

Entwicklung eines Cyber-Physischen Produktionssystems auf Grundlage qualitativer Feldforschung unter Anwendung des Grounded Design

Nils Darwin ABELE¹, Sven HOFFMANN², Aparecido Fabiano Pinatti DE CARVALHO², Marcus SCHWEITZER³, Volker WULF², Karsten KLUTH¹

¹ *Fachgebiet Arbeitswissenschaft/Ergonomie, Universität Siegen
Paul-Bonatz-Straße 9-11, D-57068 Siegen*

² *Lehrstuhl für Wirtschaftsinformatik und Neue Medien, Universität Siegen
Kohlbettstraße 15, D-57072 Siegen*

³ *Lehrstuhl für Technologiemanagement, Universität Siegen
Unteres Schloß 3, D-57072 Siegen*

Kurzfassung: Der vorliegende Beitrag zeigt an der Entwicklung eines Cyber-Physischen Produktionssystems (CPPS), das für wissensintensive, zeitkritische und produktionsrelevante Rüstvorgänge an Industriemaschinen eingesetzt wird, beispielhaft auf, wie ein methodischer Übergang von qualitativer Forschung zum nutzerzentrierten Design eines wissensbasierten Unterstützungssystems im Sinne des Forschungsparadigmas des „Grounded Design“ geschaffen werden kann. Dazu wird die Relevanz einer Modellierung des Aufgabenspektrums und eines Szenario-basierten Designansatzes hinsichtlich wesentlicher Designimplikationen für ein im Rüstkontext einzusetzendes CPPS herausgestellt.

Schlüsselwörter: Cyber-Physische Produktionssysteme, Designfallstudie, Grounded Design, Industrielle Rüstprozesse, Qualitative Feldforschung, Wissenstransfer

1. Einleitung und Problemstellung

Die Weitergabe von Wissen ist als Reaktion auf dynamische Märkte und sich ständig ändernde Arbeitsmethoden eine elementare Forderung an moderne Arbeitsplätze – insbesondere im industriellen Kontext. Für die Entwicklung von in diesem Zusammenhang nützlichen Technologien müssen Nutzerstudien durchgeführt werden, die vermehrt auf qualitativen Studien basieren und ethnografische Ansätze bzw. Methoden beinhalten. In Anbetracht des wachsenden Interesses an menschlichen Praktiken für die Gestaltung und Qualitätsbewertung digitaler Technologien wurde das sogenannte „Grounded Design“ als Paradigma für die Designforschung und -praxis eingeführt. Es zielt auf die Untersuchung von Veränderungen der menschlichen Praktiken ab, die aus der Nutzung und Aneignung digitaler Technologien resultieren (Rohde et al. 2016). Die Ergebnisse solcher Untersuchungen werden als Input für die Konzeption neuer und innovativer digitaler Lösungen genutzt. In diesem Zusammenhang bietet die Designfallstudie, die sich mit einer empirischen (Vor-)Studie, einem Entwurf einer innovativen Darstellungsform und einer praxisnahen Evaluierung und Aneignung des Systems in drei voneinander abhängige Phasen gliedert, eine geeignete methodische Infrastruktur für eine erfolgreiche Umsetzung des Grounded Design (Wulf et al. 2015).

Um Maschineneinrichter durch den Transfer von fachspezifischem Wissen über eine fehlerminimale und prozesssichere Durchführung von Rüstvorgängen an Industriemaschinen zu unterstützen, wurde im Rahmen des Forschungsprojektes „Cyberrüsten 4.0“ ein CPS konzipiert. Die in diesem Zusammenhang erforderlichen Forschungs- und Designaktivitäten werden in Teilen in dieser Ausarbeitung vorgestellt. Weiterführende Inhalte sind u.a. De Carvalho et al. (2018), Hoffmann et al. (2019), Abele & Kluth (2021a) oder Abele & Kluth (2021b) zu entnehmen.

2. Stand der Technik

Ansätze und Methoden der vierten industriellen Revolution (Industrie 4.0), die auch als industrielles Internet der Dinge, intelligente oder Cloud-basierte Fertigung bezeichnet wird, eröffnen im Rahmen der digitalen Transformation umfassende Möglichkeiten zur physikalischen Prozessgestaltung.

2.1 Augmented Reality und Cyber-Physische (Produktions-)Systeme

Augmented Reality (AR) verschmelzt nützliche digitale Informationen mit der realen Umgebung. Mit dem Aufkommen neuer Technologien hat das Prinzip der „erweiterten Realität“ an Popularität gewonnen. AR-Systeme können sowohl mit konventionellen (z.B. Maus und Tastatur) als auch mit neuartigen Eingabemechanismen (z.B. Touchscreens und Datenbrillen) haptisch gekoppelt und zusätzlich über Sprachbefehle oder Gesten gesteuert werden (Gauglitz et al. 2014; Pollalis et al. 2017). AR ist somit eine neue Art der Visualisierung, die ortsbezogene Informationen schnell und einfach übertragen kann.

Neue Technologien, wie Cyber-Physische Systeme (CPS), können in einem sozio-technischen Kontext potenziell zahlreiche unterschiedliche Prozesse unterstützen und erleichtern. Sie stellen Systeme aus eng gekoppelten physischen und digitalen bzw. cyber-physischen Komponenten dar, die Software, Hardware, Sensoren und Aktoren integrieren (Lee et al. 2015). Die Interaktion mit solchen Systemen erfolgt über eine Mensch-Maschine-Schnittstelle, die durch herkömmliche PC-Schnittstellen, Touchscreens oder beschriebene AR-basierte Technologien realisiert werden kann. In Produktionsumgebungen ist der Begriff Cyber-Physisches Produktionssystem (CPPS) geläufig. Der Forschungsschwerpunkt zur praktischen Anwendung von AR-basierten CPPS, z.B. in Form von Head-Mounted Displays (HMD), lag bisher vermehrt auf mobilen AR-Anwendungen zur Unterstützung einer synchronen lokalen oder remote-basierten Zusammenarbeit (Langlotz et al. 2012). Die Arbeiten deuten darauf hin, dass entsprechende Systeme insbesondere drei Herausforderungen bewältigen müssen: Eine zunehmende technische Komplexität, der Mangel an Prototyping-Werkzeugen und die Forderung nach neuen Interaktionskonzepten (Schuh et al. 2015). Außerdem wird oftmals die Relevanz des Verständnisses von Nutzerpraktiken vernachlässigt (Paelke & Röcker 2015).

2.2 Einsatz von AR-basierten CP(P)S im Rahmen des Wissenstransfers

Mithilfe von Augmented Reality können Anweisungen – z.B. über HMDs – im Vergleich zu konventionellen Hilfsmitteln und Anzeigen bzw. Monitoren schneller visualisiert und ausgeführt werden. AR-Systeme können bei der Weitergabe von Wissen und Know-how als wesentlicher Bestandteil potenziell solches Wissen

vermitteln, das in verkörperten Handlungen („embodied actions“) eingebettet ist (De Carvalho et al. 2018). Die Aufbereitung grafischer Informationen in Form von Bildern und Videos bietet insbesondere für Montageanleitungen (Friedrich 2002; Ong et al. 2008) einen größeren Mehrwert als rein textliche Instruktionen, da ein schnelleres Lernen in den Anfangsphasen des Lernprozesses unterstützt und das Abrufen bereits erlernter Fähigkeiten zu späteren Zeitpunkten gefördert wird (Palmiter et al. 1991).

2.3 Modellbasiertes Design

Die Literatur zu Modellentwicklungen ist vielfältig. Sie reicht von einfachen Anwendungen (Benford et al. 1993) über die Entwicklung von Kommunikationsmodellen (De Michelis & Grasso 1994) bis hin zur Untersuchung des Spielraums für die Entwicklung generischer Modelle zur Unterstützung von Kollaboration und Koordination (Mainwaring & Lee 2017). Nicht zuletzt wird auch die Unterstützung des Wissenstransfers bei kooperativer Arbeit thematisiert (Divitini et al. 1993; Nonaka et al. 2000). Keine der Studien bietet jedoch ein umfassendes Beispiel dafür, wie der Übergang von ethnografischen Daten zu konkreten Systemanforderungen und deren Umsetzung realisiert werden kann.

3. Methode

Auf Grundlage einer „Grounded Design“-Initiative, das Teil eines Forschungs- und Entwicklungsprojektes war, sollten in Bezug auf industrielle Rüstprozesse zunächst qualitative Daten aus Nutzerstudien generiert werden. Daraus sollten schließlich Designimplikationen und konkrete Systemanforderungen abgeleitet werden, die einerseits vom Nutzer selbst verwendet werden können und andererseits Entwicklern und Designern bei der Konzipierung nützlicher sowie nutzbarer Systeme unterstützt.

Dabei wurde ein nutzerzentrierter Design-Ansatz verfolgt, der die Wechselwirkungen sozialer Praktiken mit den jeweiligen Artefakten analysiert. Innerhalb von drei verschiedenen Phasen erfolgte zunächst – basierend auf einer empirischen Analyse des Handlungsfeldes mitsamt des Nutzerkontexts, der Praktiken und den daraus resultierenden Bedürfnissen (1) – ein Designprozess (2), innerhalb dessen neue Lösungen auf Grundlage der identifizierten Bedürfnisse entworfen wurden. Die Designfallstudie wurde mit einer Aneignungs- bzw. Evaluierungsphase (3) abgeschlossen, in der die Lösungen in einem realen Szenario getestet und im Hinblick auf deren Auswirkungen sowie hinsichtlich aller resultierenden sozialen Veränderungen bewertet wurden. Im vorliegenden Beitrag werden Inhalte der ersten beiden Phasen erläutert. An der Studie nahmen 25 Teilnehmer aus fünf klein- und mittelständischen Unternehmen zwei verschiedener europäischer Länder teil.

Zur granularen Untersuchung der Praktiken von Maschineneinrichtern wurden qualitative empirische Methoden und Techniken genutzt, wie z.B. semi-strukturierte „In-depth“-Tiefen- bzw. Experteninterviews, Dokumentenanalysen oder „Think Aloud“-gestützte Prozesshospitationen, die entweder unmittelbar oder über eine Eye-Tracking-Technologie durchgeführt wurden (De Carvalho et al. 2018; Hoffmann et al. 2019). Die Analyse erfolgte nach den Grundsätzen der Thematischen Analyse (Braun & Clarke 2012). Im Zuge der Technologie-Entwicklung wurde sowohl ein Szenario-basierter Designansatz (Carroll 2000) als auch ein partizipatives Konzeptionierungsverfahren (Muller & Kuhn 1993) herangezogen. Auf Basis von Design-Workshops erfolgte der Einsatz von Rapid-Prototyping-Techniken, um Mock-

ups zu generieren. Diese Mock-ups, die potenzielle Schnittstellen der CPPS-Lösung aufzeigen, wurden einer heuristischen Bewertung unterzogen.

4. Ergebnisse

Nachfolgend wird aufgezeigt, wie qualitative Daten unter Einbindung der Nutzer und Entwickler zu Designimplikationen für ein CPS im Rüstkontext überleiten können. Aus Gründen der Darstellbarkeit werden nur ausgewählte Implikationen vorgestellt.

4.1 Aufgabenmodell des industriellen Rüstprozesses

Modellbasierte Ansätze, insbesondere Aufgabenmodelle, sind zur Entwicklung nutzerfreundlicher interaktiver Systeme für unterschiedliche Nutzungskontexte sinnvoll. Der „ConcurTaskTree“ (Paternò 2005) stellt anhand einer Standardnotation, bestehend aus unterschiedlichen Komponenten und Operatoren für temporale Relationen zwischen den einzelnen Aufgaben, Nutzerschnittstellen dar und spezifiziert sowie modelliert Aufgaben, sodass er für eine praxisorientierte Modellierung eines Rüstvorgangs für Industriemaschinen geeignet ist.

Die Freigabe zur Herstellung einer Bauteilserie bildet den Abschluss und damit das übergeordnete Ziel eines Rüstprozesses. Ein artikelspezifischer Arbeitsauftrag ist neben den infrastrukturellen Anforderungen die Grundvoraussetzung für den Start des Einrichtprozesses der Maschine. Im Anschluss an den Rüstvorgang wird ein Bauteil hergestellt, um es schließlich auf die geforderten Qualitätsmerkmale hin zu überprüfen und die Serienproduktion im Falle eines toleranzgerechten Bauteilzustands freizugeben. Diese Elemente setzen sich wiederum aus mehreren Teilaufgaben zusammen. Der Rüstvorgang selbst besteht z.B. aus „statischen“ und „dynamischen“ Rüstanteilen. Während statische Arbeitsanteile Vorgänge implizieren, die sich auf leicht reproduzierbare Standardverfahren und -schritte beziehen, umfasst die Dynamik des Rüstprozesses stark variable Arbeitsabläufe. Das Einrichten der Maschine weist insgesamt einen komplexen, wissensintensiven und stark auf Erfahrung basierenden Charakter auf. In dem beschriebenen Kontext wird also ein System benötigt, das die effektive Weitergabe von Wissen unterstützt. Dabei dürfen weder zeitliche noch produktive bzw. qualitative Beeinträchtigungen des eigentlichen Arbeitsvorgangs hervortreten. Außerdem sollte das System in der Lage sein, Handlungen überwachen und etwaige Hilfestellungen bzw. Lösungsmöglichkeiten aufzeigen bzw. visualisieren zu können.

4.2 Szenario-basiertes Design

Praxisnahe Teilnehmer der Feldforschung empfanden derartige Aufgabenmodelle z.T. als zu abstrakt. Somit wurde zusätzlich zur Aufgabenmodellierung ein Szenario-basierter Designansatz gewählt, um u.a. Möglichkeiten zur Reflexion der Designentscheidungen und zur Umgehung von Kapazitätsengpässen zu bieten, die sich auf den Designfluss auswirken können (Carroll 2000). Dazu wurden zwei Szenarien mit unterschiedlichen Parametern (Rüstszenario, Unterstützungsform der Instruktionen, Erfahrungsgrad der Maschineneinrichter) ausgearbeitet, die im Zuge von Design-Workshops anhand von Storyboards illustriert und mit den Teilnehmern diskutiert wurden. Inwieweit die aus der empirischen Datenanalyse generierten Anforderungen an das Unterstützungssystem den inhaltlichen und infrastrukturellen

Erwartungen der Nutzer entsprachen, wurde hier ermittelt. Weiterhin zeigte sich, dass die Teilnehmer gewillt waren, voneinander zu lernen, Erfahrungen auszutauschen und stets den bestmöglichen Rüstansatz zu verfolgen.

4.3 Designimplikationen

Die aus den empirischen Untersuchungen gesammelten Erkenntnisse trugen maßgeblich zur Technologieauswahl und zum Design des Unterstützungssystems bei. Neben einer schrittweisen, modularen und einfachen Darstellung und Durchführung der Rüstinstruktionen ist insbesondere die Mobilität der AR-Technologie, z.B. in Form einer Datenbrille, von großer Bedeutung, um unmittelbar am Prozessort situativ unterstützen zu können. Externe Sensoren dienen darüber hinaus zur Prozesssicherheit, z.B. zur Überprüfung von Werkzeugpositionen oder Vermeidung von Werkzeugkollisionen. Virtuelle Simulationen unterstützen den Nutzer zudem in (Arbeits-)Situationen, in denen eine erhöhte Komplexität oder eine unzureichende Anzahl realer Produktionsdaten vorliegt. Durch eine große Variabilität der Rüstvorgänge und der damit einhergehenden Individualität der mitarbeiterspezifischen Vorgehensweise sollten stets Möglichkeiten zur Anpassung bzw. Optimierung bestehender Anweisungen geboten werden.

5. Diskussion und Ausblick

Der vorliegende Beitrag zeigt beispielhaft auf, wie die Konzeptionierung eines CPPS mithilfe des Forschungsparadigmas des Grounded Design (Rohde et al. 2016) bzw. zugehöriger praxistheoretischer Methoden und Techniken erfolgen kann. Es bietet die Möglichkeit, z.B. durch die Verwendung von Modellen, Szenarien oder Storyboards, eine Brücke zwischen Entwicklern und Nutzern zu schlagen, sodass qualitative Daten zielgerichtet und zum Verständnis sämtlicher Akteure in relevanten Designimplikationen resultieren. Diese Zielsetzung verhilft zur Unterstützung der Maschineneinrichter bei einem zeitkritischen Produktionsprozess: Dem Einrichten von Industriemaschinen.

Die Ergebnisse qualitativer Studien sind nicht verallgemeinerbar (Bryman 2008). Unabhängig davon können die Erkenntnisse Forscher dazu motivieren, den Ansatz auf andere Kontexte zu übertragen und mögliche Vergleiche sowie Synergien herzustellen, um neue und aufschlussreiche Erkenntnisse zu erlangen.

6. Literatur

- Abele ND, Kluth K (2021a) Interaktions-ergonomische Gestaltung und Kompatibilität von AR-unterstützten Informationsdarstellungen am Beispiel eines Head-Mounted Displays für industrielle Rüstvorgänge. Zeitschrift für Arbeitswissenschaft.
- Abele ND, Kluth K (2021b) Strain-related Evaluation of an AR-based Cyber-Physical Production System for Setting Up Industrial Machines. In: Black N, Neumann P, Noy I (Ed) Sector Based Ergonomics. Proceedings of the 21st Congress of the International Ergonomics Association, Vol. 3, Basel: Springer, 355-362.
- Benford S, Mariani JA, Moldes LN, Prinz W, Rodden T (1993) MOCCA: An Environment for CSCW Applications. In: Proceedings of the Conference on Organizational Computing Systems, New York: ACM, 172-177.

- Braun V, Clarke V (2012) Thematic Analysis. In: Cooper H, Camic PM, Long DL, Panter AT, Rindskopf D, Sher KJ (Ed) *APA Handbook of Research Methods in Psychology, Volume 2, Research Designs: Quantitative, Qualitative, Neuropsychological, and Biological* 2:57-71.
- Bryman A (2008) *Social Research Methods*. New York: Oxford University Press.
- Carroll JM (2000) Five Reasons for Scenario-based Design. *Interacting with Computers* 13:43–60.
- De Carvalho AFP, Hoffmann S, Abele ND, Schweitzer M, Tolmie P, Randall D, Wulf V (2018) Of Embodied Action and Sensors. *Knowledge and Expertise Sharing in Industrial Set-Up. Computer Supported Cooperative Work* 27 (3-6):875-916.
- De Michelis G, Grasso MA (1994) Situating Conversations Within the Language/Action Perspective: The Milan Conversation Model. In: *Proceedings of the 1994 ACM Conference on Computer-Supported Cooperative Work*, New York: ACM, 89-100.
- Divitini M, Salè GO, Pozzoli A, Simone C (1993) Supporting the Dynamics of Knowledge Sharing Within Organizations. In: *Proceedings of the Conference on Organizational Computing Systems*, New York: ACM, 178-183.
- Friedrich W (2002) ARVIKA: Augmented Reality for Development, Production and Service. *The 1st International Symposium on Mixed and Augmented Reality (ISMAR)*, 3-4.
- Gauglitz S, Nuernberger B, Turk M, Höllerer T (2014) World-Stabilized Annotations and Virtual Scene Navigation for Remote Collaboration. In: *Proceedings of the 27th annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology*, New York: ACM, pp. 449-459.
- Hoffmann S, De Carvalho AFP, Abele ND, Schweitzer M, Tolmie P, Wulf V (2019) Cyber-Physical Systems for Knowledge and Expertise Sharing in Manufacturing Contexts: Towards a Model Enabling Design. *Computer Supported Cooperative Work* 28:469-509.
- Langlotz T, Mooslechner S, Zollmann S, Degendorfer C, Reitamy G, Schmalstieg D (2012) Sketching Up the World: In-situ Authoring for Mobile Augmented Reality. *Personal and Ubiquitous Computing* 16(6):623-630.
- Lee J, Bagheri B, Kao HA (2015) A Cyber-Physical Systems Architecture for Industry 4.0-Based Manufacturing Systems. *Manufacturing Letters* 3:18-23.
- Mainwaring SD, Lee CP (2017) Turnover and the Model of Coordinated Action (MoCA). In: *Companion of the 2017 ACM Conference on Computer-Supported Cooperative Work and Social Computing*, New York: ACM, 239-242.
- Muller MJ, Kuhn S (1993) Participatory Design. *Communications of the ACM* 36(6):24-28.
- Nonaka I, Toyama R, Konno N (2000) SECI, Ba and Leadership: A Unified Model of Dynamic Knowledge Creation. *Long Range Planning* 33(1):5-34.
- Ong SK, Yuan ML, Nee AYC (2008) Augmented Reality Applications in Manufacturing: A Survey. *International Journal of Production Research* 46(10):2707-2742.
- Paelke V, Röcker C (2015) *User Interfaces for Cyber-Physical System: Challenges and Possible Approaches*. Cham: Springer International Publishing.
- Palmiter S, Elkerton J, Baggett P (1991) Animated Demonstrations vs Written Instructions for Learning Procedural Tasks: A Preliminary Investigation. *International Journal of Man-Machine Studies* 34(5): 687-701.
- Paternò F (2005) Model-based Tools for Pervasive Usability. *Interacting with Computers* 17(3):291-315.
- Pollalis C, Fahnbulleh W, Tynes J, Shaer O (2017) HoloMuse: Enhancing Engagement with Archaeological Artifacts through Gesture-Based Interaction with Holograms. In: *Proceedings of the Tenth International Conference on Tangible, Embedded, and Embodied Interaction*, New York: ACM, 565-570.
- Rohde M, Brödner P, Stevens G, Betz M, Wulf V (2016) Grounded Design: A Praxeological IS Research Perspective. *Journal of Information Technology* 32(2):163-179.
- Schuh G, Gartzten T, Rodenhauser T, Marks A (2015) Promoting Work-based Learning Through Industry 4.0. *Procedia CIRP* 32:82–87.
- Wulf V, Müller C, Pipek V, Randall D, Rohde M, Stevens G (2015) Practice-Based Computing: Empirically Grounded Conceptualizations Derived from Design Case Studies. In: Wulf V, Schmidt K, Randall D (Ed.) *Designing Socially Embedded Technologies in the Real-World*, London: Springer, 111-150.

Danksagung: Die vorliegende Ausarbeitung entstammt in Teilen dem Forschungsprojekt „Cyberrüsten 4.0“, das durch die Europäische Union sowie durch den Europäischen Fonds für regionale Entwicklungen des Landes Nordrhein-Westfalen (Nr. EFRE-0800263) finanziert wurde.



Gesellschaft für
Arbeitswissenschaft e.V.

Technologie und Bildung in hybriden Arbeitswelten

68. Kongress der
Gesellschaft für Arbeitswissenschaft

Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg

Fraunhofer-Institut für Fabrikbetrieb und
Fabrikautomatisierung IFF, Magdeburg

02. – 04. März 2022

GfA-Press

Bericht zum 68. Arbeitswissenschaftlichen Kongress vom 02. – 04. März 2022

**Otto-von Guericke-Universität Magdeburg;
Fraunhofer-Institut für Fabrikbetrieb und -automatisierung IFF, Magdeburg**

Herausgegeben von der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft e.V.
Sankt Augustin: GfA-Press, 2022
ISBN 978-3-936804-31-7

NE: Gesellschaft für Arbeitswissenschaft: Jahresdokumentation

Als Manuskript zusammengestellt. Diese Jahresdokumentation ist nur in der Geschäftsstelle (s. u.) erhältlich.

Alle Rechte vorbehalten.

© **GfA-Press, Sankt Augustin**

Schriftleitung: Prof. Dr. Rolf Ellegast

im Auftrag der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft e.V.

Ohne ausdrückliche Genehmigung der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft e.V. ist es nicht gestattet:

- den Kongressband oder Teile daraus in irgendeiner Form (durch Fotokopie, Mikrofilm oder ein anderes Verfahren) zu vervielfältigen,
- den Kongressband oder Teile daraus in Print- und/oder Nonprint-Medien (Webseiten, Blog, Social Media) zu verbreiten.

Die Verantwortung für die Inhalte der Beiträge tragen alleine die jeweiligen Verfasser; die GfA haftet nicht für die weitere Verwendung der darin enthaltenen Angaben.

Geschäftsstelle der GfA

Simone John, Tel.: +49 (0)30 1300-13003

Alte Heerstraße 111, D-53757 Sankt Augustin

info@gesellschaft-fuer-arbeitswissenschaft.de · www.gesellschaft-fuer-arbeitswissenschaft.de

Screen design und Umsetzung

© 2022 fröse multimedia, Frank Fröse

office@internetkundenservice.de · www.internetkundenservice.de