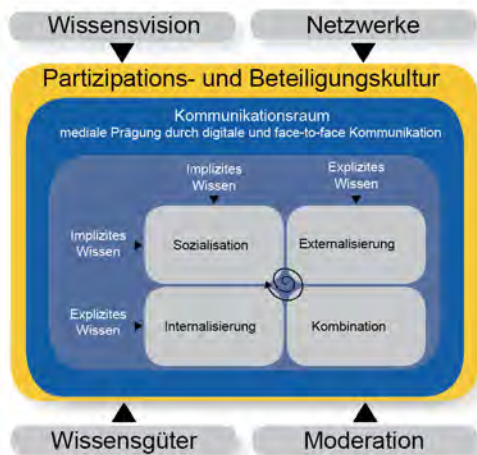


Abb. 3: Erstes Schema eines möglichen Wissensmanagements-Modells für die Bürgerbeteiligung auf kommunaler Ebene, eigene Darstellung.

7. Ausblick

Das bisherige Modell geht von einem freiwilligen Engagement der Akteure aus. Eine Grundannahme dabei ist, dass kommunale Verwaltungen gezielt zur Bürgerbeteiligung aufrufen, eine Kultur der Partizipation in der Gemeinde gelebt und die Teilhabe von Bürgerinnen und Bürgern an städtischen Entwicklungsprozessen so gezielt gefördert wird. Die bisherigen Ergebnisse zeigen allerdings, dass sich diese Annahmen noch nicht in allen Bereichen durchgesetzt haben. Wenn kommunale Beteiligungsverfahren angestoßen werden, scheinen noch immer häufig dieselben Akteure beteiligt sein und Verantwortung zu übernehmen. Das meiste Engagement beschränkt sich auf die Arbeit im eigenen Verein oder der eigenen Initiative. Jedoch besteht in diesen Netzwerken ein großes ehrenamtliches Potential an Wissen, Erfahrung und Arbeitskraft. Durch gezielte Ansprache der Akteure können diese in gesamtstädtische Entwicklungsprozesse einbezogen werden. Für die weitere Modellentwicklung wird es daher relevant, einen Erklärungsansatz zu schaffen, wie diese Mobilisierung erfolgen kann. Die Arbeit wird sich dabei auf die Knowledge Enabler nach von Krogh, Ichijo und Nonaka stützen. In ihrem Buch „Enabling Knowledge Creation“ greifen die Wissenschaftler das SECI-Modell auf und führen es weiter. Dabei entwickeln sie fünf Knowledge Enabler, die in ihrer Umsetzung eine Wissensschaffung fördern. Neben der bereits bekannten Etablierung einer Wissensvision und dem Schaffen eines passenden Kontextes im Sinne des Ba, gehören zu den Knowledge Enabler, auch die Moderation von Gesprächen, das Aktivieren von Wissensaktivisten und das Verbreiten lokalen Wissens in globalen Netzwerken. Für die Bürgerbeteiligung auf kommunaler Ebene und das zu entwickelnde Wissensmanagementmodell könnte dies bedeuten, dass lokal gut vernetzte Partizipationsbeauftragte oder Beteiligungskordinatoren an ausgewählten Stellen der Gemeinde eingesetzt

werden und den Beteiligungsprozess sowie das ehrenamtliche Engagement steuern. Außerdem ist vorstellbar, dass in den Beteiligungsprozess nicht nur lokale Akteure eingebunden werden. Auch deren Weak Ties, gelegentliche Verbindungen zu anderen Akteuren und Netzwerken außerhalb der Kommune, sind als wichtige Impulsgeber denkbar.

Desweiteren bleibt zu diskutieren, an welchem Punkt und wie der Wissensschaffungsprozess sein partizipatorisches und planerisches Ende findet. Durch bestehende gesetzliche Regelungen ist die kommunale Entscheidungsfindung häufig an die politische Ebene gebunden. Für die Bürgerschaft ist für den Beteiligungsprozess ein klarer Kompetenzrahmen festzuschreiben. Dieser schafft eine wichtige Grundlage für die Zusammenarbeit und damit Vertrauen in die Ziele und Ergebnisse des Prozesses. In der weiteren Arbeit bleibt daher zu klären, welche rechtlichen Rahmenbedingungen für kommunale Bürgerbeteiligungsprozesse und politische Entscheidungsfindung bestehen.

Danksagung

Das Promotionsprojekt erfolgt kooperativ zwischen der Universität Bremen und der Hochschule Mittweida. Der Autor möchte sich für die wissenschaftliche Betreuung bei Prof. Dr. Christian Pentzold vom ZeMKI an der Universität Bremen und Prof. Dr. Tamara Huhle von der Fakultät Medien der Hochschule Mittweida bedanken. Das Promotionsprojekt wird aus Mitteln des ESF und des Freistaates Sachsen gefördert.



Abb. 4: Logos der fördernden Institutionen

Literaturverzeichnis

- [1] Polanyi, Michael: Implizites Wissen, suhrkamp taschenbuch wissenschaft, 2. Auflage, 2016.
- [2] Nonaka, Ikujiro / Takeuchi, Hirotaka: Die Organisation des Wissens. Wie japanische Unternehmen eine brachliegende Ressource nutzbar machen, campus Verlag, 2., um ein Vorwort erweiterte Auflage, 2012.
- [3] von Krogh, Georg / Ichijo, Kazuo / Nonaka, Ikujiro: Enabling Knowledge Creation. How to unlock the mystery of tacit knowledge and release the power of innovation, Oxford University Press, 2000.
- [4] Nonaka, Ikujiro / Toyama, Ryoko / Konno, Noboru: SECI, Ba and Leadership: a Unified Model of Dynamic Knowledge Creation, Long Range Planning, 2000, S. 5-34.
- [5] Nonaka, Ikujiro / Konno, Noburo: The Concept of „Ba“. Building a foundation for knowledge creation, California Management Review, Vol. 40, No.3, 1998.

(IN-)TRANSPARENZ DER ARGUMENTATION VON KLEINPARTEIEN IM WAHLKAMPF AUF FACEBOOK

Janine Hentschke

Universität Hohenheim, Fruwirthstraße 47, D-70599 Stuttgart

Wie argumentieren Kleinparteien im Wahlkampf auf Facebook? Zu dieser Frage wurde eine qualitative Inhaltsanalyse mit Typenbildung exemplarisch für die Bundestagswahl 2013 durchgeführt. Sechs (außer)parlamentarische Kleinparteien (Grüne, Linke, FDP, Piratenpartei, FDP, AfD) wurden ausgewählt und typische Argumentationsmuster in ihren Facebook-Posts (n = 60) extrahiert. Sieben verschiedene Argumentationstypen wurden gebildet, die dem normativen Diskursideal von Habermas (1989, 1992) teils mehr, teils weniger entsprechen. So verzichtet etwa der Typus des *Argumentationsandeuters* auf jegliche *Argumentationssubstanz*, denn er führt seine Argumente inhaltlich gar nicht aus, sondern deutet sie mittels Onlinequellen lediglich an, womit er aber eine belastbare *Argumentationsbasis* zugrunde legt. Der Beitrag zeigt, dass alle Kleinparteien verschiedene Muster nutzen und im Wahlkampf auf Facebook ihre Argumente mal mehr, mal weniger transparent darlegen. Darüber hinaus wird ein Blick auf die Anschlussargumentationen in den Nutzerkommentaren geworfen. Parteien und Bürger schöpfen das Diskurspotenzial in Onlinedebatten (noch) nicht aus.

1. Einleitung

Das deutsche Parteiensystem ist gravierenden Veränderungen unterworfen. Bereits im Wahljahr 2013 war erkennbar, dass kleine und neue Parteien stärker werden und den älteren und großen Parteien Wählerstimmen entziehen. Die im Parteiensystem etablierte FDP und die neue, noch nicht etablierte AfD sind damals am Bundestags(wieder)einzug knapp gescheitert. Die neuen Parteien wie Piratenpartei oder AfD bringen aber auch *neue* politische Positionierungen und Argumentationen in die Politikdebatten ein. Speziell der Onlineraum ermöglicht es Parteien, sich mit ihren potenziellen Wählern direkt diskursiv und argumentativ auseinanderzusetzen. Wie argumentieren die neuen und alten Kleinparteien im Wahlkampf auf Facebook? Wie transparent sind ihre Argumentationsstrategien? Und wie reagieren die Nutzer auf die angebotenen Argumentationen?

Nach der theoretischen Verortung und dem methodischen Vorgehen werden die Argumentationsmuster der Parteiangebote sowie der Anschlussdiskurse vorgestellt und aus normativ diskurstheoretischer Sicht eingeordnet.

2. Theoretischer Hintergrund und Forschungsdefizite

Dem Forschungsinteresse liegen die zwei Felder der *Wahlforschung* und der *Diskursforschung* zugrunde, die in dieser Studie miteinander verknüpft werden. Die Wahlforschung untersucht neben der Entwicklung von (neuen) Parteien an *gesellschaftlichen Konfliktlinien* (Lipset et al. 1967; Schoen 2005), auch ihre *Wahlkampfkommunikation* etwa anhand der Wahlprogramme oder Onlinewählermobilisierung (z. B. Wagschal et al. 2015; Schweitzer 2010) sowie ihre *Wahlerfolge* und Regierungskoalitionen (z. B. Niedermayer 2013). Demgegenüber schaut die Diskursforschung (Fokus auf Habermas 1989, 1992) aus einer normativen Perspektive auf die politische Kommunikation. So wird in Diskursstudien die empirische Qualität politischer Debatten anhand von *normativen Qualitätskriterien* analysiert, wie zum Beispiel *argumentative Widerlegungen* als aufeinander bezogene, begründete Positionen (Ferree et al. 2002).

In den Forschungsständen der beiden Felder lassen sich drei Forschungsdefizite identifizieren. Erstens werden *Kleinparteien*, vor allem außerparlamentarische wenig erforscht. Zweitens werden die *Argumentationen in der Wahlkampfkommunikation* der Parteien kaum untersucht. Die wenigen Studien legen hierzu offen, dass Kleinparteien etwa mit vagen Argumenten (Schweitzer 2010) und im populistischen Stil (Wodak 2015) argumentieren. Drittens fokussiert die Diskursforschung auf *quantitative und formale Kategorien*. Beispielsweise werden Argumentationsinhalte anhand der Beitragslänge (z. B. Kies et al. 2010) oder als "pauschale", "einfache" und "spezifische" Begründung (Burkart et al. 2010) nur sehr oberflächlich erfasst. Damit lassen sich jedoch weder inhaltliche Diskurs- und Argumentationsstrukturen noch neue Argumente, die neue Parteien wie die AfD in den Diskurs einbringen, entdecken. Aus diesen Gründen fällt die Entscheidung hier auf ein Sample mit (außer)parlamentarischen Kleinparteien und einen qualitativen methodischen Zugang.

3. Methodische Umsetzung

Die empirische Untersuchung beinhaltet zwei Teilstudien – die Parteiangebots- und die Anschlussdiskursanalyse. Die übergeordnete Forschungsfrage ist: Welche Argumentationstypen lassen sich in den Parteiangeboten und in ihren Anschlussdiskursen im Wahlkampf auf Facebook identifizieren? Der Untersuchungszeitraum wurde auf die vierwöchige "heiße Wahlkampfphase" vor der Bundestagswahl 2013 festgelegt.

Für die Parteistichprobe wurden die FDP, Grünen und Linken als im Parlament etablierte sowie die NPD, Piratenpartei und AfD als außerparlamentarische Kleinparteien ausgewählt. Mit dieser Auswahl wurde zudem die inhaltliche Varianz über die Positionierungen auf der politischen Links-Rechts-Skala von links außen mit Linkspartei über Piraten, Grüne, FDP bis rechts AfD und NPD rechts außen (vgl. Wagschal et al. 2015) gewährleistet.

Als Mediumgebung, die eine direkte und ausführlichere argumentative Auseinandersetzung von Parteien und Nutzern ermöglicht, wurden die Facebook-Profilseiten der sechs Kleinparteien herangezogen.

Facebook war im Jahr 2013 nicht nur nutzungsstärkste Plattform unter Communitynutzern, sondern erlaubte zudem umfangreichere Beiträge als beispielsweise Twitter (Busemann 2013, S. 397). Die Parteiposts (n = 60) wurden über eine nutzerbasierte Auswahl selektiert. Dabei wurden für jede Partei die zehn Posts gewählt, die die umfangreichsten Nutzerdiskussionen generiert hatten, also von den Onlineutzern am stärksten diskutiert wurden.

Die Posts wurden mit einem strukturierten qualitativ-typologischen Vorgehen analysiert. Dabei orientierte sich die Erhebung des Materials an den Vorschlägen von Mayring (2015) und der Grounded Theory (Glaser et al. 2008). Für die Typenbildung wurden die Konzepte des *Merkmalsraums* von Lazarsfeld und Barton (1951, 1979) und der *Idealtypen* von Weber (1988a, 1988b) genutzt. Im Merkmalsraum werden Vergleichsdimensionen gegenübergestellt und die Zusammenhänge ihrer Ausprägungen als Merkmalskombinationen dargestellt (Lazarsfeld et al. 1951, S. 172-180; Barton et al. 1979, S. 57-59). Zum Beispiel spannen die Vergleichsdimensionen *Argumentationsbasis* und *Argumentationssubstanz* einen zweidimensionalen Merkmalsraum auf, aus deren Kombination die finale Typologie zu den Argumentationstypen der Parteiposts entwickelt wurde (Abbildung 1). Ein Idealtypus wird durch Abstrahierung und Zuspitzung auf wenige Merkmale gewonnen, andere Merkmale werden hingegen vernachlässigt (Weber 1988a, S. 201). Dieses Vorgehen wird beispielsweise in der idealtypischen Verdichtung der Anschlussargumentationen auf das Merkmal einer *vorhandenen* Argumentationsbasis deutlich, deren Unterscheidung in belastbar und nicht belastbar dabei vernachlässigt wurde (Abbildung 4). Dieses Konzept ist vom *diskurstheoretischen Ideal* (Habermas 1989, 1992) abzugrenzen, denn der Idealtypus stellt keineswegs einen Idealzustand dar (Weber 1988a, S. 200).

Für die zweite Teilstudie wurde auf die Nutzerkommentare auf den Facebook-Profilseiten der Parteien über eine zweistufige Auswahl zugegriffen. Zunächst wurde für jeden der sieben Parteiangebotstypen ein prototypischer Parteipost für die dazugehörige Anschlussdiskussion gewählt. Aus jeder der sieben Diskussionen wurden dann 30 Kommentare gezogen. Die Stichprobe der Kommentare (n = 210) wurde analog zum Vorgehen der Parteiangebote analysiert, wobei die einzelnen Nutzerbeiträge zusätzlich auf Diskursebene verdichtet werden mussten.

Für die Parteiposts und die Anschlussdiskurse wurde je eine Typologie zu ihren Argumentationen gebildet (Abbildungen 1 und 4). Die nicht repräsentativen Befunde decken komplexe Argumentationsmuster auf.

4. Argumentationsangebote der Kleinparteien und ihre normative Einordnung

Die sieben Argumentationstypen der Parteiposts unterscheiden sich zum einen in ihrer jeweils *belastbaren*, *nicht belastbaren* oder *fehlenden* Argumentationsbasis sowie in einer *starken*, *schwachen* oder *fehlenden* Argumentationssubstanz (Abbildung 1).

		Argumentationssubstanz		
		stark	schwach	nicht vorhanden
Argumentationsbasis	belastbar	Der überzeugende Argumentierer	Der Glaubwürdigkeitsinstrumentalisierer	Der Argumentationsandeuter
	nicht belastbar	Der Vagheitskompensierer	Der erfolglose Argumentierer	Der Scheinargumentierer
	nicht vorhanden	Unlogische Merkmalskombination			Der Argumentationsverweigerer

Abbildung 1: Typologie der Argumentationsangebote

Der Typus des **überzeugenden Argumentierers** nutzt belastbare und stabile, stark substantielle Argumente (z. B. politische Sachargumente, rechtliche Angaben). Im Unterschied dazu stützen sich **Glaubwürdigkeitsinstrumentalisierer** und **erfolgreicher Argumentierer** im Wahlkampf speziell auf leicht veränderliche Wahlumfragedaten mit einer schwachen argumentativen Substanz. Deren Quelle (z. B. Meinungsforschungsinstitut) legt der erstgenannte Typus offen und instrumentalisiert damit die Glaubwürdigkeit der belastbaren Quelle für seine Argumentation. Ganz im Unterschied zum zweiten Typus, der seine Umfragequelle nicht nennt, womit sein Umfragebezug im Ungewissen bleibt und eine nicht belastbare, vage Argumentation darstellt. Sein argumentativer Überzeugungsversuch muss somit erfolglos bleiben. Im Gegensatz dazu gelingt dem Typus des **Vagheitskompensierers** diese Vagheit zu kompensieren, indem er auf gesellschaftliche Werte wie Freiheit setzt, die zwar nicht belastbar bzw. nicht überprüfbar sind, aber als stark substantielle Argumente eine hohe Überzeugungskraft entfalten können.

Wird wie beim Typus des **Argumentationsverweigerers** gar keine argumentative Basis angeboten, ist folglich auch keine inhaltliche Argumentationssubstanz vorhanden. Während der **Argumentationsandeuter** seine inhaltliche Argumentation aus seinen Angeboten komplett auslagert und sie lediglich mittels belastbarer Onlinequellen wie Verlinkungen auf Webseiten andeutet, verzichtet der **Scheinargumentierer** auf eine belastbare argumentative Basis und setzt zudem auf nicht substantielle, unsachliche Argumentationsinhalte wie Personeneigenschaften oder nicht prüfbare Statistiken. Dies sind genau genommen nur Scheinargumente, die – ebenso wie die angedeuteten Argumente – keine argumentative Überzeugungskraft erzielen können.

Die sechs Kleinparteien sind jeweils mit ihren zehn Posts über diese Argumentationsmuster verteilt, wie Abbildung 2 zeigt. Zum Beispiel positioniert sich die AfD als außerparlamentarische Kleinpartei mit Argumentationen sowohl nach dem Typus des **Scheinargumentierers** als auch nach dem Typus des **überzeugenden Argumentierers** im politischen Diskurs. Die Grünen als parlamentarische Kleinpartei setzen neben **überzeugenden** auch auf **glaubwürdigkeitsinstrumentalisierende** und **argumentationsandeutende** Angebote. Beachtlich ist, dass alle sechs

(außer)parlamentarischen Kleinparteien den Argumentationsverzicht nach dem Typus des **Argumentationsverweigerers** nutzen und damit ihre politischen Positionen ohne jegliche argumentative Begründung in den Diskurs einbringen. Indem die Kleinparteien diverse Argumentationsmuster verwenden, stellen sie ihre Argumentationen im politischen Diskurs teils mehr und teils weniger transparent dar.

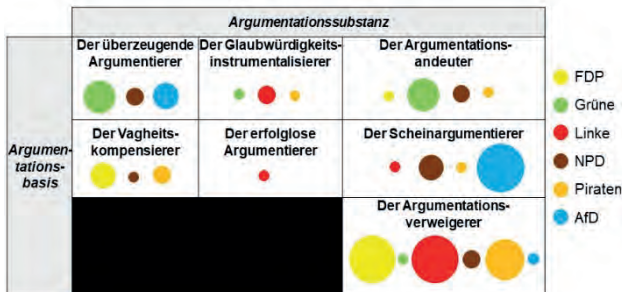


Abbildung 2: Verteilung der Kleinparteien auf die Argumentationstypen

Aus einem normativen Blickwinkel lassen sich die Argumentationstypen anhand ihrer politischen Orientierungsfunktion (Neidhardt 1994; Habermas 1989, 1992) auf einem Kontinuum einordnen (Abbildung 3). Demnach werden eine normativ ideale politische Orientierung für die Diskursteilnehmer und ein substanzieller Beitrag zur Argumentationsqualität des Diskurses durch *überzeugende und konsensfähige Argumente* (Habermas 1989, S. 115-116, 1981, S. 387) gewährleistet.

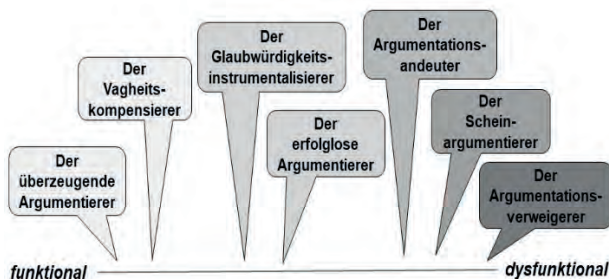


Abbildung 3: Politische Orientierungsfunktion der Argumentationsangebote

Diesem Diskursideal kommt der Typus des **überzeugenden Argumentierers** mit seinen belastbaren, stark substanziellen und somit konsensfähigen Argumenten am nächsten. Den Gegenpol dazu bildet der Typus des **Argumentationsverweigerers** mit seinem dysfunktionalen Verzicht auf jegliche argumentative Begründung.

Die anderen fünf Argumentationstypen lassen sich zwischen diesen beiden auf dem Kontinuum verorten. So bietet der Typus des **Scheinargumentierers** – anders als der **Argumentationsverweigerer** – zumindest Argumente an, wenngleich er mit seinen nicht substanziellen Scheinargumenten normativ gesehen keinen Konsens unter den Diskursteilnehmern erreichen kann. In dieser Hinsicht ist ebenfalls das Angebot des **Argumentationsandeuters** als dysfunktional für die politische Orientierung einzustufen, obgleich er zur fehlenden Argumentationssubstanz – im

Gegensatz zum **Scheinargumentierer** – immerhin eine belastbare Argumentationsbasis bietet.

Funktionaler sind im Vergleich dazu die Argumentationsangebote des **Glaubwürdigkeitsinstrumentalisierers** und des **erfolgreichen Argumentierers**, die sich mit ihren schwach substanziellen Wahlkampfargumenten mit einer geringen Überzeugungsstärke am Diskurs beteiligen. Gleichwohl ermöglichen beide Typen keinen konsensfähigen funktionalen Orientierungsrahmen in normativ idealer Weise.

Allein die argumentativen Angebote nach dem Typus des **Vagheitskompensierers** kommen dem normativen Diskursideal recht nahe. Auch wenn sie nicht auf einer belastbaren argumentativen Basis gründen, offerieren sie mit ihrer wertebasierten, stark substanziellen Argumentation eine funktionale politische Orientierung im Diskurs.

5. Anschlussargumentationen der Onlinenutzer aus normativer Sicht

Vier Typen der Anschlussargumentationen wurden gebildet, die auf denselben zwei Vergleichsdimensionen wie die Parteiangebote basieren (Abbildung 4).

		Argumentationssubstanz		
		stark	schwach	nicht vorhanden
Argumentationsbasis	(nicht) belastbar	Die schlagkräftige Anschlussargumentation	Die spekulierende Anschlussargumentation	Die illusorische Anschlussargumentation
	nicht vorhanden			Der argumentationsverweigernde Anschlussdiskurs

■ Unlogische Merkmalskombination

Abbildung 4: Typologie der Anschlussargumentationen

Die Onlinenutzer übernehmen die offerierten Argumentationen nicht zwingend in ihre Anschlussdiskurse. So schließen sich die funktionalen Diskurse mit normativ idealen, überzeugungsstarken und konsensfähigen Argumentationen nach dem Typus der **schlagkräftigen Anschlussargumentation** einem **vagheitskompensierenden**, aber auch einem **argumentationsverweigernden** und einem **argumentationsandeutenden** Angebot an. Hier beweisen sich die Onlinenutzer als kompetent und argumentativ leistungsfähig und gleichen in den beiden letztgenannten Fällen außerdem die Defizite der Argumentationsangebote aus.

Die normativ als dysfunktional einzustufenden Typen der **illusorischen Anschlussargumentation** und des **argumentationsverweigernden Anschlussdiskurses**, die keine substanziellen Argumentationen beinhalten, folgen auf ein **überzeugendes** bzw. ein **scheinargumentierendes** Angebot. Die Teilnehmer beider Diskurstypen beteiligen sich nicht als kompetente, leistungsfähige Anschlussargumentierer. Anders als es aus normativer Sicht zu erwarten wäre, kann das **überzeugende** Argumentationsangebot hier keinen funktionalen Orientierungsrahmen für den Anschlussdiskurs aufspannen.

Nur dem Typus der **spekulierenden Anschlussargumentation** mit schwach substanziellen Wahlkampfargumentationen gehen die entsprechenden Angebote eines *Glaubwürdigkeitsinstrumentalisierers* und eines *erfolglosen Argumentierers* voraus. Hier verarbeiten die Diskutanten die offerierten Argumente mit geringer Überzeugungsstärke, können damit normativ betrachtet aber keinen argumentativen Konsens erwirken.

6. Fazit

Zusammenfassend ist festzuhalten, dass die Argumentationsmuster von Kleinparteien und ihrer Anschlussdiskurse auf Facebook komplex und facettenreich sind. Bipolare Klassifizierungen wie etwa gute vs. schlechte oder transparente vs. intransparente Argumentationen werden dem empirischen Phänomen nicht gerecht. Vielmehr nähern sich die argumentativen Muster dem diskurstheoretischen Ideal in einigen Merkmalen stärker und in anderen Merkmalen weniger an. Demzufolge schöpfen die Kleinparteien mit ihren Onlineangeboten als auch die Bürger in ihren Anschlussdiskursen das Diskurspotenzial (noch) nicht in vollem Umfang aus. Hier stehen in erster Linie die Politikakteure in der Pflicht, mit funktionalen Argumentationsangeboten für eine politische Orientierung der Bürger in der digitalen Anschlusskommunikation zu sorgen und sich darüber hinaus selbst aktiv mit funktionalen Diskursbeiträgen an den Anschlussargumentationen mit den Bürgern zu beteiligen.

Literaturverzeichnis

- [1] A. H. Barton, P. F. Lazarsfeld, Einige Funktionen von qualitativer Analyse in der Sozialforschung, In C. Hopf et al. (Hrsg.), *Qualitative Sozialforschung*, Stuttgart: Klett-Cotta (1979), 41–89.
- [2] R. Burkart, U. Rußmann, J. Grimm, Wie verständigungsorientiert ist Journalismus? Ein Qualitätsindex am Beispiel der Berichterstattung über Europa im Österreichischen Nationalratswahlkampf 2008, In H. Pöttker et al. (Hrsg.), *Europäische Öffentlichkeit und journalistische Verantwortung*, Köln: Halem (2010), 256–281.
- [3] K. Busemann, Wer nutzt was im Social Web? Ergebnisse der ARD/ZDF-Onlinestudie, *Media Perspektiven*, Nr. 7-8 (2013), 391–399.
- [4] M. M. Ferree, W. A. Gamson, J. Gerhards, D. Rucht, *Shaping abortion discourse. Democracy and the public sphere in Germany and the United States*, Cambridge u. a.: Cambridge University Press (2002).
- [5] B. G. Glaser, A. L. Strauss, *Grounded theory. Strategien qualitativer Forschung*, Bern: Huber (2008).
- [6] J. Habermas, *Theorie des kommunikativen Handelns*, Frankfurt am Main: Suhrkamp (Handlungsrationalität und gesellschaftliche Rationalisierung, Bd. 1) (1981).
- [7] J. Habermas, *Vorstudien und Ergänzungen zur Theorie des kommunikativen Handelns*, Frankfurt am Main: Suhrkamp (1989).
- [8] J. Habermas, *Faktizität und Geltung. Beiträge zur Diskurstheorie des Rechts und des demokratischen Rechtsstaats*, Frankfurt am Main: Suhrkamp (1992).
- [9] R. Kies, S. Wojcik, *European web-deliberation: Lessons from the European Citizens Consultation*, In F. de Cindio et al. (eds.), *From e-participation to online deliberation. Proceedings of the Fourth International Conference on Online Deliberation*, Leeds/UK (2010), 198–211.
- [10] P. F. Lazarsfeld, A. H. Barton, *Qualitative measurement in the social sciences: classification, typologies, and indices*, In D. Lerner et al. (eds.), *The policy sciences. Recent developments in scope and method*, Stanford: Stanford University Press (1951), 155–192.
- [11] S. M. Lipset, S. Rokkan, *Cleavage structures, party systems, and voter alignments. An introduction*, In S. M. Lipset et al. (eds.), *Party systems and voter alignments. Cross-national perspectives*, New York, London: Free Press (1967), 1–64.
- [12] P. Mayring, *Qualitative Inhaltsanalyse. Grundlagen und Techniken*, Weinheim: Beltz (2015).
- [13] F. Neidhardt, *Öffentlichkeit, öffentliche Meinung, soziale Bewegungen*, In ders. (Hrsg.), *Öffentlichkeit, öffentliche Meinung, soziale Bewegungen*. Opladen: Westdeutscher Verlag (1994), 7–41.
- [14] O. Niedermayer, *Die Entwicklung des bundesdeutschen Parteiensystems*, In F. Decker et al. (Hrsg.), *Handbuch der deutschen Parteien*, Wiesbaden: Springer (2013), 111–132.
- [15] H. Schoen, *Soziologische Ansätze in der empirischen Wahlforschung*, In J. W. Falter et al. (Hrsg.), *Handbuch Wahlforschung*, Wiesbaden: VS Verlag (2005), 135–185.
- [16] E. J. Schweitzer, *Normalisierung 2.0. Die Online-Wahlkämpfe deutscher Parteien zu den Bundestagswahlen 2002-2009*, In C. Holtz-Bacha (Hrsg.), *Die Massenmedien im Wahlkampf. Das Wahljahr 2009*, Wiesbaden: VS Verlag (2010), 189–244.
- [17] U. Wagschal, P. König, *Die Links-Rechts-Positionierung der Parteien bei den Bundestagswahlen 2005 bis 2013: Eine empirische Analyse anhand des Wahl-O-Mat*, In K.-R. Korte (Hrsg.), *Die Bundestagswahl 2013. Analysen der Wahl-, Parteien-, Kommunikations- und Regierungsforschung*, Wiesbaden: Springer (2015), 185–210.
- [18] M. Weber, *Die "Objektivität" sozialwissenschaftlicher und sozialpolitischer Erkenntnis*. In ders., *Gesammelte Aufsätze zur Wissenschaftslehre*. Herausgegeben von Johannes Winckelmann, Tübingen: Mohr [zuerst erschienen 1904] (1988a), 146–214.
- [19] M. Weber, *Soziologische Grundbegriffe*. In ders., *Gesammelte Aufsätze zur Wissenschaftslehre*. Herausgegeben von Johannes Winckelmann, Tübingen: Mohr [zuerst erschienen 1921] (1988b), 541–581.
- [20] R. Wodak, *The politics of fear. What right-wing populist discourses mean*, Los Angeles u. a.: SAGE (2015).

SOFTWAREGESTÜTZTE AKZEPTANZGENERIERUNG FÜR INFRASTRUKTURPROJEKTE

Stefanie Walter

Technische Universität Bergakademie Freiberg, Akademiestraße 6, D-09599 Freiberg
Hochschule Mittweida, Technikumplatz 17, D-09648 Mittweida

Infrastrukturvorhaben mit mittel- oder unmittelbarer Sichtbarkeit im Wohn- und Lebensraum von Bürgerinnen und Bürgern führen regelmäßig zu Protesten. Einstellungen und gesellschaftspolitische Aversionen verbinden sich bei Teilen der Bevölkerung mit konkreten Ängsten und Strategien zur Abwehr unerwünschter Industrien zu komplexen Akzeptanzbarrieren. Ziel ist, die Potenziale der Kommunikationsinstrumente und -strategien konfliktreicher unternehmerischer Standortentwicklungen im Energie- und Rohstoffbereich unter besonderer Beachtung räumlicher Nähe und gesellschaftlicher Zustimmung deutlich zu machen und Transparenz sowie Akzeptanz in der Bevölkerung mit Hilfe einer eigens programmierten Software signifikant zu steigern.

1. Einleitung und Problemstellung

Innerhalb der letzten Jahre manifestierten sich in der Berichterstattung deutscher Medien und folglich der öffentlichen Meinung Themen wie Europa-, Einwanderungs- und Energiepolitik [1]. Es formierten sich zudem Bürgerproteste gegen eine Vielzahl von Infrastrukturprojekten, insbesondere im Kontext mit der Energie- und Rohstoffbranche [2]. Einem Teil der Bevölkerung fehlt es an Vertrauen in ihre Regierungen, sie bemängeln die fehlende Transparenz bei der Entscheidungsfindung ihrer politischen Vertreter und werfen den Medien vor, sie würden von anderen Institutionen gelenkt [3]. Insbesondere durch soziale Medien ist dabei oftmals keine Grenze zwischen Rezipient und Sender gegeben [4]. Zwar besitzen die Botschaften klassischer Medien durchschnittlich zumeist eine größere Reichweite, doch singuläre Botschaften Einzelner können diese über Social Media ebenfalls erreichen [5].

Dass Kommunikation ohne ein klassisches Medium, sondern über Intermediäre möglich ist, fordert auch von Unternehmensvertretern ein Umdenken. Sie haben entsprechend selbst die Möglichkeit, bspw. durch Content Marketing und Corporate Publishing, ihre Botschaften direkt mit der entsprechenden Zielgruppe zu teilen. Aufgrund des Vertrauensdefizits eines Teils der Bürgerschaft ist es umso wichtiger, dass Unternehmen offen und transparent kommunizieren und die Bevölkerung über Sinn und Zweck ihrer Investitionen informieren und sie aktiv einbeziehen.

Insbesondere kleinen und mittleren Unternehmen (KMU) fehlt es allerdings häufig an ausreichendem oder entsprechend geschultem Personal, um ihre Kommunikationspolitik adäquat zu steuern und zu gestalten [6].

Am Beispiel von Infrastrukturprojekten wird dies regional, überregional als auch deutschlandweit sichtbar. Infrastrukturelle Vorhaben mit mittel- oder unmittelbarer Sichtbarkeit im Wohn- und Lebensraum von Bürgerinnen und Bürgern führen mittlerweile regelmäßig zu Protesten. Einstellungen und gesellschaftspolitische Aversionen verbinden sich in Teilen der Bevölkerung mit konkreten

Ängsten und Strategien zur Abwehr unerwünschter Industrien zu komplexen Akzeptanzbarrieren. Als bekanntestes Beispiel aus der jüngeren Vergangenheit wird auf die Proteste gegen den Ausbau des Hauptbahnhofs in Stuttgart („Stuttgart 21“) mit zu Hochzeiten mehr als 60.000 Teilnehmern verwiesen [7].

Es gibt gehäufte Proteste durch Bürger, es zeigen sich der „Not In My Back Yard“ und „Locally Unwanted Land Use“-Effekt und das Nahfeldparadoxon [8]. D.h. während es Unternehmen zunehmend gelingt, durch eine Professionalisierung der Kommunikation und Nahfeldarbeit z. B. durch Corporate Social Responsibility (CSR) in der räumlichen Nähe Vertrauen und Akzeptanz zu erwerben, stellt sich dies bereits wenige Kilometer entfernt völlig anders dar und die Firmen erkennen, dass ihr Unternehmenswohl überregional bedroht bleibt.

Davon betroffen ist auch der Sektor der erneuerbaren Energien, insbesondere im Zusammenhang mit der Errichtung von Windkraft- und Biomasseanlagen. Deutschlandweit haben sich so über 800 Bürgerinitiativen allein gegen den Ausbau von Windkraft in ihren jeweiligen Regionen formiert [9]. Damit wird die Energiewende und das Ziel, Deutschland als eine „der energieeffizientesten und umweltschonendsten Volkswirtschaften der Welt“ [10] zu etablieren, wie es das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie formuliert hat, erschwert. Die zeitlich nicht einzuschätzenden Verzögerungen durch Proteste und langwierige Genehmigungsverfahren führen den Weiteren zu rückläufigem Investoreninteresse, existenzgefährdenden Beeinträchtigungen für Betriebe, stockendem Wirtschaftswachstum und folglich nachlassender wirtschaftlicher Stabilität.

Dies soll durch effektive Kommunikationsmaßnahmen vermieden werden, um so einerseits wirtschaftliche Stabilität zu sichern und damit Investitionen und Arbeitsplätze zu schützen, andererseits aber auch die Beteiligung der Bürger an der Entscheidungsfindung informiert zu gestalten und so Transparenz und Akzeptanz bis hin zu Vertrauen zu erzeugen.

2. Zielstellung

Ziel des in diesem Paper in Auszügen skizzierten Forschungsvorhabens ist, die Potenziale der Kommunikationsinstrumente und -strategien aktuell konfliktreicher unternehmerischer Standortentwicklungen im Energie- und Rohstoffsektor unter besonderer Beachtung räumlicher Nähe und gesellschaftlicher Zustimmung herauszuarbeiten und diese für den Einsatz in KMU zu bewerten.

Dazu bedarf es einer konkreten, regionalen Analyse der Kommunikationsaufgaben (im Sinne eines Abbaus von Akzeptanzbarrieren), der Erarbeitung von Handlungsempfehlungen für KMU und einer Analyse von Möglichkeiten, Chancen, Instrumenten und Strategien, welche auf Landes-, Bundes- und ggf. EU-Ebene übertragen werden können. Hierzu wird eine eigens programmierte Software entwickelt, welche den KMU an ihre spezifische Vorhabenssituation angepasste Kommunikationsinstrumente vorschlägt, um gesellschaftspolitische Aversionen abzubauen bzw. zu vermeiden. Damit wird die Schaffung von Transparenz, Vertrauen sowie folglich Akzeptanz für diesen und andere Industriezweige angestrebt.

3. Das Phänomen Akzeptanz

Seit Mitte der 1970er Jahre setzen sich Wissenschaftler mit der sozialwissenschaftlichen Akzeptanzforschung und gesellschaftlichen Technikakzeptanz auseinander [11]. Dabei werden zwei generelle Zielstellungen verfolgt: die Analyse der Einflussfaktoren, die Akzeptanz fördern bzw. verringern, sowie die daraus folgenden Erkenntnisse, wie bspw. bestimmte Techniken gestaltet sein müssen, um bei Markteinführung größtmögliche Akzeptanz zu erfahren [12]. Für den Begriff Akzeptanz gibt es bisher keine allgemein anerkannte, einheitliche Definition [13]. Es handelt sich um einen vielschichtigen Begriff, welcher „sich auf nahezu jeden (materiellen oder immateriellen) Gegenstand beziehen“ [14] kann. Schäfer & Keppler (2013) führen als Beispiele dazu Personen, Gruppen, rechtliche Regelungen, Technologien und Strategien des Umwelt- oder Klimaschutzes auf [14]. Lucke (1995) definiert Akzeptanz als „Chance, für bestimmte Meinungen, Maßnahmen, Vorschläge und Entscheidungen bei einer identifizierbaren Personengruppe ausdrückliche oder stillschweigende Zustimmung zu finden“ [15]. Sie führt weiter aus, dass Akzeptanz in einer Gesellschaft gegeben ist, wenn deren Mitglieder

- „sowohl hinsichtlich der Legitimität (eines Vorschlags, einer Meinung, einer Handlung) wie in den hierfür verlangten Begründungen, angeführten Argumenten und eingeholten Rechtfertigungen in hohem Maße übereinstimmen;
- dem Akzeptanzobjekt grundsätzlich affirmativ gegenüberstehen und diesem verstandesmäßig und emotional ‚zugeneigt‘ sind;
- diesbezüglichen Vorschlägen und Argumenten

und Maßnahmen auch im Konkreten uneingeschränkt zustimmen [...]

- bereit sind, das Akzeptierte notfalls auch gegen Vorschläge und ihm widersprechende Argumente zu verteidigen“ [16].

In der wissenschaftlichen Literatur sind Autoren wie Kollmann (1998), Simon (2001) und Schäfer & Keppler (2013) sich bezüglich des Begriffs einig, dass Akzeptanz sowohl eine Einstellungs- als auch Handlungskomponente inkludiert, wobei ein beobachtbares Handeln erfolgen kann, aber nicht zwangsläufig gegeben sein muss [17].

Die Faktoren Bewertung und Handlung spiegeln sich folglich in den Dimensionen des Akzeptanzbegriffs wider ([18]; siehe Abb. 1).



Abb. 1: Dimensionen des Akzeptanzbegriffs

Autoren wie Schäfer & Keppler (2013) verdeutlichen damit, „dass das alleinige Ausbleiben von Widerstand oder Protesten kein zuverlässiger Indikator für das Vorhandensein von Akzeptanz ist“ [19] und es lediglich bedeutet, die ggf. ablehnende Einstellung hat „sich lediglich noch nicht in sichtbarem Protest- oder Widerstandshandeln“ [19] manifestiert. Neben der in Abb. 1 veranschaulichten Differenzierung existieren weitere Darlegungen der Ausdrucksformen von (In-) Akzeptanz (siehe u.a. [20]). Für die softwaregestützte Akzeptanzgenerierung für Infrastrukturprojekte wird sich des Systematisierungsansatzes nach Sauer et al. bedient [21]. In ihrer 8-stufigen Inakzeptanz-Akzeptanz-Skala teilen sie Personen nach deren Einstellungs- und Handlungskomponenten von aktiver Gegnerschaft über Ablehnung, Zwiespalt, Gleichgültigkeit, Duldung, konditionale Akzeptanz bis hin zu Zustimmung und Engagement ein ([21]; siehe Abb. 2).

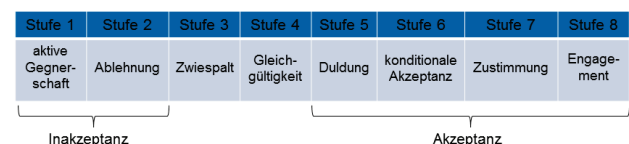


Abb. 2: Inakzeptanz-Akzeptanz-Skala

Welcher Stufe eine Person oder Personengruppe zugeordnet werden kann, hängt von einer Vielzahl von Faktoren ab [22]. Es handelt sich dabei um das Ergebnis aus dem Zusammenwirken von Akzeptanzsubjekt, -objekt sowie -kontext und deren Einflussfaktoren wie Soziodemografie, Wertvorstellungen, ersichtlicher Nutzen, vermutete Risiken usw.; welches situations- und kontextspezifisch ist [23].

4. Methodik

Die Vielzahl von Einflussfaktoren auf Seiten des Akzeptanzobjekts, welche zu den Einstellungen und Handlungen des Subjekts beitragen, sowie der Kontext und ihre gegenseitige Beeinflussung werden in möglichst viele Einzelaspekte aufgeschlüsselt und mathematisch verknüpft. Dazu werden bestehende Untersuchungen aufgegriffen.

Um die Situation für die KMU exakter analysieren und ihnen geeignete kommunikative (Gegen-)Maßnahmen empfehlen zu können, wurden und werden Interviews mit Kommunikationsexperten aus Wissenschaft, Wirtschaft und Politik geführt, in denen diese den Einfluss bestimmter Kommunikationsmaßnahmen bei einer jeweiligen (Vorhabens-)Situation bewerten sollen.

Zudem wird für ein KMU im Freistaat Sachsen eine Netzwerkanalyse (siehe Abb. 3) in den sozialen Medien durchgeführt, um die Multiplikatoren und deren Einstellung herauszufinden, damit spezifische Maßnahmen adressatengerecht positioniert werden können.

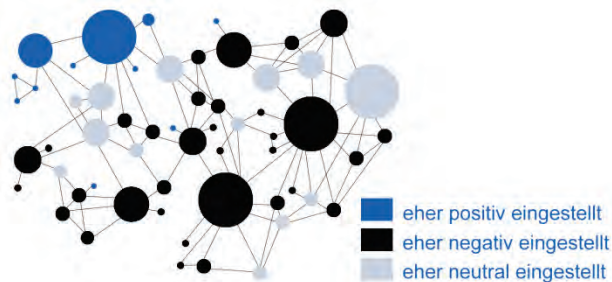


Abb. 3: Schematische Darstellung der Ergebnisse der Netzwerkanalyse

Mit den aus bestehenden Untersuchungen zusammengetragenen und durch Interviews gewonnenen Daten wird die Software *Akzeptanz-O-Meter* programmiert.

Nachdem der Nutzer über Checkboxes Eingaben über die Art des Projekts (Tagebau, Untertagebau, Erneuerbare Energie), regionale Verortung, Aktivitäten im Bereich CSR usw. getätigt hat, berechnet das *Akzeptanz-O-Meter* den voraussichtlichen Akzeptanzgrad des Vorhabens. Dies wird in Anlehnung an die Inakzeptanz-Akzeptanz-Skala nach Sauer et al. mit einem Ampelsystem visualisiert.

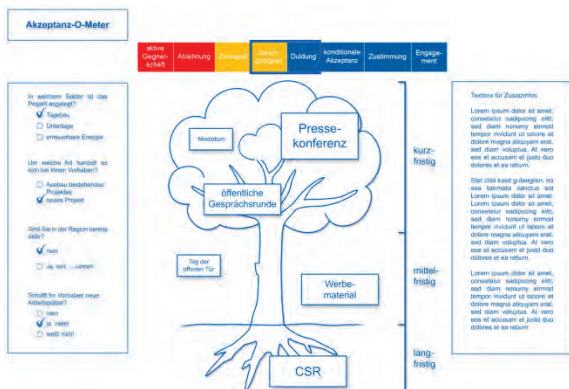


Abb. 4: Mock-Up Akzeptanz-O-Meter

Im zweiten Schritt werden dem Unternehmensvertreter an die Vorhabensituation angepasste Kommunikationsinstrumente vorgeschlagen. Diese werden in langfristige, mittelfristige und kurzfristige unterteilt, wobei mit drei unterschiedlichen Größen deren Wichtigkeit für die Akzeptanzgenerierung verdeutlicht wird. Hinzu kommt eine Textbox, welche weiterführende Erklärungen und zusätzliche Informationen enthält (Mock-Up, siehe Abb. 4).

Die spätere Evaluierung erfolgt auf Basis von drei Fallstudien: konkreten Vor-Ort-Projekten an kontrastierenden Standorten in der Nähe von Ortschaften. Die Fallauswahl orientiert sich am Prinzip einer kontrastreichen und komplementären Auswahl von Fällen im Freistaat Sachsen, sodass die vom *Akzeptanz-O-Meter* auf Grundlage des Algorithmus vorgeschlagenen Kommunikationsmaßnahmen anschließend umgesetzt und die Ergebnisse mit den Geschäftsführern und Leitern der Marketingabteilungen bzw. Pressestellen ausgewertet werden.

5. Zusammenfassung

Das dargestellte Forschungsvorhaben wird bis einschließlich 2020 bei infrastrukturellen Vorhaben im Energie- und Rohstoffsektor durchgeführt und anschließend die Übertragung auf Infrastrukturprojekte im Allgemeinen geprüft.

Mangelnder Transparenz, geringer Akzeptanz sowie fehlender Objektivität im öffentlichen Diskurs kann mit an die Vorhabensituation angepassten Kommunikationsmaßnahmen im gesamten Energie- und Rohstoffsektor, insbesondere den Erneuerbaren Energien, entgegengewirkt werden, um die Notwendigkeit der Energiegewinnung für die Bevölkerung herauszustellen sowie erfolgreich und nachhaltig zu vermitteln.

Danksagung

Das Forschungsvorhaben wird aus Mitteln des Freistaates Sachsen und des Europäischen Sozialfonds (ESF) gefördert. Kooperationspartner sind die Technische Universität Bergakademie Freiberg, die Hochschule Mittweida und die MIBRAG Neue Energie GmbH (siehe Abb. 5).



Abb. 5: Logos der Unterstützer und Partner

Literaturverzeichnis

- [1] IFEM 2018, InfoMonitor Juni 2018, Unionsstreit um Asyl- und Flüchtlingspolitik war das Topthema der deutschen Fernsehnachrichten im Juni, 1.
P. Henn, F. von Vincke, M. Dohle & S. Schnippenkoetter 2014, Journalismus, der es keinem recht macht? Eine empirische Untersuchung zu Ursachen und Konsequenzen des Hostile-Media-Effekts, 219.
- [2] M. Althaus 2012: Schnelle Energiewende – bedroht durch Wutbürger und Umweltverbände? Protest, Beteiligung und politisches Risikopotenzial für Großprojekte im Kraftwerk- und Netzausbau, 103.
E. Eichenauer, F. Reusswig, L. Meyer-Ohlendorf & W. Lass 2018: Bürgerinitiativen gegen Windkraftanlagen und der Aufschwung rechtspopulistischer Bewegungen, 633.
- [3] C. Wiencierz 2017, Vertrauen in politische Parteien. Der Einfluss von Gesprächen über Wahlwerbung auf die Vertrauenswürdigkeit, 17.
M. Dreyer 2016, Politik mit Bürgern – Politik für Bürger. Auf dem Weg zu einer Kultur der Beteiligung in Rheinland-Pfalz, 34f.
G. Bentele 2016, Öffentlichkeit, Akzeptanz und Transparenz. Zur Rolle der Medien in Beteiligungsprozessen, 75 & 84.
H. Best, S. Niehoff, A. Salheiser & L. Vogel 2016, Gemischte Gefühle: Thüringen nach der „Flüchtlingskrise“, 113.
- [4] F. Gerstenberg & C. Gerstenberg 2017, Quick Guide Social Relations, PR-Arbeit mit Bloggern und anderen Multiplikatoren im Social Web, 1.
M. Wieser 2016, Medien und Medienkommunikation, 202.
- [5] M. Emmer 2017, Soziale Medien in der politischen Kommunikation, 89.
- [6] S. Babka 2016, Social Media für Führungskräfte, Behalten Sie das Steuer in der Hand, 18.
- [7] SPIEGEL ONLINE 09.10.2010, Stuttgart 21, Neue Massendemo gegen Bahnprojekte, URL: <http://www.spiegel.de/politik/deutschland/stuttgart-21-neue-massendemo-gegen-bahnprojekte-a-722269.html>
- [8] F. Schröter 2017, Ziele der deutschen Wirtschafts- und Energiepolitik, 6.
E. Goodstein & S. Polasky 2014, Economics and the Environment, 133f.
- [9] ZDF 22.10.2017, Das Windkraft-Dilemma. URL: <https://www.zdf.de/dokumentation/planet-e/planet-e-das-windkraft-dilemma-100.html>, 3:58-4:05 min.
- [10] BMWi 2011, Forschung für eine umweltschonende, zuverlässige und bezahlbare Energieversorgung. Das 6. Energieforschungsprogramm der Bundesregierung, 3.
- [11] T. Petermann & C. Scherz 2005, TA und (Technik-)Akzeptanz (-forschung), 45.
T. Kollmann 1998, Akzeptanz innovativer Nutzungsgüter und -systeme: Konsequenzen für die Einführung von Telekommunikations- und Multimediasystemen, 54.
- [12] O. Quiring 2006, Methodische Aspekte der Akzeptanzforschung bei interaktiven Medientechnologien, 3.
M. Schäfer & D. Keppler 2013, Modelle der technikorientierten Akzeptanzforschung, Überblick und Reflexion am Beispiel eines Forschungsprojekts zur Implementierung innovativer technischer Energieeffizienz-Maßnahmen, 9.
- [13] Schäfer & Keppler 2013: 11.
Quiring 2006: 3f.
D. Lucke 1995, Akzeptanz. Legitimität in der „Abstimmungsgesellschaft“, 45ff.
- [14] Schäfer & Keppler 2013: 7.
- [15] Lucke 1995: 104.
- [16] Lucke 1995: 105.
- [17] Kollmann 1998: 52.
B. Simon 2001, Wissensmedien im Bildungssektor. Eine Akzeptanzuntersuchung an Hochschulen, 87.
Schäfer & Keppler 2013: 12.
- [18] J. Hildebrand & P. Schweizer-Ries 2011, Akzeptanz von Erneuerbaren Energien aus sozial- und verhaltenswissenschaftlicher Perspektive, 9.
- [19] Schäfer & Keppler 2013: 14.
- [20] Lucke 1995: 218ff.
- [21] Sauer et al. 2005: 1-3.
- [22] Schäfer & Keppler 2013: 25.
- [23] Schäfer & Keppler 2013: 25-27.

Blockchain - das Internet der Werte

BLOCKCHAIN IN DEZENTRALISIERTEN ENERGIEMÄRKTEN

Tobias Teich, Daniel Kretz, Tim Neumann, Andy Hermann
Westfälische Hochschule Zwickau, Dr.-Friedrichs-Ring 2A, D-08056 Zwickau

Im Zusammenhang mit der Einführung von dezentralen Energiemärkten ist es notwendig, bestehende Strukturen in diesen Umstellungsprozess mit zu integrieren und etablierte Teilnehmer des geltenden Systems eine aktive Rolle zuzuschreiben. Das Problem bei der Umstellung ist, wie die gängigen und zum Teil noch starren Abrechnungssysteme auf einen baldigen flexiblen Energiemarkt ausgerichtet werden können. Dabei ist zu beachten, dass jeder Endkunde von heute die Möglichkeit besitzen muss, Energie in das Netz einspeisen und entnehmen zu können und somit die Rolle eines Prosumers einzunehmen. In diesem Artikel wird ein Konzept beschrieben, welches dieses Problem adressiert und im Rahmen des Verbundprojektes WindNODE erarbeitet wurde. Das Konzept beinhaltet einen auf die Abrechnungsprozesse fokussierten Ansatz zur Realisierung eines dezentralen Energiemarktes. Beachtet wurden in diesem Zusammenhang die Aspekte der Skalierung, Flexibilität, Geschäftsprozessabbildung und Sicherheit. Im Ergebnis ist zu sehen, wie jeder beliebige Teilnehmer sich in ein derartiges Netzwerk integrieren kann, entweder als einfacher Verbraucher oder als Prosumer.

Within the context of implementing decentralized energy markets, it is necessary to integrate existing structures into this process of change and let established participants play an active role in it. The problem of the conversion is the way how the current, and sometimes still rigid, accounting systems can be adjusted to a flexible and adaptable energy market. It should be noted that today's ordinary consumer must have the ability to feed energy into the grid, thereby taking a prosumer role. This article describes a concept developed within the context of the WindNODE project - showcasing smart energy systems from north-eastern Germany" - to address this problem. The concept includes an approach focused on billing processes to realize a decentralized energy market. Attention was paid to scalability, flexibility, business process modelling and security. The result describes an approach, how any participant can be integrated into such a network, either as an ordinary consumer or as a prosumer.

1. WindNODE

Seit 01.01.2017 beteiligt sich die Westfälische Hochschule Zwickau (WHZ) an dem WindNODE Projekt bestehend aus über 50 Verbundpartnern und mehr als 30 assoziierten Partnern. Die größte Herausforderung bei der Umstellung auf einen überwiegenden Anteil erneuerbarer Energien liegt darin, den Strom, wenn er mit Wind und Sonne erzeugt wurde, sinnvoll zu nutzen und zu speichern. Dass dies möglich ist, soll im Rahmen des WindNODE-Projekts in der Region Nordostdeutschland demonstriert werden.

Voraussetzung für solch eine Unternehmung ist eine effiziente und leistungsfähige Informations- und Kommunikationsinfrastruktur. Dies ermöglicht den Teilnehmern, in solch einem Netzwerk erforderliche Informationen auszutauschen und damit eine Netzstabilisierung vorzunehmen. So können aktiv Mitwirkende Komponenten, wie Wärme- und Energiespeicher, Elektrofahrzeuge, Kühllhäuser oder Smart Home-Anwendungen dazu beitragen die Energieverwendung mitzugestalten und zu ermöglichen.

In neun Teilvorhaben werden innovative Anwendungen auf allen Ebenen der Energiesysteme als Demonstratoren umgesetzt. Nach der Erprobung sollen die verschiedenen Teilsysteme zu einem Gesamtmodell verknüpft werden. So wird das Energiesystem auf greifbare Weise dargestellt und Interessierte können sich von dem zukunftssträchtigen System überzeugen lassen. Mit Unterstützung der Politik aus den beteiligten Bundesländern soll dieses Projekt die Vorreiterrolle der Region in der Energieversorgung untermauern.

Unter anderem erarbeitet die WHZ in diesem Projekt die Umsetzung eines dezentralen Energiemarktes

mit Energiespeichern und verknüpfter Elektromobilität. Ein weiterer Aspekt des Teilvorhabens an der WHZ ist die Umsetzung einer Energiebörse. Ein Themenschwerpunkt, der sich dabei stellte ist, wie können die Abrechnungsprozesse dargestellt und auf einen dezentralen Energiemarkt zugeschnitten werden.

Dazu wurde ein Konzept auf Basis der Blockchain-Technologie erarbeitet. Eine besondere Herausforderung bestand in der Fragestellung, wie die technischen Komponenten der Blockchain-Technologie auf die anwendungsorientierte Infrastruktur von Energieverbrauchern und -Erzeugern angewendet werden können.

2. Problemstellung

In einem Quartier im Zwickauer Stadtteil Marienthal wurde eine Modellregion definiert, welche mit Energiespeichern und Ladestationen ausgestattet wird. Das Quartier besteht hauptsächlich aus sanierten drei- oder viergeschossigen DDR-Typenbauten aus den Baujahren 1957 bis 1964. Die Energiespeicher decken in dieser Modellregion mehrere Szenarien ab, wie Netzautarkie, Versorgungssicherheit und Netzstabilität. In dem Quartier soll weiterhin ein lokaler dezentraler Energiemarkt umgesetzt werden. In der Vergangenheit sowie im Rahmen vorangegangener Projekte wurden bei der Gebäudesanierung u.a. Solarpanels auf den Dächern installiert und die Wohnungen mit KNX-Bussystemtechnik ausgestattet. Diese Infrastruktur eignet sich daher sehr gut zur Umsetzung des Projekts.

Die Energieversorgung geschieht derzeit noch klassisch vom Energieversorger zum Abnehmer. Ziel ist es, das Quartier so zu gestalten, dass ein dezentraler Energiemarkt möglich wird. Dies heißt aber auch,

dass die geschaffene Infrastruktur es ermöglichen muss, dass jeder Endverbraucher als Prosumer teilnehmen kann. Dies stellt insbesondere den örtlichen Energieversorger und Netzbetreiber vor organisatorische Probleme. Nach wie vor muss es eine Instanz für die Gewährleistung der Versorgungssicherheit geben und der Netzbetreiber muss die Netzstabilität jederzeit mit beliebigen, energieeinspeisenden Entitäten gewährleisten können.

Ein lokaler dezentraler Energiemarkt bedeutet also, dass viele Teilnehmer mit unterschiedlichen Rollen partizipieren, die sich unter Umständen auch schnell ändern können. Das Abrechnungssystem dieses Energiemarktes muss entsprechend flexibel sein und bildet im Umkehrschluss folglich erst die Grundlage dieser Infrastruktur. Insbesondere hinsichtlich der Flexibilitätsanforderung ist die Herausforderung groß, ein Abrechnungssystem zu schaffen, welches Nachvollziehbarkeit und Integrität in einem Energiemarkt gewährleistet. Besonders dadurch, dass sich dieser Energiemarkt in seiner strukturellen Zusammensetzung von Anbietern und Nachfragern jederzeit und innerhalb weniger Stunden ändern kann. Dies wird vor allem dadurch bedingt, dass es ein Bestreben für den Bezug lokal erzeugter, grüner Energie gibt. Diese Angebotsstruktur kann sich unter Umständen besonders schnell durch einen einfachen Wetterumschwung ändern.

3. Technische Abstraktion

Bei dem Versuch das Problem technisch zu abstrahieren, kommen einige Eckpunkte besonders zum Tragen. Der Energiemarkt als dezentrale Einheit muss es ermöglichen, dass jeder einzelne Netzteilnehmer entweder zu seinen Preisvorstellungen Strom einspeisen oder erwerben kann. Der zusätzliche Einsatz von Energiespeichern ermöglicht in Abhängigkeit von Eigentümer und vorgesehener Nutzen eine lokale Energiebörse. Damit werden zusätzlich Spekulationen gestattet, wodurch die Flexibilitätsanforderung zusätzliches Gewicht erhält.

Diesen Freiheiten stehen die primären Zielkriterien der Versorgungssicherheit und Netzstabilität gegenüber. Das heißt jede potenziell einspeisende Instanz muss vom Netz trennbar sein, damit Anpassungen wie im Regelenergiebereich stattfinden können. Damit kann festgehalten werden, dass es mehrere und unterschiedliche Interessenten an einer bestimmten Information gibt. Im Fokus steht die Struktur der angebotenen und nachgefragten Energie in einem lokalen System. Im Internet finden sich diverse Blockchain-Decision-Models und die ersten Probleme, die sich stellen, sind die gemeinsame Datenbasis und die Integration mehrerer Teilnehmer mit Schreibrechten, welche bei mehreren Anbietern und Nachfragern von Energie zwingend benötigt werden.

Der bevorzugte Bezug von lokal erzeugter grüner Energie erfordert eine regelmäßige Anpassung der Angebotsstruktur. Je nachdem welches zeitliche Intervall zur Anpassung gewählt wird, müssen diese Informationen regelmäßig geändert werden, welche

anschließend physische Auswirkungen nach sich ziehen. Demzufolge ergeben sich viele Schreibvorgänge auf einer Datenbasis welche einem großen verteilten Nutzerkreis zugänglich gemacht werden muss, mit einem zeitlich möglichst geringen Delta.

Bezogen auf die Netzstabilität, die Versorgungssicherheit und der finanziellen Abwicklung handelt es sich dabei rechtlich gesehen um einen kritischen Bereich. Aus den Informationen über Angebote und Nachfrage resultieren am Ende geschlossene Verträge. Damit darf der Zugang zum diesem Informationsnetzwerk nicht öffentlich sein.

Die oben genannten Punkte sprechen schlussendlich für die Verwendung der Blockchain-Technologie. Hinzu kommt der Bedarf einer sogenannten Governance, um die Integrität der Daten zu gewährleisten. Des Weiteren muss es sich um eine permissioned Blockchain handeln um den Informationszugang gezielt einzuschränken. Da es sich um feste Intervalle handelt, in denen die Angebote aktualisiert werden müssen, wird ein Konsensusprotokoll benötigt, welches nicht ressourcenaufwendig und entsprechend konfigurierbar, zeitlich invariant ist. Die Vermeidung von Transaktionskosten ist erstrebenswert, da in permissioned Blockchains die Gefahr von DOS-Attacken geringer ist.

4. Blockchain

An dieser Stelle wird anhand des Beispiels Bitcoin die Blockchaintechnologie grob umrissen. Es handelt sich um eine verteilte Datenbank deren Daten mehreren Nutzern zugänglich gemacht werden sollen. Diese Nutzer sind verteilt und kennen sich nicht. Die Daten werden nicht durch eine zentrale Instanz in einer Datenbank gehalten. Es handelt sich demzufolge um ein trustless-System, da sich weder die Nutzer kennen noch eine vertrauenswürdige Instanz existiert. Die Daten werden, so wie sie anfallen, auf physischen Komponenten aller am Netzwerk Teilnehmenden selbst gespeichert, dazu sind die Teilnehmer mit sogenannten Nodes registriert. Im Bitcoin-Netzwerk nennt sich die Datenbank Ledger und das Medium, der Asset, ist die Währung Bitcoin.

Die grundlegendste Funktion dieser Blockchain sind Überweisungen, Transaktionen genannt. Mehrere Nutzer überweisen in einem bestimmten Zeitraum anderen Nutzer Bitcoin. Diese Informationen werden gesammelt und in einem Paket, dem sogenannten Block, im Netzwerk verteilt.

Solche verteilten Anwendungen unterliegen dabei grundsätzlich vier Hauptproblemen, welche durch Bitcoin gelöst wurden. Es darf ein und derselbe Bitcoin nicht zwei Mal zum gleichen Zeitpunkt an unterschiedliche Konten (Wallets) überwiesen werden, dies nennt sich Double-Spend-Problem. Zur Vermeidung muss ein Nutzer bei einer Überweisung immer sein gesamtes Wallet leeren und zwei Zieladressen angeben, wobei einer der beiden die eigene ist mit dem Betrag welcher nach der Überweisung übrig bleibt.

Weiterhin besteht das Problem, dass alle Nutzer auch tatsächlich die gleichen Daten haben, also mit einer Wahrheit übereinstimmen. Dazu bedarf es einem Algorithmus um einen sogenannten Konsensus zu erreichen.

Die Daten dürfen nicht gefälscht, also nachträglich geändert werden. Dazu werden die Blöcke in einem Verfahren generiert, welches Hashwerte erzeugt. Dabei ist dieses Verfahren zeit- und ressourcenaufwendig. Wichtig ist, dass der Hash des vorherigen Blocks in die Berechnung des aktuellen Blocks mit einbezogen wird. Auf diese Weise hängen die Blöcke zusammen, daher auch der Begriff Blockchain. Wird nun ein Zeichen in einem vorherigen Block geändert, ändert sich sein Hash und damit auch alle nachfolgenden. Daten zu fälschen würde bedeuten die schon geleistete Arbeit ebenfalls leisten zu müssen und dass während das gesamte Netzwerk weiter Blöcke erzeugt.

Es müssen DOS-Attacken verhindert werden, sodass niemand sehr viele Anfragen an das Netzwerk abschickt, also nicht willkürlich eine große Anzahl an Transaktionen auslöst um damit technische Komponenten des Netzwerks zum Ausfall zu bringen. Um dies zu vermeiden, muss für jede Transaktion eine kleine Gebühr bezahlt werden.

Hinzu kommt im Bitcoin-Netzwerk eine automatische Logik. Es ist über Programmcode möglich sogenannte Smart-Contracts auszudrücken. Diese können Transaktionen bspw. an Bedingungen knüpfen oder automatische Folgeüberweisungen auslösen. Um an dem Netzwerk teilnehmen und diesen Programmcode ausführen zu können, benötigt man sozusagen eine Software, welche auf allen Nodes diesen Code ausführt.

5. Hyperledger-fabric

Unter den in Punkt 3 genannten Bedingungen wurde das Hyperledger-fabric (kurz fabric) Framework von IBM und der Linux Foundation ausgesucht. Fabric ist ein modulares und erweiterbares Open Source System. Der Asset ist frei wählbar, es handelt sich also nicht um eine Kryptowährung. Es gibt einige Schlüsselkonzepte, welche fabric von anderen Blockchain-systemen deutlich abgrenzen.

Organisationen: Die Nodes (Netzwerkknoten) in fabric nennen sich Peers und werden bestimmten Organisationen zugeordnet. In der Praxis ist dies gut geeignet um diverse Hierarchien abzubilden.

Channel: Diese grenzen logische Bereiche voneinander ab. Im gleichen Atemzug ist der Chaincode zu nennen, dieser Begriff ist synonym mit Smart Contracts (Bedingungen, automatische Aktionen) zu verwenden. Ein Channel ist als Domäne zu sehen und auf einen Channel kann der Chaincode zugreifen. Die Kombination aus Channel und Chaincode ergeben in fabric ein Ledger (Konten- oder Transaktionsverzeichnis).

Endorser: Bevor eine Transaktion in fabric getätigt werden kann, muss diese von sogenannten Endorserpeers signiert werden. Diese simulieren die Änderungen durch die Transaktion und genehmigen sie in

Abhängigkeit der hinterlegten Regeln.

Orderer: Orderer dienen lediglich der Generierung der Blockchain-Blöcke. Dies kann konfiguriert werden, bspw. nach Anzahl der Transaktionen oder vergangener Zeit. Nachdem die Blöcke generiert sind, werden diese an die Peers verteilt. Der Konsensus wird durch den Orderer geschaffen, da er die Einzige Instanz ist, welche die Blöcke generiert und damit die Reihenfolge der Transaktionen festlegt.

Peers: Diese sind Organisationen zugeordnet und können an unterschiedlichen Channels registriert werden. Auf den Peers wird der Chaincode installiert, welcher diese anschließend dazu befähigt, auf das Ledger zuzugreifen. Erhalten Peers vom Orderer einen neuen Block, validieren sie erst die Transaktionen. Sie prüfen diese erst, ob sich seit der Anfrage beim Endorser diesbezüglich etwas geändert hat. Einige Peers können Endorser sein.

Die Kombination aus Endorser, Orderer und Validierung erschafft ein execute-order-validate-Prinzip. Diese hat den Vorteil, dass die eigentliche Ausführung nur bei den Endorsern geschieht. Diese erstellen ein read-write-set. Gelangt das read-write-set zu den Peers, validieren sie dieses lediglich und müssen keinen Chaincode mehr ausführen. Andere Blockchainanwendungen, wie z.B. Bitcoin, verfolgen eher das order-execute-Prinzip. Das bedeutet, die Transaktionen werden erstellt und direkt verteilt. Die Ausführung geschieht auf jedem einzelnen Peer, wodurch die Performanz gesenkt wird und die Transaktionen deterministisch sein müssen.

Membership Service Provider: Dieser abstrahiert die Generierung und Verteilung von kryptografischem Material zur Zertifikatsvalidierung und User-Authentifizierung. Dazu dienen einige Konfigurationen womit die Netzwerkstruktur beschrieben wird. Anschließend können die Materialien erzeugt werden.

6. Übertragung auf die Modelregion

Im ersten Schritt ist es das Ziel, mittels Proof of Concept die Funktionsweise von fabric im Rahmen des Projekts zu realisieren. Dabei wird eine lokale Energiebörse entwickelt.

Das zu modellierende Szenario besteht dabei aus drei verschiedenen Energieerzeugungsvarianten, für die jeweils ein Channel erstellt wurde. Es gibt diverse Energieanbieter, welche sich an den jeweiligen Channels registrieren können. Einmal am Tag geben diese eine Vorhersage darüber ab, wieviel Energie sie am Folgetag beabsichtigen einzuspeisen und zu welchem Preis. Nachfrager können auf diese Angebote reagieren.

Vice versa können Nachfrager auf zu den Energieerzeugungsvarianten äquivalenten anderen Channels eine Nachfrage für den Folgetag einstellen, auf welche anschließend die Anbieter reagieren. Die Vertragsabwicklung erfolgt auf einem separaten Channel. Dabei werden die Daten von den Vertragsparteien verschlüsselt, sodass die Vorteile eines distributed Ledgers genutzt werden, wobei jeder nur die Daten einsehen kann, an denen er selbst beteiligt ist.

Durch den Transaktionslebenszyklus, welcher die Genehmigung der Transaktionen durch den Endorser erfordert, ist es möglich, dem Netzbetreiber die Kontrolle über die genehmigten Energieeinspeisungen zu geben.

Ebenfalls können Besitzer von Energiespeichersystemen partizipieren. Diese treten als Anbieter und als Nachfrager auf. Dies wiederum unterliegt aus versorgungsrechtlicher Sicht bestimmten Restriktionen, so dass zunächst die Versorgungssicherheit der Verbraucher gewährleistet wird.

Es wurden eine grafische Benutzeroberfläche erstellt, welche sich modular anpasst, je nachdem welche Rolle der entsprechende Nutzer innehat. So ist möglich, dass ein realer Nutzer sowohl Verbraucher als auch Anbieter sein kann, ohne mehrere Nutzerlogins verwenden zu müssen. Um die künftige Verwendung im Browser oder auf mobilen Endgeräten zu ermöglichen, wurde AngularJS als Frontend und NodeJS als Backend verwendet. Der NodeJS-Server ist Schnittstelle zum Hyperledger-Framework. Die Grundlegende Struktur der Software ist in Bild 1 dargestellt.

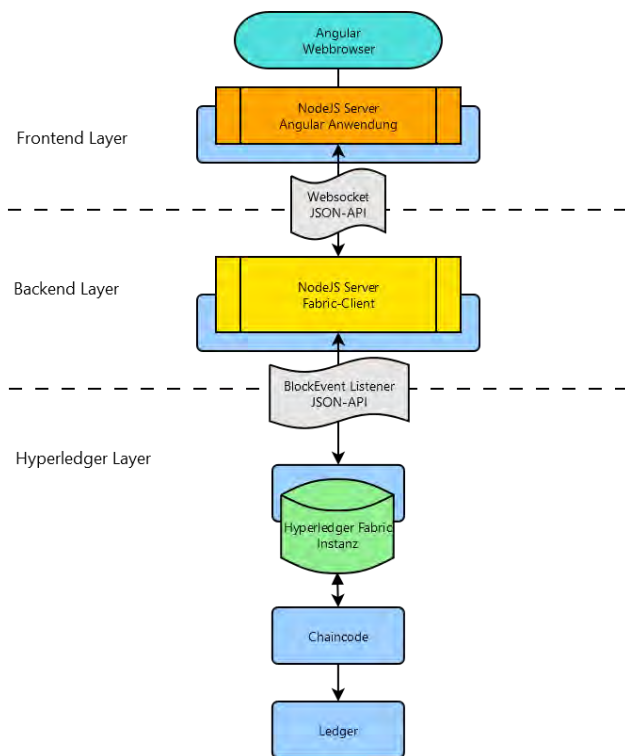


Bild 1: Architektur der fabric-Anwendung in WindNODE

7. Ausblick

Dieses erste Modell soll zeigen, wie Blockchain bei der Umsetzung dezentraler Energiemärkte genutzt werden kann. In Zukunft soll das Modell den realen Bedingungen der Modellregion angepasst werden. Des Weiteren sind Daten zur Erstellung von Forecast (Vorhersage)-Werten zu integrieren. Die Intervalle der Forecasts sollen verkürzt werden, um näher an den Bereich der Regelenergie zu gelangen. Dabei ist zu untersuchen, wie sich die Datenraten und damit die Performanz des Netzwerks verhalten.

Diese Vorhersagen und entstandenen Verträge sind jedoch nur die erste von drei Phasen. Phase zwei untersucht, welcher Anbieter tatsächlich wieviel Energie eingespeist hat und wieviel durch andere Energielieferanten abgedeckt werden musste. Phase drei beinhaltet das Clearing, welches ebenfalls integriert werden soll. Dadurch ergeben sich im Nachgang die zu erstellenden Abrechnungsprozesse.

Um die Funktion der Messung der entstandenen Energieflüsse zu integrieren, bedarf es Schnittstellen zu den Energiespeichern, Energieerzeugern und bis auf Wohnungsebene zu den Endverbrauchern.

Literaturverzeichnis

- [1] WindNode – Schaufenster für intelligente Energie aus dem Nordosten Deutschlands, <http://www.windnode.de>
- [2] M. D'Aliessi, How Does the Blockchain Work? <https://medium.com/s/story/how-does-the-blockchain-work-98c8cd01d2ae>
- [3] V. Barathan, M. Bowman et al., Hyperledger Architecture, Smart Contracts, Vol 2, 7
- [4] hyperledger-fabricdocs Documentation, Release master, (2018)
- [5] E. Androulaki, A. Barger et al., Hyperledger Fabric: A Distributed Operating System for Permissioned Blockchains

Virtuelle Welten

WORKSHOP: VIRTUELLE WELTEN

Marc Ritter, Alexander Marbach, Daniel Stockmann,
Manuel Heinzig, Rico Thomanek, Christian Roschke

Hochschule Mittweida, Technikumplatz 17, D-09648 Mittweida

Der Workshop zielt darauf ab, in die Grundlagen der Spieleentwicklung einzuführen. Die Inhalte vermitteln einen Einstieg in das Gebiet des Game Designs und essentieller Spielmechaniken. Diese werden von einem Überblick in klassische und aktuellen Algorithmen der Künstlichen Intelligenz sowie der Nutzung von modernen Grafikkarten als Parallelrechner für Virtuelle Welten und allgemeine Rechenoperationen flankiert.

The workshop provides a short introduction into the development of games. This encompasses a survey into essential game mechanics and game design as well. An overview of traditional and state-of-the-art algorithms in the field of artificial intelligence is complemented by the usage of massive parallel computing devices like modern GPGPU-based graphic cards that allow the creation of large-scale virtual worlds and the solution of scientific problems.

In der modernen Gesellschaft haben Computerspiele auf Einzelrechnern oder auf mobilen Endgeräten über alle Altersklassen hinweg und in zahlreichen Genres stark an Bedeutung gewonnen. Auf dem stetig wachsenden Markt gibt es eine Unmenge an verschiedensten Computerspielen. Trotz immer besserer und leistungsfähigerer Tools, erfordert die Erstellung von Computerspielen auch weiterhin einschlägiges Fachwissen. Dieser Workshop gibt einen Einblick in drei relevante Bereiche, denen dabei eine besondere Rolle zukommt.

Game Design & Spielmechaniken

Für die Spieleentwicklung ist ein Verständnis dafür, was Spiele schlussendlich erreichen wollen, unerlässlich. Es wird daher ein grundlegender Einblick in die Begrifflichkeiten "Spiel, Spieler, Gamedesigner und Erfahrung" gewährt sowie über die Beurteilungsebenen von Spielen gesprochen. Mithilfe konkreter Beispiele, wird ein Leitfaden erarbeitet, der Gamedesignern helfen soll, Spiele nicht als Aneinanderreihung von Mechaniken, sondern als intentionale Erfahrungserzeugung zu betrachten.

Emergenz von Künstlicher Intelligenz bei Multiagentensystemen

Emergenz ist ein Begriff aus der Systemtheorie, nach welchem aus Chaos Ordnung entsteht. Dies lässt sich programmatisch auf Individuen eines Schwarms anwenden, die im Grunde nach einzelnen leicht zu implementierenden Verhaltensregeln agieren und dabei komplexe Verhaltensmuster entwickeln.

Echtzeit-Rendering

Der Begriff des Renderings oder der Bildsynthese steht für die Erzeugung eines Bildes aus einer abstrakten Beschreibung. Das in der interaktiven 3D-Computergrafik am häufigsten eingesetzte Verfahren dazu ist die Rasterisierung, also die Umwandlung eines Drahtgittermodells in eine Rastergrafik. Dabei sind für jedes Einzelbild unzählige Rechenoperationen durchzuführen, welche sich aber in mehrere wiederkehrende, voneinander unabhängige Teiloperationen zerlegen lassen.

Bei modernen Grafikkarten handelt es sich um Parallelrechner, in denen mehrere Rechenwerke (Shading Units) die gleiche Operation simultan auf mehrere Datenelemente anwenden. Sie lassen sich heutzutage auch für Rechenoperationen nutzen, die nicht der Bildsynthese dienen, z.B. Physik-Simulationen oder Algorithmen der künstlichen Intelligenz. Einer Vorstellung prinzipieller Funktionsweisen eines modernen Grafikbeschleunigers folgt eine Einführung in die GPGPU-Programmierung.

Praxisnahe Anwendung

Im Verlauf des Workshops wird ein mit Hilfe der Unity-Engine erstelltes Multi-Agenten-Spiel in einer 3D-Welt vorgestellt. Dieses dient als Sandbox für unterschiedlich parametrierbares KI-Verhalten, wobei moderne vernetzte Verfahren wie Partikelschwärme Anwendung finden. Abschließend erfolgt ein wissenschaftlicher Diskurs, in welchem diskutiert wird, inwiefern traditionelle und emergente Methoden zur Steuerung der Spielintelligenz und Non-Player-Characters durch moderne Verfahrensansätze ergänzt werden können, um den Spielern ein immersiveres und realistischeres Spielerlebnis zu ermöglichen.

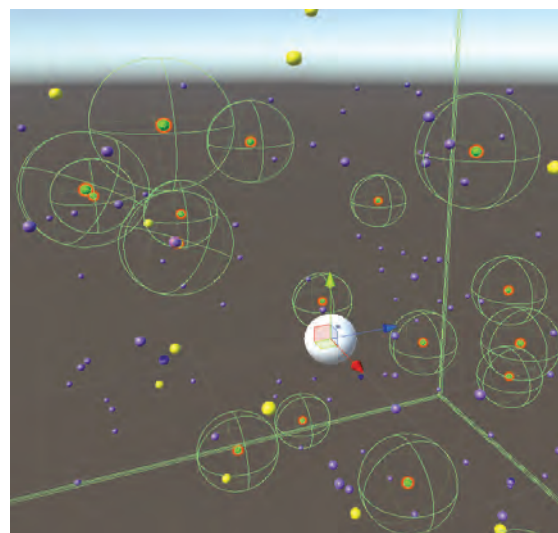


Abbildung 1: Erstelltes Multi-Agenten-Partikelspiel

***Moderne Methoden der
Lärminderung an Fahr-
zeugen, Verkehrswegen und
Industrieanlagen***

MINDERUNG DER AKUSTISCHEN WIRKSAMKEIT VON SCHALLDÄMPFERSYSTEMEN DURCH KÖRPERSCHALLAUSBREITUNG

Christian Schulze¹, Paul Lindner¹, Jörn Hübelt¹, Mirko Ruhnau¹, Dominik Hennig¹,
Jan Troge², Tom Georgi², Dag Levermann³

1 Gesellschaft für Akustikforschung Dresden mbH, Blumenstraße 80, D-01307 Dresden

2 Fraunhofer IWU, Nöthnitzer Straße 44, D-01187 Dresden

3 Luhe-Stahl GmbH, Löhnfeld 26, D-21413 Winsen/Luhe

Zur Reduzierung des Entwicklungsrisikos bei der Auslegung von Schalldämpfern werden möglichst genaue Auslegungs- und Berechnungswerkzeuge benötigt. Einen wichtigen begrenzenden Faktor stellt hierbei die Übertragung von Körperschall über die Schalldämpferbauteile dar, die bisher ausschließlich durch Sicherheitsbeurteilungen berücksichtigt wird. Nun wurde ein neues Berechnungsverfahren geschaffen, das den Körperschalleinfluss auf die Luftschalldämpfung eines Schalldämpfers analytisch beschreiben kann. Dazu kommt ein SEA-Modell (statistische Energieanalyse) zum Einsatz. Die dafür erforderlichen Modellparameter wurden aus den für den Körperschall bedeutsamen Eigenschaften der Schalldämpferbauteile abgeleitet. Im Beitrag werden Ergebnisse zur Analyse der Körperschallanregung und der Luftschallabstrahlung von Schalldämpferkomponenten, der Untersuchung der Schallausbreitung in Schalldämpferelementen sowie die Validierung der Berechnungsmethodik durch Messreihen an Schalldämpfern in Modell- und Originalgröße präsentiert.

1. Einleitung

Schalldämpfer von modernen Schiffen müssen den ständig steigenden Anforderungen im Hinblick auf Gewicht, Bauraum, Gegendruck sowie Abgas- und Geräuschemissionen gerecht werden. Zur Reduzierung des Entwicklungsrisikos bei der Auslegung von Schalldämpfern werden möglichst genaue Berechnungswerkzeuge benötigt. Einen wichtigen begrenzenden Faktor stellt hierbei die Übertragung von Körperschall über die Schalldämpferbauteile dar, die aktuell in der Auslegung durch Sicherheitsbeurteilungen berücksichtigt wird.

Ziel des Verbundvorhabens SimDamp zwischen den Verbundpartnern Gesellschaft für Akustikforschung Dresden mbH, Fraunhofer IWU und Luhe-Stahl GmbH ist es, ein Berechnungsverfahren zu schaffen, das den Körperschalleinfluss auf die Luftschalldämpfung eines Schalldämpfers in Abhängigkeit von den Eigenschaften der einzelnen Schalldämpferkomponenten beschreiben kann.

Unterstützt wird das Verbundvorhaben SimDamp von den assoziierten Projektpartnern DNV GL SE, MAN Energy Solutions SE, MEYER WERFT GmbH und Flensburger Schiffbau-Gesellschaft mbH & Co. KG.

Im Fokus des Vorhabens steht die Entwicklung skalierbarer SEA-Modelle (statistische Energieanalyse), um die Kopplung zwischen Luft- und Körperschall sowie die Ausbreitung von Körperschall in Schiffsschalldämpfern zu beschreiben. Die dafür notwendigen Modellparameter werden aus den für den Körperschall bedeutsamen Eigenschaften der Schalldämpferbauteile abgeleitet.

In diesem Beitrag wird ein Modell zur analytischen Beschreibung der Körperschalleinkopplung, -übertragung und -abstrahlung zur Untersuchung des Einflusses von Körperschall auf die Wirksamkeit von Schalldämpfern vorgestellt. Das Modell wird anhand von Ergebnissen messtechnischer Untersuchungen an einem Schiffsschalldämpfer validiert.

2. Stand der Wissenschaft und Technik

Als international anerkannte Standardwerke zur Auslegung von Schalldämpfern sollen an dieser Stelle insbesondere die Arbeiten von Munjal [1] und Mechel [4] erwähnt werden. Das grundlegende Problem der Begrenzung der maximal erreichbaren Dämpfung eines Schalldämpfers durch Körperschallnebenwege ist bekannt und wurde bereits mehrfach untersucht (vgl. [1], [2] u. a.). Wie in Abbildung 1 zu erkennen ist, wird die akustische Wirksamkeit einer Schalldämpferkonstruktion durch die Körperschalleitung der Schalldämpferwandstrukturen speziell bei hohen Frequenzen maßgeblich begrenzt. Das erreichbare Einfügungsdämpfungsmaß ist dabei im Wesentlichen vom Wandmaterial und der Wandstruktur des Schalldämpfers abhängig. Abbildung 1 zeigt zudem beispielhaft mögliche Schallnebenwege eines Kulissenschalldämpfers, die unterschiedlichen Einfluss auf die Einfügungsdämpfung haben können.

Grundsätzlich basieren diese Übertragungspfade auf einer Anregung einer Schalldämpferstruktur durch Luftschall, einer Weiterleitung der Körperschallenergie und einer erneuten Luftschalleinkopplung an anderer Stelle. Der Dämpfungsverlust der Einfügungsdämpfung aufgrund Längsleitung über den Kulissenrahmen ist in diesem Beispiel mit ca. 10 dB bis 15 dB im Maximum signifikant.

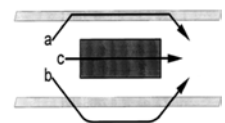
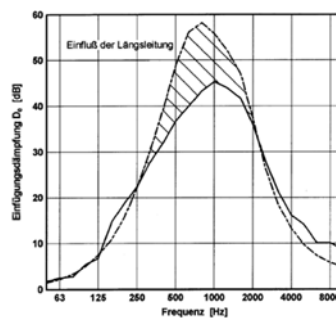


Abbildung 1: rechts: Schallnebenwege bei Schalldämpfern als Körperschall über die Kanalwand (a, b) oder den Kulissenrahmen (c); links: Beispiel für (c) aus [4]

Dieser Effekt wird bisher in Auslegungskurven für Schalldämpfer in Form einer Begrenzung der spezifischen Dämpfung D_h bzw. D^* auf 1,5 dB berücksichtigt (siehe Abbildung 2).

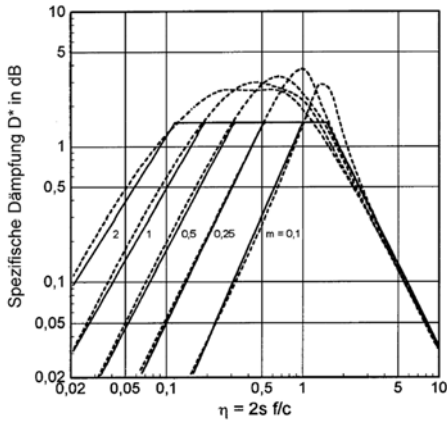


Abbildung 2: spezifische Dämpfung D^* in dB als „Trapez-Kurven“ zur Auslegung von homogenen faserigen oder porösen Schalldämpfern nach Esche 1984 aus [3];

Mithilfe der normierten Kenngröße D_h bzw. D^* kann unter Verwendung der geometrischen Kanalabmessungen und Absorberkenngrößen auf eine längenbezogene Dämpfung des Schalldämpfers zurückgerechnet werden. Die theoretisch erreichbare Maximaldämpfung in Abbildung 2 liegt zwar höher, wird aber in der Praxis aufgrund der in Abbildung 1 (rechts) gezeigten Schallnebenwege nicht erreicht. Die Begrenzung von D_h bzw. D^* stellt jedoch lediglich eine Abschätzung mit erheblicher Sicherheitsbeaufschlagung dar.

3. Statistische Energieanalyse

In der SEA wird die zu untersuchende Struktur als Modell, das aus miteinander gekoppelten Subsystemen besteht, beschrieben (vgl. z. B. [5]). Wie in Abbildung 3 dargestellt, sind die interessierenden Größen die zeitlich, räumlich und innerhalb eines Frequenzbandes spektral gemittelten Energien der Subsysteme W_i , die zwischen ihnen übertragenen Energien $\eta_{ij}W_i$ sowie die in die Subsysteme eingebrachten Energien $W_{in,i}$. Kennzeichnend für die Dissipation und Übertragung von Energie sind die Eigen- bzw. Kopplungsverlustfaktoren η_i bzw. η_{ij} .

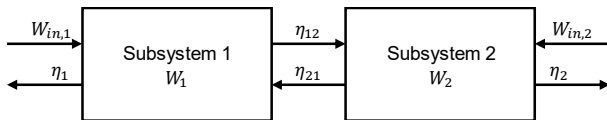


Abbildung 3: SEA-System bestehend aus zwei gekoppelten Subsystemen

Die Verlustfaktoren bilden den Zusammenhang zwischen den eingebrachten Energien $W_{in,i}$ und den daraus resultierenden Energien W_i der Subsysteme:

$$\begin{pmatrix} W_1 \\ W_2 \\ \vdots \\ W_x \end{pmatrix} = \begin{bmatrix} \eta_1^o & -\eta_{21} & \cdots & -\eta_{x1} \\ -\eta_{12} & \eta_2^o & & -\eta_{x2} \\ \vdots & & \ddots & \vdots \\ -\eta_{1x} & -\eta_{2x} & \cdots & \eta_x^o \end{bmatrix}^{-1} \cdot \begin{pmatrix} W_{in,1} \\ W_{in,2} \\ \vdots \\ W_{in,x} \end{pmatrix} \quad (1)$$

Dabei gilt für jedes η_k^o :

$$\eta_k^o = \eta_k + \sum_{\substack{i=1 \\ i \neq k}}^x \eta_{ki} \quad (2)$$

Hierbei stellt η_k den Eigenverlustfaktor eines Subsystems k und η_{ij} den Kopplungsverlustfaktor von Subsystem i zu Subsystem j eines SEA-Modells bestehend aus x Subsystemen dar.

Abbildung 4 zeigt das entwickelte SEA-Modell zur Beschreibung der Luft- und Körperschallausbreitung in einem Rohrsystem bestehend aus einem eingangsseitigen Rohr, einem Schalldämpfersystem und einem ausgangsseitigen Rohr. Innerhalb dieses Modells wird zwischen Luftschall- und Körperschall-Subsystemen unterschieden. Dies ermöglicht die separate Betrachtung der Ein- und Auskopplung sowie der Weiterleitung von Körperschall. Die Subsysteme 1 und 4 werden durch die Luft- und Körperschallenergien $W_{in,1}$ und $W_{in,4}$ direkt angeregt. Eine indirekte Anregung in Form von Energieübertragung erfolgt durch die Kopplung der Subsysteme.

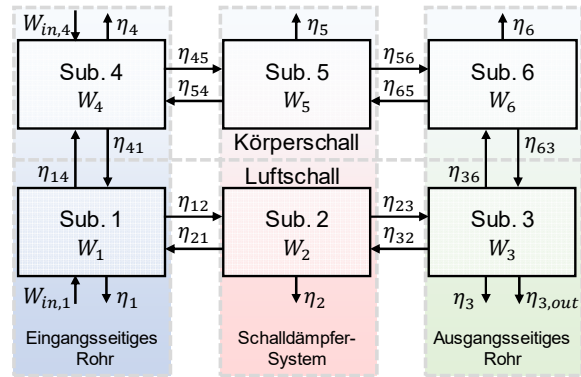


Abbildung 4: SEA-Modell zur Beschreibung der Luft- und Körperschallausbreitung und Einteilung in entsprechende Subsysteme; eingebrachte Energien $W_{in,i}$, Energien W_i , Eigen- bzw. Kopplungsverlustfaktoren η_i bzw. η_{ij}

Ein beispielsweise mithilfe der zuvor erwähnten Standardwerke zur Auslegung von Schalldämpfern oder mithilfe numerischer Simulationen berechnetes Luftschall-Durchgangsdämpfungsmaß eines Absorptionsschalldämpfers $D_{ts,LS}$ kann in Form von η_2 in das Modell implementiert werden:

$$\eta_2 = 10^{\frac{D_{ts,LS}}{10} \text{ dB}} - 1. \quad (3)$$

Sind die Eigen- und Kopplungsverlustfaktoren der Subsysteme aus Messungen oder analytischen Beschreibungen bekannt, können bei gegebenen Eingangsennergien gemäß Gleichung (1) die resultierenden Energien der Subsysteme berechnet werden.

Dabei lautet der Zusammenhang zwischen der Energie eines Körperschall-Subsystems gleichmäßig verteilter Masse m und dem mittleren Quadrat der Körperschall-Schwingschnelle \bar{v}^2

$$W = m \cdot \bar{v}^2. \quad (4)$$

Die Luftschall-Energie und das mittlere Quadrat des Schalldruck-Effektivwerts \bar{p}^2 eines Rohr-Subsystems

stehen gemäß [6] folgendermaßen im Verhältnis zueinander:

$$W = \frac{P_0}{\omega} \cdot \frac{\overline{\hat{p}_i^2}}{p_0^2} \cdot \frac{S}{10^{\frac{K_D}{10} \text{dB}}},$$

$$K_D = 8 \left(1 - \frac{c_0}{d_i f} \right) \text{ dB},$$

$$0 \leq K_D \leq 6 \text{ dB}.$$

Hierbei stellen S die Zylinderquerschnittsfläche, K_D den spektralen Quermoden-Korrekturterm, f die Frequenz, c_0 die Schallgeschwindigkeit und d_i den Innendurchmesser des Rohres dar.

Aus den berechneten Luftschallenergien vor und hinter dem Schalldämpfer ergibt sich das Gesamtdurchgangsdämpfungsmaß $D_{ts,ges}$ (unter Berücksichtigung der Körperschallübertragung) zu

$$D_{ts,ges} = 10 \lg \frac{W_1}{W_3} \text{ dB}.$$

Dieses verringert sich gegenüber dem Luftschalldurchgangsdämpfungsmaß $D_{ts,LS}$ aufgrund der Körperschallanregung von Subsystem 4 durch einerseits $W_{in,4}$ und andererseits die Kopplung zwischen den Subsystemen 1 und 4 in Verbindung mit der Körperschall-Weiterleitung über Subsystem 5 zu Subsystem 6 und die anschließende Auskopplung in Form von Luftschall zwischen den Subsystemen 6 und 3.

4. Messtechnische Untersuchungen

Nachdem bei der Anwendung des SEA-Modells auf Test-Schalldämpfersysteme kleinerer Dimensionen positive Ergebnisse erzielt werden konnten, wurden messtechnische Untersuchungen an einem Schiffsschalldämpfer in Originalgröße durchgeführt, um die Skalierbarkeit des Modells zur Anwendung auf Bauteile großer Dimensionen zu validieren. In Abbildung 5 und Abbildung 6 ist der Versuchsaufbau für die Messung des Durchgangsdämpfungsmaßes dargestellt.

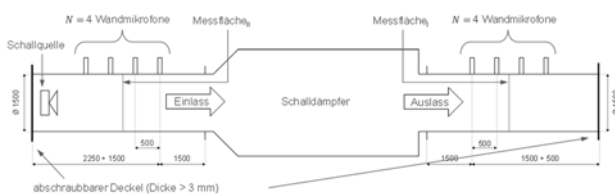


Abbildung 5: Versuchsaufbau zur Messung des Durchgangsdämpfungsmaßes des Schiffsschalldämpfers unter Laborbedingungen

Es wurden Mikrofone im Innern und am Mantel der ein- und ausgangsseitigen Rohre positioniert. Außerdem fand eine Messung der Körperschall-Beschleunigung an den ein- und ausgangsseitigen Rohrmänteln statt. Um den Einfluss der Körperschalleinleitung durch einen Motor zu untersuchen, wurde zusätzlich zur Luftschallanregung Körperschall mittels eines Shakers in das eingangsseitige Rohr eingebracht.

Zur Durchführung der SEA-Simulationen fand analog zu den vorherigen Betrachtungen an den Testschalldämpfern das SEA-Modell aus Abbildung 4 unter Ver-

wendung analytisch ermittelter Eigen- und Kopplungsverlustfaktoren Anwendung. Um die Vergleichbarkeit der Mess- und Simulationsergebnisse zu gewährleisten, wurde die gemessene Luftschallenergie im eingangsseitigen Rohr W_1 in der Simulation durch $W_{in,1}$ nachgebildet. Zudem fand die Messung von Beschleunigung und Kraft am Eintragsort statt, womit die mittels des Shakers eingetragene Körperschall-Energie $W_{in,4}$ berechnet und als Eingangsgröße in das SEA-Modell übernommen werden konnte.

Im Folgenden werden die drei Fälle

L: nur Luftschallanregung durch Lautsprecher,

S: nur Körperschallanregung durch Shaker und

C: gleichzeitige Luft- und Körperschallanregung durch Lautsprecher und Shaker

unterschieden.



Abbildung 6: Versuchsaufbau zur Messung des Durchgangsdämpfungsmaßes D_{TL} mittels des Two-Load-Verfahrens und D_{ts} gemäß [7] sowie der Luft- und Körperschallenergien vor und hinter dem Schiffsschalldämpfer bei Luft- und Körperschallanregung mittels Lautsprecher und Shaker

In Abbildung 7 ist der Pegel der Körperschallenergie des ausgangsseitigen Rohres aus der Messung den Ergebnissen der SEA-Simulation gegenübergestellt. Hierbei geben die roten Kurven die SEA-Simulationsergebnisse wieder, während die grünen Kurven die Messergebnisse darstellen. Die durchgezogenen bzw. gestrichelten Kurven beschreiben die Mess- und Simulationsergebnisse bei ausschließlicher Luftschallanregung mittels des Lautsprechers (Fall L) bzw. bei ausschließlicher Körperschallanregung mittels des Shakers (Fall S).

Es ist erkennbar, dass für beide Fälle eine sehr gute Übereinstimmung zwischen den Mess- und Simulationsergebnissen herrscht. Im Fall L weichen Messung und Simulation im gesamten Frequenzbereich um weniger als 10 dB voneinander ab, für Fall S stimmen Messung und Simulation für Frequenzen unterhalb von 3150 Hz sehr gut überein.

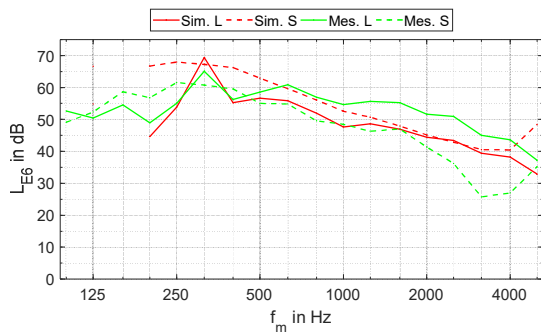


Abbildung 7: Körperschallenergiepegel hinter dem Schalldämpfer (Subsystem 6) als Funktion der Terzmittenfrequenz; rot: SEA-basierte Simulationsergebnisse auf Grundlage analytisch ermittelter Eigen- und Kopplungsverlustfaktoren; grün: Messergebnisse; durchgezogen: nur Luftschallanregung; gestrichelt: nur Körperschallanregung

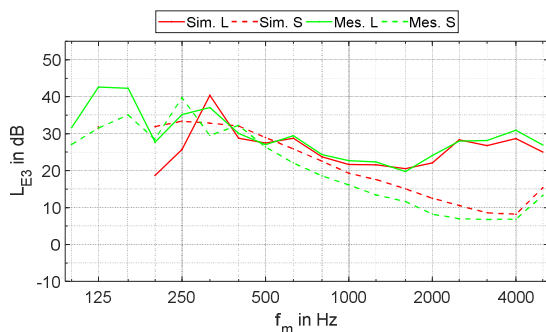


Abbildung 8: Luftschallenergiepegel hinter dem Schalldämpfer (Subsystem 3) als Funktion der Terzmittenfrequenz; rot: SEA-basierte Simulationsergebnisse auf Grundlage analytisch ermittelter Eigen- und Kopplungsverlustfaktoren; grün: Messergebnisse; durchgezogen: nur Luftschallanregung; gestrichelt: nur Körperschallanregung

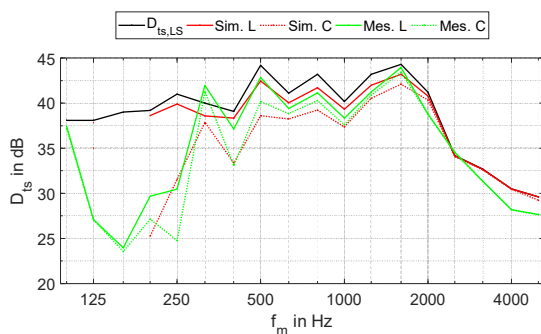


Abbildung 9: Durchgangsdämpfungsmaß D_{ts} des Original-Schalldämpfers als Funktion der Terzmittenfrequenz; schwarz: Luftschall-Durchgangsdämpfungsmaß $D_{ts,LS}$ aus Auslegung; rot: SEA-basierte Simulationsergebnisse des Gesamt-Durchgangsdämpfungsmaßes $D_{ts,ges}$ auf Grundlage analytisch ermittelter Eigen- und Kopplungsverlustfaktoren; grün: Messergebnisse des Gesamt-Durchgangsdämpfungsmaßes $D_{ts,ges}$; durchgezogen: nur Luftschallanregung; gepunktet: gleichzeitige Luft- und Körperschallanregung

In Abbildung 8 ist analog zu Abbildung 7 der Pegel der Luftschallenergie hinter dem Schalldämpfer dargestellt. Hier zeigt sich vor allem für Fall L eine noch bessere Übereinstimmung zwischen Simulation und

Messung. Auch im Fall S weichen Mess- und Simulationsergebnisse nur um wenige Dezibel voneinander ab. Abbildung 9 zeigt in Analogie zu den vorherigen Darstellungen die Mess- und Simulationsergebnisse des Durchgangsdämpfungsmaßes des Original-Schalldämpfers. Zusätzlich zu den Kurven der gemessenen und simulierten Gesamt-Durchgangsdämpfungsmaße $D_{ts,ges}$ (mit Berücksichtigung der Körperschallübertragung) ist in schwarz das berechnete Luftschall-Durchgangsdämpfungsmaß $D_{ts,LS}$ (ohne Berücksichtigung der Körperschallübertragung) abgebildet. Anstelle der zuvor betrachteten gestrichelten Kurven für Fall S finden sich hier die gepunkteten Kurven für Fall C, in dem sowohl eine Luft- als auch eine Körperschallanregung des eingangseitigen Rohres stattfand. Es ist zu erkennen, dass im Bereich zwischen 400 Hz und 1600 Hz eine Verringerung der Durchgangsdämpfung des Schalldämpfers gegenüber der Luftschallauslegung vorhanden ist. Dies spiegelt sich sowohl im Simulationsergebnis als auch im Messergebnis wider. Der Unterschied zwischen $D_{ts,ges}$ und $D_{ts,LS}$ vergrößert sich gegenüber Fall L, wenn zusätzlich eine Körperschallanregung stattfindet (Fall C). Für beide Fälle ergibt sich eine sehr gute Übereinstimmung zwischen Mess- und Simulationsergebnissen für Frequenzen oberhalb von 315 Hz.

5. Zusammenfassung und Ausblick

Es konnte gezeigt werden, dass das entwickelte SEA-Modell auf die Simulation der Körperschallübertragung an einem Schalldämpfersystem in Originalgröße angewendet werden kann und Ergebnisse liefert, die in sehr guter Übereinstimmung mit Messergebnissen stehen. Die Beeinflussung des Durchgangsdämpfungsmaßes durch Körperschall ist hierbei vom Verhältnis der eingetragenen absoluten Luft- und Körperschallenergie abhängig. Um zu untersuchen, wie groß der Einfluss der vom Motor in den Abgasstrang eingetragenen Körperschallenergie tatsächlich ist, sollen im weiteren Verlauf Luft- und Körperschalleistungen als Eingangsgrößen für die Simulation verwendet werden, welche zuvor in situ am Motorenprüfstand gemessen worden sind. Weiterhin ist die Validierung des SEA-Modells durch Messungen auf einem Schiff geplant.

Förderer

Das Vorhaben SimDamp ist gefördert mit Mitteln des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie.

Literaturverzeichnis

- [1] MUNJAL, M. L.: Acoustics of Ducts and Mufflers, 2nd Edition, Wiley, UK, March 2014
- [2] FUCHS, H.: Schallabsorber und Schalldämpfer, 3. Auflage, Springer-Verlag, Berlin 2010
- [3] HARRIS, E; DAVID: Silencers. In Noise Control Manual. - p 45-52, Springer US, 1991
- [4] MECHEL, F. P. (editor): Formulas of Acoustics. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg 2008
- [5] MÜLLER, G.; MÖSER, M.: Taschenbuch der Technischen Akustik. 3. erweiterte und überarbeitete Auflage, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg 2004

- [6] HENN, H. et. al.: Ingenieurakustik. Physikalische Grundlagen und Anwendungsbeispiele, 4. Überarbeitete und erweiterte Auflage, Vieweg und Teubner, GWV Fachverlage, Wiesbaden 2008
- [7] DIN EN ISO 11820: Akustik - Messungen an Schalldämpfern im Einsatzfall. April 1997

Digitalisierung und Studium Generale

DIGITALE KOMPETENZ ALS 4. KULTURTECHNIK ODER ALS QUERSCHNITTSKOMPETENZ? – IMPLIKATIONEN FÜR DIE GESTALTUNG VON LEHR-/LERNKONZEPTEN IM STUDIUM GENERALE

Ramona Kusche
Hochschule Mittweida

Unsere Lebenswelten verändern sich durch die digitale Transformation weitreichend. Wir sind kontinuierlich über den gesamten Bildungsverlauf gefordert, digitale Kompetenzen zu entwickeln, um im „digitalen Raum“ handeln zu können. Das verlangt digitale Souveränität, d.h. die Fähigkeit digitale Medien selbstbestimmt und unter eigener Kontrolle zu nutzen und sich an die ständig wechselnden Anforderungen in einer digitalisierten Welt anzupassen. Die in diesem Zusammenhang diskutierte digitale Kompetenz bzw. Medienkompetenz wird oft als „neue Kulturtechnik“ zusätzlich zu den traditionellen Kulturtechniken aufgefasst. Der Beitrag diskutiert, dass sich digitale Kompetenz nicht singular zu „Lesen, Schreiben, Rechnen“ hinzufügen lässt, sondern alle Kulturtechniken durchdringt. Die daraus resultierenden Herausforderungen für das Lehren und Lernen an Hochschulen lassen sich nicht in generischen Kursangeboten jenseits spezifischer Kontexte oder durch zusätzliche Module abbilden. Vielmehr gilt es, auf dieser Basis digitale Lehr-/Lernkonzepte systematisch zu erarbeiten. Im Beitrag wird das, ausgehend von dem doppelten Spezifikum von Kommunikation und Wirtschaft als Treiber und Anwendungsfeld der Digitalisierung, für den Kurs „Interkulturelle Wirtschaftskommunikation“ im Rahmen des Studium Generale exemplarisch aufgezeigt.

1. Einleitung

Unsere Lebenswelten verändern sich durch die digitale Transformation weitreichend. Sowohl im Privatleben als auch im öffentlichen bzw. Berufsleben können wir uns den Einflüssen der Digitalisierung nicht entziehen. Dazu zählen bspw. die Omnipräsenz und daraus resultierende Auswirkungen der digitalen Medien auf alle Ebenen der interpersonellen Kommunikation, aber auch der interkulturellen Wirtschaftskommunikation. Digitale und interkulturelle Kompetenzen werden immer wichtigere Anforderungen an Arbeitskräfte im globalen Arbeitsmarkt. Hochschulen sind daher gefordert integrierte Konzepte zu entwickeln, die ausgehend vom doppelten Spezifikum von Kommunikation und Wirtschaft als Treiber und Anwendungsfeld der Digitalisierung die Entwicklung digitaler und interkultureller Kompetenzen bei den Studierenden gleichermaßen fördern.

2. Digitale Kompetenz als 4. Kulturtechnik (?)

Digitale Transformationsprozesse bedingen Akteure, die eigenverantwortlich und sicher mit diesen Technologien umgehen können. Im deutschsprachigen gesellschaftlichen Diskurs wird das vielfach mit der Notwendigkeit nach digital souveränem Handeln umschrieben.¹ Das Konzept der Digitalen Souveränität ist vielschichtig und erhält von unterschiedlichen Akteuren (bspw. Politik, Wirtschaft, Wissenschaft) per definitionem unterschiedliche Bedeutungszuweisungen. Gemein ist allen ein gewisses Maß an Selbstbestimmtheit der Akteure, die in Bezug zu gesellschaftlichen und technologischen Bedingungen bzw. Voraussetzungen steht.

Mit Blick auf das lernende Individuum wird unter Digitaler Souveränität die Möglichkeit verstanden, digitale Medien selbstbestimmt und reflexiv zu nutzen, um sich an die ständig wechselnden Anforderungen in einer digitalisierten Welt anpassen zu können. Digital souveränes Handeln wird damit einerseits durch die Verfügbarkeit digitaler Technologien und Produkte

bedingt, erfordert andererseits aber insbesondere ein gewisses Maß an individueller digitaler Kompetenz. Der Aktionsrat Bildung hat in seinem 2018 erschienenen Gutachten zu digitaler Souveränität und Bildung Empfehlungen formuliert, wie über den Bildungsverlauf hinweg digital souveränes Handeln entwickelt werden kann. Es wird postuliert, dass dazu digitale bzw. Medienkompetenz nötig sei, die wie eine elementare Kulturtechnik zu erlernen ist: „Da digitale Kompetenzen als vierte Kulturtechnik anzusehen sind, sollte ihre Förderung analog zum Rechnen, Schreiben und Lesen Eingang in die Gesamtkonzepte der Bildungseinrichtungen finden. Neben informationstechnischem Grundlagenwissen sind auch alle übrigen Komponenten von „ICT Literacy“ zu berücksichtigen, d. h. sowohl speziellere technische Bedien- und Anwendungskompetenzen als auch übergeordnete Medienkompetenzen (...), die für einen ziel- und problemorientierten Umgang mit digitalen Medien notwendig sind.“² Dieses Verständnis von digitaler bzw. Medienkompetenz als zusätzliche vierte Kulturtechnik lässt sich in verschiedenen Publikationen zu digitaler Bildung wiederfinden.³ Wenn wir davon ausgehen, dass digitale Medien

- pervasiv alle Lebensbereiche durchdringen,
- subtil, d.h. ohne direkte Wahrnehmung wirken,
- ubiquitär, d.h. allgegenwärtig verfügbar sind und somit
- Lernorte durchlässig und Lernübergänge nahtlos werden (seamless learning),⁴

dann erscheint die These der digitalen Kompetenz als vierte elementare Kulturtechnik als diskussionswürdig. Rechnen, Lesen, Schreiben sind Fertigkeiten, die zu kultureller und gesellschaftlicher Teilhabe befähigen. Sie werden daher als grundlegende Elemente von Bildung und als Basis für lebenslanges Lernen verstanden.⁵ Genaugenommen handelt es sich dabei weniger um Techniken, sondern um Fertigkeiten zur Erschließung von Wissen.

Aus der Kognitionswissenschaft wissen wir, dass Informationen stets in bestimmter Weise codiert sind, d.h. wir erschließen uns das Wissen über Codes, die der Information zugrunde liegen. Es benötigt grundlegende Fähigkeiten (Lesen, Schreiben, Rechnen), um das Symbolsystem verstehen und produktiv-reflexiv nutzen zu können. Dabei ist es zunächst irrelevant, welches Medium in welcher Form die Informationen liefert. Ob bspw. ein Artikel in Print- oder digitaler Version zur Verfügung steht, ist für den Verstehensprozess weitgehend irrelevant. Gleichwohl lassen sich die Verstehensprozesse bei digitalen Varianten durch Verlinkungen, Clips o.ä. anreichern. Die Digitalisierung transformiert also vielmehr die Prozesse der Wissenserschließung und -kommunikation.

Die Kompetenzanforderungen an die elementaren Kulturtechniken Lesen, Schreiben und Rechnen lassen sich klar benennen und sind veränderungsresistent. Anders verhält es sich bei digitaler Kompetenz. Hier muss von einem interdependenten, disruptiven Zusammenhang ausgegangen werden, nämlich von der Wirkung bestimmter Kompetenzanforderungen auf die digitale Lebenswelt einerseits und der Rückkopplung der digitalen Prozesse auf die Kompetenzanforderungen andererseits (vgl. Abb. 1).



Abb. 1: Interdependenz digitale Kompetenz u. Lebenswelt⁶

Konkret bedeutet das, dass digitale Prozesse zunehmend versteckt wirken, in dem sie unsichtbar in die Alltagswelt eingebettet sind, wie das bspw. bei (Fahr-) Assistenz- und Trainingssystemen oder künstlich intelligenten Beratungssystemen der Fall ist. Dadurch entstehen neue, zusätzliche Kompetenzanforderungen, die sich u.a. auch in den Curricula an Hochschulen niederschlagen. Gleichzeitig werden erworbene digitale Kompetenzen entkräftet oder gar überflüssig, wenn die digitale Technik effizienter agiert. Der digitale Kompetenzbegriff ist also ständig im Wandel und das Ausmaß bzw. die Geschwindigkeit dieser Entwicklung ist noch nicht absehbar.

Digitale Kompetenz lässt sich aus dieser Perspektive nicht einfach neben die elementaren Kulturtechniken stellen bzw. nur eingeschränkt zu Lesen, Schreiben und Rechnen hinzufügen. Sie durchdringt vielmehr die Modi der Wissenserschließung und muss als Querschnittskompetenz gedacht werden. Im aktuellen medienkulturwissenschaftlichen Diskurs wird daher ein erweitertes Verständnis von Kulturtechniken propagiert, nach dem „Medien späte Manifestationen kultureller Techniken sind“⁷ und Medienkompetenz

die Kulturtechniken vielmehr befruchtet. Das erfordert integrierte Medienkonzepte, die digital souverän handelnde Akteure hervorbringen. Die dafür notwendige digitale Kompetenz lässt sich nicht separat, sondern über die Erschließung von Lerngegenständen in komplexeren Lehr-Lernszenarien entwickeln.

3. Digitale und interkulturelle (Querschnitts-) Kompetenz

Querschnittskompetenzen lassen sich an Hochschulen nicht singular in einzelnen Veranstaltungen vermitteln. Sie müssen vielmehr im Kontext eines Faches oder Themas konzipiert werden und folglich einen hohen Anwendungsbezug aufweisen. Dabei erscheint es sinnvoll, mehr als nur eine Querschnittskompetenz zu stimulieren und entstehende Synergien rekursiv für die Fachthematik zu nutzen. Mit Blick auf die oben diskutierte digitale Kompetenz liegt es nahe, digitale und interkulturelle Kompetenz in Lehr-Lern-Konzepten zu verknüpfen.

Die neuen Kommunikationstechnologien bedingen, dass Individuen und Gruppen unabhängig der kulturellen Zugehörigkeit jederzeit und von jedem Ort miteinander kommunizieren. Der Face-to-face Kontakt ist längst nicht mehr der vorherrschende Kommunikationsmodus in der interkulturellen Kommunikation. In der Interkulturalitätsforschung wird von hybriden Kulturen gesprochen, deren Akteure multiple (disruptive) Identitäten aufweisen und ohne Zeit- und Raumgrenzen (ubiquitär und seamless) interagieren.⁸

Das gilt insbesondere für die globalisierte Wirtschaft, indem bspw. die Grenzen von Märkten verschwimmen und Wirtschaftsbeziehungen in virtuellen Räumen ausgehandelt oder zukünftig vermutlich über Blockchaintechnologie abgebildet werden. Dazu benötigt es neben digitaler u.a. auch interkulturelle Kompetenz (vgl. Abb. 2).⁹ Interkulturelle Kompetenz wird in diesem Zusammenhang als Voraussetzung dafür angesehen, „dass die Interaktionspartner im interkulturellen Kontext ihre wie auch immer ausgeprägten weiteren Kompetenzen fachlicher, strategischer oder anderer Art überhaupt zur Anwendung kommen lassen können“¹⁰. Interkulturell kompetentes Handeln sowohl im analogen als auch digitalen Raum zeichnet sich darüber hinaus dadurch aus, dass zunächst fehlende Normalität innerhalb einer Lebenswelt gestiftet und aus unbekanntem Differenzen bekannte werden, um in interkulturellen Situationen effektiv und angemessen zu agieren. Das wird u.a. durch Empathie, Ambiguitätstoleranz, (inter-) kulturellem Wissen und allgemeiner Reflexionskompetenz befördert und ermöglicht die Entwicklung der eigenen (kulturellen) Identität sowie die Teilhabe am gesellschaftlichen Diskurs.¹¹

4. Implikationen für Lehr-Lern-Szenarien

Ausgehend von diesen Vorüberlegungen erfordert die Entwicklung von Querschnittskompetenzen (wie digitale und interkulturelle Kompetenzen) im hochschulischen Kontext multimedial und kulturübergreifend angelegte, an (interdisziplinären) Lerngegenständen orientierte Lehr-Lern-Konzepte.¹²

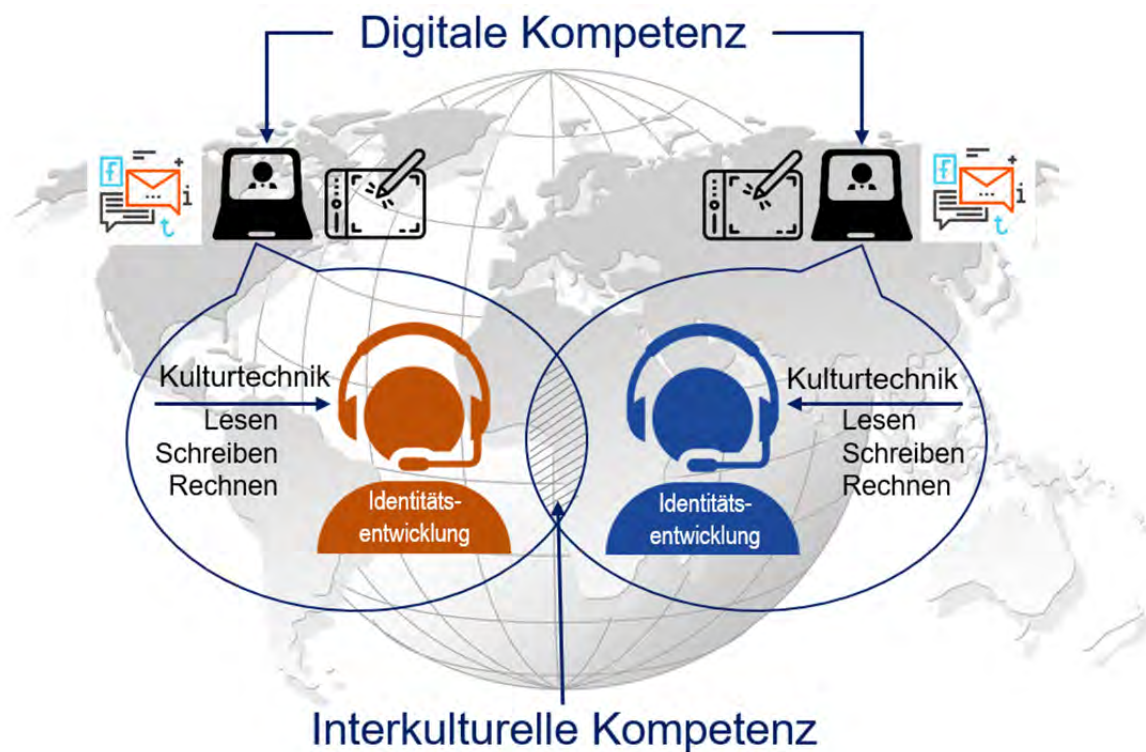


Abb. 2: Interdependenz digitale-interkulturelle Kompetenz¹³

Kerres (2018) hat vorliegende Forschungsergebnisse aus Einzeluntersuchungen und Metaanalysen zu Effekten des Lernens mit digitalen Medien auf den Lernerfolg zusammengefasst. Die Ergebnisse zeigen, dass digitale Medien ein anderes, aber nicht zwangsläufig erfolgreicherer Lernen ermöglichen. Der besondere Vorteil des mediengestützten Lernens zeigt sich in einer tendenziell verkürzten Lerndauer und einem reduzierten Lernaufwand, speziell für Personen mit hoher Lernmotivation und selbstständigem Lernverhalten, die die medialen Lernangebote zu einer intensiven kognitiven Auseinandersetzung nutzen. Das lässt sich insbesondere für digitale Lernangebote in Kombination mit Präsenzelementen zeigen und weniger für reine E-Learning-Angebote (hohe Dropoutquoten). Es ist vor allem die didaktische Methode, die den Lernerfolg beeinflusst, weniger das Mediensystem.¹⁴

Mit Blick auf diese Ergebnisse und den eingangs aufgespannten Bedeutungszusammenhang wird dem hier skizzierten didaktischen Ansatz ein konstruktivistisches lerntheoretisches Verständnis zugrunde gelegt, wonach Lernen ein aktiver Konstruktionsprozess ist, der immer kulturell und situativ gebunden ist. Jegliches Handeln ist eingebettet in einen sozialen Kontext, d.h. Bedeutungen werden ständig neu ausgehandelt und konstruiert auf der Suche nach Ordnungsstrukturen und Plausibilität.¹⁵ Daraus lassen sich Implikationen für digitale, interkulturelle Lehr-Lern-Szenarien ableiten: Kompetenzentwicklung sollte stattfinden a) mit authentischen Lerngegenständen, d.h. für die Lernenden einen Anwendungsbezug aufweisen, b) in multiplen Kontexten, d.h. in verschiedenen Anwendungssituationen, c) unter multiplen Perspektiven, d.h. mittels Perspektivwechsel

und in verschiedenen Rollen und d) in einem sozialen Kontext, d.h. in Interaktion mit Anderen (z.B. Angehörige verschiedener Kulturen).¹⁶

Für den Lernprozess mit digitalen Medien in interkulturellen Settings erscheinen auf dieser Grundlage problembasierte didaktische Konzepte (z.B. Fallstudien, Planspiele, Projekte) in Kombination mit sozial-kommunikativen, kollaborativen Methoden (soziale und interkulturelle Interaktion, peer-to-peer) als geeignet. Das kann über interaktive, multimediale Angebote (z.B. Erklär-Videos, Simulationen, Gamification) erreicht werden und erfordert eine kontinuierliche Lernprozesssteuerung (Selbststeuerung, Rückmeldung und Adaptivität, Learning Analytics).¹⁷ Es wird in diesem Zusammenhang auch von *hybriden Lernarrangements* (Blended Learning, Inverted Classroom) gesprochen, die sich vor allem durch zeitlich und räumlich flexible Lernorganisation und eine den Rahmenbedingungen des didaktischen Feldes kluge Kombination o.g. unterschiedlicher medialer und methodischer Elemente auszeichnen. Im jüngeren fachwissenschaftlichen Diskurs werden solche Lehr-Lern-Arrangements als *Seamless-Learning-Umgebungen* diskutiert, in denen Medienbrüche verschwimmen bzw. formale und informelle Lernsettings durch den ubiquitären (allgegenwärtigen) Zugang zu Lernressourcen/Wissen verschmelzen.¹⁸

5. Interkulturelle Wirtschaftskommunikation im Studium Generale

Die Entwicklung digitaler und interkultureller Kompetenz sind zweifellos immer mehr an Bedeutung zunehmende (Zusatz-) Qualifikationen bzw. Querschnittskompetenzen in Bezug auf die Employability der Absolventinnen und Absolventen an Hochschulen. Insofern erscheint es folgerichtig, dies vor allem auch im Studium Generale zu verankern. An der

Hochschule Mittweida sind sowohl die Digitale Transformation als auch die Internationalisierung der Lehre wesentliche strategische Elemente im Hochschulentwicklungsplan bis 2025.¹⁹ Gegenwärtig werden verschiedene hybride Lernarrangements mit dieser Zielrichtung entwickelt und implementiert, u.a. auch das nachfolgend vorgestellte Seminar Interkulturelle Wirtschaftskommunikation, das im Rahmen des Studium Generale eingesetzt werden kann und dem doppelten Spezifikum von Kommunikation und Wirtschaft als Treiber und Anwendungsfeld der Digitalisierung Rechnung trägt.

Zielgruppe im Seminar Interkulturelle Wirtschaftskommunikation sind Studierende aller Studiengänge ab dem 3. Semester mit einer Affinität zu internationalen Wirtschaftsbeziehungen. Eine Diversität der Studierenden in Bezug auf kulturelle Herkunft und Studiengänge ist wünschenswert. Das Seminar ist im Blended-Learning-Format angelegt (vgl. Abb. 3).

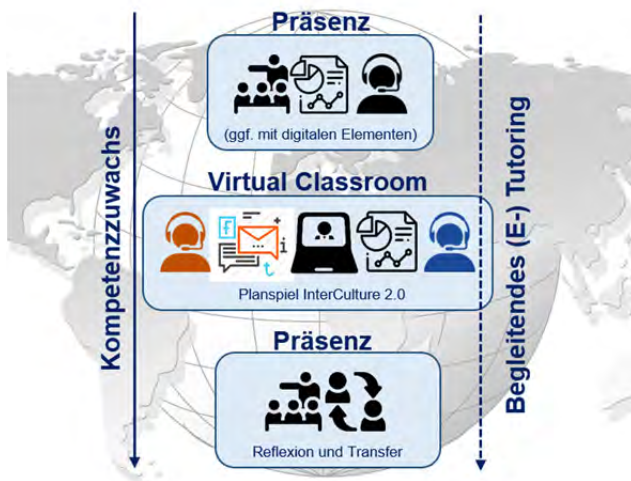


Abb. 3: Seminarablauf Interkult. Wirtschaftskommunikation Kern des Seminars ist das auf der Lernplattform „Intercultural Campus“²⁰ angebotene, interaktive Online-Planspiel „InterCulture 2.0“, das 2014 mit dem deutschen E-Learning Innovations- und Nachwuchs-Award (d-elina) ausgezeichnet und vom Deutschen Stifterverband gefördert wurde.²¹ In dem Planspiel interagieren vier Teams an weltweiten (Hochschul-) Standorten als Planspielunternehmen auf dem Weltmarkt für Trinkflaschen. Ihr Ziel besteht darin, langfristig möglichst gute Geschäftsergebnisse zu erzielen. Hierzu müssen sie in mehreren Geschäftsperioden untereinander kooperieren, Produktionsvolumina und Preise kalkulieren, gemeinsam Unternehmensleitbilder entwerfen, Personalentscheidungen treffen, Marketingmaßnahmen realisieren und über Zeitzonen und multiple Kommunikationskanäle hinweg mehrsprachig verhandeln. Eines der wesentlichen Ziele besteht darin, interkulturelle Kompetenz auf dem Wege sowohl von interkulturellem Handeln als auch von interkultureller Reflexion zu verbessern. InterCulture 2.0 wird idealerweise über einen Zeitraum von 6-7 Wochen mit einem wöchentlichen Workload von ca. 2-4 Stunden oder 2x1,5 Blocktagen gespielt. Das Planspiel beginnt mit Kickoff-Veranstaltungen für die

lokalen Lehrenden und Studierenden, in denen sich die Beteiligten kennen lernen und in die Arbeit mit der Plattform eingewiesen werden. Es schließen sich mehrere virtuelle Geschäftsperioden an. Fester Bestandteil dieses interkulturellen, kollaborativen Szenarios ist ein Virtual Classroom (via Adobe Connect), der die synchrone Zusammenarbeit über Webcam, Whiteboard, Chat etc. ermöglicht. Innerhalb der Geschäftsperioden findet ein Wechsel zwischen wöchentlichen Online-Meetings aller Gruppen und individueller (Gruppen-) Arbeit im Virtual Classroom statt. Für die inhaltliche Vorbereitung der gemeinsamen Treffen im Virtual Classroom stehen auf der Lernplattform umfangreiche Wissensressourcen zur Verfügung (Bibliothek, Wissensbausteine, E-Seminare und Educasts, Weblinks). Darüber hinaus sind auf der Plattform alle im Verlauf des Planspiels erstellten Dokumente, Videos etc. einstell- bzw. abrufbar. Durch diese Web 2.0-Anwendungen werden nicht nur interkulturelle, sondern auch digitale Kompetenzen anwendungsbezogen entwickelt bzw. gefördert.

Das gesamte Seminar, aber insbesondere das Planspiel wird von dem Lehrenden bzw. Trainer moderativ und tutoriel begleitet, wobei das sowohl in Präsenz als auch digital erfolgen kann. Vorgelagert ist eine Präsenzphase, in der je nach Zusammensetzung und (betriebswirtschaftlichem, interkulturellem und multimedialem) Vorwissen auf das Planspiel vorbereitet wird. Von wesentlicher Bedeutung ist die abschließende Präsenzphase, die vor allem der Reflexion des Planspiels dient und einen Transfer der erworbenen Kompetenzen ermöglichen soll.

6. Herausforderungen und Ausblick

Es steht außer Frage, dass ein solches hybrides interkulturelles Lernarrangement im Unterschied zu klassischen Präsenzformaten besondere Anforderungen sowohl an Lehrende als auch Lernende stellt. Lehrende müssen nachhaltige Erfahrungen mit digitalen und interkulturellen Lehr-Lernszenarien aufweisen. Studierende sollten u.a. in der Lage sein, möglichst selbstbestimmt, eigeninitiativ und ausdauernd am Seminar teilzunehmen. Dieser Lerntypus kann nicht per se bei jedem Studierenden vorausgesetzt werden.

Es liegt daher auf der Hand, dass digitale interkulturelle Lehr-Lernformate sowohl im Rahmen des Studium Generale als auch allgemein in Curricula von Studiengängen als notwendige, aber vielmehr anreichernde Elemente Eingang finden müssen, die wiederum in komplexen Lehr-Lernkonzepten zur Entwicklung digitaler und interkultureller Kompetenzen über den gesamten Studienverlauf hinweg verankert sind.

Darüber hinaus stellen die Verwendung von digitalen Medien in interkulturellen Lehr-Lern-Settings einerseits und die Auswirkungen der Digitalisierung auf die interkulturelle Kommunikation andererseits Forschungsdesiderate dar.²² Es ist also eine forschungsgetriebene, wissenschaftliche Auseinandersetzung mit diesen Fragestellungen zukünftig nötig.

7. Literaturverzeichnis

- [1] Bertelsmann Stiftung/Cariplo, Fondazione (2008): Intercultural Competence – The key competence in the 21st century?, URL: <https://www.ngobg.info/bg/documents/49/726bertelsmanninterculturalcompetences.pdf>, Stand: 20. August 2017.
- [2] Bertelsmann-Stiftung (2001): Zukunft gewinnen - Bildung erneuern. Memorandum, 4. Aufl., Gütersloh.
- [3] Bolten, Jürgen (2010): Interkulturelle Kompetenzvermittlung via Internet, in: Wordelmann, Peter (Hrsg.): Internationale Kompetenzen in der Berufsbildung. Stand der Wissenschaft und praktische Anforderungen, 1. Aufl., s.l., S. 101–114.
- [4] Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) (2012): Vereinbarung über eine gemeinsame nationale Strategie für Alphabetisierung und Grundbildung Erwachsener in Deutschland 2012–2016, URL: http://www.bmbf.de/pubRD/NEU_strategiepapier_nationale_alphabetisierung%281%29.pdf, Stand: 16. August 2018.
- [5] Chen, Gio-Ming (2012): The Impact of New Media on Intercultural Communication in Global Context, in: China Media Research, 8 (2), S. 1–10.
- [6] Frölich, Jan/Lehmkuhl, Gerd (2012): Computer und Internet erobern die Kindheit. Vom normalen Spielverhalten bis zur Sucht und deren Behandlung, Stuttgart.
- [7] Goldacker, Gabriele (2017): Digitale Souveränität, Berlin.
- [8] Gräf, Eike/Lahmann, Henning/Otto, Philipp (2018): Die Stärkung der digitalen Souveränität. Wege der Annäherung an ein Ideal im Wandel, URL: www.iRights-Lab.de, Stand: 13. August 2018.
- [9] Kerres, Michael (2017): Digitalisierung als Herausforderung für die Medienpädagogik: „Bildung in einer digital geprägten Welt“, in: Fischer, Christian (Hrsg.): Pädagogischer Mehrwert? Digitale Medien in Schule und Unterricht, Münster/New York, S. 85–104.
- [10] Kerres, Michael (2018): Mediendidaktik. Konzeption und Entwicklung digitaler Lernangebote, 5. Aufl.
- [11] Meinel, Christoph (et al.) (2017): Digitale Souveränität leben! Herausforderungen an das deutsche Bildungssystem, Ludwigshafen, URL: https://www.bmbf.de/pub/Digitale_Innovationen.pdf, Stand: 13. August 2018.
- [12] Misterek, Fokko (2017): Digitale Souveränität: Technikutopien und Gestaltungsansprüche demokratischer Politik, URL: <http://hdl.handle.net/10419/162561>, Stand: 13. August 2018.
- [13] Rathje, Stefanie (2006): Interkulturelle Kompetenz – Zustand und Zukunft eines umstrittenen Konzepts, in: Zeitschrift für Interkulturellen Fremdsprachenunterricht, 11: 3, S. 1–26.
- [14] Rathje, Stefanie (2010): Training/ Lehrtraining, in: Straub, Jürgen/Weidemann, Arne/Nothnagel, Steffi (Hrsg.): Wie lehrt man interkulturelle Kompetenz? Theorien, Methoden und Praxis in der Hochschulausbildung. Ein Handbuch, s.l., S. 215–240.
- [15] Rehatschek, Herwig/Leopold, Ursula/Ebner, Martin/Kopp, Michael/Schweighofer, Patrick/Rechberger, Manfred/Teufel, Martin/Sfiri, Anastasia (2016): Editorial: Seamless Learning - Lernen überall und jederzeit, in: Zeitschrift für Hochschulentwicklung, 11. Jg., Nr. 4.
- [16] Reinmann, Gabi, Mandl, Heinz (2006): Unterrichten und Lernumgebungen gestalten, in: Krapp, Andreas/Weidenmann, Bernd (Hrsg.): Pädagogische Psychologie. Ein Lehrbuch, 5. Aufl., Weinheim, S. 613–658.
- [17] Reutner, Ursula (2012): Von der digitalen zur interkulturellen Revolution?, in: Reutner, Ursula (Hrsg.): Von der digitalen zur interkulturellen Revolution, 1. Aufl., Baden-Baden, S. 9–32.
- [18] Schröter, Jens/Ruschmeyer, Simon/Walke, Elisabeth (Hrsg.) (2014): Handbuch Medienwissenschaft, Stuttgart/Weimar.
- [19] Shuter, Robert (2017): New Media and Intercultural Communication, in: Kim, Young Y. (Hrsg.): The International Encyclopedia of Intercultural Communication, Hoboken, NJ, USA, S. 1–9.
- [20] Siebert, Horst (2007): Vernetztes Lernen. Systemisch-konstruktivistische Methoden der Bildungsarbeit, 2. Aufl., Augsburg.
- [21] Straub, Jürgen/Weidemann, Arne/Nothnagel, Steffi (Hrsg.) (2010): Wie lehrt man interkulturelle Kompetenz? Theorien, Methoden und Praxis in der Hochschulausbildung. Ein Handbuch, s.l.
- [22] Süß, Daniel/Lampert, Claudia/Wijnen, Christine W. (2013): Medienpädagogik. Ein Studienbuch zur Einführung, 2. Aufl., Wiesbaden.
- [23] vbw – Vereinigung der Bayerischen Wirtschaft e.V. (Hrsg.) (2018): Digitale Souveränität und Bildung. Gutachten, 1. Aufl., Münster.
- [24] Weiß, Reinhold (2012): Medienkompetenz als neue Kulturtechnik, in: Berufsbildung in Wissenschaft und Praxis - BWP, 13. Jg., Nr. 1, S. 1.
- [25] Wong, Lung-Hsiang/Milrad, Marcelo/Speccht, Marcus (eds.) (2015): Seamless Learning in the Age of Mobile Connectivity, Singapore/s.l.

¹ Vgl. Gräf et al. 2018, Goldacker 2017, Meinel et al. 2017, Misterek 2017, vbw 2018.

² vbw, 2018:20.

³ Vgl. Bertelsmann Stiftung 2001, Frölich et al. 2011, Kerres 2017, Weiß 2012.

⁴ Vgl. Kerres 2018:70.

⁵ Vgl. BMBF 2012.

⁶ Eigene Darstellung in Anlehnung an Kerres 2018:69.

⁷ Schröter 2014:175.

⁸ Vgl. Reuter 2012:12; Shuter 2017:2.

⁹ Vgl. Chen 2012:2.

¹⁰ Rathje 2006:7.

¹¹ Vgl. Bertelsmann Stiftung 2008:4, Bolten 2010:103.

¹² Vgl. Straub et al. 2010, Kerres 2018; vbw 2018.

¹³ Icons: Freepik from www.flaticon.com.

¹⁴ Vgl. Kerres 2018:88ff.

¹⁵ Vgl. Siebert 2007:28.

¹⁶ Vgl. Reinmann/Mandl 2006: 637.

¹⁷ Vgl. Kerres 2018:106ff, Süß et al. 2018:166ff, Rathje 2010:217.

¹⁸ Vgl. Wong et al. 2015, Rehatschek et al. 2016.

¹⁹ Vgl. www.hs-mittweida.de (internes Dokument)

²⁰ www.intercultural-campus.org (Eine vom Hochschulverband für Interkulturelle Studien initiierte Online-Plattform für interkulturelles Lernen)

²¹ Erklärung Planspiel:

<https://www.youtube.com/watch?v=A3nC9refU9s>, Stand 28.08.2018.

²² Vgl. Reutner 2012:30.

Posterbeiträge

EIN OBJEKT-TRACKING-VERFAHREN ZUR VERFOLGUNG VON PERSONENBEWEGUNGEN IN ÜBERWACHUNGSBEREICHEN

Benny Platte, Rico Thomanek, Christian Roschke, Tony Rolletschke, Frank Zimmer
Hochschule Mittweida, Technikumplatz 17, D-09648 Mittweida

Sicherheitskritische Bereiche werden zunehmend durch Kameras überwacht. Das Erkennen typischer Passantenströme in Flughafen- oder Innenstadtbereichen kann die Grundlage zukünftiger Entwürfe bilden. Die Erfassung wird durch personelle Ressourcen begrenzt. Einen Ansatz zur Lösung bieten automatisierte Systeme auf Basis neuronaler Netze zur Erkennung von Objektklassen. Probleme bereitet noch die zeitliche Verfolgung detektierter Objekte.

Dafür wird im ersten Teil ein Algorithmus entwickelt, um Personen während eines Zeitfensters über Video-Frames hinweg zu verfolgen. Mit den daraus gewonnenen Informationen werden im zweiten Teil Möglichkeiten schneller, ressourcenschonender Auswertung bzw. Darstellung mittels kumulierter Heatmaps und Bewegungsvektoren vorgestellt. Damit wird ermöglicht, Bewegungen mit einem Blick zu erfassen, ohne das Video selbst in Augenschein nehmen bzw. anschauen zu müssen.

Video surveillance of security-critical areas is being used more frequently. Evaluations and the timely recognition of problematic movements are limited by personnel resources. Automated systems offer an approach to the solution. Neural networks for the recognition of object classes achieve ever higher detection rates. Tracking of detected objects over time causes problems.

In the first part, an algorithm is developed to track people across video frames. In the second part, possibilities of evaluation and presentation are presented using the information obtained. Furthermore, the movements of all and individual persons are displayed statistically.

As a result, movements during a time window in the video can be captured at a glance without having to look at the video itself.

1. EINLEITUNG

Im Verlauf der letzten Jahre ist die Anzahl der eingesetzten Überwachungskameras weltweit angestiegen. In Bereichen der Verkehrssicherheit oder anderen sensiblen Bereichen sind Videodaten sinnvoll und gleichzeitig ressourcenschonend auszuwerten. Die stundenlange Überwachung von Bewegungen ist eintönig, erfordert aber gleichzeitig hohe Konzentration. Menschen ermüden dabei schnell und zeigen „unaufmerksame Blindheit“: bei hoher Konzentration werden unerwartete Objekte selbst in der Mitte des Sichtfeldes nicht wahrgenommen („Gorillas in Our Midst“, [1]). Manuelle Auswertungen werden somit von hauptsächlich 2 Punkten begrenzt:

- personelle Ressourcen
- menschliche Fehlerrate durch eintönige Arbeit

Viele bisherige Arbeiten trainieren Feature-Vektoren auf Basis von Referenzdaten, um ein Tracking durchzuführen. Im Big-Data-Bereich mit tausenden Stunden unterschiedlichstem Videomaterial ist ein Anlernen spezifischer Situationen unrealistisch.

In dieser Arbeit wird ein Algorithmus zur Verfolgung detektierter Personen ohne vorheriges Anlernen entwickelt. Im Vordergrund steht universelle Einsetzbarkeit, um ein Personen-Tracking in verschiedensten, vorher unbekanntem Szenarien zu ermöglichen. Der Algorithmus bringt detektierte, aber unverbundene Einzelobjekte in eine zeitliche Abhängigkeit. Das bildet die Grundlage für Auswertungen eines höheren Abstraktionsniveaus: ohne das Video anzuschauen, können mit einem Blick typische Bewegungen, Personenmengen innerhalb von Zeitfenstern oder stark frequentierte Punkte schnell erfasst werden.

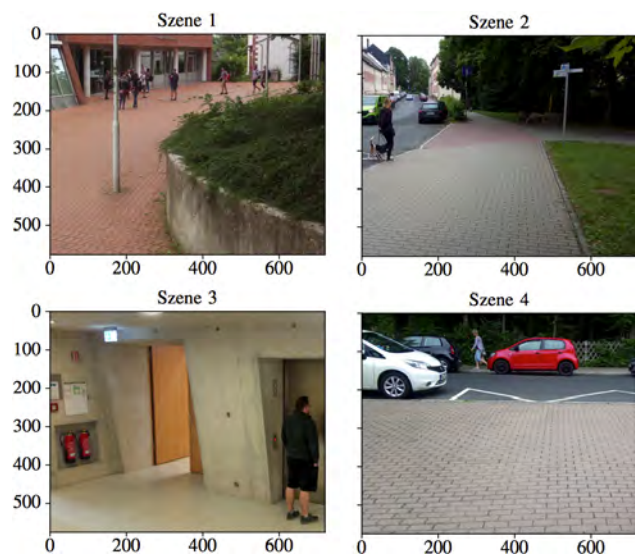


Bild 1: 4 der verwendeten Videos, dargestellte Startframes

Die Validierung der Ergebnisse erfolgte in der vorliegenden Versuchsanordnung manuell.

II. FORSCHUNGSSTAND

Zu Bewegungsverfolgung vieler Objekte („multi target tracking“) gibt es eine große Zahl von Ansätzen.

Partikelfilter wurden eingeführt, um Ziele in einem Zustandsraum aufzufinden. Im Iterationsverlauf sammeln sie sich bei Objekten mit vereinbarten Eigenschaften [3, 4, 5]. Die Startpunkte wurden manuell [6], teilweise automatisch [7] gesetzt.

soziale Interaktionsmodelle: Bewegungsvorhersage über die Bildung typischer sozialer Verhaltensweisen beschreiben [8] und [9]. Mittels manuell annotierter Referenzdaten wurden mittlere Bewegungsdistanzen und -richtungen trainiert.

Merkmal-Tracking: Neuronale Netze erkennen menschliche Körperstrukturen in Bildern [10, 11, 12, 13, 14]. Einzelne Merkmale dienen der Klassifizierung, um Personen im Video eindeutig zuzuordnen [15]. Angelernt wird an Referenzmaterial [16]. Methoden, welche auf dem Anlernen von Mustern bezüglich Referenzdaten basieren, sind für ähnliche Szenen sehr gut verwendbar. Im Big Data Bereich muss oft ohne Referenzdaten gearbeitet werden. Hier kommt es darauf an, in großen Mengen unbekannter Materials effektiv auswertbare Daten aufzuspüren.

III DATEN

Grundlage.

Es existiert kein international anerkannter Benchmark für das Multi-Personen-Tracking. Grundlage unserer Untersuchung waren eigene Videosequenzen (Bild 1).

Aufbereitung.

Die Videos der Überwachungskameras wurden in Einzelbilder („Frames“) zerlegt. Aus diesen Einzelbildern wurden mithilfe des Frameworks „Openpose“ [2] Positionsdaten der Körperteile generiert (Bild 2).

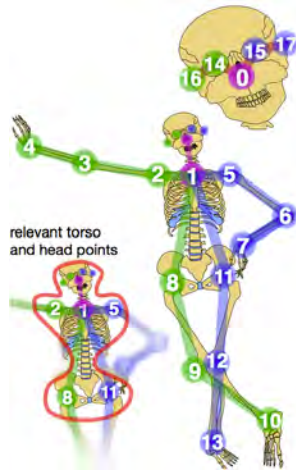


Bild 2: Keypoints als Ausgabe des Frameworks Openpose [2] und tracking-relevante Punkte.

IV. PERSONEN-VERFOLGUNG/-TRACKING

A. Problem

Durch das Zerlegen der Videos in Einzelbilder („Frames“) entstehen quasistatische Bilder ohne zeitlichen Bezug, schematisch dargestellt in Bild 3.

Festzustellen, in welcher Weise die Personen auf den Einzelbildern dieselbe Person darstellen, ist für das menschliche Gehirn kein Problem. Für einen Algorithmus haben die Bilder aber vorerst keinen Zusammenhang, die Information des „Openpose“-Frameworks über Keypoints der Personen ist rein statisch.

B. Voraussetzungen und Grundidee

Die Einzelbilder eines Videos laufen üblicherweise mit 25 bis 30 Frames pro Sekunde. Die Idee ist, alle Koordinaten jeder Person zwischenspeichern und einem Vergleich mit den jeweiligen Koordinaten weiterer Frames zuzuführen. Benötigte Parameter wurden experimentell ermittelt.

C. Auswahl relevanter Punkte

Je weiter die Punkte vom Körpermittelpunkt entfernt sind, umso schneller fällt üblicherweise ihre Bewegung und damit Koordinatenänderung aus. Bild 3 zeigt z.B. spielende Kinder im Vordergrund. Deren Positionsdaten der Handgelenke oder Ellbogen führen große Koordinatenänderungen aus, ohne dass sich die Position der Person selbst stark ändert. Der Rumpf weist aufgrund seiner Masse die größte Trägheit auf. Daher wird ein Set an Keypoints verwendet,

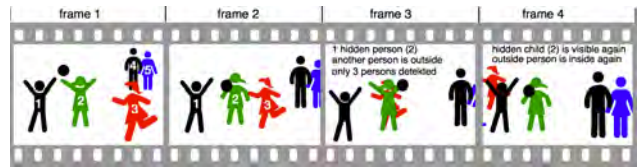


Bild 3: Schematischer Verlauf eines Videos. Zu sehen sind mehrere Probleme: Verschwinden und Wiederkommen (Person 5), viel Bewegung ohne große Positionsänderung (Person 1 und 2), Verdeckung (Person 3 in Frame 3)

die die relativ zum Körperschwerpunkt geringsten Bewegungen ausführen (Bild 2). Damit steht für jede Person in jedem Frame ein Datensatz zur Verfügung, der sich wie in Tabelle I gezeigt darstellt.

Tabelle I: Beispiel-Datensatz für 1 Person in 1 Frame.

Keypoint	x	y	P
Nose	173	259	0.67
Neck	...	...	...
LShoulder	167	167	0.86
...
LEar	...	...	...

x, y Koordinate im Videobild
P Konfidenz der Koordinate

Der Körperpunkt-Detektor liefert ein Set von Vorhersagen. Jede einzelne Punktvorhersage setzt sich zusammen aus den 2D-Video-Koordinaten des jeweiligen Keypoints sowie dessen Detektor-Konfidenz.

Aus sämtlichen Vorhersagen aller zu einer Person gehörenden Keypoints (Beispiel in Tabelle I) werden zunächst die mit einer Vorhersage-Wahrscheinlichkeit größer als der Plausibilitäts-Schwellwert τ gefiltert, um Fehldetektionen zu verringern. In der vorliegenden Untersuchung wurde $\tau = 0.5$ verwendet.

Um zu einer Person die wahrscheinlich passendste Person im vorherigen Frame zu suchen, werden die euklidischen Distanzen im 2D-Raum des Videos sowie die Konfidenz jedes Keypoints aller Vorhersagen einer Person im vorigen Frame berechnet. Alle Distanzen mit ihren Konfidenzen einer Person zu einer anderen Person bilden eine Distanzmenge \mathbb{D} . Für jede Person entstehen m Distanzmengen, eine für jede in Frage kommende Person aus dem vorherigen Frame.

Tabelle II: Distanz-Matrix für 1 Person im aktiven Frame zu allen Personen im vorigen Frame (Beispiel).

d Distanz
 m Anzahl der Personen im vorigen Frame
 \mathbb{D} Menge aller Keypoint-Distanzen einer Person
 \mathbb{E} Menge aller \mathbb{D} einer Person des aktuellen Frames
Wert nicht vorhanden („NaN“-Wert)
durch Filterung gestrichen

Keypoint	Distanz d zu allen Personen					
	$d(\mathbb{D}_1)$	$P(\mathbb{D}_1)$	$d(\mathbb{D}_2)$	$P(\mathbb{D}_2)$	...	$P(\mathbb{D}_m)$
Nose	30	0.65	4	0.71	...	...
Neck	22	0.76	5	0.63	...	...
RShoulder	24	0.45	2	0.34	...	...
LShoulder	27	0.71	2	0.86	...	...
...
LEar	0.23	0.23	3	0.91	...	...
Mittelwert \bar{E}	25	0.71	4	0.64	...	...
Minimum $M = \min d(\mathbb{E})$			4	0.68		
$d < \epsilon$?			✓			...

Für jede Distanzmenge wird der arithmetische Mittelwert aller enthaltenen Elemente berechnet. Anschließend wird die Distanzmenge mit dem minimalen Mittelwertabstand gesucht.

Im Beispiel in Tab. II beträgt das Minimum 4 Pixel bei Person 2 in Spalte $d(\mathbb{D}_2)$. Dieses Minimum aller in Frage kommenden Personen wird abschließend mit einem festen Schwellwert ϵ („exclusion circle“) verglichen. Nur, wenn es unter diesem Schwellwert liegt, gilt die Person als wiedergefunden (✓ in Tab. II).

Damit bildet der Parameter ϵ einen robusten Rückübertragungs-Ausschlusskreis um die Koordinaten. Der Ausschlusskreis verhindert, dass bei Verschwinden eines Objekts und Auftauchen eines neuen an ganz anderer Stelle im darauffolgenden Frame das neue Objekt dem eben verschwundenen zugeordnet wird. Das beschriebene Verfahren wird iterativ für jede Person in jedem Frame durchgeführt. Weiterhin werden die Distanzmengen für weiter in die Vergangenheit reichende Frames berechnet (Bild 4).

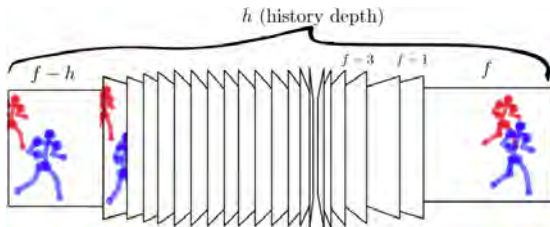


Bild 4: Distanzmenge-Suche in der Vergangenheit

V. ERGEBNISSE UND DISKUSSION

In den Videos wurden die Personen aus den einzelnen Frames mit einem frameübergreifenden Identifizierer versehen. Für eine übersichtliche Darstellung wurden die Framedaten über ganze Sekunden aggregiert.

A. Personen-Anzahl während der Laufzeit

Bild 5 zeigt die Anzahl der verschiedenen Personen, die in jeder vollen Sekunde des laufenden Videos detektiert und verfolgt wurden. In Video 1 sind zu Beginn um die 10 Personen sichtbar, um Sekunde 20 nimmt die Zahl ab auf 4, um danach wieder anzusteigen. In Video 2 wurden nur während der ersten 23 Sekunden Personen detektiert. Zu Beginn sind 2 Personen detektiert worden, später etwas mehr und wieder abnehmend. Hier lief eine Gruppe durchs Bild.

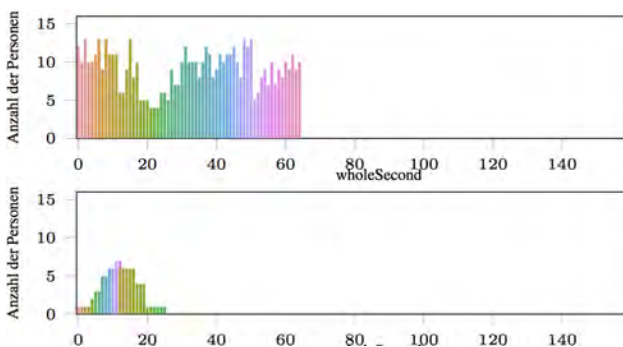


Bild 5: Anzahl der verschiedenen Personen in jeder vollen Sekunde des Videos in Szene 1 und 2.

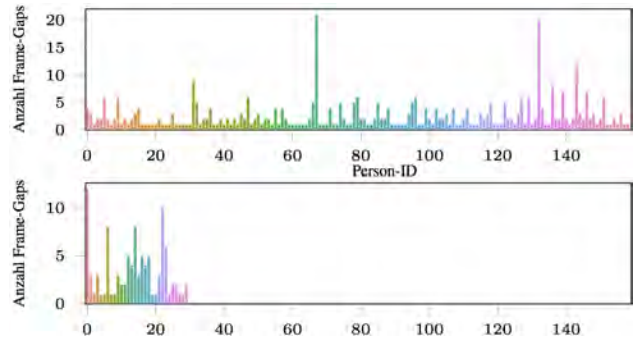


Bild 6: Anzahl der Frame-Lücken für jede Person, gezählt in Frames

B. Wieder-Auffinden nach Verdeckung

Bild 6 zeigt die aufsummierte Zahl der Detektions-Lücken der jeweiligen Person und damit das „Wiedereinrasten“ des Tracking-Algorithmus, gesteuert durch den Parameter „history depth“ (Bild 4). Das „Rauschen“ im Bereich von 0 bis 5 wird hervorgerufen durch Einzelframe-Detektionsaussetzer in den verwendeten Detektor-Daten. Die höheren Werte wurden verursacht durch vorübergehende Verdeckung. Voraussetzung für das Wiederfinden („person relock“) sind:

Die Dauer der Verdeckung liegt innerhalb der historischen Sichtweite (Bild 4, 8)

Die verdeckte Person bewegt sich während der Verdeckung nicht aus dem Ausschlusskreis

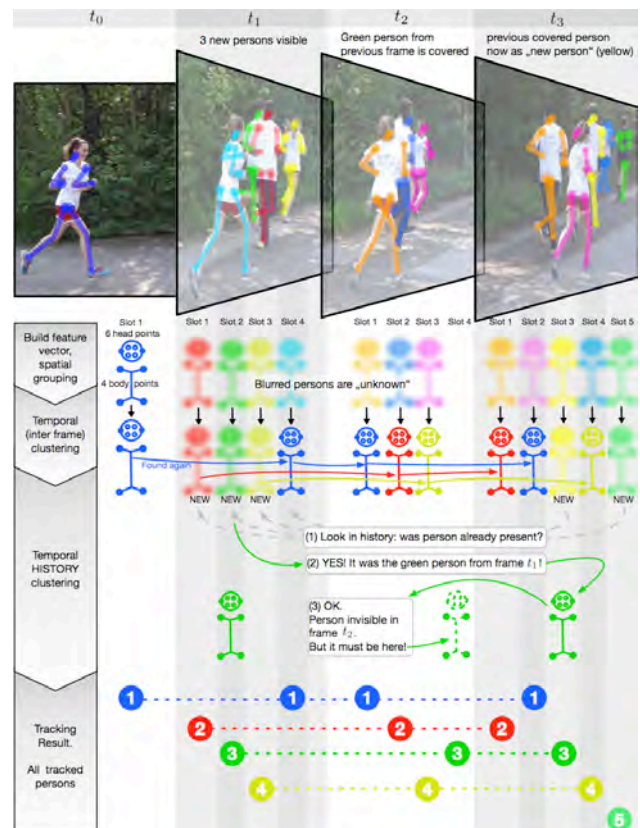


Bild 8: Schema: Tracking auf Basis vorheriger Frames. Unschärfe Personen sind dem Tracking-Algorithmus noch unbekannt. Scharf dargestellte Personen wurden in vorherigen Frames gefunden.



Bild 9: erste Zeile Startframes mit Rasterung für Heatmap, darunter aggregierte Darstellungen aller Bewegungen während der Laufzeit des jeweiligen Videos: Zeile 2 Bewegungs-Heatmap, Zeile 3 Bewegungs-Vektoren.

C. Bewegungs-Aggregation durch Heatmaps

Die Heatmap in Bild 9 bildet Bewegungsdaten ab. Für diese Auswertung wurde das Videobild in 10x10 Pixel große Felder eingeteilt und die in jedem Feld stattfindenden Bewegungen ermittelt. Die entstehende Matrix zeigt die Bewegungen auf der Bildfläche in reduzierter Auflösung, räumlich wie zeitlich: Die Personen gehen z.B. in Szene 1 unter Meidung der Laterne vom Vordergrund zum Haus bzw. bestreiten den Rückweg. Das rechts befindliche Hochbeet wird dabei umlaufen. Mit diesem Diagramm kann auf die typischen Bewegungsorte von Personen rückgeschlossen werden, ohne das Video selbst zu sehen.

D. Bewegungs-Aggregation durch Tracklets

Die Vektordarstellung in Bild 9 lässt in Erweiterung zur Heatmap Rückschluss auf die Bewegungsrichtung zu. Dazu werden die Distanzen jeder Person getrennt über wählbare Zeitfenster kumuliert. Jede Person erhält eine neue Farbe. So kann hier klar unterschieden werden, dass sich viele Personen zum Haus hin, und nur einzelne vom Haus weg bewegen. Szene 3 zeigt eine am Aufzug wartende Person (blaue Vektoren). Im weiteren Verlauf kommt eine Person aus dem Aufzug und läuft in den Vordergrund (grün). Eine weitere Person (rot) kommt durch die Tür links, biegt ab und läuft zum Aufzug.

Auch hier wird deutlich, dass typische Bewegungsmuster mit einem Blick erkennbar werden.

VI. Einschränkungen, zukünftige Arbeit

A. Weiter von der Kamera entfernte Objekte bzw. Personen bewegen sich bei gleicher Geschwindigkeit

scheinbar langsamer als weiter vorn befindliche. Diesem Umstand wird im Moment noch nicht Rechnung getragen.

B. Der „exclusion circle“-Parameter ist von der Auflösung der zugrundeliegenden Videodaten abhängig. Bei höher aufgelösten Videos umfassen Bewegungen größere Pixeldistanzen. Der Parameter ist also auch darauf abzustimmen.

C. Die Verfolgungsgenauigkeit kann durch Bewegungs-Vorhersage verbessert werden. Mittels Extrapolation von Track-Fragmenten können wahrscheinliche Ziele berechnet werden. Die Hypothese ist, dass durch die Einbeziehung des bisherigen Bewegungsvektors die Treffergenauigkeit erhöht wird.

D. Ein weiterer Verbesserungsansatz ist die Erweiterung des Feature-Vektors um weitere Kennwerte.

VIII Abschluss

Der vorgestellte Algorithmus zur effizienten Verfolgung und Zuordnung von Personen in Videos arbeitet auf Basis eines Feature-Vektors aus 10 Punkten des menschlichen Körpers. Die Zuordnung der Feature-Vektor-Elemente erfolgt dynamisch pro Person und Frame bis in eine parametrisierbare Vergangenheitstiefe. Diese tiefe zeitliche Gruppierung aller Einzelelemente der Feature-Vektoren führt zu einer robusten Wiedererkennung der jeweiligen Person. Detektionslücken oder kurzzeitige Verdeckungen werden mit gutem Erfolg erkannt und begradigt.

Der Algorithmus arbeitet ohne spezifische Lernverfahren, er benötigt kein Training. Damit ist er auf unbekanntes Videomaterial anwendbar.

LITERATUR

- [1] Daniel J Simons, Christopher F Chabris, „Gorillas in Our Midst: Inattentional Blindness for Dynamic Events“. *Perception* (1999), S. 1059–1074.
- [2] Zhe Cao: OpenPose: Real-Time Multi-Person Keypoint Detection Library for Body, Face, and Hands Estimation. (2018).
- [3] J. W. Choi, J. H. Yoo, „Real-Time Multi-Person Tracking in Fixed Surveillance Camera Environment“. *ICCE*. (2013), S. 125–126.
- [4] Carlos A. Luna, „Robust People Detection Using Depth Information from an Overhead Time-of-Flight Camera“. *Expert Syst. Appl.* 71.C (Apr. 2017).
- [5] A. Dearden, Y. Demiris, „Tracking Football Player Movement from a Single Moving Camera Using Particle Filters“. *European Conference on Visual Media Production (CVMP)*. IET, (Nov. 2006).
- [6] Lanz, „Approximate Bayesian Multibody Tracking“. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence* (Sep. 2006), S. 1436–1449.
- [7] Breitenstein, „Online Multiperson Tracking-by-Detection from a Single, Uncalibrated Camera“. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence* 33.9 (Sep. 2011), S. 1820–1833.
- [8] Kota Yamaguchi, „Who are you with and where are you going?“ 2011 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, CVPR (2011)
- [9] David Hutchison u. a., „Improving Data Association by Joint Modeling of Pedestrian Trajectories and Groupings“. *Computer Vision – ECCV 2010*. Bd. 6311. Springer Berlin Heidelberg, (2010), S. 452–465.
- [10] Jonathan Tompson, „Joint Training of a Convolutional Network and a Graphical Model for Human Pose Estimation“. *arXiv:1406.2984* (Juni 2014).
- [11] Alejandro Newell, Kaiyu Yang und Jia Deng, „Stacked Hourglass Networks for Human Pose Estimation“. *arXiv:1603.06937* (März 2016).
- [12] Eldar Insafutdinov, „DeeperCut: A Deeper, Stronger, and Faster Multi-Person Pose Estimation Model“. *arXiv:1605.03170* (Mai 2016).
- [13] Garcia-Martin, J. M. Martinez, „People Detection in Surveillance: Classification and Evaluation“. *IET Computer Vision* 9.5 (2015), S. 779–788.
- [14] Hou Beiping, Zhu Wen, „Fast Human Detection Per Motion Detection and Histogram of Oriented Gradients“. *Journal of Computers* (Aug. 2011).
- [15] G. Shu, „Part-Based Multiple-Person Tracking with Partial Occlusion Handling“. *2012 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*. (2012), S. 1815–1821.
- [16] Mykhaylo Andriluka, „PoseTrack: A Benchmark for Human Pose Estimation and Tracking“. *arXiv:1710.10000* (Okt. 2017).

COMPUTERGESTÜTZTE LEHR- UND LERNUMGEBUNG FÜR DIE PLANUNG VON PROZESSEN DER SERIENFERTIGUNG

Henning Zeidler, Thomas Geipel, Stefan Nitzsche, Anton Zelenskyi
Technische Universität Bergakademie Freiberg, Agricolastraße 1, D-09599 Freiberg

Die Planung und Steuerung von Fertigungsprozessen stellt eine herausfordernde Aufgabe insbesondere für Absolventen von Berufs- und Hochschulen dar. Oftmals können die notwendigen Kompetenzen zur Lösung dieser Aufgabe während der Ausbildung nur unzureichend erworben und ausgeprägt werden. Deshalb wurde 2017 das internationale Gemeinschaftsprojekt „POKROK.digital – Praxisorientierte Kompetenzentwicklung Produktionstechnik in den Regionen durch Kooperation“ in Zusammenarbeit der Universitäten in Freiberg, Dresden, Liberec und Usti nad Labem gestartet. Ziel ist ein Konzept für eine universelle, computergestützte Lehr- und Lernplattform zum Thema Fertigungsplanung und –steuerung für die flexible Teilefertigung. Die TU Bergakademie Freiberg übernimmt die Aufbereitung und Umsetzung des Problemkreises „Fertigungsprozessausarbeitung“. Im Sinne einer Pilotlösung werden einzelne Teillösungen bereits während der Projektlaufzeit exemplarisch umgesetzt und an den teilnehmenden Hochschulen getestet. Die Veröffentlichung stellt relevante Aspekte der Lehr- und Lernumgebung sowie verbundene Problemstellungen im Umfeld des e-learning vor.

The planning and controlling of manufacturing processes is a challenging task, especially for graduates of vocational schools and universities. Often, the skills required to solve this task cannot be adequately acquired and developed during training. Therefore, the international joint project "POKROK.digital - practice-oriented competence development production technology in the regions through cooperation" was started in 2017 in cooperation with the universities in Freiberg, Dresden, Liberec and Usti nad Labem. The aim is a concept for a universal, computer-supported teaching and learning platform on the subject of production planning and control for flexible parts production. The TU Bergakademie Freiberg is responsible for the preparation and implementation of the "Production Process Development" test group. In the sense of a pilot solution, individual partial solutions are already implemented as examples during the project and tested at the participating universities. The publication presents relevant aspects of the teaching and learning environment and related problems in the e-learning environment.

1. Einleitung

Die Planung und Steuerung von Teilfertigungsprozessen stellt eine komplexe und anspruchsvolle kreative Leistung dar, die vielfältige Kompetenzen und umfangreiches Wissen zu Fertigungsverfahren, Werkzeugmaschinen, Werkzeugen, technologischen Arbeitswerten usw. erfordert. Häufig erfüllen Absolventen von Berufs- und Hochschulen diese hohen Ansprüche nicht und sind deshalb erst nach aufwändigen Qualifizierungen zur Ausführung der Fertigungsplanung und –steuerung einsetzbar. Um dieses Problem zu verringern wurde im Jahre 2017 das EFRE-geförderte Projekt „POKROK.digital – Praxisorientierte Kompetenzentwicklung Produktionstechnik in den Regionen durch Kooperation“ gestartet. Hochschulen aus Sachsen und Tschechien arbeiten in diesem Projekt gemeinsam an einem Konzept und einer prototypischen Umsetzung einer auf das Problem angepassten Lehr- und Lernplattform.

2. Problemsituation

Erfahrungen an sächsischen und tschechischen Universitäten und Berufsschulen zeigen bei Studierenden, Auszubildenden aber auch bei Absolventen der jeweiligen Bildungsstätten einen großen Kompetenzmangel bei Fertigungsplanung und -steuerung. Das Wissen über die Fertigungsverfahren, die benötigten Werkzeuge und die Maschinen wird im Regelfall vorher in ausreichendem Maße vermittelt. Es scheint also ein Problem der kreativen Anwendung des Wissens auf Planungs-, Steuerungs und damit Entscheidungsprozesse zu sein. Hier setzt das Pro-

jekt „POKROK.digital“ an, indem Kompetenzdefizite ermittelt wurden.

Einerseits fanden problembezogene Untersuchungen der Ausbildungsdokumente statt, um Ansatzstellen und Konnektoren für eine Qualifizierung der Ausbildung zu lokalisieren und andererseits waren Arbeitsprozessstudien in Unternehmen zur Ermittlung der Anforderungen an deren Fertigungsplanungs- und -steuerungspersonal durchzuführen.

3. Zielstellung des Teilprojektes „Fertigungsprozessplanung“

Im Rahmen des Projektes „POKROK.digital“ bearbeitet die TU Bergakademie Freiberg das Teilprojekt „Fertigungsprozessplanung“.

Zielstellung ist, die Entwicklung von Kompetenzen für die Planung von Prozessen der Teilefertigung wirkungsvoll zu unterstützen. Dies alles soll am Beispiel spanender Fertigungsverfahren umgesetzt werden. Bild 1 zeigt schematisch den zugrundeliegenden Entwicklungsansatz. Planung wird an dieser Stelle als Kombination von Entwurf (des Fertigungsprozesses) und deren Gestaltung gesehen. Durch Interaktion in bzw. mit der Lehr- und Lernplattform sollen Lernende bzw. Studierende aktiv und selbstständig planerisch tätig werden können. Die TU Dresden setzt das Teilprojekt „Arbeitsgangausarbeitung“ in enger Verzahnung mit der TU Bergakademie Freiberg um. Die Ergebnisse der Planungsphase werden innerhalb des Teilprojektes „Fertigungssteuerung“, maßgeblich bearbeitet durch die TU Liberec, genutzt.

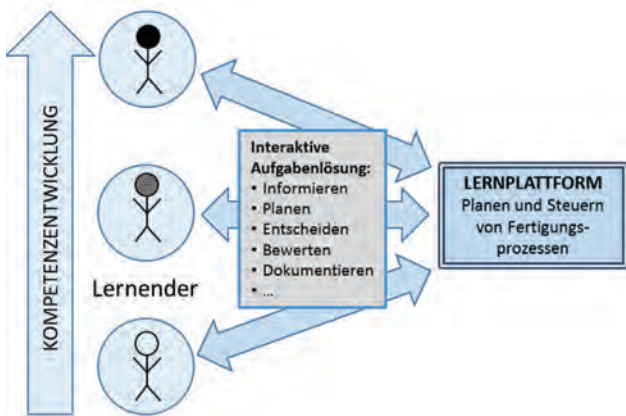


Bild 1: Entwicklungsansatz „Fertigungsprozessplanung“

Die Lösungen der didaktischen Problemstellungen werden durch Fachleute, ebenfalls von der TU Dresden, beigesteuert.

Im Ergebnis des Projektes sollen innerhalb der Projektlaufzeit bis Ende 2019 einerseits ein umfassendes und länderübergreifendes Konzept für eine oben beschriebene Lehr- und Lernumgebung entstehen und andererseits erste Bausteine bzw. Teillösungen prototypenhaft umgesetzt und getestet werden. Die Prototypenlösung wird die prinzipielle Nützlichkeit und Wirkung einer solchen Plattform demonstrieren. Für eine mögliche dauerhafte Umsetzung des Konzepts werden damit wertvolle Aussagen bereitgestellt.

4. Umsetzungskonzept

Planerische Aufgaben erfordern ein großes Maß an Wissen über die zu planenden Belange. Dies muss vorausgesetzt werden und bildet auch im Rahmen dieses Projektes die Wissensbasis. Es wird davon ausgegangen, dass die Lernenden und Studierenden eine Fertigungsaufgabe, welche im Regelfall durch eine normgerechte Fertigteilzeichnung präsentiert wird, erkennen können. Das Lesen einer Zeichnung ist somit Grundvoraussetzung für die Fertigungsplanung. Weiterhin ist umfangreiches Wissen über die zu benutzenden Fertigungsverfahren unerlässlich. Beispielsweise muss klar sein, welche Art Flächen in welcher Qualität von welchem Fertigungsverfahren herstellbar sind. Ausgewählte Wissensinhalte werden im Rahmen der Plattform unterstützend bereitgestellt um die Effizienz der Arbeit zu erhöhen.

Planen von Fertigungsprozessen kann als kreativer Vorgang der Verknüpfung von Wissen zur Lösung einer Fertigungsaufgabe verstanden werden. Das Ergebnis des Planungsvorganges ist ein Fertigungs- oder Arbeitsplan, der mit (sehr hoher) Sicherheit zu einem qualitätsgerechten Fertigteile (Werkstück) führt. Unter diesem Gesichtspunkt sind anschließend ökonomische Aspekte wie Fertigungszeiten oder Fertigungskosten zu berücksichtigen, um das gewünschte bzw. geforderte Optimum zu bestimmen. Allein diese Aufgabe erfordert es, bei der Planung von Fertigungsprozessen in Varianten zu denken und zu planen.

Planen bedeutet immer, dass mit dem augenblicklichen Kenntnisstand, z.B. der Verfügbarkeit von Arbeitsplätzen, Werkzeugen etc., Entscheidungen für Abläufe in der Zukunft getroffen werden müssen. Daraus ergibt sich zwangsläufig eine Unsicherheit, ob die Planungsergebnisse später, d.h. zum Zeitpunkt der Fertigung, überhaupt umsetzbar sind. Dies muss den Lernenden und Studierenden klar werden. Auch hieraus speist sich die Forderung nach einer alternativen (mehrdeutigen) Fertigungsplanung.

Auf der anderen Seite bedeutet Planen eben Entscheiden. Es gibt keinen Plan ohne Entscheidung. Erfahrungsgemäß haben die Lernenden und Studierenden ein erhebliches Defizit beim Treffen von Entscheidungen. Diesem Umstand muss bei der Konzeptionierung der Lernplattform Rechnung getragen werden.

Zusammenfassend wird die Lernplattform Unterstützung bei der Entwicklung folgender Kompetenzen bieten:

- Benutzen und Verknüpfen von Wissen zu Fertigungsverfahren,
- Entwerfen und Gestalten von Fertigungsprozesslösungen,
- Denken in Varianten, optimale Lösungen erkennen, bewerten, hinterfragen, entscheiden und
- selbständiges Arbeiten, aber auch die Arbeit und Beratung im Team.

Für die Darstellung von Teilefertigungsprozessen hat sich die Verwendung von Fertigungsprozessgraphen im Stile von Vorgangspfeilnetzplänen als sehr vorteilhaft erwiesen, dargestellt in Bild 2. Dabei können den Elementen des Graphen semantische Bedeutungen zugeordnet und problemlos alternative Prozesslösungen abgebildet werden. Der Fertigungsprozessgraph besteht aus Knoten und Kanten. Die Knoten symbolisieren den aktuellen Werkstück(zwischen)zustand. Dieser Zustand kann sich von anderen geometrisch, stofflich oder auch nur durch einen anderen Status (z.B. „geprüft“) unterscheiden. Jeder Werkstückzustand ist nur ein einziges Mal im Fertigungsprozessgraph vorhanden. Die Kanten sind die Linien, welche die Knoten verbinden. Jede Kante ist mit einem einzigen Arbeitsgang verknüpft. Somit gibt die Kante u.a. Auskunft über den verwendeten Arbeitsplatz und die dabei entstehenden Fertigungszeiten und –kosten. Der Fertigungsprozessgraph ist immer gerichtet.

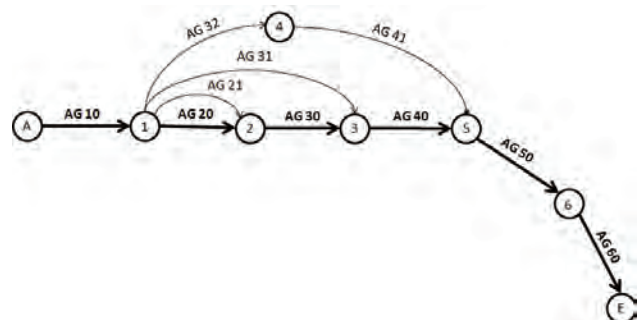


Bild 2: Beispiel des alternativen Fertigungsprozessgraphen

Dies wird üblicherweise durch eine aufsteigende Nummerierung der beteiligten Knoten und/oder durch die Verwendung von Pfeilen für die Kanten erreicht. Die Richtung des Fertigungsfortschritts ergibt sich in der Praxis zudem aus der aufsteigenden Benummerung der Arbeitsgänge.

Um auf das unterschiedliche Ausgangsniveau der Lernenden und Studierenden eingehen zu können, wurden in enger Abstimmung mit den Projektpartnern in Sachsen und Tschechien ein matrixartiges Konzept von Lernaufgaben entworfen. In Abszissenrichtung nimmt die Werkstückkomplexität zu, so dass die Kompliziertheit der fertigungstechnischen Problemsituation zunimmt (Scope). Dagegen werden in Ordinateurichtung über bislang drei sogenannte Stages der Umfang und die Vielschichtigkeit der fertigungsplanerischen Entscheidungen erhöht (Bild 3).

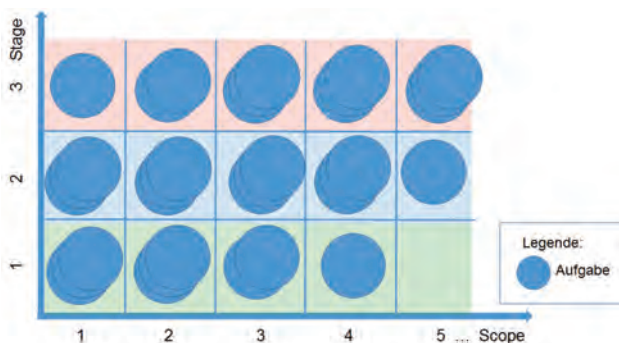


Bild 3: Matrix der Planungsaufgaben

Denkbar ist, dass die Anzahl der Aufgaben, in Bild 3 symbolisiert durch die Punkte, in Abhängigkeit von fertigungstechnischer und planerischer Komplexität angepasst wird. Für die dargestellten drei Stages sind folgende planerischen Inhalte / zu treffende Entscheidungen für den Nutzer der Plattform vorgesehen:

Stage 1: Der Lernende / Studierende erhält nach der Auswahl einer Aufgabe zu Stage 1 das Bild eines eindeutigen Fertigungsprozessgraphen, bei dem die Werkstückzwischenzustände bereits korrekt zugeordnet sind. Die Aufgabe besteht nun darin, die richtigen Arbeitsgänge an die vorhandenen Kanten zu platzieren. Der eigene Entscheidungsspielraum ist somit stark eingeschränkt.

Stage 2: Nach Auswahl einer Aufgabe zu Stage 2 wird lediglich der Knoten des betreffenden Werkstückendzustandes angezeigt. Dieser ist identisch mit der Fertigungsaufgabe (Fertigteilzeichnung). In der Folge sind vom Lernenden / Studierenden die richtigen Kombinationen aus Knoten und Kanten zu bestimmen. Bei den Arbeitsgängen wird vorerst auf die Bestimmung der Werkstückeinspannung verzichtet. Außerdem werden Fehlentscheidungen augenblicklich angezeigt, so dass sofort eine Korrektur erfolgen kann bzw. muss.

Stage 3: Wie bei Stage 2 wird lediglich der Endzustand angezeigt. Alle Entscheidungen bis hin zur

Werkstückspannung sind zu treffen. Fehlentscheidungen sollen erst dann angezeigt werden, wenn der Fertigungsprozessgraph durch den Nutzer als fertig gekennzeichnet wird.

Konzeptionell wird auch an einer Lösung gearbeitet, die es dem Nutzer erlaubt, vollkommen freie Planungsentscheidungen zu treffen und diese abzuspeichern. Aus derzeitiger Sicht scheint es notwendig, diese Lösungen durch einen Tutor begutachten zu lassen.

Im Rahmen der durch die TU Bergakademie Freiberg umzusetzenden Fachinhalte sind die Planungsschritte Rohteilerauswahl, Fertigungsverfahrenfestlegung, Arbeitsplatzauswahl, Festlegung der Arbeitsgangreihenfolge sowie Festlegung der Werkstückeinspannung zu konzipieren und prototypisch umzusetzen. Im Ergebnis soll – zumindest in Stage 3 – eine mehrdeutige Fertigungsprozesslösung entstehen. Dabei ist vorgesehen, dass die einzelnen Fertigungsprozesse fertigungszeit- und fertigungskostenmäßig verglichen werden. Somit besteht die Möglichkeit, während der Fertigungssteuerung darauf zurückzugreifen und eine fundierte Steuerungsentscheidung zu treffen.

5. Prototypische Umsetzung - Pilotlösung

Die Strategie der prototypischen Umsetzung richtet sich maßgeblich nach der vorgesehenen Nutzung der Lernsoftware. Diese Nutzung sieht unter anderem eine stetige Weiterentwicklung der Lernsoftware vor. Dabei soll sowohl die Funktionalität, als auch die Anzahl an Arbeitsaufgaben durch die Einrichtungen, welche die Software später nutzen, erweitert werden können. Daraus resultiert letztendlich der Ansatz einer Open-Source-Anwendung.

Die Lernplattform ist als eigenständiges Programm (.exe) für MS Windows-Systeme konzipiert. Als Laufzeit- und Entwicklungsumgebung wird Unity der Firma Unity Technologies verwendet.

Die Lernplattform ist in verschiedene eigenständige „Szenen“ unterteilt, wobei jeder beteiligte Projektpartner sein Teilprojekt prototypisch in einer solchen Szene umsetzt. Das in Unity integrierte Szenenmanagement ermöglicht es nahtlos zwischen den Szenen zu wechseln, um je nach Situation die dafür vorgesehenen Inhalte dem Benutzer bereitzustellen. Für die Umsetzung der Szenen wird der Unity-Editor verwendet, der neben einer objektorientierten Oberfläche auch die Erstellung von Skripten ermöglicht. Dabei wird vorrangig die Programmiersprache C# verwendet.

Die Lernplattform beinhaltet zusätzlich eine zentrale MS SQL-Datenbank. Während der Nutzung der Lernplattform, also dem Bearbeiten einer Planungsaufgabe, arbeiten die Windows-Anwendung und die SQL-Datenbank zusammen, wobei die speicherintensiven Daten wie Bilder, Videos und 3D-Modelle lokal zur Verfügung stehen. Die SQL-Datenbank beinhaltet unter anderem alle notwendigen Informationen zu Arbeitsplätzen, Werkzeugmaschinen, Aufgabenstellungen, vorgefertigte Lösungen, Benutzer-

verwaltung und Benutzerlösungen.

Für die Durchführung einer Fertigungsprozessplanung soll der Nutzer in der Lage sein, einen mehrdeutigen bzw. alternativen Fertigungsprozessgraphen virtuell anzulegen. Dafür wird dem Nutzer die im Bild 4 dargestellte Programmoberfläche präsentiert. Diese Oberfläche gliedert sich maßgeblich in drei, hier durch Zahlen gekennzeichnete Bereiche. Der Bereich „1“ bietet dem Nutzer die Möglichkeit, einen Fertigungsprozessgraphen interaktiv aus Kanten und Knoten zu erstellen. Es können beliebig viele Knoten erzeugt werden, welche wiederum frei wählbar miteinander verbunden werden. Anschließend müssen die Notwendigen Informationen der einzelnen Objekte ausgewählt werden, wie Arbeitsplatz, Werkzeugmaschine oder Werkstückzustand.

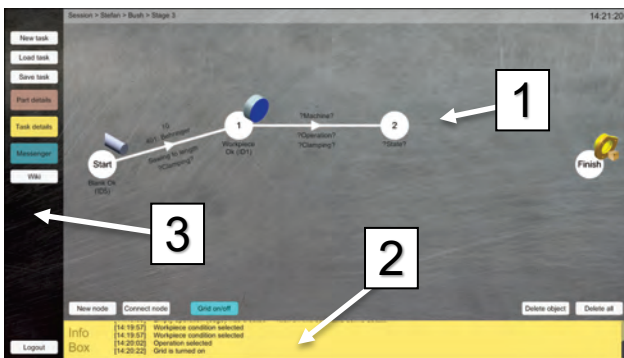


Bild 4: Programmoberfläche zur Fertigungsprozessplanung

Der Bereich „2“ beinhaltet eine Infobox, welche dem Nutzer Informationen zur Benutzung der Lernplattform bereitstellt. Dabei werden auch falsche Entscheidungen angezeigt und ggf. erläutert. Für eine bessere Übersicht werden alle Meldungen der Infobox in einer Liste protokolliert.

Der Bereich „3“ wird durch eine Funktionsleiste verkörpert. An dieser Stelle kann der Nutzer bspw. eine neue Aufgabe starten, eine begonnene Aufgabe abspeichern und fortsetzen, oder ein Glossar öffnen, welches Begriffserklärungen und Definitionen bereit hält. Zusätzlich beinhaltet diese Leiste noch drei weitere Funktionsfenster, welche sich bei Bedarf öffnen lassen, frei positionier- und skalierbar sind und in Bild 5 dargestellt werden.

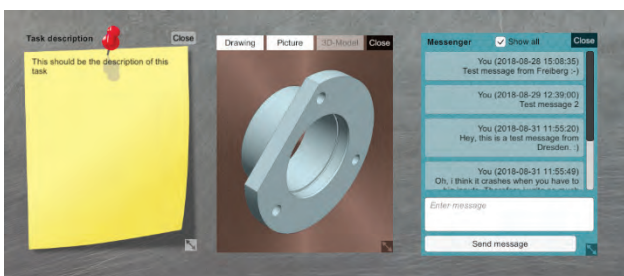


Bild 5: Funktionsfenster zur Aufgabenbeschreibung, zu Fertigteilinformationen und zum Messenger

Das erste Funktionsfenster beinhaltet die Aufgabenstellung in Textform. Das zweite Fenster stellt alle Informationen über das Fertigteil, wie Abbildung, technische Zeichnung und später auch 3D-Modell bereit. Das dritte Funktionsfenster bietet einen Messenger, welcher einen grenzübergreifenden Austausch bei der Aufgabenbearbeitung ermöglicht. In späteren Programmversionen soll somit auch ein Austausch mit einem Tutor möglich sein. Die Möglichkeiten des Austauschs und des Arbeitens in Gruppen soll vor allem den Lernerfolg und die Motivation steigern, da die Lernplattform auch zum autodidaktischen Lernen genutzt werden soll.

6. Zusammenfassung

Die Planung von Fertigungsprozessen stellt hohe Anforderungen an Wissen und Kreativität. Damit Studierende und Auszubildende den durch Erfahrungen an sächsischen und tschechischen Universitäten und Berufsschulen aufgezeigten Mangel an Kompetenzen beseitigen können, ist das Projekt „POKROK.digital“ entstanden.

Die Zielstellung des Teilprojektes „Fertigungsprozessplanung“ der TU Bergakademie Freiberg ist die Entwicklung von Kompetenzen für die Planung von Prozessen der Teilefertigung wirkungsvoll zu unterstützen. Diese Kompetenzen umfassen Benutzen und Verknüpfen von Wissen zu Fertigungsverfahren, Entwerfen und Gestalten von Fertigungsprozesslösungen, Denken in Varianten, Erkennen optimaler Lösungen, Bewerten, Hinterfragen, Entscheiden und selbständiges Arbeiten, aber auch die Arbeit und Beratung im Team.

Dafür wird ein Konzept für eine auf das Problem angepasste Lern- und Lehrplattform und deren prototypische Umsetzung erarbeitet. Dabei bilden problembezogene Untersuchungen der Ausbildungsdokumente und die Ermittlung der Anforderungen der Unternehmen an deren Fertigungsplanungs- und Fertigungssteuerungspersonal die Grundlage des Konzeptes.

Die prototypische Umsetzung in der Laufzeit- und Entwicklungsumgebung Unity bietet dem Nutzer die Möglichkeit im Teilprojekt „Fertigungsprozessplanung“ einen virtuellen Fertigungsprozessgraphen mit mehreren Varianten interaktiv zu erstellen. Die Software bietet dem Nutzer dabei Unterstützung und gibt Rückmeldungen über dessen Planungsentscheidungen. Für den Austausch und das Arbeiten in Gruppen ist ein Messenger implementiert worden.

Danksagung

Die Autoren bedanken sich für die Förderung des Projektes bei der Europäischen Union, Europäischer Fonds für regionale Entwicklung im Kooperationsprogramm Freistaat Sachsen – Tschechische Republik 2014-2020. Weiterhin danken wir der Sächsischen Aufbaubank für die Abwicklung des Projektes sowie allen Projektpartnern für die vertrauensvolle Zusammenarbeit.

SCHLISSANLAGENBERECHNUNG: ANWENDUNG VON METHODEN AUS DER OPERATIONS RESEARCH IM SCHLOSSERHANDWERK

Albert Seidl, Günter Dolezel

Hochschule Magdeburg-Stendal, Breitscheidstraße 2, D-39114 Magdeburg
Handwerkskammer für München und Oberbayern, D-80333 München

Eine mechanische Schließanlage realisiert die Zugangskontrolle innerhalb eines Gebäudes. Die Schließfunktionen werden über einen Schließplan, also in Form einer booleschen Matrix dargestellt. Der Schlosser benötigt Daten zu geeigneten Schlüsselschnitten und Zylinderfüllungen so, dass die gewünschte Schließfunktion realisiert wird. Diese Aufgabe führt auf ein anspruchsvolles kombinatorisches Optimierungsproblem. Die Operations Research stellt hier zahlreiche geeignete Methoden zur Verfügung. Diese Arbeit beschreibt das mechanische Problem zunächst anhand boolescher Verknüpfungen und entwickelt daraus das kombinatorische Optimierungsproblem. Mögliche Lösungen werden übersichtsartig dargestellt. Die Anwendung von Simulated Annealing im eigenen Projekt wird beschrieben. Alternative Ansätze anderer Autoren (Wanke et al., Weismantel et al.), insbesondere Integer Programming werden diskutiert.

A mechanical master-key system realizes access control within a building. The locking function is defined via a mapping between keys (persons) and cylinders (rooms), usually represented in the form of a boolean matrix. The locksmith needs data on key-cuts and cylinder fillings such, that the wanted locking function is realized. The computation of appropriate key-cuts and cylinder fillings leads to a challenging combinatorial optimization problem. A variety of mathematical solution-methods, mainly from the field of operations research are available to attack this problem. This paper develops a mathematical model by deriving boolean expressions from the locksmithing problem. On this basis the combinatorial optimization problem can be formulated. An overview of mathematical solution methods is given. An approach implemented at HS-MD using Simulated Annealing is demonstrated. Alternatives proposed by other authors (Wanke et al., Weismantel et al.), namely using Integer Programming are discussed.

1. Einleitung

Schließanlagen durchsetzen bleiben rein mechanische Lösungen bei kleinen Anlagen (unter 100 Schlüssel/Zylinder) in Sachen Kosten und Betriebssicherheit unschlagbar. Die Stärken der mechanischen Lösung kommen besonders dann zum Tragen, wenn auch kleine Betriebe Berechnung, Errichtung, Änderung und Ersatz von Anlagen übernehmen. In dieser Arbeit werden robuste Algorithmen diskutiert die Entwicklung von einfach bedienbarer Berechnungssoftware ermöglichen, zugeschnitten auf die Bedürfnisse von KMU. Von dem mechanischen System wird zunächst ein mathematisches Modell abgeleitet. Anschließend werden Verfahren zur Berechnung diskutiert.

Menschenschlüssel	Postbote	Wohnung 1	Wohnung 2	Wohnung 3	Wohnung 4	Ersatz 1	Ersatz 2	Ersatz 3	Ersatz 4
Zentralzylinder	•	•	•	•	•	•	•	•	•
Wohnung 1	•	•							
Wohnung 2	•		•						
Wohnung 3	•			•					
Wohnung 4	•				•				
Ersatz 1						•			
Ersatz 2							•		
Ersatz 3								•	
Ersatz 4									•

Abb.1.: Definition der Zutrittsberechtigungen über einen Schließplan, Beispiel Vierfamilienhaus

Während sich in großen Objekten elektronische

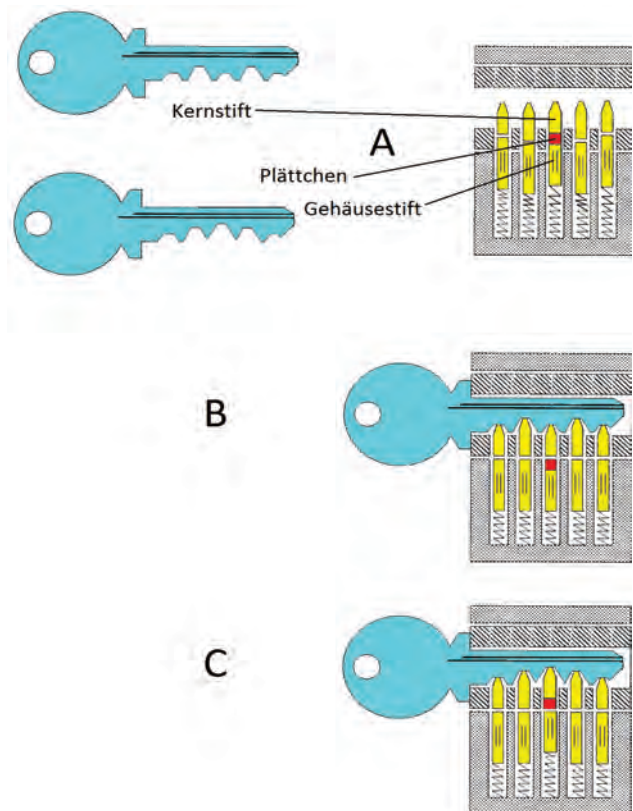


Abb. 2.: Aufbau eines Schließzylinders im Querschnitt und Demonstration der Schließfunktion zweier alternativer Schlüssel. Komponenten des Zylinders sind die drehbare Schließnase (schraffiert) und das fest eingebaute Gehäuse (gepunktet)

Die Schließfunktion erfolgt bei Drehung der Schließnase. Letztere wird normalerweise durch die Gehäusestifte blockiert, die wie in Abb.2. gezeigt durch Federn nach oben gedrückt werden (A). Nach Einführen eines Schlüssels werden, die Kernstifte in die Einschnitte des Zylinders gedrückt. Bei einer Entsprechung zwischen Einschnitttiefe im Schlüssel und Stiftteilung im Zylinder wird eine Stiftteilung auf Höhe der Trennlinie zwischen Gehäuse und Schließnase gebracht und die Blockierung der Schließnase durch diesen Stift aufgehoben. Beim "richtigen" Schlüssel erfolgt diese Freigabe auf allen 5 Stiften gleichzeitig, die Schließnase ist frei drehbar und der Zylinder kann geöffnet werden (B,C). Dabei sorgt der Aufbaustift im mittleren Stiftkanal (gezeigt in rot) dafür, dass alternativ zwei verschiedene Schließungen möglich sind. Nur diskrete Einschnitttiefen und dementsprechend nur diskrete Stiftlängen sind möglich. Die minimale Differenz zweier erlaubter Einschnitttiefen/Stiftlängen wird als Stufensprung bezeichnet und beträgt typischerweise etwa 0,2 mm.

Im folgenden werden zunächst die branchenüblichen Darstellungen der Objekte Schlüsselschnitt und Zylinderfüllung eingeführt, in Abschnitt 2 deren Darstellung im mathematischen Modell. Hierzu werden die folgenden Variablen genutzt:

β erlaubte Anzahl der Stufensprünge

n_c Anzahl der Einschnitte des Schlüssels

n_k Anzahl der Schlüssel

n_z Anzahl der Zylinder

Schlüsselschnitt k branchenübliche Schreibweise:

n_c -Tupel ganzzahliger Elemente, welche die Einschnitttiefen in stufensprüngen bezeichnen. Diese Darstellung eines Schlüsselschnittes wird von automatischen Schlüsselschneidemaschinen „verstanden“

$k \in N^{n_c}$ bzw. $k=(k_1, k_2, \dots, k_{n_c})$ wobei $1 \leq k_i \leq \beta$

Beispiel (Abb.2.):

$k^1=(2,5,2,5,1)$

$k^2=(2,5,7,5,1)$

Zylinder, z , branchenübliche Schreibweise:

Tabelle, deren Spalten den Stiftkanälen entsprechen, die Elemente in den Spalten den eingesetzten Kernstiften und Plättchen. Beispiel (Abb.2.):

$$z = \begin{pmatrix} 2 & 5 & 2 & 5 & 1 \\ 0 & 0 & 5 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

Nicht benötigte Felder der Tabelle werden mit Nullen aufgefüllt um formal eine Interpretation der Tabelle als Matrix zu ermöglichen.

2. Definition von Objekten für das mathematische Modell

Für logische Werte wird die Schreibweise 1 (TRUE) und 0(FALSE) verwendet. Das mathematische Modell einer Schließanlage enthält die folgenden Ele-

mente:

$$Z = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}; K^1 = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

Tab. 1: Beispiele für Schlüsselschnitt K^1 und Zylinderfüllung Z in Schreibweise als boolesche Matrix mit Bezug auf die entsprechenden Objekte k^1 und z in branchenüblicher Schreibweise in Abschnitt 1

Schließplan L: Boolesche Matrix der Dimension $n_k \times n_z$. $L_{ij}=1$ bedeutet: Schlüssel i schließt den Zylinder j . Entsprechend: $L_{ij}=0$ Schlüssel i schließt nicht den Zylinder j . (s. Auch Abb. 1)

Schlüsselschnitt K

Um die Aufgabe der Schließanlagenberechnung als abfolge einfacher Boolescher Operationen zu beschreiben ist, abweichend von der branchenüblichen Schreibweise eine Darstellung als Boolesche Matrix vorteilhaft:

K ist $\beta \times n_c$ Matrix, wobei $K_{i,j} \in \{0,1\}$

Sie entsteht aus der branchenüblichen Schreibweise k durch die folgende Operation:

$K_{i,j} = 1$ falls $k_j=i$

$K_{i,j} = 0$ sonst

Zylinderfüllung Z

Analog zum Schlüsselschnitt K wird abweichend von der branchenüblichen Schreibweise eine Darstellung als Boolesche Matrix vorgeschlagen:

Z ist $\beta \times n_c$ Matrix, wobei $Z_{i,j} \in \{0,1\}$

Sie entsteht aus der branchenüblichen Schreibweise z durch die folgende Operation:

$Z_{i,j} = 1$ falls $\sum_{\alpha=1}^x z_{\alpha,j} = i$ für beliebige x mit $1 \leq x \leq \beta$

$Z_{i,j} = 0$ sonst

Zunächst werden die folgenden Operationen für boolesche Matrizen eingeführt. A, B, C seien boolesche Matrizen derselben Dimension, sowie $x \in \{0,1\}$:

$A \subseteq B$ bedeutet: $B_{i,j} = 1$ falls $A_{i,j} = 1$;

$B_{i,j} = \text{beliebig}$ falls $A_{i,j} = 0$

$C = A \cup B$ bedeutet: $C_{i,j} = A_{i,j} \vee B_{i,j}$

$C = A \cap B$ bedeutet: $C_{i,j} = A_{i,j} \wedge B_{i,j}$

$C = A \wedge x$ bedeutet $C_{i,j} = A_{i,j} \wedge x$

Mit diesen Operationen lassen sich die Schließbedingungen auf einfache Weise formulieren:

„Schlüssel K^i schließt Zylinder Z^j “: $K^i \subseteq Z^j$

„Zylinder Z wird so aufgebaut, dass die Schlüssel K^1, K^2, \dots, K^n schließen“: $Z = K^1 \cup K^2 \cup \dots \cup K^n$

3. Anforderungen an eine Schließanlage

Es folgt eine Beschreibung der von einer Schließanlage zu erfüllenden Bedingungen. Das Attribut „hart“ bedeutet hier: Verstoß führt zu ungültiger Anlage, während „weich“ meint: Verstoß führt zu höherem Materialaufwand, ggf. Verschwendung von Code-raum.

(a) logische Bedingungen (hart): Ein Schlüssel soll einen Zylinder entsprechend des Schließplanes sperren bzw. nicht sperren:

$$(1) K^i \subseteq Z^j \text{ falls } L_{i,j} = 1$$

$$(2) K^i \not\subseteq Z^j \text{ falls } L_{i,j} = 0$$

(b) mechanische Bedingungen (hart), hier nur in Beispielen:

1. Begrenzung der Einschnitttiefe in der Nähe des Schlüsselgriffes
2. Die Dicke von Plättchen soll mindestens 2 Stufensprünge betragen
3. Zylinder sollen nicht mit Öffnungswerkzeugen mit gerader Klinge zu öffnen sein.

(c) Optimierung (weich) z.B.: Gesamtzahl der in Zylindern eingesetzten Plättchen soll minimiert werden.

4. Anlagenberechnung, grundsätzliche Überlegungen

Bei Berechnung einer Schließanlage ist es lediglich nötig, die Liste der Schlüssel zu speichern, ein Speichern der Liste der Zylinder wäre redundant, da die Zylinder aus der Liste der Schlüssel sofort anhand des Schließplanes generiert werden können:

$$(3) Z^j = K^1 \wedge L_{1,j} \cup K^2 \wedge L_{2,j} \cup \dots \cup K^{ns} \wedge L_{ns,j}$$

Damit wäre die Bedingung nach Gl.(1) für jede Paarung Schlüssel/Zylinder bei Verwendung einer beliebigen Schlüssel-Liste erfüllt. Dies gilt jedoch nicht für Gl.(2). Die Schwierigkeit der Anlagenberechnung besteht also darin, eine Liste von Schlüsseln so zu generieren, dass auch Gl.(2) erfüllt wird. In [1] wurde die NP Vollständigkeit dieser Aufgabenstellung gezeigt. Damit wird vollständige Suche (für Anlagen bis 10 Zylinder zwar erfolgreich demonstriert) praxisuntauglich. Es bleiben Heuristiken (Simulated Annealing, Genetische Algorithmen) und Integer Programming.

5. Einsatz heuristischer Optimierungsverfahren

Optimierung folgt dem Schema, dass eine Kostenfunktion unter Nebenbedingungen zu minimieren sei. Bezugnehmend auf Abschnitt 3 liegt zunächst nahe, dass die Bedingungen nach (c) zur Formulierung der Kostenfunktion und die Bedingungen nach (a,b) zur Formulierung der Nebenbedingungen herangezogen würden. Diese Umsetzung ist mit Blick auf das konkrete Verfahren nicht immer sinnvoll.

Im vorliegenden Problem kann die Menge der erlaubten Einschnitttiefen vorab festgelegt werden. Damit werden mechanische Bedingungen, wie Abschnitt 3 Absatz (b) Ziffer 1 und 3 (b) 2 als „echte“ Nebenbedingungen implementiert. Dies ist für die logischen Nebenbedingungen 3 (a) beim Einsatz von Heuristiken nicht möglich. Ausweg ist die Verstöße gegen die logischen Bedingungen zu zählen und der Kostenfunktion zuzuschlagen. Man versucht dann mit einer verbotenen Lösung zu starten und die Verstöße über das Optimierungsverfahren auf Null zu drücken. Überlegungen zur Formulierung der Kostenfunktion im Zusammenhang mit dem verwendeten Algorithmus finden sich in Abschnitt 6.

6. Implementierung von Simulated Annealing

In dieser Arbeit wird Simulated Annealing (z.B. [4]) als Lösungsalgorithmus eingesetzt. Es handelt sich um ein iteratives Verfahren.

1	bestimmen einer Startlösung, aktuelle Lösung ist zunächst die Startlösung.
2	Zufällige Störung der aktuellen Lösung
3	Auswertung der Kostenfunktion zur neuen Lösung
4	Entscheidung, ob neue Lösung als aktuelle Lösung akzeptiert wird
5	weiter mit Schritt 2 oder Abbruch

Tab 2.: stichwortartige Übersicht des Simulated Annealing Algorithmus

Diejenige Lösung, die im Rahmen der Iteration verändert wird, bezeichnen wir als „aktuelle Lösung“. Eine detaillierte Beschreibung des Algorithmus würde den Rahmen dieses Artikels sprengen. Die Grundstruktur des Algorithmus wird in Tab.2. stichwortartig skizziert, um aufzuzeigen, wo die problem-spezifische Implementierung einsetzt. Die konkrete Umsetzung in der vorliegenden Arbeit wurde folgendermaßen bewerkstelligt:

Darstellung der Lösung: Schlüssel-Liste, wie in Abschnitt 3 beschrieben.

Darstellung von Nebenbedingungen: Vorgabe einer Tabelle „erlaubter“ Einschnitttiefen von Schlüssel-schnitten. Es lässt sich auf einfache Weise sicherstellen, dass der Algorithmus nur Werte aus dieser Tabelle verwendet. Damit kann die Einhaltung einiger (jedoch nicht aller) mechanischer Bedingungen (s. Abschnitt 3 (b)) sichergestellt werden. Die Einhaltung der logischen Bedingungen kann nicht auf einfache Weise als Nebenbedingung formuliert werden. Damit wird in Kauf genommen, dass auch fehlerhafte Lösungen als „aktuelle Lösung“ auftreten.

Zu Tab.2, Schritt 2: Einem zufällig ausgewählten Schlüssel in der Liste wird ein zufällig generierter Schlüssel-schnitt zugeordnet.

Zu Tab.2. Schritt 3: Die Auswertung der Kostenfunktion besteht im Zählen der Verstöße gegen die in Abschnitt 3 genannten Bedingungen (soweit es nicht

möglich war, diese als Nebenbedingungen zu implementieren). Bei einer Kostenfunktion, die aus derart unterschiedlichen Beiträgen zusammengesetzt ist, empfiehlt die Literatur multiple objective optimization [5]. In dieser Arbeit wurde jedoch über geeignete Gewichtungsfaktoren eine Schnittstelle zur klassischen Implementierung des Algorithmus nach [4] geschaffen.

7. Resultate

Der in Abschnitt 6 beschriebene Algorithmus mit vereinfachten alternativen Varianten (Greedy Methoden) wurde in der KEYCAD Software [6] implementiert. Rechenergebnisse mit einem einfachen 5 stiftigen System (vergleichbar ISEO F5 von Gera) werden hier skizziert. Rechenzeiten beziehen sich auf einen Lenovo Desktop PC 1,6 GHz. Die Anlage nach Abb. 1. kann auch anhand der Greedy Methode (Abschnitt 6 „zu Tab.2 Schritt 2“) unter 1 sec Rechenzeit gerechnet werden. Simulated Annealing mit Standard Einstellungen benötigt 41 sec. Rechenzeit. Der volle Kodierraum des Schließsystems ist hier nicht nötig, es ist je nach System ausreichend auf 2-3 Stiften zu variieren. Bei größeren Anlagen fallen die Ergebnisse unterschiedlich aus. Während bei Dominanz von Einzelschließungen Systeme mehreren hundert Zylindern gerechnet werden können (Beispiel: 200 Zylinder wurden in 20 sec gerechnet) kann es im Falle gruppenorientierter Schließpläne (Extremfall: L ist Zufallsmatrix) bereits ab 30 Zylinder Schwierigkeiten geben (Beispiel: 25 Zylinder wurden in 109 sec gerechnet). Bei 30 Zylindern versagte die Berechnung, wobei der Algorithmus keine Aussage zulässt, ob das Versagen durch Unlösbarkeit der Aufgabenstellung oder durch ungünstige Wahl der Parameter bedingt ist. Bei binären Integer Programming (BIP) Methoden wäre anhand der LP Relaxation hier eine klare Aussage möglich. Ebenfalls wäre auf diesem Weg eine untere Schranke für das Minimum der Kostenfunktion zugänglich, während Heuristiken immer nur eine obere Schranke liefern.

8. Arbeiten anderer Autoren und Ausblick

in den Arbeiten [1] und [2] wird die Formulierung des Schließanlagen Problems als BIP vorgeschlagen und zum Teil auch implementiert. So werden u.a. Schlüsselschnitte und Zylinderfüllungen wie hier in Abschnitt 2 beschrieben, als boolesche Matrizen dargestellt, wobei deren Elemente als Variable des Optimierungsproblems auftreten. Weiter zeigen beide Autoren, dass zusätzliche Hilfsvariable nötig sind, sodass die Anzahl der Variablen letztlich größer wird als $n_z \cdot n_k \cdot n_c \cdot \beta$. Beispiel: Die Berechnung einer Schließanlage mit 100 Schlüsseln und Zylindern würde, dargestellt als binäres Integer Program über 300000 Variable benötigen. Auch aufgrund durchgeführter Berechnungen mit kleineren Anlagen kommen die Autoren [1] zu dem Schluss, dass IP aufgrund schlechter Effizienz nicht praxistauglich sei.

Diese Forschungsergebnisse datieren jedoch über 15 Jahre zurück. Zwischenzeitlich gehört die Lösung von BIP's von über 10^6 Variablen zu den Standardproblemen. Die Möglichkeit der Schließanlagenberechnung über BIP mit aktuellen Versionen von SCIP, CPLEX etc. sollte Gegenstand zukünftiger Arbeiten sein.

Danksagung

Die Arbeiten wurden zeitweise über die Firmen Lotus Sicherheitssysteme Magdeburg und MEGA Sicherheitsanlagen München, sowie über Projekt BMBF 1701397 gefördert.

Literaturverzeichnis

- [1] W. Espelage, E. Wanke, Math Meth Oper Res, (2000) 52: 325-348
- [2] M.Koeppe, R. Weismantel, interne Kommunikation, 2002
- [3] E. Lehmann, Matrizenrechnung – Anwendungen Teil 2, Berlin: Pro Business 2009
- [4] S. Kirkpatrick and C. D. Gelatt and M. P. Vecchi, Optimization by Simulated Annealing, Science, Vol 220, Number 4598, pages 671-680, 1983
- [5] S.Bandyopadhyay, S.Saha, U.Maulik, K.Deb, IEEE Transactions on Evolutionary Computation, Vol.12, (3), Jun. 2008
- [6] A.Seidl, B.Krüger, "Schließanlagenberechnung", Forschungsbericht 1701397, Bundesministerium für Bildung, Wissenschaft, Forschung und Technologie, 1999

TWITTERSPHÄRE IN SACHSEN - AKTEURE, THEMEN UND REGIONEN

Kristina B. Helle¹, Franziska Günther², Richard Vogel¹, Kristan Schneider¹, Marc Ritter¹

¹ Hochschule Mittweida, Technikumplatz 17, D-09648 Mittweida

² Technische Universität Dresden, D-01062 Dresden

Die digitale Informationsgesellschaft ist maßgeblich durch die Nutzung von Social Media geprägt. Diese von Nutzern generierten Daten geben Aufschlüsse über reales menschliches Verhalten. In diesem Beitrag wird die Twittersphäre in Sachsen betrachtet. Welche Nutzer twittern in Sachsen, über welche Themen diskutieren sie? Und lassen sich Regionen voneinander abgrenzen?

The digital information society is significantly shaped by the use of social media. The data generated in this way provide information on real human behaviour. In this article, the Twittersphere in Saxony is examined. Which users are tweeting in Saxony, which topics are discussed? Can regions be distinguished from each other?

1. Einleitung

Die Analyse von sozialen Medien (hier der Kurznachrichtendienst Twitter [1]) ermöglicht einen Einblick in die Interaktions- und Kommunikationsstrukturen der dort agierenden Personen. Oft werden Gruppen betrachtet, die z.B. durch gemeinsame Diskussion oder Themen verbunden sind. Unser Ziel ist dagegen, für eine Region (Sachsen) die lokale „Twittersphäre“ [2] zu erfassen und zu beschreiben. Rückschlüsse auf die Gesellschaft insgesamt sind aus den sozialen Medien nur begrenzt möglich; Abschnitt 2 gibt einen Überblick über entsprechende Literatur. Abschnitt 3 beschreibt die Datensammlung und die verwendete Software. Abschnitt 4 betrachtet die Nutzer und deren Aktivität, sowie die wichtigsten Akteure und Themen und ordnet sie räumlich ein. Zusammenfassung und Ausblick runden den Beitrag ab.

2. Soziale Medien und gesellschaftliche Realität

Die Entstehung der Daten in den sozialen Medien ist zunächst vor dem Hintergrund der Interaktion des Individuums mit dem jeweiligen Service zu betrachten [3]. Die Daten können demnach nur als Indikator für die Erklärung von sozialen Phänomenen und vor dem Hintergrund der Nutzung des betreffenden Dienstes angesehen werden. Rückschlüsse auf größere soziale Phänomene, die nicht direkt mit dem Dienst in Verbindung stehen, sind nur begrenzt möglich. Zudem reguliert Twitter den Zugriff, wonach nicht die vollständigen Daten verfügbar sind. Forschende stehen dadurch einer Black Box gegenüber, da die Auswahlmechanismen der Daten nicht transparent gemacht werden [3, 4]. Studien zeigen zudem, dass sich aktive Twitternutzer im Vergleich zum Durchschnitt der Internetnutzer und in Bezug auf die Gesamtbevölkerung „in demografischen, politischen und vor allem in Hinsicht auf Persönlichkeitsmerkmale [...] unterscheiden“ [5, S. 140; siehe dazu auch 6]. Folglich müssen Analyseergebnisse auch vor diesem Hintergrund verstanden und interpretiert werden.

3. Datensammlung

Das Ziel besteht darin, einen möglichst umfassenden Datensatz der Nutzer in Sachsen und ihrer Aktivitäten aufzubauen. Es werden kontinuierlich Nutzeraccounts und Tweets primär aus dem Raum Sachsen,

aber auch darüber hinaus gesammelt. Die hier vorgestellten Daten wurden im Zeitraum Juni bis Anfang September 2018 erhoben.

3.1. API und Bibliotheken

Als Datenquelle wird die offizielle *Twitter Rest-API* [7] verwendet. Angesprochen wird diese mittels des Python Wrappers *python-twitter* [8]. Die Menge der gesammelten Daten wird durch Ratenlimits von Twitter beschränkt. Als Datenspeicher wurde eine *PostgreSQL*-Datenbank verwendet [9].

3.2.1 Erfassung Ausgangsbasis

In erster Instanz wurden Nutzer erfasst, welche in ihrem Profil einen Verweis auf eine sächsische Gemeinde aufwiesen. Dabei wurde der Endpunkt *users/search* [7] verwendet. Für die *query* (Parameter *q*) wurde eine Liste sächsischer Gemeinamen [10] verwendet; Nutzer ohne Tweets entfielen aus der Stichprobe. Zur entstandenen Nutzerbasis wurden folgend zugehörige direkte Follower hinzugefügt [*followers/list*; 7]. Mittels Geocoding (siehe 3.2.3) wurden Nutzer innerhalb Sachsens ausgewählt. Insgesamt umfasst diese Gruppe ca. 800 Nutzer.

3.2.2 Sammelprozess

Im weiteren Verlauf werden kontinuierlich neue Nutzer und Tweets gesammelt. Dabei wird für alle bisher erfassten Nutzer iterativ die Timeline geladen [*statuses/user_timeline*; 7], d.h. jeweils bis zu 200 der aktuellsten Tweets pro Anfrage. Sollten dabei Nutzer erwähnt werden (mention) oder deren Tweets geteilt (retweet) oder kommentiert (quote), so werden Tweets und, falls nötig, Nutzer rekursiv der Datenbank hinzugefügt.

3.2.3 Geocoding

Sowohl Tweets als auch Nutzer können einen direkten Verweis auf einen Ort besitzen. Bei Tweets ist diese Information jedoch sehr selten [11], sodass wir diese ausschließlich aus den Nutzerobjekten beziehen. Diese besitzen ein vom jeweiligen Nutzer optional als Freitext zu füllendes Attribut *location* [12]. Sollte dieses Feld ausgefüllt sein, wird versucht, es mittels eines Gecoders [*geocoder*; 13] in eine geographische Lage (Koordinaten) zu übersetzen.

Ort	Nutzer	Tweets
A) in Sachsen	18.200	972.800
B) außerhalb Sachsens	60.000	268.700
C) nicht lokalisierbar	23.200	396.000

Tabelle 1: Anzahl der Nutzer und Tweets im Datenbestand

4. Die Twittersphäre in Sachsen

Im Folgenden wird der erhobene Datenbestand ausgewertet. Zur begrenzten Aussagekraft der Daten über die Twitternutzer in Sachsen, insbesondere über die Gesellschaft insgesamt, sei auf Abschnitt 2 und 3.2 verwiesen. Für die Visualisierungen kamen die Pythonpakete *cartopy* [14] und *matplotlib* [15] zum Einsatz. Als Quelle für die Kartendaten wurde der Service *Natural Earth* [16, angesprochen über *shapely*; 17] verwendet. Ein Teil der Analysen wurde mit *R* [18] und den Paketen *RPostgreSQL*, *sp*, *rgdal*, *ggplot2* [19] und auf der Kartengrundlage von EU-ROSTAT [20] durchgeführt.

4.1 Räumliche Verteilung

Es ist erwartungsgemäß eine klare Häufung der Nutzer in den drei großen sächsischen Städten zu erkennen (Bild 1). Dabei ist die Konzentration stärker als es der Bevölkerungsdichte entsprechen würde: in Dresden und Leipzig gibt es etwa 11 Nutzer unter 1000 Einwohnern, in Chemnitz und dem Kreis Sächsische Schweiz-Osterzgebirge ca. 5,5 und in allen anderen Kreisen ein bis zwei; das entspricht ca. 6.500 Nutzern in Dresden und 220 in Nordsachsen.

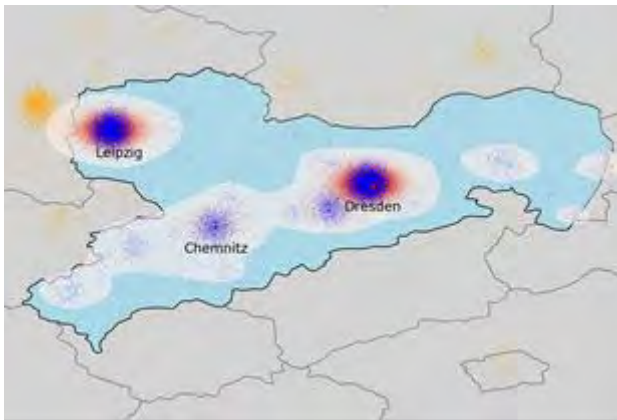


Bild 1: Räumliche Verteilung der Nutzer (blau: innerhalb Sachsens; gelb: außerhalb).

4.2. Aktivität

Die erste Registrierung eines Nutzers in unserem Datenbestand stammt vom 01.03.2006. Wie in Bild 2 erkennbar, gehen die Registrierungen seit 2009 zurück. Ein Großteil der Nutzer ist eher inaktiv; die Mehrheit (>48%) veröffentlichte nur einen einzigen Tweet, weitere 13% nur zwei, ca. 8% über 100 und nur 0,2% über 400. Des Weiteren sind die fünf tweetstärksten Nutzer unseres Datensatzes durchgängig in Dresden verortet (Tabelle 2).

Auch die Anzahl der Follower ist sehr ungleich verteilt. Ordnet man die Nutzer entsprechend, ergibt sich eine charakteristische S-Kurve (Bild 3). Die Anzahl

der Tweets wurde hier für den jeweiligen Nutzer im selben Plot eingetragen, um die Abhängigkeit beider Werte darzustellen. Diese ist begrenzt: die Korrelation beträgt 10,4% (Kendalls Tau 25,6%).

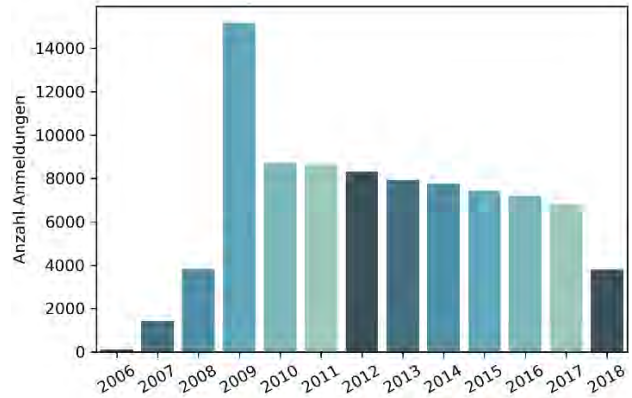


Bild 2: Anzahl der Twitter-Neuanmeldungen gestaffelt nach Jahren. Achtung: Jahr 2018 liegt zum Zeitpunkt der Erfassung noch nicht vollständig vor.

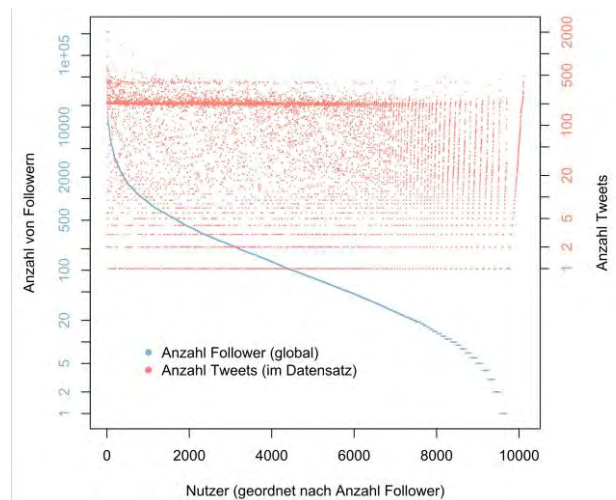


Bild 3: Verteilung der Anzahl der Follower und der Tweets für ca. 10 000 Nutzer aus Sachsen. (Die Anzahl der Tweets zeigt eine Häufung um 200 – Verdichtung der Punktwolke – diese ist ein Artefakt der Datenerhebung).

4.3 Die bedeutendsten Nutzer

Zur ersten Einschätzung, welche Nutzer in Sachsen (Gruppe A) besonders einflussreich sind, können ihre Tweets (Tabelle 2) oder Follower (Tabelle 3) gezählt werden.

Nutzer	Ort	Tweets
DVB AG	Dresden	2006
Florian v.	Dresden	1318
Sven Wernicke	Dresden	976
SG Dynamo Dresden	Dresden	906
Stefan Lüders	Dresden	740

Tabelle 2: Die fünf Nutzer mit den meisten Tweets, basierend auf den Tweets im Datensatz.

Nutzer	Ort	Follower
RB Leipzig	Leipzig	160.000
SG Dynamo Dresden	Dresden	97.500

Giovanni	Meißen	97.300
LVZ	Leipzig	67.900
La Belle Cosmetics	Dresden	65.800

Tabelle 3: Die fünf Nutzer mit den meisten Followern, basierend auf den Angaben von Twitter.

4.4 Themen

Hashtags werden von den Nutzern als Schlüsselwörter für Themen vergeben, daher bieten sie sich für weitere inhaltliche Analysen an.

4.4.1 Wordclouds

Für einen ersten Überblick wird die Häufigkeit der Hashtags in verschiedenen Regionen untersucht und das Ergebnis als Wordcloud dargestellt, wobei die Größe der Wörter der Häufigkeit entspricht (Bild 4). Auffällig ist, dass der Name der jeweiligen Stadt stets eine dominierende Position hat.



Bild 4: Beispiel einer Wordcloud: Hashtags der Nutzer des Dresdner Raumes.

4.4.2 Themen: Latent Dirichlet Analysis (LDA)

Für die unüberwachte Themenanalyse hat sich LDA als gängige Methode etabliert. Sie modelliert die Verteilung der Wörter unter Berücksichtigung der Dokumente, in denen sie gemeinsam auftreten [21].

Als Basis für die Analyse wird im Folgenden ein nutzerzentrierter Ansatz gewählt: Hierzu wird jeder Nutzer als Dokument modelliert, dem alle von ihm verwendeten Hashtags zugeordnet werden. Dieses Themengemisch ist ein Ausdruck seiner thematischen Ausrichtung. Für die Analyse wurde die LDA-Implementierung des Python-Paketes *scikit-learn* [22] verwendet. Tabelle 4 zeigt die Ergebnisse der Analyse für zehn Themen.

Komponenten in den Themen	
0	sachsen, afd, pegida, c2708, nopegida, cdu, bautzen, seehofer, spd, merkel, btw17, saxlt, nsu, noafd, deutschland, pegizei, trump, csu, c2608, groko, eonnewitz, nonazis, seebrücke, fdp, fcknz
1	plauen, vogtland, zwickau, photography, cfc, germany, gigs, handball, photo, travel, nature, sachsensumpf, zwickauer, sachsensdemokratie, spitzenstadt, food, nintendoswitch, fdplpt, trakt, werdau, sport, taucha, mfmw, domian, community4you, gay,

	reise
2	chemnitz, soundcloud, piraten, vw, np, polizei, stadtrat, grimma, f1, c0105, schule, retail, freital, rbtv, 5maerz, drk, trecru, mustread, montessori, 1mai, gläsernemanufaktur, egolf, germangp, fk2014, techno, petition
3	leipzig, digitalisierung, dsgvo, marketing, socialmedia, google, facebook, srl, fußballpur, fußball, seo, kultur, nachrichten, software, rezeption, unileipzig, plenumul, design, munzee, tsmms, it, streetart, telekomwall, ebook, ai, contentmarketing, ibug2015, postcrossing, bigdata
4	gd1953, tatort, runtastic, dynamo, wm2018, dfbpokal, aue, bvb, del2, dax, sgd, sgdfch, 147sf, aktien, störungsfrei, lfx, börse, dfb, bundesliga, 1953talk, euro2016, svrsgd, djlife, fracro, obwdd, neuhaus, ebay, weisswasser, dynamotv
5	ipad, ipadgames, erzgebirge, ibes, schneider, lutz, fliegerbombe, codingdavinci, theaterplauenzwickau, fliegerbombedd, iphone, gntm, basketball, 34c3, ff, adventskalender, csrclassics, werder, fitness, worldcup, monarchs, smm, immobilien, sauna, socbiz, chemnitz2025, family4life, ger
6	gameinsight, android, androidgames, rbleipzig, vogtlandblitzer, paradiseisland2, rbl, promibb, event, tddl, lastfm, nolegida, dasperfektedinner, ostrale, esc, sponsored, lifesciences, freiberg, hartha, esc2016, fernsehgarten, xbox, bvbrbl, natur, games, airport, lej, icefighters, play
7	dresden, jobs, fb, berlin, hochwasser, rannfl, elbe, kunst, ausstellung, wetter, party, dresdennestadt, frauenkirche, art, neustadt, stadtrat, musik, sun, sunset, visitdresden, music, city, lobtau, urban, sommer, summer, saxony, wolf
8	indwdd, esc2018, fitstats_de_de, fraunhofer, job, stellenangebot, schlefaz, smurfvillage, bibtag18, periscope, lichtjahrd, iyl2015, gronkhtv, radebeul, cybersax, quizfahrer, sfbbox, urlaub, bibliothek, unterwegs, warcraft, semiconeuropa, platz2
9	startup, iot, love, instagood, karriere, decompiled18, meetup, startups, innovation, typo3, forum, blockchain, betreuung, görlitz, peopleschoice, fd_buli, kinderwunsch, stadtfestdd, meerane, wedding, apple, fludhilfe, gesundheit, 5g, hochzeitsfotograf, t3cmd, tech

Tabelle 4: Die 30 dominantesten Hashtags pro Thema; mehrfach auftretende Hashtag werden nur dem relevantesten Thema zugeordnet; Ortsnamen durchgestrichen.

4.4.3 Themen und Regionen

Um festzustellen, ob in den Regionen über unterschiedliche Themen diskutiert wird, wurden die Nutzer über ihre geographischen Koordinaten 13 Landkreisen zugeordnet und die von ihnen verwendeten Hashtags (mit Häufigkeiten) betrachtet. Untersucht wurden die 271 Hashtags, die bei der LDA als wichtigste eingestuft wurden (siehe Tabelle 4).

Die Analyse zeigt, dass Ortsnamen (Tabelle 4 durchgestrichen) besonders häufig verwendet werden. Sie bilden 11,2% der Wörter in den Wortlisten und 19,4% aller untersuchten Hashtags unter Beachtung der Häufigkeit. Besonders häufig verwenden sie Nutzer aus den jeweiligen Orten: in Dresden, Leipzig und

Chemnitz machte der jeweilige Ortsname etwa 16% der gesamten verwendeten Hashtags aus.

Um die räumliche Verteilung der Themen zu untersuchen wurden daher lediglich die Hashtags ohne Ortsnamen betrachtet. Bild 5 zeigt, dass bei einigen Themen (0, 4, 7) besonders viele verschiedene Nutzer mitreden und dass die Wichtigkeit der Themen regionale Unterschiede aufweist.

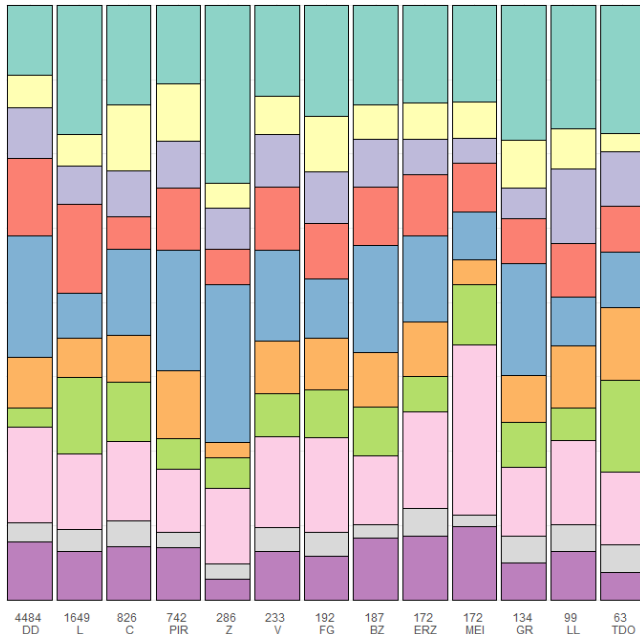


Bild 5: Anteil der Nutzer in den Landkreisen, die Hashtags aus den jeweiligen Themen verwenden (Farben siehe Tabelle 4).

5. Zusammenfassung & Ausblick

Der vorliegende Beitrag liefert einen Überblick über die Twiternutzer in Sachsen. Hierfür wurde in einem andauernden Prozess eine große Anzahl an Nutzern und zugehörigen Tweets gesammelt.

Die Daten zeigten, dass bevölkerungsstarke Regionen überproportional viele Nutzer stellen (4.1) und dass wenige Nutzer einen großen Teil der Follower und Tweets auf sich vereinen (4.2, 4.3). Erste thematische Betrachtungen auf Basis verwendeter Hashtags zeigen, dass Twiternutzer vermehrt über regionale Themen sprechen. Dies manifestiert sich beispielsweise über die gehäufte Erwähnung der eigenen Region und lokaler Sportvereine (4.4.1). Eine durchgeführte LDA-Analyse erlaubt einen ersten Überblick über die regionale Verteilung von Themen (4.4.2, 4.4.3).

Durch die Auswahl und räumliche Zuordnung der Nutzer allein aufgrund der Angaben im Profil werden vermutlich einige, eigentlich in Sachsen lebende, Nutzer nicht berücksichtigt. Die Verwendung weiterer Methoden zur Geolokalisation (z.B. durch die von Mourad *et al.* [11] evaluierten Methoden) könnte die Datenbasis sinnvoll ergänzen. Von diesen Nutzern soll dann zusätzlich deren Vernetzung (Follower etc.) erhoben und analysiert werden.

Danksagung

Diese Arbeit entstand in der durch den Europäischen

Sozialfonds (ESF) und den Freistaat Sachsen geförderten Nachwuchsforschergruppe Agile Publika.

Literaturverzeichnis

- [1] Twitter. <https://twitter.com>*
 - [2] A. Bruns *et al.* A 'Big Data' Approach to Mapping the Australian Twittersphere. In: P. L. Arthur, K. Bode, *Advancing Digital Humanities* (2014).
 - [3] A. Jungherr, Y. Theocharis. The empiricist's challenge: Asking meaningful questions in political science in the age of big data. *Journal of Information Technology & Politics* (2017), 14(2), 97–109.
 - [4] F. Pfaffenberger. Beyond #covfefe – a critical look at Twitter as a scientific base. ICA 2018.
 - [5] S. Hölzig. Eine meinungsstarke Minderheit als Stimmungsbarometer?! Über die Persönlichkeitseigenschaften aktiver Twitterer. *Medien & Kommunikationswissenschaft* (2018), 66(2), 140–169.
 - [6] K. H. Kwon *et al.* Disentangling User Samples: A Supervised Machine Learning Approach to Proxy-population Mismatch in Twitter Research. *Communication Methods and Measures* (2018), 12(2–3), 216–237.
 - [7] Twitter. Rest API: <https://developer.twitter.com/en/docs/api-reference-index>*
 - [8] M. Taylor *et al.* *python-twitter*. <https://github.com/bear/python-twitter>*
 - [9] PostgreSQL. <https://www.postgresql.org/>*
 - [10] Landesdirektion Sachsen. Gemeindeverzeichnis. https://www.lids.sachsen.de/?ID=2392&art_param=155*
 - [11] A. Mourad *et al.* How Well Did You Locate Me? Effective Evaluation of Twitter User Geolocation. ASONAM 2018.
 - [12] Twitter. User-object. <https://developer.twitter.com/en/docs/tweets/data-dictionary/overview/user-object>*
 - [13] T. Carriere. Geocoder. <https://github.com/Denis-Carriere/geocoder>*
 - [14] SciTools, cartopy. <https://github.com/SciTools/cartopy>*
 - [15] J. D. Hunter. Matplotlib: A 2D graphics environment. *Computing In Science & Engineering* (2007), 9(3), 90–95.
 - [16] Natural Earth. <https://www.naturalearthdata.com/>*
 - [17] S. Gillies *et al.* Shapely: manipulation and analysis of geometric objects (2007–). <https://github.com/Toblerity/Shapely>*
 - [18] R Core Team. R: A language and environment for statistical computing. <https://www.R-project.org/>*
 - [19] R CRAN Mirror. <https://ftp.fau.de/cran/>*
 - [20] EUROSTAT. <http://ec.europa.eu/eurostat/web/gisco/geodata/reference-data/administrative-units-statistical-units/nuts>*
 - [21] D. Blei *et al.* Latent Dirichlet allocation. *Journal of Machine Learning Research*, 2003, 3: 993–1022.
 - [22] Pedregosa *et al.*, *Scikit-learn: Machine Learning in Python*, JMLR 12, pp. 2825–2830, 2011.
- * Jeweils letztmals abgerufen am 06.09.2018.

TECHNOLOGIEERSCHLIEßUNG DES INNENHOCHDRUCKUMFORMENS FÜR KMU

Thomas Burkhardt, Stefan Liebl, Kristin Massalsky

ICM – Institut Chemnitzer Maschinen- und Anlagenbau e.V., Otto-Schmerbach-Straße 19, 09117 Chemnitz

Ralph Riedel, Nadine Göhlert, Philipp Wilsky, Riccardo Prielipp,

Technische Universität Chemnitz, Professur Fabrikplanung und Fabrikbetrieb, 09107 Chemnitz

Das Fertigungsverfahren Innenhochdruckumformen ist für KMU bisher kaum zugänglich, denn neben der meist teuren Anlagentechnik setzt eine Nutzung des Verfahrens aktuell ein hohes Erfahrungswissen im Werkzeugbau und in der Technologieentwicklung sowie aufwendige numerische Simulationen voraus. Ein möglicher Ansatz um dieses Hemmnis zu beheben, ist dabei die Kombination von Prozess- und Produktqualitätsdaten über einen sogenannten Technologiegenerator, welcher KMU die Nutzung von Technologiewissen schnell und aufwandsarm ermöglichen soll. Die vom Maschinenbetreiber in anonymisierter Weise übermittelten Daten werden dazu anhand eines besonderen Konzeptes aus dem BMBF-geförderten Projekt „Plug_and_Control“ auf Basis von Smart Data Units und Smart Business Cases aufbereitet. Im Ergebnis erhält zum einen das anwendende KMU die technologischen Daten für die Prozessführung seiner spezifischen Applikation. Zum anderen dienen die innerhalb des Fertigungsprozesses ermittelten Daten der Optimierung des Technologiegenerators.

1. Motivation und Ausgangslage

Die überwiegende Mehrheit der Unternehmen in Deutschland sind kleine und mittlere Unternehmen (KMU) und stellen somit eine tragende Säule der deutschen Wirtschaft dar [1]. Vor allem im verarbeitenden Gewerbe zeigt sich aber im Vergleich mit den deutschen Großunternehmen, dass KMU weniger Umsatz und eine geringere Bruttowertschöpfung erzielen. Dies kann zum einen auf Kostenvorteile zurückgeführt werden, die sich durch eine Fertigung in hohen Stückzahlen ergeben, bei KMU jedoch kaum bis gar nicht erreicht werden. Zum anderen bleibt KMU häufig der Zugang zu speziellen Fertigungsverfahren und Prozessinnovationen aufgrund hoher Investitionskosten und fehlendem Know-how verwehrt. Hier setzen aktuelle Forschungsbestrebungen an, um diese, bisher ungenutzten Fertigungsverfahren wie das Innenhochdruckumformen so anzupassen, dass sie auch für KMU wirtschaftlich tragbar sind und sich mit Ihnen Potenziale heben lassen.

2. Verfahrensgrundlagen des IHU-Prozesses

Auf dem Gebiet der umformtechnischen Verfahren stellt das Innenhochdruckumformen (IHU) eine spezielle Technologie dar, um zumeist hohlzylindrische metallische Halbzeuge in Bauteile mit komplexer Geometrie umzuformen. Die IHU-Technologie ist dabei bereits seit einigen Jahrzehnten bekannt, wird aber vornehmlich seit den neunziger Jahren in der Automobilbranche erfolgreich industriell eingesetzt [2]. Die hohe Relevanz in diesem Wirtschaftssektor hat das IHU-Verfahren heute vor allem dadurch erreicht, dass es die Fertigung komplizierter Bauteilgeometrien innerhalb sehr enger Maßtoleranzen ermöglicht und dabei Produkte mit einer hohen Steifigkeit erzeugt. Die hohe Gestaltungsfreiheit der vielfältigen Anwendungen reicht dabei von tragenden Karosseriebauteilen bis hin zu Komponenten für Abgassysteme und belegt somit das enorme Potenzial dieses

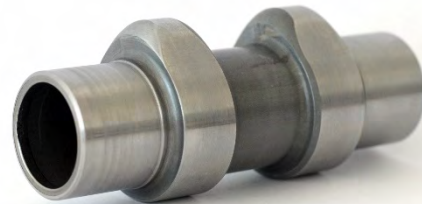


Bild 1: durch IHU gefertigte Nockenwelle, © ICM e.V.

Verfahrens (Bild 1). Zudem lassen sich neben der Formgebung des Bauteils durch die Integration thermo-mechanischer Prozesse, wie etwa dem sogenannten Presshärten, auch die werkstoffmechanische Konditionierung und damit das gezielte Einstellen finaler Festigkeitseigenschaften abbilden.



Bild 2: IHU-Werkzeug zur Herstellung von T-Stücken, © ICM e.V.

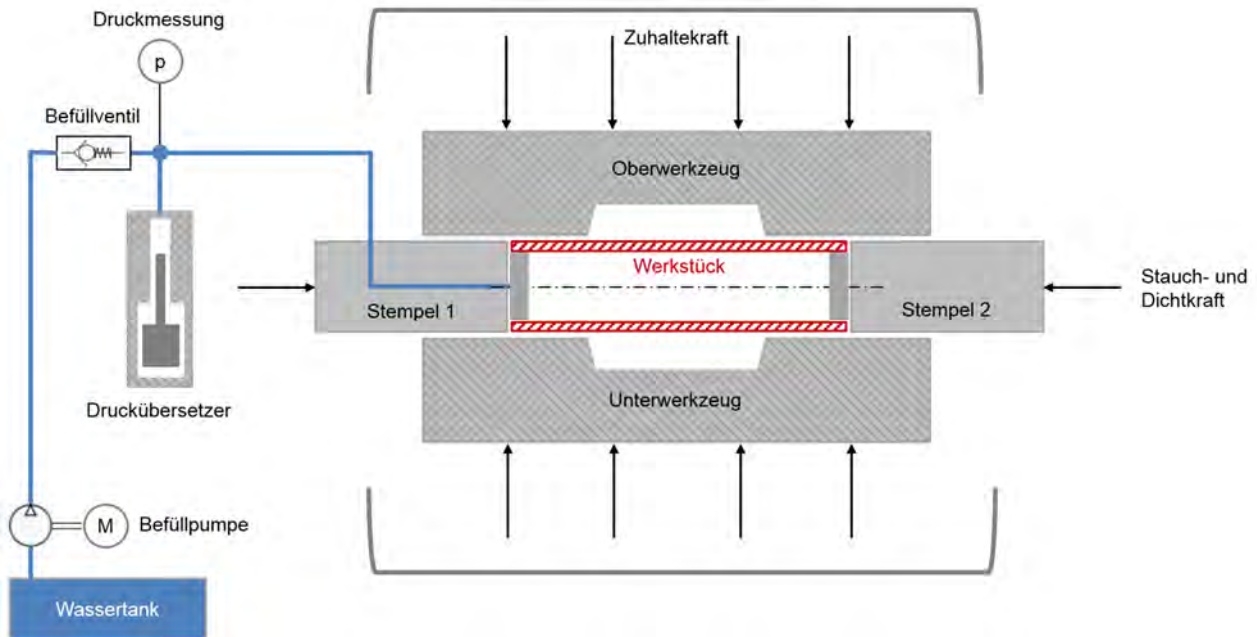


Bild 3: Funktionsprinzip des Innenhochdruckumformens

Das Ausgangsmaterial des IHU-Prozesses bildet ein auf definierte Länge zugeschnittenes Rohrhälfte, dessen Material aus einer umfangreichen bearbeitbaren Werkstoffpalette, wie kalt umformbare Stahl- und Edelstahlwerkstoffe, Aluminiumknetlegierungen sowie eine Vielzahl weiterer, plastisch formbarer Nicht-eisenmetalle und Legierungen, gewählt werden kann. In der einfachsten Verfahrensvariante wird das Rohrhälfte in ein zweigeteiltes Werkzeug eingelegt, dessen Innenkontur exakt dem Negativ der herzustellenden Werkstückgeometrie entspricht und das während des IHU-Prozesses das Rohrhälfte fest radial umschließt (Bild 2). Um auch das Innere des Rohrhälftes abzudichten, werden axial beidseitig hydraulisch angetriebene Stempel beaufschlagt. In den so entstandenen abgedichteten Raum wird ein Wirkmedium, meist Wasser mit entsprechenden Additiven, eingeleitet und ein Druck von mehreren hundert Megapascal aufgebaut. Während des Druckaufbaus bewirken die beiden stirnseitig angreifenden Stempel ein zusätzliches axiales Stauchen des Rohrhälftes und das Ansteigen des Innendruckes (Bild 3). Infolgedessen kommt es zum radialen Aufweiten des Rohrhälftes, bis dieses exakt an der Werkzeuginnenkontur anliegt. Die Ausbildung der geforderten Werkstückgeometrie wird somit durch das druckinduzierte Aufweiten realisiert. Die definierte Wanddicke des finalen Werkstückes wird hingegen durch das axiale Stauchen und dem damit verbundenen Nachschieben des Materials in die Umformzone erreicht.

3. Prozessanforderungen als Hürde für KMU

Im beschriebenen Prozess des IHU wirken sehr große Kräfte, sowohl für das Zuhalten des zweigeteilten und unter hohem Druck stehenden Werkzeugs als auch für das Abdichten und axiale Stauchen mittels der beiden hydraulischen Stempel. Ebenso stellt das

Erzeugen und Regeln des sehr hohen Werkzeug-Innendruckes eine besondere Herausforderung im Prozess dar. Damit die genannten Kräfte und Drücke beim IHU prozesssicher erzeugt und geregelt werden können, ist eine anspruchsvolle Anlagentechnik notwendig [3]. Diese resultiert aus der technologischen Maßgabe, dass sowohl der Druckaufbau im Rohrinneren als auch das axiale Stauchen über die Rohrstirnseiten in Abhängigkeit voneinander erfolgen muss, um Produktfehler und Qualitätseinbußen zu vermeiden. Zu hoher Druck bei zu kleinem axialem Stauchweg würde zunächst eine Reduzierung der Wanddicke des Rohrhälftes bewirken, welche im weiteren Prozessverlauf zu einer Rissbildung im Werkstück führt. Im Gegensatz dazu hat die Kombination aus einem zu niedrigen Druck und zu großem axialem Stauchweg eine Instabilität des Stauchvorganges zur Folge, was die Bildung von Falten oder Knicken im Werkstück begünstigt. Die Machbarkeit des Innenhochdruckumformens wird demnach im Wesentlichen durch diese beiden Versagensmechanismen limitiert. Zur Beherrschung des genannten Prozessfensters sieht ein heute vielfach genutzter Lösungsansatz vor, den Innendruck nach einer definierten Druck-Zeit-Kurve aufzubauen, während gleichzeitig die Regelung des Stauchvorganges exakt nach einer Stauchweg-Druck-Kurve erfolgt. Beide Kurven sind in hohem Maße applikationsspezifisch und vom Reibverhalten des Systems mitbestimmt [4, 5]. Die quantitative Ermittlung der relevanten Parameter als Datenbasis dieser beiden Kurven stützt sich zwar teilweise auf analytische oder empirische Modelle, beruht jedoch in erster Linie vorrangig auf dem individuellen Erfahrungswissen des Technologen. So ist die numerische FEM-Simulation aktuell das bisher einzige Werkzeug, mit dem es dem erfahrenen Spezialisten in der Praxis gelingt, relevante technologische Parameterkurven hinreichend genau zu bestimmen.

Aufgrund der aufgeführten Prozessanforderungen und Rahmenbedingungen hat sich um das IHU-Verfahren eine Marktsituation etabliert, die nahezu ausschließlich von größeren Unternehmen dominiert wird. Im Gegensatz zu KMU sind diese in der Lage, sowohl die erforderliche Anlagentechnik als auch das notwendige technologische Know-how kommerziell tragfähig vorzuhalten. Für kleine und mittlere Unternehmen ist es hingegen sehr schwierig, entsprechende Fertigungskapazitäten für das IHU zu erschließen. Auch im Hinblick auf die technologiegerechte Gestaltung und konstruktive Auslegung von IHU-Bauteilen verfügen KMU häufig nicht über ausreichende Kenntnisse, um das Verfahren zielführend einsetzen zu können.

4. Entwicklung KMU-tauglicher Lösungsansätze zur Prozesserschließung des IHU

Um KMU den Zugang zum bisher nicht wirtschaftlich nutzbaren Verfahren des IHU nachhaltig zu ermöglichen, hat sich das ICM – Institut Chemnitzer Maschinen- und Anlagebau e.V. einer Reihe innovativer Entwicklungsmaßnahmen vorgenommen. Dazu gehört unter anderem die Entwicklung kommerziell tragfähiger Anlagentechnik in Form einer Leichtbaupresse zum effizienten Erzeugen der großen Zuhaltkraft für das Schließen des IHU-Werkzeugs (Bild 4). Diese innovative Presse kann auch in einer Industriehalle bei üblicher Spezifikation des Hallenbodens ohne zusätzliche Fundamentierung aufgestellt werden. Dies erzeugt einerseits finanzielle Vorteile für den Anwender und andererseits kann die Anlage aufgrund ihrer Flexibilität am Produktionsfluss und der Telelogistik orientiert aufgestellt werden.

Neben einer KMU-gerechten Anlagentechnik ist es ebenso wichtig, die technologischen Hemmnisse zu beseitigen. Dazu sieht ein weiterer favorisierter Lösungsansatz eine Verbesserung der Prozessbeschreibung vor, indem bestehende analytische und empirische Prozessbeschreibungen für die Ermittlung der IHU-Technologieparameter besser als bisher aufbereitet und systematisiert werden. Das in KMU oftmals fehlende Erfahrungswissen soll hierbei durch Big-Data-Konzepte unteretzt und aufgebaut werden. Ziel ist es, eine schnelle und aufwandsarme Technologiebeherrschung auf Basis eines virtuellen Technologiegenerators und einer geeigneten Wissensdatenbank zu ermöglichen. Vor allem kleine und mittelständische Technologienutzer sollen so die Technologieentwicklung für ihre Applikationen online durchführen können. Dazu wandelt der Nutzer seine Applikation, ausgehend von einem CAD-Modell und dem geforderten Werkstoff, in anonymisierte Parametersätze ab und sendet diese online an den vom Maschinenhersteller bereitgestellten Technologiegenerator. Nach der Überprüfung der technologischen Machbarkeit erfolgt die Spezifikation und Quantifizierung der technologischen Parameter sowie der IHU-Werkzeugdaten, welche im Anschluss dem Nutzer zur Herstellung seiner Applikation zur Verfügung gestellt werden. Der wesentliche Vorteil für die als Technologienutzer agierenden KMU besteht darin, dass



Bild 4: Leichtbaupresse LBP600 (Vorgängermodell der aktuellen Entwicklung LBP900), © Ines Escherich

sie auf ein breit aufgestelltes Know-how des Netzwerkes zurückgreifen können, da dieses auf der Basis aller bisher behandelten Applikationen begründet ist. Hervorzuheben ist dabei, dass die unternehmensspezifischen Applikationen einem Dritten gegenüber nicht direkt offengelegt werden. Denn sowohl der Transfer der Informationen, beispielsweise des CAD-Modells und der Werkstoffspezifikation, in den technologisch relevanten Datensatz als auch die Rückspeisung der Ergebnisse in Form technologischer Einstellwerte für die jeweilige IHU-Anlage und ihrer Prozesssteuerung kann durch entsprechende Softwaretools im Hause des Technologieanwenders erfolgen. Schließlich wird auch die Vermarktung und der Support der anwendernahen Softwaretools für Technologieanbieter selbst kommerziell interessant, lassen sich diese Services doch künftig in Form digitaler Dienstleistungen in den Geschäftsmodellen etablieren [6].

5. Digitale Dienstleistungen durch smarte Datenbausteine

Um für das Verfahren des Innenhochdruckumformens eine virtuelle Technologieentwicklung sowie die Akquisition und Bereitstellung von Erfahrungswissen generieren zu können, werden im BMBF-geförderten Forschungsprojekt „Plug_and_Control“ digitale Dienstleistungen mittels eines modularen Baukastensystems realisiert. Das zugrunde liegende Konzept sieht zwei wesentlichen Komponenten vor.

Zum einen sind dies generische Datenbausteine, sogenannte Smart Data Units (SDU), die für ein bestimmtes Datenthema (zum Beispiel Maschinendaten) ihren Informationsgehalt aus unterschiedlichen Datenquellen sammeln und entsprechend einer vorgegebenen Datenqualität aufbereiten. Dabei ist auch eine themenbezogene Verknüpfung mehrerer SDU miteinander denkbar. Zum anderen definieren wiederkehrende Geschäftsszenarien, die Smart Business Cases (SBC), jeweils eine Analyse- oder Berechnungsvorschrift und wenden diese auf die aufbereiteten Daten einer oder mehrerer SDU an [7]. Speziell auf eine virtuelle Technologieentwicklung für den IHU-Prozess angewandt, sieht das smarte Konzept zunächst eine Definition von technologischen Kennzahlen und der Prozessführung vor, die mittels SBC abbildbar sind und die zu verwendenden SDU bestimmen. Dazu sollen, ausgehend von der jeweiligen Systemlandschaft eines Unternehmens, die benötigten Daten (zum Beispiel Zeichnungsdatenformate aus CAD-Programmen) von den SDU unter Beachtung der vorher festgelegten Datenqualität in ein standardisiertes Datenformat konvertiert und auf einem gemeinsamen Datenspeicher zur weiteren Verarbeitung durch die SBC bereitgestellt werden. Die SBC sollen im nachfolgenden Schritt die technologischen Kennzahlen hinsichtlich bestimmter Anforderungen beziehungsweise der geometrischen Beschreibung sowie die IHU-Prozessführung hinsichtlich der Druck-Zeit- sowie Stauchweg-Druck-Kurve berechnen. Die gespeicherten Informationen und Ergebnisse werden anschließend über den Datenspeicher zur Verfügung gestellt. Um eine virtuelle Technologieentwicklung in Form eines Technologiegenerators zu erzeugen, können auch mehrere SBC beliebig miteinander verknüpft werden, wodurch eine Abbildung umfassender Strukturen und Wirkzusammenhänge gefördert wird. Darüber hinaus kann über das beschriebene Datenkonzept auch eine Rückspeisung von aufbereiteten Daten aus der anlagenseitigen Prozessmesstechnik und dem Qualitätsmanagement erfolgen, wodurch weitere digitale Dienstleistungen wie die Zustandsüberwachung und prädiktive Instandhaltung von IHU-Anlage und -Werkzeug möglich sind.

6. Zusammenfassung und Ausblick

Der im Beitrag vorgestellte Lösungsansatz eröffnet nicht nur KMU im Automobilsektor den Zugang zur Technologie des Innenhochdruckumformens, die Potentiale des Verfahrens könnten hinsichtlich Materialeffizienz, Funktionsintegration, Leichtbau und Senkung der Fertigungskosten auch für viele neue Branchen und Anwendungen nutzbar gemacht werden. Ferner stellt die Entwicklung eines Technologiegenerators eine weitere Möglichkeit dar, um auch vorgelagerte Prozesse der Wertschöpfungskette in das Verfahren zu integrieren. So könnten Rohmateriallieferanten oder externen Dienstleister den Zugang zum Technologiegenerator als eine Art Technologiedatenmarktplatz nutzen und auf ihre Produkte abgestimmte Parameterdaten vertreiben, die wiederum eine Verbesserung der Prozessstabilität des IHU bewirken

könnten [8]. Eine Voraussetzung dafür ist jedoch, dass es im Projekt „Plug_and_Control“ gelingt, die entwickelten Konzeptbausteine als allgemeingültige Vorlagen umzusetzen und bereitzustellen, um eine Nutzung durch beliebige Unternehmen mit verschiedenen Softwareumgebungen gewährleisten zu können.

Danksagung

Das Forschungs- und Entwicklungsprojekt „Plug_and_Control“ wird mit Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF) im Programm "Innovationen für die Produktion, Dienstleistung und Arbeit von morgen" gefördert (Förderkennzeichen 02K16C130-02K16C137) und vom Projektträger Karlsruhe (PTKA) betreut. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autoren.

Literaturverzeichnis

- [1] Statistiken des Instituts für Mittelstandsforschung Bonn (IfM): Mittelstand im Überblick, Volkswirtschaftliche Bedeutung der KMU. URL: <https://www.ifm-bonn.org/statistiken/mittelstand-im-ueberblick/#accordion=0&tab=0>, (letzter Zugriff: 12.09.2018).
- [2] R. Neugebauer (Hrsg.): Hydro-Umformung, Springer-Verlag (2007).
- [3] F. Schopper: Grundlagen der Werkzeugauslegung und der Schließanlagengestaltung für das Innenhochdruck-Umformen, In: P. Groche (Hrsg.): Berichte aus Produktion und Umformtechnik (Band 59), Aachen: Shaker Verlag (2004).
- [4] M. Prier: Die Reibung als Einflußgröße im Innenhochdruck-Umformprozeß, In: D. Schmoeckel (Hrsg.): Berichte aus Produktion und Umformtechnik (Band 46), Aachen: Shaker Verlag (2000).
- [5] A. Peter: Entwicklung eines Modells zur Abbildung der Reibverhältnisse beim Innenhochdruck-Umformen, In: P. Groche (Hrsg.): Berichte aus Produktion und Umformtechnik (Band 61), Aachen: Shaker Verlag (2004).
- [6] Bitkom, Bundesverband Informationswirtschaft, Telekommunikation und neue Medien e. V.: Geschäftsmodelle in der Industrie 4.0 – Chancen und Potentiale nutzen und aktiv mitgestalten, Faktenpapier (2017).
- [7] M. Nagel, R. Riedel: Steuerung von Produktionssystemen auf Basis bedarfsorientiert konfigurierbarer Datenbausteine, In: E. Müller (Hrsg.): Arbeitswelten 4.0 – Chancen, Herausforderungen, Lösungen, 16. Tage des Betriebs- und Systemingenieurs – TBI2017, Chemnitz: TU Chemnitz, Wissenschaftliche Schriftenreihe des Institutes für Betriebswissenschaften und Fabriksysteme, Sonderheft 23 (2017), 195-204.
- [8] M. Seiter, L. Grünert, S. Berlin (Hrsg.): Betriebswirtschaftliche Aspekte von Industrie 4.0, Wiesbaden: Springer-Verlag (2017).

MCF – Forum

INNOVATIVE PFADE DER NACHHALTIGKEITSBERICHTERSTATTUNG: MEHR TRANSPARENZ UND GLAUBWÜRDIGKEIT DURCH DIGITALISIERUNG?

Claudia Hösel, Christina Hesse

Hochschule Mittweida, Technikumplatz 17, D-09648 Mittweida

Durch Fortschritte im IKT-Bereich eröffnen sich für Unternehmen innovative Möglichkeiten der Nachhaltigkeitsberichterstattung. Digitalisierung und die damit einhergehenden medialen Werkzeuge verringern die physikalische Distanz, bieten neue Interaktionsmöglichkeiten und eröffnen Unternehmen neue Wege der Kommunikation mit ihren Stakeholdern, da sich im Zuge der Digitalisierung das klassische Sender-Empfänger-Modell zwischen Unternehmen und Stakeholdern wandelt. Unternehmen stehen potenziell als permanenter Kommunikationspartner für den Dialog bereit. Ziel des Beitrages ist es, den Einsatz von Social-Media-Kanälen als additives Element der Nachhaltigkeitsberichterstattung zu untersuchen. In einer Fallstudie konnte bestätigt werden, dass nachhaltigkeitsbezogene Themen in den Social-Media-Kanälen abgebildet werden und aufgrund des wechselseitigen Austausches geeignet sind, die Transparenz und Glaubwürdigkeit der Nachhaltigkeitsberichterstattung zu erhöhen.

1. Einleitung

Nachhaltigkeit hat sich im 21. Jahrhundert zu einem bedeutenden Erfolgsfaktor für Unternehmen entwickelt. Während sich vor einigen Jahren ausschließlich Politik, NGOs und Verbraucher für die ökologischen und sozialen Auswirkungen der unternehmerischen Geschäftstätigkeit interessierten und diesbezüglich mehr Transparenz von Unternehmen forderten [1], rückt das Nachhaltigkeitsprofil von Unternehmen nunmehr auch in den Fokus von Investoren, Finanzanalysten und Ratingagenturen [2]. Um den langfristigen Unternehmenserfolg zu sichern, ist es elementar, dass sich Unternehmen über ihren immanenten Zweck – Gewinne zu erwirtschaften – hinausgehend, ihrer Verantwortung gegenüber Umwelt und Gesellschaft stellen und diese gegenüber relevanten Stakeholdern transparent dokumentieren und kommunizieren [3]. Denn Akteure im Umfeld eines Unternehmens können nur jene Verhaltensweisen bei der Unternehmensbewertung berücksichtigen, von denen sie Kenntnis haben [4]. Die unternehmerische Nachhaltigkeitsberichterstattung nimmt in diesem Kontext eine zentrale Stellung ein. Die Global Reporting Initiative (GRI) bezeichnet Nachhaltigkeitsberichterstattung als Offenlegung von „Informationen über die ökonomische, ökologische und soziale Leistung [...]“ [5]. Die unternehmerische Berichterstattung orientiert sich somit an der „triple bottom line“ [6] und folgt dem normativen Konzept der Nachhaltigkeit („Drei-Säulen-Modell“). Der vorliegende Beitrag soll daher die Frage beantworten: Inwieweit nutzen Unternehmen Social-Media-Kanäle additiv für ihre Nachhaltigkeitsberichterstattung?

2. Entwicklungstendenzen in der Nachhaltigkeitsberichterstattung

Die Nachhaltigkeitsberichterstattung vollzieht mit den technologischen Fortschritten in den Informations- und Kommunikationstechnologien (IKT) und damit einhergehenden neuen Gestaltungschancen für berichterstattende Unternehmen einen tiefgreifenden Wandel [7]. Während die ersten unternehmerischen Nachhaltigkeitsberichte in den 1990er Jahren in Papierform veröffentlicht wurden, ist nunmehr

eine Online-Bereitstellung der Informationen über Nachhaltigkeitsbestrebungen möglich. ISENMANN untersuchte in diesem Zusammenhang die Rolle des Internets für die Nachhaltigkeitsberichterstattung und konstatierte, dass Unternehmen „ihre Inhalte einfacher, schneller und mit einer größeren Reichweite vermitteln als bei einer rein papiergebundenen Form“ [7]. Das Internet betrachtet er daher als zentrale Plattform für die unternehmerische Nachhaltigkeitsberichterstattung. In seinen Ausführungen beschränkt er sich jedoch auf den Nachhaltigkeitsbericht als zentrales Instrument der unternehmerischen Nachhaltigkeitsberichterstattung. QUICK UND KNOCINSKI bezeichnen Nachhaltigkeitsberichte gar als „das modernste Konzept einer interdisziplinären Berichterstattung“ [8]. Dennoch ist die alleinige Informationsbereitstellung über das Internet als monologisch zu charakterisieren. Vielmehr erwächst aus der Veröffentlichung von Nachhaltigkeitsberichten im Zuge der Digitalisierung für Unternehmen das Potential Dialoge mit ihren Stakeholdern zu initiieren. Dialoge werden in diesem Kontext als Kommunikationsprozesse betrachtet, bei denen die Rollen zwischen Sender und Empfänger alternierend wechseln [9], wodurch den Nachhaltigkeitsberichten der Aspekt der wechselseitigen Kommunikation hinzugefügt werden kann. Exemplarisch dafür stehen die Möglichkeiten zu Dialog und Interaktion auf den Webseiten der Unternehmen über entsprechende Kommunikationsfunktionen (z. B. interaktive Feedback-Formulare, Kommentarfunktionen). Aufgrund der Umkehr des Sender-Empfänger-Modells senden Unternehmen Botschaften nicht einmalig aus – vielmehr werden sie für ihre Stakeholder zum dauerhaften Kommunikations- und Interaktionspartner. Hierdurch kann die physikalische Distanz verringert und die Glaubwürdigkeit der Nachhaltigkeitsberichterstattung erhöht werden.

Fortschreitende technologische Möglichkeiten, flächendeckende Verbreitung von Breitbandanschlüssen sowie die Usability (Benutzerfreundlichkeit) der Anwendungen fördern die Dialogbereitschaft der Stakeholder. Von Unternehmen wird erwartet, dass sie sich als dauerhafter Kommunikationspartner den Medienpräferenzen ihrer Stakehol-

der anpassen. WEBER betrachtet Aktivitäten in Social-Media-Kanälen – wie Facebook, Twitter, Youtube – daher als festen Bestandteil der unternehmerischen Nachhaltigkeitsberichterstattung [10]. Gleichwohl wurde die Interaktion in unternehmenseigenen Social-Media-Kanälen als additives Element der unternehmerischen Nachhaltigkeitsberichterstattung wissenschaftlich bisweilen kaum explizit untersucht. Um die eingangs gesetzte Zielstellung zu bearbeiten, werden nachfolgend forschungsleitende Fragen (FF) formuliert, die anhand von zwei ausgewählten Fallbeispielen untersucht werden.

3. Methodik

Methodische Grundlage bildet eine qualitative Analyse unternehmerischer Nachhaltigkeitsberichte sowie unternehmenseigener Social-Media-Kanäle basierend auf dem „Drei-Säulen-Modell“ der Nachhaltigkeit. Exemplarisch wird die Branche der Energieversorgungsunternehmen (EVU) gewählt. Diese zeichnet sich insbesondere dadurch aus, dass unter den neuen Anforderungen der Energiewende ökologische Lösungen tendenziell in eigenständigen Gesellschaftsformen realisiert werden. Für die Analyse eröffnet sich damit die Möglichkeit einen konventionell ausgerichteten Mutterkonzern (im Kerngeschäft Energie aus fossilen Energiequellen erzeugend) mit seiner ökologisch ausgerichteten Tochtergesellschaft (im Kerngeschäft regenerative Quellen zur Energieerzeugung nutzend) zu vergleichen. Die erste forschungsleitende Frage lautet daher:

FF1: Inwieweit unterscheiden sich Unternehmen, die sich explizit als ökologisch ausgerichtet präsentieren, bei der Nachhaltigkeitsberichterstattung von jenen, die dies nicht tun?

Um zu eruieren, welche Themengebiete dabei abgebildet werden, galt es, die unternehmerischen Nachhaltigkeitsberichte inhaltsanalytisch nach MAYRING zu untersuchen [11]. Zur inhaltlichen Beschreibung der ökonomischen, ökologischen und sozialen Dimension war es erforderlich, aussagekräftige Kriterien für die qualitative Analyse zu extrahieren. Es ergibt sich die zweite forschungsleitende Frage:

FF2: Welche Themengebiete aus den Nachhaltigkeitsberichten werden in unternehmenseigenen Social-Media-Kanälen in Form von Veröffentlichungen abgebildet?

Um herauszufinden, welche Themenfelder der Nachhaltigkeit wechselseitige Kommunikation initiieren können, galt es, die Interaktionen (z. B. Kommentare, Likes, Verlinkungen) zu quantifizieren. Die Interaktionsrate (Interaktion pro Post) wird hierbei als Indiz für die Dialogbereitschaft herangezogen. Die dritte forschungsleitende Frage wird daher wie folgt formuliert:

FF3: Inwieweit initiieren die in den unternehmenseigenen Social-Media-Kanälen veröffentlichten

nachhaltigkeitsbezogenen Posts Interaktionen zwischen Stakeholdern untereinander sowie zwischen Stakeholdern und Unternehmen?

Die empirische Analyse wurde im Zeitraum vom 01. Mai 2018 bis 31. Juli 2018 durchgeführt. Als Fallbeispiele dienten die *RWE Essen AG* sowie deren Tochterunternehmen *innogy SE*. Beide Unternehmen veröffentlichen regelmäßig Nachhaltigkeitsberichte und nutzen unternehmenseigene Social-Media-Kanäle additiv für die unternehmerische Nachhaltigkeitsberichterstattung. Die *innogy SE* erzeugt im Kerngeschäft Energie überwiegend aus erneuerbaren Energiequellen und wird vom Mutterkonzern als „grünes Tochterunternehmen“ vermarktet.

Die Kriterien zur inhaltlichen Ausdifferenzierung der Nachhaltigkeitsbestrebungen wurden aus den aktuellen Nachhaltigkeitsberichten (Stand: 2017) der beiden Unternehmen extrahiert. Dabei fiel auf, dass sich die Nachhaltigkeitsberichte in Aufbau und Detailtiefe der Informationen unterschieden. Um dennoch die Vergleichbarkeit zu gewährleisten, wurden Themencluster anhand der Nachhaltigkeitsdimensionen gebildet. Hierfür wurden die inhaltlichen Kernpunkte der Nachhaltigkeitsberichte gruppiert und den Nachhaltigkeitsdimensionen ökologisch, ökonomisch und sozial zugeordnet. Im nächsten Schritt wurde eruiert, in welchen Social-Media-Kanälen die Unternehmen agieren und welche Themencluster aus den Nachhaltigkeitsberichten in den unternehmenseigenen Social-Media-Kanälen in Form von veröffentlichten Posts abgebildet wurden. Die veröffentlichten Posts beider EVU wurden inhaltlich untersucht und den gebildeten Themenclustern zugeordnet. Um zu ergründen, inwieweit die veröffentlichten Posts eine wechselseitige Kommunikation initiieren, wurden die Interaktionen der Stakeholder, d. h. der Social-Media-affinen Anspruchsgruppen der *RWE Essen AG* bzw. der *innogy SE*, untersucht. Da hierbei nicht abschätzbar war, ob die einzelnen Posts eine Kommunikation zwischen Stakeholdern oder zwischen Stakeholder und Unternehmen hervorriefen, wurden weiterhin Reaktionen der EVU auf Kommentare der Stakeholder untersucht.

4. Ergebnisse

Die Untersuchungsergebnisse zur Nachhaltigkeitsberichterstattung des Mutterkonzerns *RWE Essen AG* und dessen Tochtergesellschaft *innogy SE* werden nachfolgend aufgeführt und verglichen.

Hierfür wurden die Nachhaltigkeitsberichte beider EVU analysiert und ihrer Themen innerhalb der drei Nachhaltigkeitsdimensionen geclustert, um die Vergleichbarkeit der Nachhaltigkeitsberichterstattung sicherzustellen. Die Themengebiete der Nachhaltigkeitsdimensionen „ökologisch“, „ökonomisch“ und „sozial“ wurden wie nachfolgend aufgelistet zugeordnet. Die Nummerierung der Themencluster in Tabelle 1 dient nachfolgend der übersichtlicheren Darstellung der Einzelergebnisse.

Ökonomische Dimension
Wirtschaftliche Leistung (1) Korruptionsbekämpfung (2) Verfügbarkeit und Zuverlässigkeit der Verteilnetze (3) Sicherheit (4) Forschung und Entwicklung (5)
Ökologische Dimension
Energie (6) Ressourcenschonung (7) Biodiversität (8) Emissionen (9) Abwasser und Abfall (10)
Soziale Dimension
Arbeit und Karriere (11) Arbeitssicherheit und Gesundheitsschutz (12) Vielfalt und Chancengleichheit (13) Politik (14) Compliance (15)

Tabelle 1: Themencluster der Nachhaltigkeitsberichte

innogy SE

Die Untersuchung der *innogy SE* ergab, dass über den Zeitraum von drei Monaten bei 164 gesamt veröffentlichten Posts 53 einer der drei Nachhaltigkeitsdimensionen zuordenbar waren. Wie in Abbildung 1 dargestellt, wurden in der Nachhaltigkeitsdimension „ökonomisch“ fünf Posts, in der Dimension „ökologisch“ 19 Posts und in der Dimension „sozial“ 30 Posts veröffentlicht. Die 53 Nachhaltigkeits-Posts generierten insgesamt 7.551 Stakeholder-Interaktionen, davon stellten 140 eine wechselseitige Kommunikation zwischen der *innogy SE* und ihren Stakeholdern dar. Die übrigen Interaktionen wurden von Stakeholdern untereinander generiert.

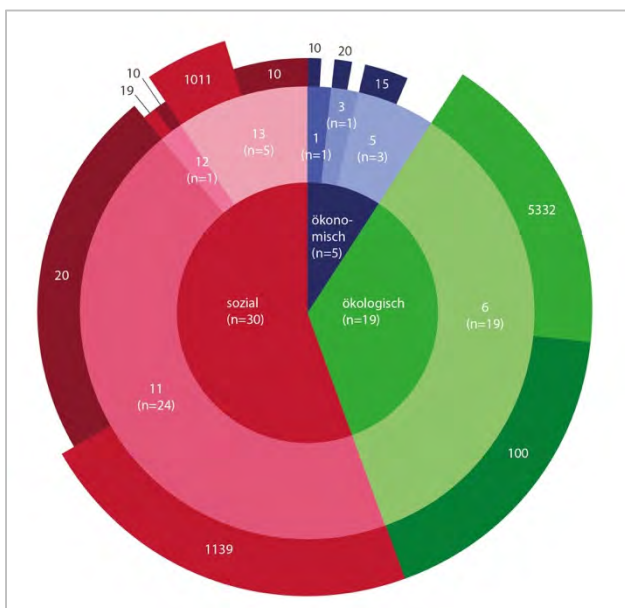


Abbildung 1: Ergebnisse innogy SE

RWE Essen AG

Die Untersuchung der *RWE Essen AG* im gleichen Zeitraum ergab, dass bei 87 gesamt veröffentlichten Posts 33 einer der drei Nachhaltigkeitsdimensionen zuordenbar waren. Wie in Abbildung 2 dargestellt, wurden für die Nachhaltigkeitsdimension „ökonomisch“ 15 Posts, in der Dimension „ökologisch“ vier Posts und in der Dimension „sozial“ 14 Posts veröffentlicht. Die 33 Nachhaltigkeits-Posts generierten insgesamt 80 Stakeholder-Interaktionen, davon stellten zehn eine wechselseitige Kommunikation zwischen der *RWE Essen AG* und ihren Stakeholdern dar. Die übrigen Interaktionen wurden von Stakeholdern untereinander generiert.

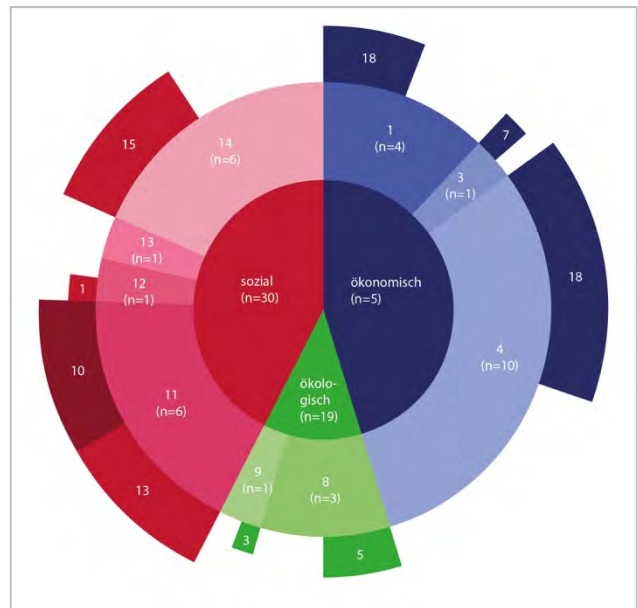


Abbildung 2: Ergebnisse RWE Essen AG

Vergleich

Beim Vergleich der oben dargestellten Ergebnisse fällt auf, dass die *RWE Essen AG* als konventionelles EVU im Untersuchungszeitraum insgesamt nur halb so viele Posts publizierte, wie das Tochterunternehmen *innogy SE*. Gleichwohl ist der Anteil der in den unternehmenseigenen Social-Media-Kanälen veröffentlichten nachhaltigkeitsbezogenen Posts bei beiden Unternehmen prozentual betrachtet annähernd gleich (*RWE Essen AG*: 37,9 %, *innogy SE*: 32,3 %). Obgleich *innogy SE* im Untersuchungszeitraum nur 1,6mal so viele Posts im Nachhaltigkeitskontext veröffentlichte wie *RWE Essen AG*, generierte das „grüne“ Tochterunternehmen 100mal mehr Interaktionen als der Mutterkonzern. Durchschnittlich generierte ein Nachhaltigkeitspost bei *innogy SE* 142,47 Interaktionen. Davon entfallen 139,83 Interaktionen (98,14%) auf Stakeholder untereinander, 2,64 Interaktionen wurden zwischen Stakeholdern und der *innogy SE* generiert, d. h. bei 1,86 Prozent der nachhaltigkeitsbezogenen Posts fand eine wechselseitige Kommunikation zwischen dem Unternehmen und seinen Stakeholdern statt. Das kon-

ventionelle EVU *RWE Essen AG* generierte pro Nachhaltigkeitspost durchschnittlich 2,42 Interaktionen. Davon entfallen 2,12 Interaktionen (87,60%) auf Stakeholder untereinander, 0,3 Interaktionen (12,40%) wurden zwischen Stakeholdern und Unternehmen generiert.

Es fällt auf, dass bei beiden EVU Interaktionen zwischen Stakeholdern untereinander häufiger auftreten. Gleichwohl ist die Interaktionsrate beim ökologischen EVU *innogy SE* 59mal höher als beim konventionellen EVU *RWE Essen AG*. Obgleich die *innogy SE* im Untersuchungszeitraum insgesamt mehr Posts und auch mehr nachhaltigkeitsbezogene Posts veröffentlichte, zeichnet sich in der empirischen Untersuchung ab, dass es der *RWE Essen AG* häufiger gelingt, eine wechselseitige Kommunikation mit seinen Stakeholdern zu initiieren.

5. Fazit und Ausblick:

Eingangs wurde die Frage aufgeworfen, inwieweit Unternehmen ihre Social-Media-Kanäle als additives Element für die Nachhaltigkeitsberichterstattung nutzen. Am Beispiel der EVU-Branche, als Fallbeispiele dienten die *RWE Essen AG* sowie deren Tochterunternehmen *innogy SE*, wurden die Inhalte der aktuellen Nachhaltigkeitsberichte aus dem Jahre 2017 mit den Interaktionen in den unternehmenseigenen Social-Media-Kanälen über einen Zeitraum von drei Monaten verglichen.

Beide Unternehmen veröffentlichten die meisten Posts in Themenbereichen der sozialen Nachhaltigkeitsdimension. *RWE Essen AG* veröffentlichte in der ökonomischen Dimension dreimal mehr Posts als sein Tochterunternehmen *innogy SE*. Demgegenüber publiziert *innogy SE* in der ökologischen Dimension fast fünfmal so viel wie sein Mutterkonzern. Dennoch lässt sich feststellen, dass sich die Nachhaltigkeitsberichterstattung beider Unternehmen auch in den Social-Media-Kanälen an der triple bottom line orientiert.

Das „grüne“ Tochterunternehmen generierte mit seinen veröffentlichten Posts insgesamt deutlich mehr Interaktionen. Bei beiden EVU kommunizierten die Stakeholder jedoch vorrangig untereinander. Auffallend in diesem Kontext ist insbesondere die Erkenntnis, dass es dem Mutterkonzern *RWE Essen AG* tendenziell häufiger als seiner ökologisch ausgerichteten Tochter gelingt, einen Dialog mit seinen Stakeholdern zu initiieren. Ursächlich hierfür könnte sein, dass *RWE Essen AG* als konventionelles EVU eher kontroverse Themen im Nachhaltigkeitskontext generiert. Diese Annahme bedarf jedoch einer weitergehenden inhaltlichen Untersuchung.

Insgesamt lässt sich festhalten, dass sowohl die *RWE Essen AG* als auch die *innogy SE* als permanente Kommunikationspartner in Anspruch genommen wurden und die Aktivität über Social-Media-Kanäle damit tendenziell geeignet ist, die Transparenz und Glaubwürdigkeit der Nachhaltigkeitsberichterstattung zu erhöhen.

Die hier dargestellten Erkenntnisse vermitteln beispielhaft, wie Unternehmen Social-Media-Kanäle als additives Element der Nachhaltigkeitsberichterstattung einsetzen. Gleichwohl handelt es sich um Einzelfallstudien, die über einen verhältnismäßig kurzen Zeitraum durchgeführt wurden. Um repräsentative Ergebnisse zu erhalten, bedarf es beispielsweise einer längerfristigen Querschnittsstudie der gesamten EVU-Branche. Eine inhaltliche Auswertung der Dialoge in den Social-Media-Kanälen könnte darüber hinaus Rückschlüsse auf die Dialogführung geben.

Literaturverzeichnis

- [1] Brugger, F.: Nachhaltigkeit in der Unternehmenskommunikation. Bedeutung, Charakteristika und Herausforderungen, (2010).
- [2] Fiedler, K.: Nachhaltigkeitskommunikation in Investor Relations. Eine theoretische Auseinandersetzung und empirische Analyse zur Bedeutung ökologischer und sozialer Unternehmensinformationen für Finanzanalysten und Finanzjournalisten, (2007).
- [3] Schrader, U.; Halbes, S./ Hansen, U.: Konsumentenorientierte Kommunikation über Corporate Social Responsibility (CSR), Erkenntnisse aus Experteninterviews in Deutschland, Imug Arbeitspapier Nr. 54 (2005).
- [4] Luhmann, N.: Ökologische Kommunikation. Kann die moderne Gesellschaft sich auf ökologische Gefährdungen einstellen?, (1990).
- [5] GRI: Leitlinien zur Nachhaltigkeitsberichterstattung, (2015); online verfügbar unter: <https://www.globalreporting.org/resource/library/German-G4-Part-Two.pdf>; letzter Zugriff am 28.08.2018.
- [6] Elkington, J.: Cannibals with forks: the triple bottom line of 21st century business, (1997).
- [7] Isenmann, R.: Die Rolle des Internets für die Nachhaltigkeitsberichterstattung – vom Distributionskanal zum zentralen Einstiegsknoten. In: Fifka, M. S. (Hrsg.): CSR und Reporting, Nachhaltigkeits- und CSR-Berichterstattung verstehen und erfolgreich umsetzen, (2014), 107-123.
- [8] Quick, R./ Knocinski, M.: Nachhaltigkeitsberichterstattung – Empirische Befunde zur Berichterstattungspraxis von HDAX-Unternehmen. Zeitschrift für Betriebswirtschaft (ZfB), 76(6) (2007), 615–650.
- [9] Zerfaß, A.: Unternehmensführung und Öffentlichkeitsarbeit. Grundlegung einer Theorie der Unternehmenskommunikation und Public Relations, (2010).
- [10] Weber, T.: Nachhaltigkeitsberichterstattung als Bestandteil marketingbasierter CSR-Kommunikation. In: Fifka, M. S. (Hrsg.): CSR und Reporting, Nachhaltigkeits- und CSR-Berichterstattung verstehen und erfolgreich umsetzen (2014), 95-106.
- [11] Mayring, P.: Qualitative Inhaltsanalyse, Grundlagen und Techniken, (2010).

THE SOCIAL BIT - WIE CONTENT MARKETING VERTRAUEN ETABLIERT

Clemens Sebastian Arnold

Chemmedia AG, Parkstraße 35 , D-09120 Chemnitz

Persuasive Kommunikation funktioniert am besten, wenn einer der Teilnehmer nicht weiß, dass er überzeugt werden soll. Klassische Push-Vermarktung verliert diesen Vorteil in einem ähnlichen Tempo, wie Konsumenten deren Strategie durchschauen. Ein möglicher Lösungsansatz ist, sich in Richtung der Aufbereitung von Content zu orientieren und Marketing als Service am Kunden zu verstehen. Die Marken-Kommunikation, die eine profunde Kaufentscheidung erleichtert, indem Sie nützliche Information bereitstellt, etabliert Vertrauen und schafft vor allem das wertvolle Gefühl von Transparenz. Doch lässt sich Content Marketing in ein bestehendes Konzept einbinden? Welche Vorteile es für den Informationsfluss? Und wie erkennt man guten Content?

Persuasive communication works best in asymmetric situations – if one of the participants doesn't know he is being affected. Traditional push-marketing is losing that advantage as fast as consumers are increasing their skill in comprehending its strategies. One possible solution is to aim towards content-creation and to understand marketing as a service for your future customers. The kind of branded communication that enables a profound buying-decision by providing useful information establishes trust, thus creating a precious feeling of transparency. But how does one implement content marketing into an existing strategy? What advantages emerge for the distribution of information? And how is it possible to recognize and select good content?

1. Einleitung

Immer mehr Nutzer treffen ihre Kaufentscheidungen basierend auf Informationen, die sie online recherchiert haben. Dabei kann eine Vielzahl unterschiedlicher Formate in Betracht gezogen werden: Nutzer-Reviews spielen eine Rolle, aber auch Whitepaper und Beiträge in redaktionellen Formaten.

Andererseits hat sich in den letzten Jahren ein gleichbleibendes Misstrauen gegenüber Medien etabliert: in Deutschland, wie auch weltweit.



Bild 1: Verortung von Content Marketing (W&V)

Ein Teil der Lösung verspricht Content Marketing zu sein. Es handelt sich dabei um eine Kommunikationsstrategie zur Aufbereitung und Platzierung von Inhalten, die für eine vorab definierte Zielgruppe attraktiv oder nützlich sind. Dabei bedient sie sich solcher Kanäle und Medien, die die Auffindbarkeit der Inhalte gewährleisten.

Die Verortung von Content Marketing im Spektrum der Markenkommunikation ist sowohl in Paid und Owned als auch in Earned Media möglich: zu dieser Vielfalt kommt noch hinzu, dass die Unterschiede zu klassischer Werbung und Public Relations nicht trennscharf sind.

2. Vertrauensschwund in der klassischen Markenkommunikation

Auffallend sind Unterschiede des Vertrauens in Medien zwischen einer informierteren Teilöffentlichkeit (höherer Bildungsabschluss, in den oberen 25% des Einkommens der Gesamtbevölkerung und regelmäßiger, selektiver Medienkonsum) und der Grundgesamtheit der Population. Aus dem Trust Report geht hervor, dass die informed public weniger misstrauisch gegenüber Medien und Institutionen ist als die general public: dennoch sank zwischen 2013 und 2018 die Prozentzahl der Deutschen, die Medien überwiegend vertrauen, von 51% auf 43%. Diese Entwicklung spiegelt sich auch global wider. Die Hauptaufgaben der Medien sehen die Befragten übrigens darin, die Qualität von Information zu gewährleisten, zu bilden, zu informieren und zu unterhalten sowie die Privatsphäre ihrer Rezipienten zu schützen.[1] Warum das für Content Marketing relevant ist, soll unter 4. beschrieben werden.

Zur Abgrenzung von Content Marketing gegen das klassische Marketing, das sich in dieser Vertrauenskrise sieht, sei ein Blick auf die Entwicklung des Marketingbegriffs geworfen. In der Zeit zwischen 1950 und 1980 fand im Marketing eine Neuorientierung in Richtung eines management-basierten, praktischen Marketingansatzes statt. Dem vorausgegangen waren eine Formalisierung des Betätigungsfeldes und eine theoretische Erschließung seiner Grundlagen.

Viele der Konzepte aus dieser Zeit prägen die Wahrnehmung des klassischen Marketing bis Heute: darunter der Marketing-Mix und die 4 Ps (price, product, place, promotion).[2] Die Erweiterung dieser Konzepte bis zum heutigen Tag zeigen, dass Marketingwissen nicht stetig kumuliert, sondern periodische Umschwüngen vorherrschender Annahmen unterworfen ist. Gleiches gilt für die Rolle, die Marketing in der Gesellschaft spielt.[3] Erwachsen aus

einem distributiven Ansatz, nämlich der Verteilung von Gütern an Mangelstellen mit geringstem Aufwand und in kürzester Zeit, entwickelte sich die moderne Marketing-Definition zu einer organisatorischen Gesamtheit von Prozessen zur Erstellung, Kommunikation und Wertvermittlung an Nutzer zur Verwaltung von Beziehungsbildung und -erhaltung.[4]. Nimmt man Prognosen wie jene der Marketing-Experten Matteo und Da Zotto [5] ernst, werden Unternehmen künftig zu Verlegern heranwachsen, die parallel zum Vertrieb ihrer Produkte Inhalte zur Verfügung stellen. Für diese These spricht auch die Aversion der digitalen Nutzer gegen Unterbrechungen: sie zeigen entsprechend eine hohe Reaktanz gegenüber klassischer Werbung. Diese wird nur noch akzeptiert, wenn sie hochrelevant und persönlich auf den Nutzer zugeschnitten ist. [6]

Es gibt also einen Bedarf an Marketing-Maßnahmen, die

- nicht durch Adblocking betroffen sind, da inzwischen 29% aller Deutschen einen AdBlocker verwenden [7]

- kanalübergreifend und auf unterschiedlichen Endgeräten funktionieren, um den Rezeptionsgewohnheiten der Nutzer gerecht zu werden (multiple Touchpoints)

- geringe Streuverluste ermöglichen, da die Nutzer Wert auf individuelle und hochrelevante Inhalte legen sowie

- dem Betrachter als nützlich und vertrauenswürdig erscheinen.

3. Vorteile von Content Marketing

Ein möglicher Schluss: Marketing ist obsolet, sofern es nicht in das Produkt selbst integriert wurde. Die Argumentation lässt sich auf Content Marketing beziehen: passives Bereitstellen und Zugänglichmachen von Informationen, die ein möglicher Nutzer benötigt, kann sowohl die Anforderung der Relevanz als auch die der Individualität erfüllen und eine Vielzahl unterschiedlicher Kommunikationsziele unterstützen. 2015 gaben befragte Pressestellen und Agenturen unter anderem folgende Zielstellungen für ihre Content-Marketing-Aktivitäten an: Relevanz zu erzeugen (44%), Kunden stärker zu binden (41%), das Image zu verbessern (41%), Themenführerschaft zu erobern (33%), Umsätze zu steigern (25%) und Leads zu generieren (20%).[8]

Der inhärente Interessenbezug im Content Marketing und die fehlende Fixierung an einen speziellen Kanal oder ein einzelnes Medium ermöglichen ein hohes Maß an Kunden-Zentrierung und Individualität. Hier zeigt sich ein Unterschied zur geläufigen Dichotomie „klassisches Marketing contra Online Marketing“: während Content online leicht platzierbar ist, heißt das nicht, dass er nicht auch über klassische, analoge Kanäle bereit gestellt werden kann.

Ein weiterer Vorteil liegt in der Erinnerung an Informationen, die der Rezipient aus Content Marketing gewonnen hat: im Nachgang einer Studie von Bong-

Hyun Kim konnten sich über zwei Drittel der Teilnehmer nicht mehr an die Herkunft der Information erinnern, wohl aber an die Information selbst. War diese nicht als Werbeinhalt, sondern als redaktionell bearbeiteter Content erkennbar, stieg auch die Lesewahrscheinlichkeit auf ein Fünffaches.[9]

Besonders das letzte Kriterium der Vertrauenswürdigkeit und Nützlichkeit spricht für Content Marketing.

4. Wie Vertrauen in Content entsteht

Um zu verstehen, wie Vertrauen in Inhalte - egal welcher Herkunft und Urheberschaft- entsteht, bietet es sich an, einen Blick auf Content zu werfen, dem viele Nutzer vertrauen: Nutzer-Reviews. Ausgegangen wird davon, dass mit persuasiver Kommunikation schlussendlich das Verhalten eines Nutzers beeinflusst werden soll. Verhalten wird beeinflusst durch Haltung, Haltungen und Einstellungen werden beeinflusst durch Überzeugungen und Überzeugungen durch Information.

Dieser Ablauf findet unabhängig von der Marketing-Strategie Anwendung: stetig ist außerdem die Absicht, die Haltung des Nutzers zu beeinflussen, so dass ein Anreiz für abweichendes Verhalten entsteht. Dazu können Kern- oder Peripherieinformationen verwendet werden. In einer Studie zum Einfluss von Nutzer-Reviews auf Reiseportalen zeigte sich, dass die Quelle bzw. der Autor des Inhalts einen geringen Einfluss auf die Nutzer-Einstellung und entsprechend auch auf deren Haltung hatten. So wurde zwar customer-generated Content mit spezifischen Angaben in der Rangordnung als am glaubhaftesten wahrgenommen: es erwies sich jedoch, dass ab einem gewissen Detailgrad der Informationen unternehmenseigener Content direkt an zweiter Stelle stand. Die Genauigkeit und Sachlichkeit der Information waren also starke Parameter für die Wahrnehmung von Content als „vertrauenswürdig“.[10]

Während Genauigkeit und die Anmutung von Sachlichkeit keine Garantien für tatsächliche Objektivität sind, sinkt durch die Entwicklung hin zu unternehmenseigenem Content jedoch der Anreiz, diese ausschließlich persuasiv zu verarbeiten. Da Marketing stärker in den Produktionsprozess integriert wird und dem Nutzer eine Vielzahl unkontrollierbarer Quellen zur Verfügung steht, werden Halb- oder Unwahrheiten bezüglich der Produkte schneller entdeckt. Nützliche, objektive Informationen hingegen helfen den Rezipienten, eine profunde Kaufentscheidung zu treffen und Vertrauen aufzubauen. [11] Auch erhöht das Erkennen einer Überredungsabsicht bei der Rezeption die Wahrscheinlichkeit, dass der Nutzer sich defensiv gegenüber Inhalten verhält und Behauptungen sorgfältiger überprüft.

Von „Wahrhaftigkeit“ als Maßstab für guten Content ist übrigens abzusehen, da Wahrheit in Kommunikationsprozessen mit mehreren Teilnehmern schwer zu definieren und noch schwerer zu erzeugen ist. Objektivität hingegen, wenngleich ihre Erreichbarkeit niemals garantiert werden kann, ist ein erstrebens-

wertes Merkmal für die Inhalte, die Nutzern zur Verfügung gestellt werden.[12]

5. Attraktive Formate und Aussichten

Hinsichtlich der Darstellungsformate von Content Marketing kann man sich daran orientieren, was Nutzer am intensivsten frequentieren. Schnell rezipierbare Formate wie Original-Grafiken, Visualisierungen und Videos werden häufig wahrgenommen, wohingegen viele Unternehmen nach wie vor auf Stock-Fotos setzen. Es herrscht also eine Differenz zwischen den Inhalten, die Nutzer wollen und solchen, die von den Unternehmen bereitgestellt werden. Diese Diskrepanz zu überwinden wäre ein empfehlenswerter, erster Schritt. Generell gilt, dass im Sinne vieler Berührungspunkte mit der Information die Aufbereitung über mehrere Kanäle hinweg sinnvoll ist. So kann z.B. ein Whitepaper zur ausführlichen Darstellung eines Sachverhalts durch eine schnell rezipierbare, schematische Grafik ergänzt oder durch ein Videotutorial praktisch erlebbar gemacht werden. Eine konsistente Darstellung über die verschiedenen Inhalte hinweg verifiziert diese durch gegenseitige Referenz.

Die Prognosen hinsichtlich Content Marketing Trends variieren je nach Quelle und Jahr, bleiben im Kern jedoch dicht beieinander. Für einen aktuellen Eindruck seien zwei Beispiele von suxxedo aus den Jahren 2017 und 2018 genannt. Für das Jahr 2017 prognostizierte die Site, die zu einer Berliner Agentur gehört, folgende Content Marketing Trends.

Social Influencer würden das Fernsehen ersetzen, Adblocker weitere Investitionen in Paid Media unterbinden und Virtual Reality sowie Live Content an Bedeutung gewinnen. Außerdem wurde vorausgesagt, Googles AI würde Nutzeranfragen mit relevantem Inhalt verbinden und generell alle nichtmaßgeschneiderten Angebote ignorieren.[13]

Im Jahr 2018 wurden einige dieser Trends in abgewandelter Form wieder aufgegriffen: die User-Experience bei der Suche nach Inhalten werde durch Machine Learning verbessert, Augmented Reality werde an Bedeutung gewinnen und Content künftig nur noch mobile first entwickelt werden. [14] Die Vermutung, dass Unternehmen zusätzlich zu ihrem regulären Geschäfts zu Medienhäusern heranwachsen würden, ist (wie unter 2. beschrieben) mitnichten ein Trend des laufenden Jahres.

6. Risiken bei der Integration von Content Marketing in die Kommunikationsstrategie

Allein in den Jahren seit 2010 gab es mehrere Marketing-Strategien, für die prognostiziert wurde, sie würden mittelfristig das klassische Marketing beerben. Während sich keine dieser Prognosen bewahrheitet hat, stellt sich die Frage, woran man die Nachhaltigkeit und langfristige Implementierbarkeit solcher Strategien messen kann. Lässt sich ausschließen, dass Content Marketing ein vergänglicher Trend ist? Ist es wahrscheinlich, dass die Integration von Content Marketing in die Gesamtstrategie den

Aufwand letzten Endes nicht wert ist?

Eine Gefahr für Content Marketing kommt aus dem Werkzeugkasten der Strategie selbst: Native Ads, also Anzeigen, die im Format dem umgebenden (redaktionellen) Inhalt gleichen, werden vom Rezipienten schlimmstenfalls als Täuschungsversuch wahrgenommen. Die unterliegende Logik der Argumentation für Native Advertising ist, den Vertrauensverlust in Anzeigen durch höheres Vertrauen in redaktionellen Content zu ersetzen. Redakteure versuchen, einen Kompromiss zwischen attraktivem Inhalt für Rezipienten und positive Bedingungen für Werbekunden zu schaffen.[15] Durch diese Täuschung des Nutzers wird jedoch vermutlich langfristig eher das Vertrauen in Medien weiter sinken, als dass das Vertrauen in Branded Content wieder ansteige. Einen Beleg dafür stellt eine Veröffentlichung aus dem Online-Magazin The Atlantic aus dem Jahr 2013 dar. Sponsor des Contents war die Church of Scientology: der Artikel befasste sich in einem sehr positiven Duktus mit dem neuen Oberhaupt der Gemeinschaft und war am Ende rechtskonform als „Sponsor Content presented by The church of Scientology“ ausgewiesen. Dennoch erzeugte die Veröffentlichung einen Eklat. Daraus lässt sich der Schluss ziehen, dass der Fehler nicht im Veröffentlichlichen und Kennzeichnen von Sponsored Content lag, sondern in

-der mangelnden Relevanz für die Leser des Atlantic
-der schlechten, weil unkritischen, Aufbereitung der Information

-der Fremdheit des Themas für den Kontext

sowie dem Ausschluss negativer Kommentare unter dem Artikel. Teile der Kritik betrafen darüber hinaus gewiss auch eher Scientology als Werbekunden als lediglich die eigentliche Ad.[16] Aus der Umkehr dieser Fehler lässt sich das positive Gegenbeispiel konstruieren. Darüber hinaus gibt es Gestaltungskriterien für Native Ads, die im Sinne der Transparenz zu beachten sind:

-Nähe der Kenntlichmachung zum Inhalt

-visuelle Hervorhebung

-Eindeutigkeit des Wortlauts

und die Präsenz des Sponsoren-Logos. Auf diese Weise lässt sich der Eindruck eines Täuschungsversuchs verhindern.[17]

7. Zusammenfassung

Content Marketing unterstützt das Entstehen von Vertrauen seitens der Nutzer unter der Bedingung, dass die Inhalte mit der Zielstellung der Objektivität erstellt werden und als unternehmenseigener Content zu erkennen sind. Am ehesten tritt dieser Effekt bei Content auf, der speziell auf das Interesse des Rezipienten zugeschnitten ist und über einen passenden Kanal ausgespielt wird. Als Kommunikationsstrategie ist Content Marketing sehr flexibel und lässt sich in bestehende Kommunikationskonzepte einbetten, da es nicht auf spezifische Kanäle oder Medien festgelegt ist.

Literaturverzeichnis

- [1] T. Ries et al, Edelman Trust Barometer Global Report (2018)
- [2] A. Magrath, Business Horizons (1986), 44-50
- [3] W. Wilkie, E. Moore, Journal of the Academy of Marketing Science, Nr. 40 (2012), 53-73
- [4] American Marketing Association, Definition of Marketing (2013):
<https://www.ama.org/AboutAMA/Pages/Definition-of-Marketing.aspx>, Stand 24.09.2018
- [5] S. Matteo, C. Da Zetta, Handbook of Media Branding (2015), 169-185
- [6] M. Recke, Klassisches Marketing reicht nicht mehr: <https://t3n.de/news/klassisches-marketing-reicht-mehr-844418/>, Stand 24.09.2018
- [7] S. Blanchfield, PageFair Report:
<https://pagefair.com/downloads/2017/01/PageFair-2017-Adblock-Report.pdf>, Stand 24.09.20
- [8] news aktuell, PR Trendmonitor (2015):
http://www.newsaktuell.de/pdf/pr-trendmonitor_2015.pdf, Stand 24.09.2018
- [9] B. Kim, Y. Pasadeos, A. Barban, Mass Communication and Society, Nr. 4 (2001), 265-281
- [10] B. Sparks, H. Perkins, R. Buckley, Tourism Management, Nr. 39 (2013), 1-9
- [10] J. Bains, The Case For Truth In Marketing (2017):
<https://www.cmo.com/features/articles/2017/3/2/the-case-for-truth-in-marketing.html#gs.yrxubLI>, Stand 24.09.2018
- [11] S. Hunt, Journal of Marketing, Nr. 57 (1993), 76-91
- [12] B. Wienzoscsek, 7 Content Marketing Trends 2017: <https://suxeedo.de/content-marketing-trends/>, Stand 24.09.2018
- [13] F. Kientzler, Content Marketing Trends 2018: <https://suxeedo.de/content-marketing-trends-2018/>, Stand 24.09.2018
- [14] M. Carlson, Journalism, Nr. 16 (2015), 849-865
- [15] J. Edwards, Here's The Scientology Sponsored Content Story That The Atlantic Doesn't Want You To See (2013):
<https://www.businessinsider.com/heres-the-scientology-sponsored-content-story-that-the-atlantic-doesnt-want-you-to-see-2013-1?IR=T>, Stand 24.09.2018
- [16] B. Wojdyski, American Behavioral Scientist, Nr. 60 (2016), 1475-1491

KONTAKT

Hochschule Mittweida
University of Applied Sciences
Referat Forschung
Postfach 1457
D-09644 Mittweida

Tel.: +49 (0) 3727 / 58-1264
Fax: +49 (0) 3727 / 58-21264

www.forschung.hs-mittweida.de



SCIENTIFIC REPORTS | WISSENSCHAFTLICHE BERICHTE

The main aspect of the Scientific Reports is to promote the discussion of modern developments in research and production and to stimulate the interdisciplinary cooperation by information about conferences, workshops, promotion of partnerships and statistical information on annual work of the Hochschule Mittweida (FH) University of Applied Sciences. This issue will be published sporadically. Contributors are requested to present results of current research, transfer activities in the field of technology and applied modern techniques to support the discussion among engineers, mathematicians, experts in material science and technology, business and economy and social work.