

Ergonomie 4.0: Prozessergonomie in der hochautomatisierten Serien- und Massenproduktion

Ksenia OBRAZTSOVA^{1,2}, Martin SCHMAUDER¹

¹ *Institut für Technische Logistik und Arbeitssysteme, Professur für Arbeitswissenschaft, Technische Universität Dresden
Dürerstraße 26, D-01062 Dresden*

² *Robert Bosch GmbH, Electrical Drives
Robert-Bosch-Straße 1, D-77815 Bühl*

Kurzfassung: Die aktuelle Marktsituation und steigender Wettbewerbsdruck erfordert vor allem eine schlanke Integration neuer Technologien, um die bestehenden Kostenpotentiale zu reduzieren. Die Automatisierung von manuellen Arbeitsabläufen war bis jetzt einer der gängigen Wege zur Kostenoptimierung in Serien- und Massenproduktion. Heutige Wertschöpfungsketten sind hinsichtlich Mensch-Maschine-Kommunikation sehr komplex. Die Komplexitätsbeherrschung und -reduzierung werden zur einer interdisziplinären Herausforderung. Hier spielen Industrie 4.0-Visionen eine bedeutende Rolle. Dieser Artikel setzt sich mit den aktuellen Herausforderungen für weitere Potentiale zur Digitalisierung und Automatisierung in der hochautomatisierten Produktion auseinander unter besonderer Berücksichtigung des Faktors Mensch.

Schlüsselwörter: Mensch-Maschine-Interaktion, Industrie 4.0, Ergonomie

1. Einleitung

Der immer stärker werdende Wettbewerbsdruck erfordert eine ständige Anpassung der Produktion an die aktuellen Marktanforderungen sowie eine schlanke Integration neuer Technologien und marktkonformer Innovationen (Lucke et al. 2014). Die Automatisierung von manuellen Produktions- und Arbeitsabläufen war bis jetzt in der Serien- und Massenproduktion einer der gängigen und effizientesten Wege, die potentiellen Kosten zu reduzieren und damit Wettbewerbsfähigkeit sicherzustellen (Franke & Wrede 2014). Allerdings ist die Anzahl von effizienten Automatisierungsmaßnahmen für moderne, hochentwickelte Produktionssysteme begrenzt. Der Hauptfokus dieses Artikels liegt auf den aktuellen Fragestellungen und Herausforderungen für weitere Potentiale zur Rationalisierung und Automatisierung in der hochautomatisierten Produktion (im weiteren kurz h.a. Produktion).

Üblicherweise werden in der Serien- und Massenproduktion die Automatisierungsmaßnahmen schrittweise eingeführt, d.h. einzelne manuelle Stationen werden nach wirtschaftlichen Kriterien bzw. Reihenfolge sukzessiv mit automatischen Zellen ersetzt. Dabei wird oft die Tätigkeit des Menschen an die Produktionsanlage angepasst. Mit dem zunehmenden Einsatz von Automatisierungen und häufiger Mehrmaschinenbedienung verwickelt sich der Fluss und Austausch von Information sowie Material zwischen Mitarbeiter und Produktionsanlagen. Dadurch verändern sich deutlich die Aufgaben des Menschen in der Wertschöpfungskette. Obwohl die Erhöhung des Automatisierungsgrades eine Entkopplung von Mensch und Maschine hinsichtlich mechanischer Arbeit ermöglicht,

steigt zugleich der Anteil an dispositiven Tätigkeiten, wie bspw. Überwachung, Entscheidung, Fehlerdiagnose, Planung etc. (Bernotat 2008; Bullinger et al. 2009; Kagermann et al. 2013)

Die Komplexitätsreduktion von Mensch-Maschine-Systemen (im weiteren kurz. M-M-Systeme) durch Optimierung der technischen und organisatorischen Arbeitsabläufe ist eine weitere mögliche Lösung zur Kostenreduzierung. Je komplexer automatisierte Prozesse werden, desto größer und sicherheitskritischer werden diese M-M-Systeme und desto wichtiger wird eine mitarbeitergerechte Mensch-Maschine-Kommunikation. Dadurch bekommt die Verbindung von technischen und organisatorischen Sichtweisen unter besonderer Berücksichtigung des Menschen eine immer größere Bedeutung. (Bernotat 2008, Sadeghi & VDI 2014; Flemisch 2014)

Hier sind die Visionen und Konzepte von Hightech-Strategien der deutschen Bundesregierung - Industrie 4.0 (im weiteren kurz i4.0) - von großer Bedeutung. Das Ziel ist dabei die Entwicklung von intelligenten Informations- und Wertschöpfungsketten, welche eine tiefgehende Integration von Mitarbeitern, Maschinen und Anlagen mit neuen IT-Technologien erfordern (Kagermann et al. 2013). Eine solche Integration sollte ebenfalls ergonomisch gestaltet werden, „... [da] der bleibende Unternehmenserfolg heutzutage nicht mehr nur von der gegenwärtigen Erfolgs- und Finanzkraft abhängt, sondern maßgebend von langfristigen, immateriellen Faktoren, insbesondere den Mitarbeitern, Unternehmensprozessen und -innovationen“ (Sihn & SEA 2014). Die Beschäftigten sollen von Beginn an in den Entwicklungsprozess mitgenommen werden, damit Innovationen in ihren Arbeitsalltag erfolgreich integriert werden können (Kagermann et al. 2013).

Handlungsfelder und Ansätze im Umfeld von Industrie 4.0 sind interdisziplinär und liegen an den Schnittstellen von Maschinen- und Anlagenbau, Produktions-, Automatisierungs-, Netzwerk- und Kommunikationstechnik, Informatik sowie dazugehörige Teilbereichen. Eine eindeutige Zuordnung zu einem Bereich ist kaum möglich (Lucke et al. 2014; Lasi et al. 2014). Mehrere Autoren (Kagermann et al. 2013; Lasi et al. 2014; Wieland & Pfitzner 2014) weisen darauf hin, dass diese interdisziplinären Visionen zu einem Methodenbedarf zur Beherrschung der Komplexität von Produktions- und Fertigungssystemen führen. Eine fundierte Begründung des Einsatzes von Modellierungswerkzeugen und -methoden sowie dadurch entstehende Nutzenpotentiale wurden bereits im Abschlussbericht des Arbeitskreises Industrie 4.0 (Kagermann et al. 2013) formuliert.

Teilweise liegen heute in diesem Zusammenhang gar keine geeigneten Methoden vor oder sie sind nur bedingt einsetzbar und stoßen bei umfangreichen Tätigkeiten aufgrund der Komplexität der Anforderungen an ihre Grenzen (Kagermann et al. 2013). Mit dem Ziel der Entwicklung von intelligenten Informations- und Wertschöpfungsketten soll ein Vorgehensmodell inkl. Werkzeug- und Methodenbaukasten entwickelt werden. Diese muss durch eine ganzheitliche Betrachtung von komplexen Produktionssystemen und den interdisziplinären Informations- und Wertströmen eine systematische Identifizierung von Optimierung- und Rationalisierungspotentialen gewährleisten. Dabei muss das Vorgehensmodell zu einer schlanken Implementierung dieser Optimierungen in Bezug auf Prozessergonomie und demografischen Wandel verhelfen.

2. Hypothese, Vorgehensmodell, Methoden und Werkzeuge

Diese Arbeit setzt sich mit den oben genannten Forschungsansätzen auseinander. Das Ziel ist dabei die Entwicklung eines systematischen Vorgehens bei der Konzeption und Umsetzung von maßgeschneiderten Digitalisierungslösungen für die bestehenden h.a. Produktionssysteme der Serien- und Massenproduktion.

2.1 Hypothese

Grundsätzlich geht es bei i4.0 um die Realisierung von IT-Projekten um die Wertschöpfungskette herum. Diese grundlegend interdisziplinären Vorhaben erfordern den Einsatz einer Vielzahl an unterschiedlichen Vorgehensmodellen und -methoden aus Software-, Prozess- und Produkt-Lebenszyklusmanagement, die wesentlich zum Projekterfolg beitragen. Einerseits bringt solche Interdisziplinarität eine erhöhte Komplexität mit sich, andererseits kann diese Tatsache in einen bedeutenden Vorteil verwandelt werden. Dieser entsteht konkret aus der Vereinheitlichung von Disziplin-spezifischen Planungswerkzeugen zu einem integrierten Vorgehensmodell.

Dem Vorgehensmodell werden wiederum entsprechende Methoden und Werkzeuge zur Beherrschung der Prozesskomplexität zugeordnet. Dabei ist die Visualisierung eine der wichtigsten Voraussetzungen für das Systemverstehen. Der Baukasten kann ebenso aus der Interdisziplinarität bestehender Systeme wertvolle Vorteile ziehen. Dafür können gemischte Ansätze aus betriebswirtschaftlichen Visualisierungsmethoden zur Prozesssimulation sowie grafischen Modellierungs- und Spezifikationssprachen der Wirtschaftsinformatik erprobt werden. Auf diese Weise können die wesentlichen Teildisziplinen miteinander verknüpft werden.

2.2 Vorgehensmodell, Methode und Werkzeuge

Zuerst wird das Vorgehensmodell festgelegt. Dazu wurden unterschiedliche Vorgehensmodelle zur Softwareentwicklung sowie Methoden der Prozessoptimierung und Produktentstehung analysiert. Abbildung 1.1 zeigt das Vorgehensmodell inkl. Methodenbaukasten für i4.0-Projekte. Dieses Vorgehensmodell gliedert sich in insgesamt drei Arbeitspakete, von denen zwei (AP1 – Vorbereitung, AP3 – Verbesserung) die organisatorische Seite des Projekts repräsentieren und eines technischer Natur ist (AP2 – Implementieren). Im Folgenden werden die Inhalte dieser Arbeitspakete skizziert.

AP1 Vorbereitung stellt ein klassisches Vorgehensschema dar und gliedert sich in drei Phasen. Als Erstes sollen die in der Produktion bzw. Fertigung bestehenden Prozesssysteme im Bezug auf den Informationsfluss entlang der Wertschöpfungskette visualisiert werden, sodass die Systemkomplexität übersichtlich und transparent wird (Phase I). An dieser Stelle soll sowohl der digitale, als auch der physische Informationsfluss inkl. Vernetzungen, Datenmengen, Datenträger und -speicher sowie die Art und Weise der Datenübertragung betrachtet werden. Dadurch werden die bestehenden Verbesserungspotentiale veranschaulicht.

Nachdem der Ist-Prozess-Plan umfassend dargestellt ist, sollen die bestehenden Gegebenheiten analysiert werden (Phase II). Hier sollen Ziele, Anforderungen und Voraussetzungen klar definiert und festgelegt werden. Auf dieser Grundlage werden unnötige nicht-wertschöpfende Prozesse identifiziert und möglichst eliminiert bzw. hin zu effizienten Prozessen neugestaltet. Die Visualisierung des Ist-Prozess-Plans

soll dazu verhelfen, die Prozesse, die nicht eliminiert werden können, auf mögliche Digitalisierung zu analysieren. Die Effizienz wird durch die Automatisierung der manuellen Tätigkeit gesteigert.

Die beiden ersten Phasen bilden die existierenden Systeme ab, um durch das Systemmodell Wissen über das System zu erhalten. Hier geht es um die Entwicklung eines Erklärungsmodells (vgl. Kapitel 5.2, Kagermann et al. 2013). Auf Basis dieser Erkenntnisse sollen die zukünftigen intelligenten Produktionssysteme designt werden, der sogenannte Soll-Prozess-Plan (Phase III). Dabei entsteht ein Planungsmodell, welches die Grundlage für die Umsetzung darstellt.

Bei der Gestaltung des Soll-Prozess-Plans soll die Technik möglichst an den Mitarbeiter angepasst werden, da der Mensch immer noch das wichtigste Zahnrad in technischen Systemen bleibt. „Wer sich wohl fühlt arbeitet effizienter“ (Wittstein 2013). Daher soll die dritte Phase und somit das erste Arbeitspaket mit einer Überprüfung auf Benutzerfreundlichkeit und Gebrauchstauglichkeit abgeschlossen werden.

Wie oben bereits beschrieben, kann als Visualisierungs-, Analyse- und Designwerkzeug ein gemischter Ansatz eingesetzt werden. Die betriebswirtschaftlichen Methoden, wie VSD (Value Stream Design – Wertstromdesign) und davon abgeleitete MIFA (Material- und Informationsfluss Analyse) sowie VSDiA (Value Stream Design in indirect Areas – Wertstromdesign in indirekten Bereichen), haben sich schon in der Praxis etabliert. Sie ermöglichen eine relativ einfache Visualisierung von Prozessen hinsichtlich des Materialflusses.

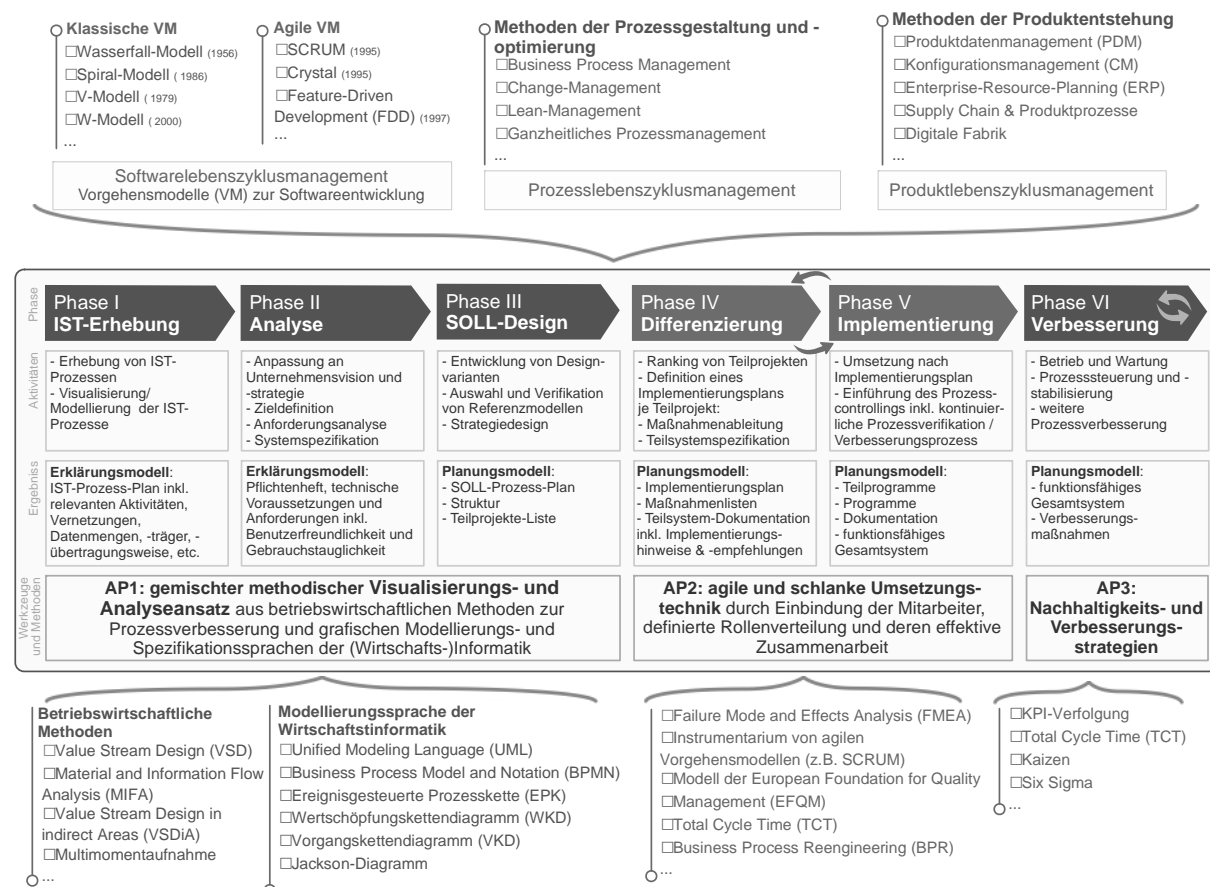


Abbildung 1: Vorgehensmodell und dazugehöriges Instrumentarium zur Durchführung von i4.0-Projekten

Der Informationsfluss wird dabei relativ allgemein beschrieben. Mit Hilfe der grafischen Modellierungs- und Spezifikationssprachen aus der Informatik, wie BPMN (Business Process Model and Notation – Geschäftsprozessmodell und -notation), UML (Unified Modeling Language – Vereinheitlichte Modellierungssprache) etc., kann der Informationsfluss sehr detailliert beschrieben werden, allerdings sind sie aufgrund ihrer Komplexität in der Produktion schwer einsetzbar. Durch eine gemischte Methode werden die beteiligten Fachleute und Kompetenzen zu einer gemeinsamen Vorgehensweise zusammengeführt.

AP2 Implementieren stellt eine agile Umsetzungstechnik dar und besteht aus zwei sich wiederholenden Phasen. Zuerst wird aus dem Soll-Prozess-Plan ein Implementierungsplan erstellt, nach dem die Umsetzung durchgeführt wird. Für jede Umsetzung wird ein Team mit definierten Rollen- und Aufgabenverteilungen festgelegt (vgl. agile Vorgehensmodelle). Anschließend soll ein Prozess-Controlling eingeführt werden.

Bei der Umsetzung von i4.0-Projekten bekommt die Systemergonomie eine besondere Bedeutung. Die technischen Hardwarelösungen sowie dazugehörige IT- und Software-Werkzeuge sollen so ausgelegt werden, dass sie von Menschen (unabhängig von Geschlecht, Alter etc.) möglichst natürlich, mühelos und ohne Hindernisse benutzt werden können. Es wird im Zusammenhang mit einer ergonomischen Systemgestaltung von der Gebrauchstauglichkeit sowie Benutzerfreundlichkeit der Systeme gesprochen. Letztendlich hängen die Akzeptanz der Innovationen, die Zuverlässigkeit und Sicherheit des entsprechenden Systembetriebs davon ab, wie effizient und sicher die Mitarbeiter mit dem System umgehen können. Kleine Schwächen und Unklarheiten in der Gestaltung können störende Auswirkungen im Hinblick auf reibungslose Systemumsetzung und -betrieb hervorrufen. Neben der ergonomischen Gestaltung von Mensch-Maschine-Systemen hinsichtlich Soft- und Hardware sowie kognitiver Leistung ist es notwendig, die konkreten Lösungen im Rahmen einer ergonomischen Evaluation auf ihre Gebrauchstauglichkeit und -sicherheit zu prüfen (Herczeg 2014).

AP3 Verbesserung beschreibt die letzte Phase dieses Vorgehensmodells. Hier werden die erzielten Resultate stabilisiert und weiter entwickelt werden. Vereinfachung und kontinuierliche Verbesserung des laufenden Betriebes ein ständiges Ziel für die Weiterentwicklung. Dies kann durch systematische Ansätze des Nachhaltigkeitsmanagements erreicht werden.

3. Diskussion und weiterführende Ansätze

Der vorliegende Artikel gibt einen Überblick über aktuelle Fragestellungen und Herausforderungen für weitere Potentiale der Digitalisierung und Automatisierung in der hochautomatisierten Produktion unter besonderer Berücksichtigung des Faktors Mensch.

Es hat sich gezeigt, dass heutige Wertschöpfungsketten hinsichtlich Mensch-Maschine-Kommunikation sehr komplex und intransparent sind. Die Komplexitätsreduktion in Mensch-Maschine-Systemen birgt ein weiteres Optimierungspotential. Hier spielen Industrie 4.0-Anwendungen eine bedeutende Rolle. Die Erhöhung des Automatisierungsgrades ermöglicht eine Entkopplung von Mensch und Maschine hinsichtlich mechanischer Arbeit, zugleich steigt der Anteil an dispositiven Tätigkeiten. Mit den Änderungen der Aufgaben des Menschen sollen die

Forschungsfragen der Arbeitswissenschaft dementsprechend angepasst werden.

In den früheren Jahren hat sich die Ergonomie hauptsächlich mit den manuellen Handhabungsfragen, Körperpositionen, räumlicher Umgebung sowie menschlicher Physiologie auseinandergesetzt. Heute soll sich Ergonomie vor allem mit den Fragen der Gestaltung von rechnergestützten Arbeitsplätzen, interaktiven Softwaresysteme sowie den Ein- und Ausgabesystemen stärker beschäftigen. Diesen spezifischen Fragen widmet sich die Systemergonomie. An dieser Stelle sollen die Teilgebiete Hardware-Ergonomie, Software-Ergonomie und kognitive Ergonomie besondere Berücksichtigung finden (Herczeg 2014).

Des Weiteren erscheint das Thema „Demographischer Wandel und IT-Innovationen“ besonders interessant. Der steigende Anteil älterer Beschäftigter in den Betrieben stellt die Industrie vor neue Herausforderungen. Für eine effiziente Implementierung von i4.0-Anwendungen sollen diese altersgerecht gestaltet werden. Dabei soll sowohl die physikalische, als auch die mentale Leistung berücksichtigt werden. Beispielweise, je älter die Haut wird, umso weniger kann sie Feuchtigkeit speichern und Fette bilden, dies führt dazu, dass ältere Mitarbeiter trockene und weniger sensible Fingerspitzen besitzen. Dies kann bei der Gerätesteuerung über einen Touchscreen zu Hindernissen bei der Bedienung führen.

Darüberhinaus kann es sich als vielversprechend erweisen, Konzepte der Informationswahrnehmung und -verarbeitung aus spezialisierten Umgebungen wie bspw. dem Glass Cockpit des Airbus A380 zu übertragen.#

4. Literatur

- Bernotat R (2008) Das Forschungsinstitut für Anthropotechnik – Aufgaben, Methoden und Entwicklung. In: Ludger Schmidt L, Schlick C M, Grosche J 2008 Ergonomie und Mensch-Maschine-Systeme. Berlin, Heidelberg: Springer, 1-16.
- Bullinger H-J, Spath D, Warnecke H-J, Westkämper E (2009) Unternehmensorganisation. Handbuch. Berlin, Heidelberg: Springer, 3-23.
- Flemisch F (2014) Systemergonomie / Human Systems Integration. Abgerufen am 22. Oktober 2014. http://www.iaw.rwth-aachen.de/index.php?article_id=432&clang=0.
- Franke V, Wrede S (2014) Industrie 4.0: Das Projekt Fleximon Abgerufen am 30. September 2014. <http://www.computer-automation.de/unternehmensebene/produktionssoftware/artikel/110519/>.
- Herczeg M (2014) Prozessführungssysteme: sicherheitskritische Mensch-Maschine-Systeme und interaktive Medien zur Überwachung und Steuerung von Prozessen in Echtzeit. München: Oldenbourg.
- Kagermann H, Wahlster W, Helbi J (2013) Abschlussbericht des Arbeitskreises Industrie 4.0 – Deutschlands Zukunft als Produktionsstandort sichern: Umsetzungsempfehlungen für das Zukunftsprojekt Industrie 4.0. Frankfurt/Main: plattform-i4.0.de.
- Lucke D, Görzig D, Kacir M, Volkmann J, Haist C, Sachsenmaier M, Rentschler H (2014) Strukturstudie „Industrie 4.0 für Baden-Württemberg: Baden-Württemberg auf dem Weg zu Industrie 4.0. Stuttgart: Ministerium für Finanzen und Wirtschaft Baden-Württemberg, Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung IPA.
- Sadeghi A-R, VDI, Verein Deutscher Ingenieure (2014) VDI-Nachrichten - Je komplexer ein System wird, desto fehlerhafter wird es sein. Abgerufen am 22. Oktober 2014. <http://www.vdi-nachrichten.com/Technik-Gesellschaft/Je-komplexer-System-wird-desto-fehlerhafter-es-sein>.
- Sihn W, SEA, Sustainable Entrepreneurship Award (2014) Abgerufen am 26. April 2014. <http://www.se-award.org/de/interview/univ-prof-dipl-wirt-ing-dr-ing-wilfried-sihn>.
- Wende J, Kiradjiev P (2014) Eine Implementierung von Losgröße 1 nach Industrie-4.0-Prinzipien. Elektrotechnik & Informationstechnik 131/7: 202-206.
- Wieland U, Pfitzner M (2014) Interdisziplinäre Datenanalyse für Industrie 4.0. Controlling & Management Review 1/2014: 80-85.
- Wittestein AG (2013) Industrie 4.0 - Die technische Revolution geht weiter. Nachrichten der Wittestein AG. Abgerufen am 30. September 2014. <https://www.youtube.com/watch?v=TTQxfElnIN0>.