

Schlussbericht

zu IGF-Vorhaben Nr. 19840 N

Thema

Entwicklung einer Auswahlmethodik für Methoden eines „Ganzheitlichen Produktionssystems 4.0“ für den Mittelstand (GaProSys 4.0)

Berichtszeitraum

01.01.2018 bis 31.12.2020

Forschungsvereinigung

Gesellschaft für Verkehrsbetriebswirtschaft und Logistik e.V. - GVB

Forschungseinrichtung(en)

1: Technische Universität Braunschweig, Institut für Fabrikbetriebslehre und Unternehmensforschung (IFU)

2: RIF Institut für Forschung und Transfer e.V. (RIF)

Braunschweig, 29.06.2021

Christian Ortmeier, M. Sc. (IFU),
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Jochen Deuse (RIF)

Ort, Datum

Name und Unterschrift aller Projektleiterinnen und Projektleiter der
Forschungseinrichtung(en)

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Energie

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

IGF-Forschungsvorhaben 19840 N

Forschungsthema

Entwicklung einer Auswahlssystematik für Methoden eines „Ganzheitlichen Produktionssystems 4.0“ für den Mittelstand (GaProSys 4.0)

Forschungsstelle 1

Technische Universität Braunschweig

Institut für Fabrikbetriebslehre und Unternehmensforschung

Langer Kamp 19

38106 Braunschweig

Leiter der Forschungsstelle: Univ.-Prof. Dr.-Ing. Klaus Dilger

Projektleiter: Christian Ortmeier, M. Sc.

Forschungsstelle 2

RIF Institut für Forschung und Transfer e.V.

Joseph-von-Fraunhofer-Str. 20

44227 Dortmund

Leiterin der Forschungsstelle: Dr. Svenja Rebsch

Projektleiter: Univ.-Prof. Dr.-Ing. Jochen Deuse

Förderhinweis

Das IGF-Vorhaben 19840 N der Forschungsvereinigung Gesellschaft für Verkehrsbetriebswirtschaft und Logistik e.V. - GVB, Joseph-von-Fraunhofer-Str. 20, 44227 Dortmund wird über die AiF im Rahmen des Programms zur Förderung der Industriellen Gemeinschaftsforschung und -entwicklung (IGF) vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
1.1	Wissenschaftlich-technische und wirtschaftliche Problemstellung	1
1.2	Forschungsziel	4
1.3	Lösungsweg	5
2	Stand der Wissenschaft	7
2.1	Ganzheitliche Produktionssysteme (GPS).....	7
2.1.1	Struktur eines GPS	7
2.1.2	Methoden und Werkzeuge	9
2.2	Industrie 4.0.....	12
2.2.1	Potenziale durch die Industrie 4.0.....	14
2.2.2	Charakteristische Eigenschaften von CPS	15
2.3	Bestehende Ansätze zur Verknüpfung von GPS und Industrie 4.0	18
2.4	Eigenschaften von KMU	23
3	Konzeptentwicklung	26
3.1	AP 1: Anforderungsermittlung sowie Kategorisierung von GPS-Methoden und Industrie 4.0-Lösungen	26
3.1.1	AP 1.1: Kategorisierung von GPS-Methoden.....	27
3.1.2	AP 1.2: Kategorisierung von Industrie 4.0-Lösungen.....	28
3.1.3	AP 1.3: Ermittlung der Anforderungen von KMU an Konzipierung und Auswahlssystematik von GaProSys 4.0-Methoden mithilfe leitfadengestützter Experteninterviews.....	30
3.2	AP 2: Erarbeitung einer Synergiematrix von GPS-Methoden und Industrie 4.0-Lösungen.....	33
3.3	AP 3: Definition von GaProSys 4.0-Methoden und Bewertung des Einflusses auf unternehmerische Zieldimensionen.....	38
3.3.1	Standardisierte Beschreibungsmethodik.....	38
3.3.2	Methodenentwicklung	42
3.3.3	Analyse der Korrelation der GaProSys 4.0-Methoden untereinander.....	47
3.4	AP 4: Ermittlung erforderlicher Rahmenbedingungen in KMU zur Umsetzung von GaProSys 4.0-Methoden	51

3.4.1	Typologie zur Charakterisierung der unternehmensspezifischen Rahmenbedingungen.....	51
3.4.2	Bewertung der GaProSys 4.0-Methoden hinsichtlich der Eignung für unterschiedliche Rahmenbedingungen.....	57
3.5	AP 5: Auswahlssystematik für GaProSys 4.0-Methoden.....	61
3.5.1	Grobkonzept einer Auswahlssystematik auf Basis der erarbeiteten Typologie	61
3.5.2	Feinplanung der Auswahlssystematik	64
3.5.3	Umsetzung der Auswahlssystematik in ein Softwaretool.....	66
3.6	AP 6: Umsetzung und Validierung der Auswahlssystematik	68
4	Zusammenfassung der Forschungsergebnisse und Ausblick	78
5	Bewertung des Einzelfinanzierungsplans	81
5.1	Forschungsstelle 1 (IFU)	81
5.2	Forschungsstelle 2 (RIF)	83
6	Erläuterung der Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit	86
7	Wissenschaftlich-technischer und wirtschaftlicher Nutzen für Unternehmen, insbesondere KMU.....	87
8	Ergebnistransfer in die Wirtschaft	89
8.1	Durchgeführte Transfermaßnahmen	89
8.2	Bewertung des Ergebnistransfers in die Wirtschaft.....	90
9	Literaturverzeichnis.....	92
10	Anhang.....	105

Abkürzungsverzeichnis

AP	Arbeitspakete
CPPS	Cyber-Physische Produktionssysteme
CPS	Cyber-Physische Systeme
GUI	Graphical User Interface (Grafische Benutzeroberfläche)
GPS	Ganzheitliche Produktionssysteme
IKT	Informations- und Kommunikationstechnologien
KMU	Kleine und mittlere Unternehmen
KVP	Kontinuierlicher Verbesserungsprozess
i.d.R	In der Regel
M2M	Maschine-zu-Maschine-Kommunikation
MMI	Mensch-Maschine-Interaktion

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1-1: Übersicht des Forschungsdesigns und der Arbeitspakete	6
Abbildung 2-1: Aufbau und Struktur eines GPS (VDI 2870 Blatt 1)	8
Abbildung 2-2: Historische Einordnung der vierten industriellen Revolution (Kagermann et al. 2012)	13
Abbildung 2-3: Potenziale der Industrie 4.0 (Roth 2016)	14
Abbildung 2-4: Struktur cyber-physischer Systeme (i. A. a. Lee und Seshia 2017; Deindl 2013) ..	16
Abbildung 2-5: Öffnung der Automatisierungspyramide durch die CPS-basierte Automation (VDI und VDI/VDE-Gesellschaft 2013).....	17
Abbildung 2-6: Übersicht ausgewählter KMU-Definition 1 (Hefermehl 2018), 2 (Europäische Kommission 2003) 3 (IfM 2019), 4 (Becker et al. 2007).....	23
Abbildung 2-7: Auswahl qualitativer Merkmale von KMU nach Pfohl (2013b)	24
Abbildung 3-1: Industrie 4.0-Funktionen (i. A. a. Hölczi et al. 2016)	30
Abbildung 3-2: Ergebnis der Expertenbefragungen	32
Abbildung 3-3: Vorgehensweise zur Ermittlung der Synergiematrix	34
Abbildung 3-4: Intelligenter Supermarkt und dynamischer Milkrun.....	49
Abbildung 3-5: RFID-Kanban und dynamischer Milkrun	50
Abbildung 3-6: Auszug aus den Synergien zwischen den Methoden	51
Abbildung 3-7: Durchgeführte Arbeiten zur Erstellung der Typologie	52
Abbildung 3-8: Typologie der Auswahlssystematik	56
Abbildung 3-9: Beispielhafte Spezifizierung der Rahmenbedingungen auf die Typologien	57
Abbildung 3-10: Merkmalsabhängige Bewertungen einzelner GaProSys 4.0-Methoden (Teilausschnitt).....	61
Abbildung 3-11: Grobkonzept der Auswahlssystematik	62
Abbildung 3-12: Startfenster des Softwaretools und Aufbau der Eingabefenster	67
Abbildung 3-13: Ergebnisausgabe	68
Abbildung 3-14: Auswahlssystematik und Konzept zur Entwicklung eigener GaProSys 4.0-Methoden	70
Abbildung 3-15: Ergebnis der Auswahlssystematik eines partizipierenden Unternehmens	71

Abbildung 3-16: Vorgehen zur Entwicklung eigener GaProSys 4.0-Methoden	73
Abbildung 3-17: Potenziale der Industrie 4.0-Funktionen für das Cardboard Engineering	75
Abbildung 3-18: Konzeptbild des virtuellen Cardboard Engineerings	76
Abbildung 3-19: Validierungsergebnisse	77

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1-1: Übersicht der Potenziale der Industrie 4.0 (Bauernhansl 2014)	2
Tabelle 2-1: Literaturstudie Wechselwirkung GPS und Industrie 4.0.....	18
Tabelle 2-2: Forschungsprojekte zur Kombination von GPS und Industrie 4.0	20
Tabelle 3-1: Synergiematrix	35
Tabelle 3-2: Formblatt zur Beschreibung der GaProSys 4.0-Methoden	38
Tabelle 3-3: GaProSys 4.0-Methode Jidoka 4.0	45
Tabelle 5-1: Übersicht über beantragte Zuwendungen.....	82
Tabelle 5-2: Übersicht über vorhabenbezogene Aufwendungen der Wirtschaft (vAW).....	82
Tabelle 5-3: Übersicht über beantragte Zuwendungen.....	84
Tabelle 5-4: Übersicht über vorhabenbezogene Aufwendungen der Wirtschaft (vAW).....	84
Tabelle 6-1: Projektverlauf	86
Tabelle 8-1: Übersicht durchgeführter Transfermaßnahmen	89
Tabelle 10-1: Synergien zwischen GPS-Methoden und Industrie 4.0-Funktionen.....	105
Tabelle 10-2: GaProSys 4.0-Methode „Dynamischer Milkrun“	106
Tabelle 10-3: GaProSys 4.0-Methode „Intelligenter Supermarkt“	110
Tabelle 10-4: GaProSys 4.0-Methode „RFID-Kanban“	113
Tabelle 10-5: GaProSys 4.0-Methode „Additive JIT-Fertigung“	116
Tabelle 10-6: GaProSys 4.0-Methode „e-SFM“	119
Tabelle 10-7: GaProSys 4.0-Methode „JIDOKA 4.0“	122
Tabelle 10-8: GaProSys 4.0-Methode „Prozessstandardisierung 4.0“	125
Tabelle 10-9: GaProSys 4.0-Methode „Digital unterstütztes TPM“	128
Tabelle 10-10: GaProSys 4.0-Methode „Ishikawa 4.0“	131
Tabelle 10-11: GaProSys 4.0-Methode „Sensordatenbasierte QRK“	134
Tabelle 10-12: GaProSys 4.0-Methode „Dynamische Wertstromanalyse“	137
Tabelle 10-13: GaProSys 4.0-Methode „AR-Cardboard Engineering“	142

1 Einleitung

1.1 Wissenschaftlich-technische und wirtschaftliche Problemstellung

Im Zuge der Globalisierung sieht sich die deutsche Industrie als Hochlohn-Produktionsstandort den Anforderungen gegenübergestellt, die Produktivität zu erhöhen und die Kosten zu senken (Dombrowski und Schmidtchen 2010). Um den steigenden Anforderungen gerecht zu werden, wurden in der Vergangenheit vielfach Ganzheitliche Produktionssysteme (GPS) eingeführt, die als Basis für Prozessverbesserungen dienen und damit einhergehend die Steigerung der Wettbewerbsfähigkeit von Unternehmen ermöglichen (VDI 2870 Blatt 1). GPS sind mittlerweile in allen Branchen etabliert (Kuhlang et al. 2014; Dombrowski 2014) und haben durch ihre hohe Verbreitung bereits einen Industriestandard erreicht (VDI 2870 Blatt 1; VDI 2870 Blatt 2).

GPS werden als „ein unternehmensspezifisches, methodisches Regelwerk für die kontinuierliche Ausrichtung sämtlicher Unternehmensprozesse am Kunden“ beschrieben (VDI 2870 Blatt 1) und verfolgen das Ziel, systematisch und kontinuierlich nichtwertschöpfende Tätigkeiten zu vermeiden bzw. zu reduzieren. GPS können als Erweiterung des Lean Ansatzes gesehen werden, da zusätzliche Elemente aus dem Taylorismus und Konzepte zu innovativen Arbeitsformen integriert werden (Spath 2003). Nach der Überführung in die Betriebsphase kann ein GPS mit einem hohen Reifegrad lediglich durch die Umsetzung eines kleinschrittigen Kontinuierlichen Verbesserungsprozesses (KVP) verbessert werden, da die organisatorischen Rahmenbedingungen bereits implementiert wurden. Signifikante Potenziale für weitere Prozessverbesserungen werden dem technologisch getriebenen Ansatz der Industrie 4.0 zugeschrieben, der in den letzten Jahren stark an Bedeutung gewonnen hat (Dombrowski und Richter 2016; Bauernhansl 2014).

Mit dem Begriff der **Industrie 4.0** sind am Industriestandort Deutschland zahlreiche Entwicklungsperspektiven verbunden. Ganz allgemein betrachtet wird dabei das Zusammenwachsen realer und virtueller Produktionswelten bezeichnet (Ittermann et al. 2015). Hierbei spielt die Auffassung der Industrie 4.0 als „echtzeitfähige, intelligente, horizontale und vertikale Vernetzung von Menschen, Maschinen und Objekten durch Informations- und Kommunikationstechnologien (IKT)“ (Bauer und Horváth 2015) eine zentrale Rolle. Übertragen auf den Produktionsbereich sollen u. a. durch den Einsatz und die Vernetzung von Cyber-Physischen Systemen (CPS), wie bspw. eingebettete Systeme (engl. embedded systems), sogenannte Cyber-Physische Produktionssysteme (CPPS) entstehen (Siepmann und Graef 2016). Durch die Umsetzung der neuen Technologien in der Produktion und die Überführung in eine Unternehmensvision entsteht Industrie 4.0 (Siepmann und Graef 2016).

Mit der Implementierung der Industrie 4.0 werden große Potenziale in allen Bereichen des Produktionssystems verknüpft (Koch et al. 2014). Neben der detaillierten Analyse einzelner qualitativer Optimierungspotenziale, bspw. in Bezug auf den Mitarbeiter im Rahmen der Ergonomie (vgl. Deuse et al. 2015b), existiert eine quantitative Abschätzung der Kostenpotenziale nach Bauernhansl (2014), die die Reichweite und Stärke der Erwartungen an die Industrie 4.0 verdeutlicht, siehe Tabelle 1-1.

Tabelle 1-1: Übersicht der Potenziale der Industrie 4.0 (Bauernhansl 2014)

Kosten	Effekte	Potenziale
Bestandskosten	• Reduzierung der Sicherheitsbestände • Vermeidung von Bullwhip- und Burbridge-Effekt	-30 % bis -40 %
Fertigungskosten	• Verbesserung der OEE • Prozessregelkreise • Verbesserung vertikaler und horizontaler Personalflexibilität	-10 % bis -20 %
Logistikkosten	• Erhöhter Automatisierungsgrad (milkrun, picking)	-10 % bis -20 %
Komplexitätskosten	• Erweiterung Leitungsspannen • Reduktion des Troubleshootings	-60 % bis -70 %
Qualitätskosten	• Echtzeitnahe Qualitätsregelkreise	-10 % bis -20 %
Instandhaltungskosten	• Optimierung der Lagerbestände von Ersatzteilen • Zustandsorientierte Wartung • Dynamische Priorisierung	-20 % bis -30 %

Neben den Kosteneinsparungspotenzialen entstehen weitere Potenziale, die typischerweise durch die Einführung eines GPS verfolgt werden. Hierbei sind insbesondere Flexibilisierung, Kundenzufriedenheit und Lieferzeit von großer Bedeutung (Dombrowski et al. 2015b). Langfristig kann davon ausgegangen werden, dass durch die zielgerichtete Implementierung von Industrie 4.0 in GPS eine umfassende Individualisierung der Kundenwünsche zu Preisen von Massenprodukten realisierbar ist – die „Mass Customization“ (Kagermann 2013).

Hemmnisse von KMU bei der Umsetzung der Industrie 4.0

Trotz der prognostizierten Potenziale, zeigen aktuelle Umfrageergebnisse, dass sich Unternehmen zwar intensiv mit Industrie 4.0 beschäftigen, insbesondere KMU aber bislang kaum mit der Umsetzung begonnen haben (Jeske et al. 2016; Techconsult 2015; Experton Group AG 2014). Die Ursachen hierfür sind vielfältig. Seitens der KMU werden häufig die thematische Komplexität und hohe Investitionskosten in Bezug auf die Einführung der Industrie 4.0 genannt (Jeske et al. 2016;

Experton Group AG 2014; Techconsult 2015). Außerdem besteht die Industrie 4.0 häufig aus abstrakten Zukunftsvisionen und bestehende Technologien, die adaptiert werden könnten, werden durch einen heterogenen und intransparenten Markt geprägt (Experton Group AG 2014; Wöstmann et al. 2016). Daher wird Unternehmen der Zugang zur Industrie 4.0 erschwert. Da KMU im Vergleich zu Großunternehmen deutlich beschränkter in Bezug auf verfügbare Ressourcen und strategische Handlungsfähigkeit sind (Hirsch-Kreinsen 2012) resultieren für diese Unternehmen besondere Herausforderungen. Dazu zählen nach BMWi (2015) u. a.:

- Hohe Investitionen
- Geringe Ressourcenverfügbarkeit
- Mangelnde Qualifikation/Kompetenzen
- Unzureichende Nutzentransparenz
- Mangelnde Potenzialabschätzung
- Fehlende Koordination bei der Implementierung

Somit weisen insbesondere KMU, die den Motor der deutschen Wirtschaft darstellen (Söllner 2014), eine schlechte Ausgangslage für die Einführung von Industrie 4.0 auf, obwohl diese das Nutzenpotenzial für das eigene Unternehmen als hoch bewerten (Jeske et al. 2016).

Weiterhin stehen Unternehmen nach der Auswahl geeigneter technischer Industrie 4.0-Lösungsansätze bei der Einführung von vernetzten IKT vor großen Herausforderungen. Hierzu zählen u. a. das Schaffen entsprechender soziotechnischer und organisatorischer Rahmenbedingungen, was zur erfolgreichen Umsetzung von Industrie 4.0 unerlässlich ist (Deuse et al. 2015a), sowie die Abschätzung von Potenzialen und Risiken. Erschwerend kommt hinzu, dass CPPS in den seltensten Fällen auf der „grünen Wiese“ eingeführt werden können und demnach immer auch das bestehende GPS mit dessen unternehmensspezifischen Strukturen berücksichtigt werden muss. Dementsprechend ist im Rahmen der Gestaltung und Implementierung von Industrie 4.0-Lösungen eine Reorganisation der Unternehmens- und Produktionsprozesse zu berücksichtigen (Dombrowski und Richter 2016; Leyh und Bley 2016), wodurch die Gestaltung und Lenkung von GPS auf derzeit unerforschte Art und Weise beeinflusst wird. Aus diesem Grund ist es für diese Unternehmen existenziell, die prognostizierten Potenziale auf das eigene Unternehmen übertragen und bewerten sowie Lösungen zielgerichtet auswählen und implementieren zu können.

Potenziale der Verknüpfung von GPS mit Industrie 4.0

Der Verknüpfung von GPS mit der Industrie 4.0 werden maßgeblich zwei Potenziale zugerechnet. Einerseits können aus Sicht der GPS durch die zunehmende Vernetzung und die Entwicklung neuer Technologien im Kontext von Industrie 4.0 neue Chancen und Potenziale realisiert werden. Andererseits bildet ein GPS durch eine schlanke und effiziente Prozessgestaltung die Grundlage für die erfolgreiche Implementierung von Industrie 4.0 (Dombrowski und Richter 2016).

Sind Prozesse eines Unternehmens nicht effizient gestaltet und nicht eindeutig definiert, führt dies im Sinne des Lean-Gedankens zu Verschwendungen. Werden diese Prozesse in die Industrie 4.0 Umgebung adaptiert, so bleiben die Prozesse auch im Umfeld von Industrie 4.0 in den meisten Fällen ineffizient.

“Automation applied to an inefficient operation will magnify the inefficiency.”

(Bill Gates, Microsoft Corporation)

Es wird daher erwartet, dass aus der Verknüpfung von GPS mit der Industrie 4.0 weitere Potenziale realisierbar werden, die über die bisher isolierte Betrachtung dieser Bereiche hinausgehen. Somit ist es erforderlich, eine integrierte Betrachtung von GPS und der Industrie 4.0 durchzuführen. Allerdings gibt es bisher keinen integrierten Ansatz, welcher, insbesondere KMU, bei der Einführung und Umsetzung eines GPS in Verbindung mit der Industrie 4.0, als disruptive Innovation der jüngeren Zeit, unterstützt. Diese Forschungslücke sollte, da sie sowohl aus wissenschaftlicher als auch industrieller Perspektive von hoher Relevanz ist, erforscht und geschlossen werden.

1.2 Forschungsziel

Ziel dieses Forschungsvorhabens ist die Entwicklung einer Systematik, welche die Implementierung eines integrierten methodischen (GPS) sowie technologischen Ansatzes (Industrie 4.0) in Form von GaProSys 4.0-Methoden unterstützt und bei der Restrukturierung der Unternehmens- und Produktionsprozesse Hilfestellung leistet. Dabei sind insbesondere die spezifischen Herausforderungen von KMU zu berücksichtigen, um diese Unternehmen ebenfalls bei der Steigerung der Wettbewerbsfähigkeit und der Innovation zu unterstützen. Außerdem soll das Vorhaben sowohl Unternehmen mit als auch ohne Vorerfahrungen im Kontext von GPS unterstützen.

Der konkrete Nutzen für KMU ist die Verbesserung der Produktionsprozesse (Fertigungs-, Füge-, Qualitäts-, Logistik-, Handhabungs-, und Instandhaltungsprozesse) durch die systematische und strukturierte Bewertung und Implementierung eines integrierten methodischen und technologischen Ansatzes (GaProSys 4.0). Hierzu werden in diesem Forschungsvorhaben GaProSys 4.0-Methoden inklusive einer Auswahlssystematik entwickelt, die speziell KMU die systematisierte und zielorientierte Implementierung von GPS-Methoden, kombiniert mit Industrie 4.0-Lösungen, ermöglichen. Die zu Grunde liegende Auswahlssystematik wird in ein Software-Tool überführt, welches intuitiv zu bedienen ist und den Anwender durch die Eingabe von Rahmenbedingungen und relevanten Inputgrößen leitet. Anhand dieser Inputgrößen werden dem Anwender verschiedene Methoden mit einer entsprechenden Potenzial-/ und Risikoabschätzung vorgeschlagen. Zudem wird auf andere GaProSys 4.0-Methoden verwiesen, die ebenfalls implementiert werden können, um den Nutzen des gesamten GaProSys 4.0 zu erhöhen. Dem Anwender wird somit ein Tool bereitgestellt,

das bei der Konfiguration des individuellen GaProSys 4.0 anhand der unternehmensspezifischen Rahmenbedingungen unterstützt.

1.3 Lösungsweg

Aufgrund der Komplexität und der thematischen Spannweite des Forschungsvorhabens sind Kompetenzen im Bereich Prozess- und Organisationsgestaltung sowie technologische Kompetenzen im Bereich der Industrie 4.0 zur erfolgreichen Bearbeitung erforderlich. Daher erfolgt die Erarbeitung der definierten Zielsetzung in Kooperation von zwei Forschungsinstituten, dem Institut für Fabrikbetriebslehre und Unternehmensforschung (IFU) der TU Braunschweig und dem RIF Institut für Forschung und Transfer e.V. (RIF). Die beiden Forschungsinstitute bringen ihre fachliche Expertise gemäß ihrer Forschungs- und Industriearbeiten in das Projekt ein.

In Abbildung 1-1 ist die Übersicht des Forschungsdesigns und der Arbeitspakete dargestellt. In Anlehnung an die zuvor definierte Zielsetzung wird das Vorgehen in sieben Arbeitspakete gegliedert. Das Arbeitspaket (AP) 1 dient der Analyse und Kategorisierung von Methoden der GPS und der Industrie 4.0. Im Zuge dessen werden die wissenschaftliche Grundlage des Vorhabens sichergestellt und ein geeigneter Ansatz zur Kombination der beiden Themenfelder erarbeitet. Zusätzlich werden in diesem AP Anforderungen aus Industrie und Wissenschaft an das Gesamtvorhaben auf Basis einer Literaturrecherche und anhand von Expertengesprächen abgeleitet. In AP 2 werden die Synergien der zuvor gebildeten Kategorien von GPS und der Industrie 4.0 anhand geeigneter Kriterien analysiert und bewertet. In AP 3 werden darauf aufbauend GaProSys 4.0-Methoden definiert, die beide Themenfelder miteinander vereinen. Anschließend werden diese hinsichtlich ihrer Auswirkungen auf die Zieldimensionen des Unternehmens bewertet. Das AP 4 dient der Ermittlung der erforderlichen Rahmenbedingungen, die insbesondere in KMU geschaffen werden müssen, um die Methoden zielgerichtet und effizient anwenden zu können. In AP 5 wird darauf aufbauend eine Auswahlssystematik erstellt, welche die Unternehmen befähigen soll, auf Basis ihrer gegebenen Rahmenbedingungen, geeignete GaProSys 4.0-Methoden auszuwählen und eine entsprechende Nutzen-Risiko-Abschätzung vorzunehmen. Abschließend wird in AP 6 ein Implementierungsleitfaden zur Umsetzung der Ergebnisse in KMU erarbeitet. Darüber hinaus erfolgt die Umsetzung der Forschungsergebnisse, insbesondere der entwickelten Auswahlssystematik, bei Mitgliedern des Projektbegleitenden Ausschusses. Das Projektmanagement, die Validierung und die Öffentlichkeitsarbeit erfolgen projektbegleitend in AP 7.

Hervorzuheben ist, dass die Bearbeitung der einzelnen AP und die Erarbeitung der Forschungsergebnisse stets in enger Kooperation der beiden Forschungsinstitute erfolgt. Die jeweiligen Themenschwerpunkte der Forschungsinstitute innerhalb der AP ist in Abbildung 1-1 farblich dargestellt.

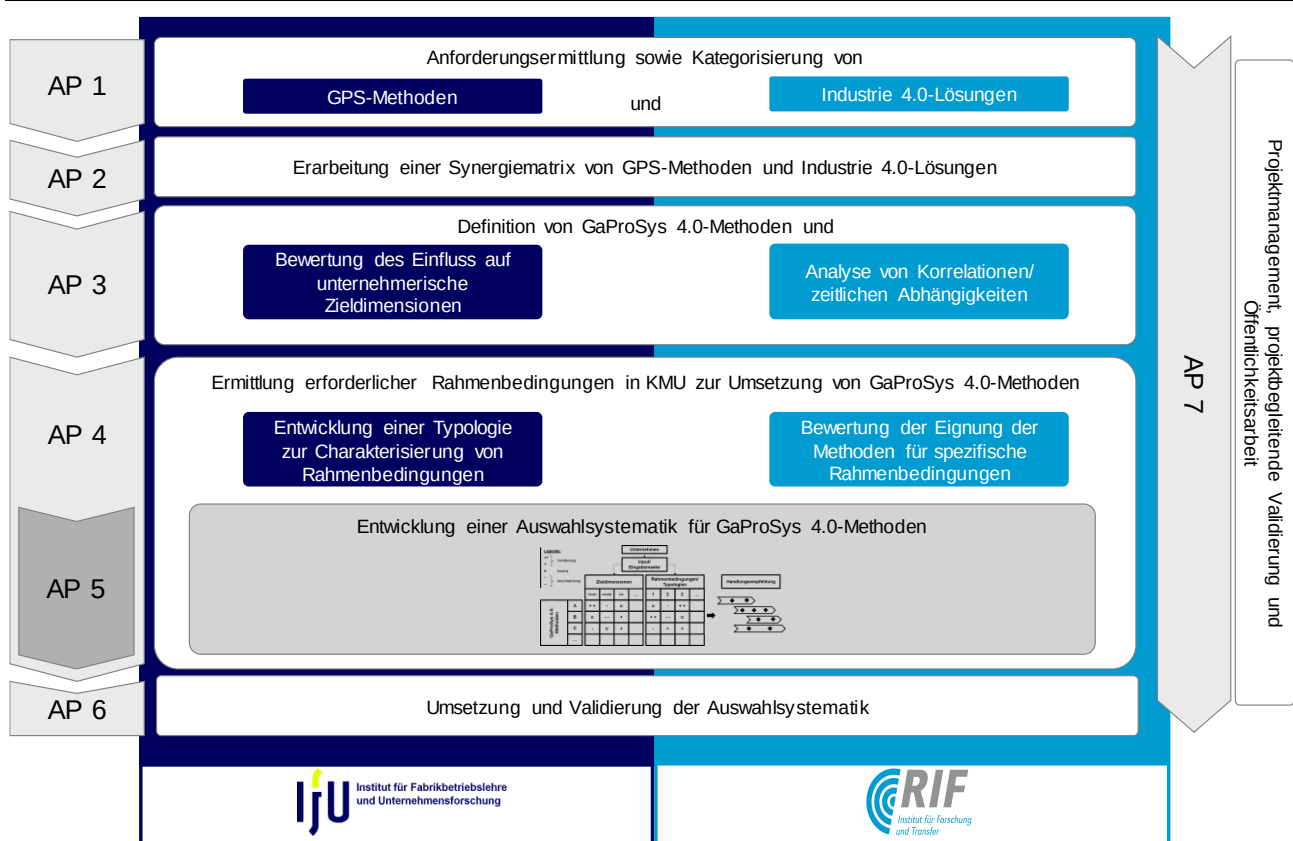


Abbildung 1-1: Übersicht des Forschungsdesigns und der Arbeitspakete

2 Stand der Wissenschaft

In diesem Kapitel wird der aktuelle Stand der Wissenschaft bezüglich der Themenbereiche GPS und Industrie 4.0 beschrieben. Nach dieser zunächst isolierten Betrachtung werden im Anschluss bestehende Ansätze zur Verknüpfung von GPS und Industrie 4.0 analysiert und Wechselwirkungen aufgezeigt. Den Abschluss dieses Kapitels bildet eine Zusammenfassung spezifischer Eigenschaften von KMU, die in der Anforderungsdefinition und Konzeptentwicklung (Kapitel 3) zu berücksichtigen sind.

2.1 Ganzheitliche Produktionssysteme (GPS)

Der Begriff GPS wurde in Deutschland für unternehmensspezifische Produktionssysteme mit Elementen der Lean Production etabliert. Die VDI 2870-1 definierte diesen Begriff als ein „unternehmensspezifisches, methodisches Regelwerk zur umfassenden und durchgängigen Gestaltung der Unternehmensprozesse“ (VDI 2870 Blatt 1). Damit adressiert die Definition die Fehlinterpretation, durch die vorige Umsetzungen von einzelnen Methoden der Lean Production ohne eine ganzheitliche Abstimmung des Produktionssystems nicht zum erwünschten, nachhaltigen Erfolg führten. Gleiches mussten Unternehmen spüren, welche versuchten das Toyota-Produktionssystem zu kopieren, ohne dabei auf die Differenzen zwischen den Unternehmen zu achten. In einem GPS sind alle Prozesse, durch die Nutzung von geeigneten Methoden, auf die Unternehmensziele ausgerichtet.

2.1.1 Struktur eines GPS

Per Definition sind GPS stets unternehmensspezifisch, allerdings konnte anhand einer Analyse von unterschiedlichen GPS ein strukturell ähnlicher Aufbau von GPS identifiziert werden, welcher in die Konzeption des allgemeingültigen GPS-Aufbaus der VDI2870-1 einfluss (Dombrowski und Mielke 2015). Elemente dieses Konstrukts sind Ziele, Unternehmensprozesse, Gestaltungsprinzipien, Methoden und Werkzeuge. Abbildung 2-1 zeigt die hierarchische Struktur dieser Elemente. Die Struktur ermöglicht eine umfassende und durchgängige Ausrichtung des GPS an die spezifischen Unternehmensziele und kommt dadurch der Forderung nach einer ganzheitlichen Ausrichtung des Produktionssystems nach.

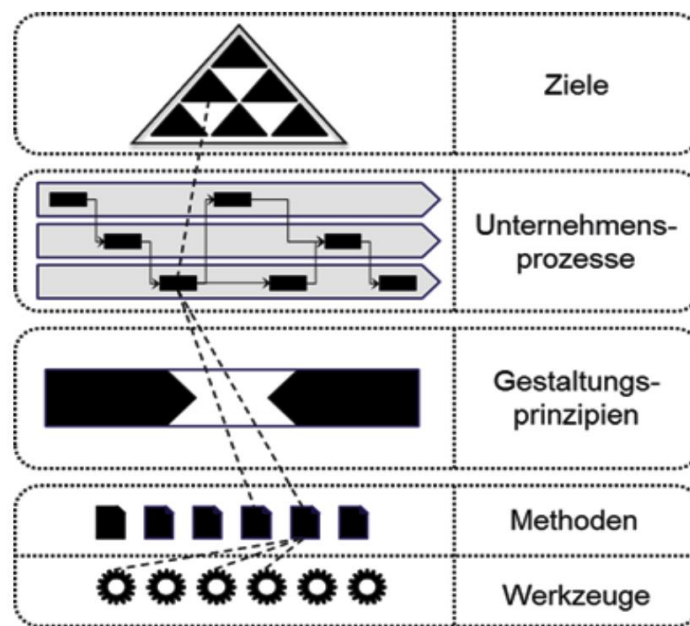


Abbildung 2-1: Aufbau und Struktur eines GPS (VDI 2870 Blatt 1)

Im Folgenden wird kurz auf die Elemente des GPS-Aufbaus eingegangen:

Ziele

Zur Konzeption eines GPS müssen die Ziele definiert werden, welche es zu Erfüllen gilt. Die Ziele werden aus den Unternehmenswerten, respektive der daraus entstehenden Unternehmensstrategie abgeleitet. Im Bezug zu einem Produktionssystem werden zumeist die Zielgrößen Qualität, Kosten und Zeit betrachtet (Kletti und Schumacher 2014; Burgess et al. 1998).

Unternehmensprozesse

Die Unternehmensprozesse müssen an die zuvor bestimmten Ziele angepasst bzw. abgestimmt werden. Im Kontext eines GPS wird es als wichtig angesehen, ein prozessorientiertes Unternehmensmodell zu entwickeln, um einen hohen Koordinationsaufwand, geringe Kundenorientierung und unklare Zuständigkeiten zu vermeiden.

Gestaltungsprinzipien

Gestaltungsprinzipien sind unternehmensindividuell definiert und enthalten Methoden und Werkzeuge, welche die jeweiligen Prinzipien unterstützen. Die VDI 2870-1 listet Gestaltungsprinzipien auf, welche in Kapitel 2.1.2 näher erläutert werden.

Methoden und Werkzeuge

Methoden und Werkzeuge sind zur Zielerreichung der einzelnen Prozesse notwendig. Es wird unterschieden zwischen Methoden, welche standardisierte Vorgehensweisen darstellen, die einem Gestaltungsprinzip dienen, und einem Werkzeug. Ein Werkzeug ist ein standardisiertes, physisches

Mittel, das zur Anwendung einer Methode notwendig ist. Werkzeuge können daher wiederum Methoden zugeordnet werden. Spezifische Methoden werden im Kapitel 2.1.2 näher beschrieben.

Methoden und Werkzeuge stellen die kleinste Einheit in der Struktur eines GPS dar und sind der ausführbare Teil eines Produktionssystems zur Erreichung der Ziele, die für die einzelnen Unternehmensprozesse bestimmt wurden (VDI 2870 Blatt 1). Um Verbesserungspotenziale optimal ausschöpfen zu können, sind Methoden und Werkzeuge als flexible Standards nötig. Während die Gestaltungsprinzipien einen Grundsatz darstellen, können sich die Werkzeuge kontinuierlich weiterentwickeln. Beispielsweise gewinnt das Gestaltungsprinzip „Visuelles Management“ in Zeiten der Digitalisierung an Bedeutung, da durch die zur Verfügung stehenden Datenmengen und die steigende Komplexität der Produktion, der Bedarf nach einer Reduktion des Betrachtungsumfangs und einer nutzerorientierten Darstellung der Informationen besteht. Um dies zu erzielen, kann z. B. die Methode „Shopfloormanagement“ gezielt durch Elemente der Industrie 4.0 weiterentwickelt werden. Durch die Verbesserung von Methoden können KMU so ein konkretes Mittel an die Hand gegeben werden, das skalierbar zur Verbesserung des eigenen Produktionssystems implementierbar ist. Vor diesem Hintergrund wird im Rahmen des Forschungsprojektes der methodische Ansatz gewählt und die Methoden und Werkzeuge von GPS im Folgenden näher erläutert.

2.1.2 Methoden und Werkzeuge

Die anzuwendenden Methoden und Werkzeuge werden durch die Festlegung auf unternehmens-individuelle Gestaltungsprinzipien konkretisiert, wodurch die Entwicklung eines stimmigen Gesamtsystems, bestehend aus inhaltlich ähnlichen oder verknüpften Methoden und Werkzeugen, sichergestellt wird (VDI 2870 Blatt 1). Ein Verständnis des Zusammenhangs zwischen den Gestaltungsprinzipien und den untergeordneten Methoden und Werkzeugen ist daher essentiell für die Weiterentwicklung von eben diesen Methoden und Werkzeugen.

GPS in Unternehmen entwickeln sich kontinuierlich weiter, so dass beispielsweise die Veränderung der deutschen Bevölkerungsstruktur und die wachsende Bedeutung von Gesundheit und Nachhaltigkeit für Arbeitnehmer das GPS verändern. So wurde die Relevanz von Arbeitsschutz und Ergonomie bereits von Unternehmen erkannt und teilweise als eigenständiges Gestaltungsprinzip integriert. Methoden und Werkzeuge, wie KVP-Erfassungsblätter oder die 5S-Methode, wurden um positive Wirkungen auf Ergonomie und Arbeitssicherheit ergänzt. (Dombrowski et al. 2019)

Die VDI 2870 bildet eine gute Zusammenfassung der geläufigsten Methoden und Werkzeuge und gilt insbesondere für KMU als eine praxiserprobte Basis für ihr unternehmensspezifisches GPS. Zusätzlich werden in der Richtlinie gesellschaftliche Veränderungen von GPS berücksichtigt. So findet beispielsweise aktuell eine Überarbeitung der VDI 2870 statt, mit dem Ziel, das Gestaltungsprinzip „Arbeitsschutz und Ergonomie“ als Industriestandard in GPS zu verankern

(Dombrowski et al. 2019). Vor diesem Hintergrund bietet die VDI 2870 trotz des fehlenden Anspruchs auf Vollständigkeit des Methodenkatalogs eine ideale Basis für das Forschungsvorhaben.

Im Folgenden werden daher die in der VDI 2870 gewählten Gestaltungsprinzipien näher beschrieben. Am Ende von jedem Gestaltungsprinzip werden dazugehörige Methoden und Werkzeuge exemplarisch aufgelistet. Weitere Details zu den Methoden liefert die VDI 2870.

Standardisierung

Standardisierung bezeichnet die Identifikation und anschließende Definition von wiederkehrenden Arbeitsinhalten technischer sowie organisatorischer Natur. Das übergeordnete Ziel ist es, einen Mechanismus von Unternehmensprozessen zu gestalten, um Abweichungen zwischen Soll- und Ist-Zuständen zu minimieren. Erwähnenswert ist die enge Verbindung zum Gestaltungsprinzip des kontinuierlichen Verbesserungsprozesses, da die dort vorgenommenen kleinschrittigen Verbesserungen von vorherrschenden Prozessen zwangsläufig zu neuen Standards führen. Die Standardisierung stellt demnach ein Zielzustand des kontinuierlichen Verbesserungsprozesses dar. Geeignete Werkzeuge und Methoden zur Umsetzung des Gestaltungsprinzip Standardisierung sind 5S und Prozessstandardisierung. (VDI 2870 Blatt 1), (Öno 2013), (Bertagnolli 2018)

Null-Fehler-Prinzip

Das Ziel des Null-Fehler-Prinzips ist die Minimierung auftretender Fehler bei der Durchführung von Unternehmensprozessen, sodass fehlerhafte Produkte ausfindig gemacht werden können und den Kunden gar nicht erst erreichen. Hierzu bildet das Qualitätsmanagement sämtlicher Unternehmensprozesse sowie -produkte den Mittelpunkt des Gestaltungsprinzips. Mit zehn untergeordneten Methoden stellt das Null-Fehler-Prinzip im Rahmen der VDI 2870 das umfangreichste Gestaltungsprinzip dar. Die zehn Methoden und Werkzeuge sind 5x Warum, 8D-Report, A3-Methode, Autonomation, Ishikawa-Diagramm, Kurze Regelkreise, Poka-Yoke, Six Sigma, Statistische Prozessregelung, Werker selbstkontrolle. (VDI 2870 Blatt 1)

Visuelles Management

Ein übergeordnetes Ziel von GPS ist es, die vorherrschenden Unternehmensprozesse aufeinander abzustimmen und auf die effiziente Erreichung der Unternehmensziele hin anzugleichen. Visuelles Management besteht vor dem Hintergrund, die dabei auftretenden Diskrepanzen zwischen dem Sollzustand und dem real existierenden Istzustand zu schließen. Essentiell hierfür ist ein durchgängiger und transparenter Informationsfluss zwischen unterschiedlichen Ebenen eines Unternehmens. Zielführend hierfür ist der Einsatz der Methoden Andon und Shopfloormanagement. (Dombrowski und Mielke 2015; VDI 2870 Blatt 1)

Kontinuierlicher Verbesserungsprozess

Der KVP, der im japanischen als Kaizen bezeichnet wird, ist fest im Grundgedanken von GPS verankert. Der vorherrschende Innovationsdruck zwischen Wettbewerbern führt zwangsläufig zu einer notwendigen Verbesserung der Unternehmensprodukte und -prozesse, vor allem mit Fokus auf die drei übergeordneten Zieldimensionen Zeit, Kosten und Qualität. Im Mittelpunkt des KVPs stehen die Mitarbeiter, deren aktives Mitwirken unerlässlich für eine erfolgreiche und nachhaltige Anwendung ist. Als Kernelement des Gestaltungsprinzips hat sich die Methode PDCA (Plan, Do, Check, Act), die häufig auch nach ihrem Erfinder als Deming-Zyklus bezeichnet wird, herauskristallisiert. Zu den weiteren Methoden und Werkzeugen des KVP zählen Audits, Benchmarking, Cardboard Engineering und das Ideenmanagement. (VDI 2870 Blatt 1, Imai 1996)

Mitarbeiterorientierung und zielorientierte Führung

Das Gestaltungsprinzip Mitarbeiterorientierung und zielorientierte Führung zielt auf die zentrale Idee von GPS ab, den Mitarbeiter als wichtigste Ressource des Unternehmens in den Mittelpunkt zu stellen. Keßler und Uygun (2007) konstatieren, dass in über 90 % aller unternehmensspezifischen GPS die Orientierung am Mitarbeiter als das zentrale Gestaltungsprinzip verstanden und gelebt wird. Diese Kernfunktion wird unterstrichen durch die Tatsache, dass sämtliche andere Gestaltungsprinzipien an dieses Gestaltungsprinzip angelehnt sind. Ziele, die aus der Unternehmensstrategie hervorgehen, werden im Regelfall trichterförmig bis auf den einzelnen Mitarbeiter heruntergebrochen. Hierfür kann die Methode Zielmanagement angewendet werden. Durch ein erfolgreiches Zielmanagement wird jeder Mitarbeiter aktiv an der Umsetzung der übergeordneten Unternehmensziele beteiligt. Zu den weiteren Methoden und Werkzeugen des Gestaltungsprinzips zählt die Einführung eines Hancho (japanischer Begriff für Gruppenführer). Dieser ist auf unmittelbarer Shopfloor-Ebene zuständig für ein Team von maximal zehn Mitarbeitern und unterstützt dieses in der Optimierung von Prozessen. (Bertagnolli 2018; VDI 2870 Blatt 1)

Fließprinzip

Das Fließprinzip zielt auf störungsarme, schnelle und gleichmäßige Informations- und Materialflüsse innerhalb eines Unternehmens ab. Im Hinblick auf die Effizienz der Prozesse ist es das übergeordnete Ziel des Gestaltungsprinzips, die Durchlaufzeiten so weit wie möglich zu reduzieren. Die vermutlich bekannteste Methode des Gestaltungsprinzips ist First In First Out (FIFO). Weitere Werkzeuge und Methoden sind One Piece Flow, Schnellrüsten, Wertstromplanung und U-Layout. (VDI 2870 Blatt 1)

Pull-Prinzip

Auf der tatsächlichen Kundennachfrage basierend wird beim Pull-Prinzip das nachgefragte Produkt aus dem Bestand gezogen und damit einhergehend die Nachproduktion angeregt. Unmittelbar gegenüber steht diesem Ansatz das Push-Prinzip. Hierbei wird basierend auf Absatzprognosen ein

feststehender Produktionsplan gebildet, auf dessen Basis die zu verarbeitenden Halbzeuge in die Fertigung eingesteuert werden. Ein ungleichmäßiger und zugleich hoher Bestand sowie lange Durchlaufzeiten sind die Konsequenzen. Aus dem Pull-Prinzip hingegen resultiert ein höherer Steuerungsaufwand, doch es wird eine maßgebliche Reduktion der Durchlaufzeit und eine gleichmäßige Auslastung des Bestandes ermöglicht. Zu den bekanntesten Methoden und Werkzeugen für das Pull-Prinzip zählen Just in Time/Just in Sequence, Kanban, Milkrun, Nivellierung und Supermarkt. (VDI 2870 Blatt 1; Brunner 2014)

Vermeidung von Verschwendung

Analog zum Toyota Produktionssystem kommt in GPS der Vermeidung jeglicher Verschwendung eine fundamentale Rolle zu. Im Wesentlichen zielen sämtliche untergeordnete Methoden darauf ab, die sieben Arten der Verschwendung im Unternehmen zu eliminieren. Hierzu zählen Überproduktion, Wartezeiten, Transport, unnötige Bearbeitungsschritte, Bestände, Bewegungen, Ausschuss und Nacharbeit. Chaku-Chaku, Low Cost Automation, Total Productive Maintenance und die Verschwendungsbewertung sind klassische Methoden für dieses Gestaltungsprinzip. (Brunner 2014; VDI 2870 Blatt 1)

Die Einführung von GPS führt zu erheblichen Verbesserungen der Produktivität und Rentabilität von Unternehmen, wodurch GPS heute einen zentralen Bestandteil für eine wettbewerbsfähige Produktion darstellen. Nachdem geeignete Methoden und Werkzeuge ausgewählt wurden und das unternehmensspezifische GPS in die Betriebsphase überführt ist, kann ein GPS jedoch lediglich durch die Umsetzung eines kleinschrittigen KVP verbessert werden. Wesentliche Potenziale für weitere Prozessverbesserungen werden der zielgerichteten Implementierung von Industrie 4.0 in GPS zugeschrieben.

2.2 Industrie 4.0

Die Industrie 4.0 wurde als Zukunftsprojekt und als ein Teil der Hightech-Strategie der Bundesregierung initiiert, um die Wettbewerbsfähigkeit der deutschen Industrie zu sichern und Deutschland als Leitanbieter von CPS im globalen Wettbewerb zu positionieren (Kagermann et al. 2011). Technologiesprünge haben in der Vergangenheit immer wieder zu Paradigmenwechseln geführt, die rückwirkend betrachtet als industrielle Revolutionen bezeichnet werden (Lasi et al. 2014), siehe Abbildung 2-2. Die Industrie 4.0 kennzeichnet in diesem Sinne die vierte industrielle Revolution, deren Kern der Einsatz modularer und effizienter Produktionssysteme auf Basis von CPS ist, die es ermöglichen, dass Produkte ihren Herstellungsprozess selbst steuern (Kagermann et al. 2013).

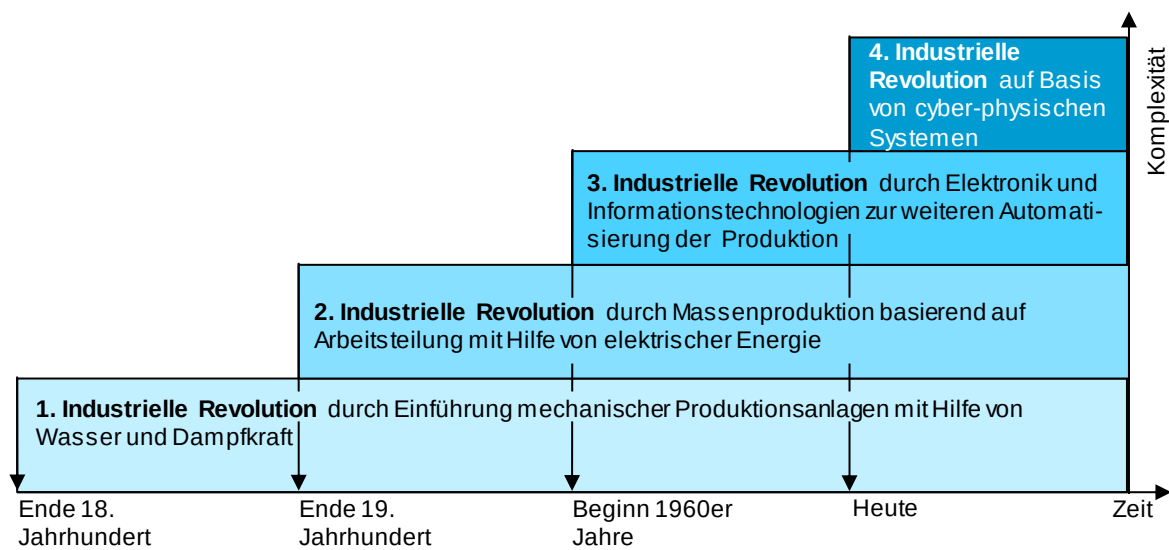


Abbildung 2-2: Historische Einordnung der vierten industriellen Revolution (Kagermann et al. 2012)

Das spezifische Begriffsverständnis der Industrie 4.0 ist jedoch sehr heterogen und im Laufe der Zeit wurde eine Vielzahl unterschiedlicher Definitionen entwickelt (Mertens et al. 2017). Daher haben sich führende Industrieverbände und ein wissenschaftlicher Beirat unter Leitung des BMWi¹ und BMBF² zur Plattform Industrie 4.0 zusammengeschlossen, um ein einheitliches Begriffsverständnis zu schaffen (Obermaier 2016). Diese Definition hat mittlerweile „einen fast offiziellen Charakter“ (Mertens et al. 2017) entwickelt und wird daher als Grundlage dieses Forschungsprojekts vorausgesetzt.

„Industrie 4.0 meint im Kern die technische Integration von CPS in die Produktion und die Logistik sowie die Anwendung des Internets der Dinge und Dienste in industriellen Prozessen – einschließlich der sich daraus ergebenden Konsequenzen für die Wertschöpfung, die Geschäftsmodelle sowie die nachgelagerten Dienstleistungen und die Arbeitsorganisation“ (Kagermann et al. 2013).

Somit gelten CPS als technische Befähiger für die Industrie 4.0, in dem sie die Kommunikation mit dem Internet der Dinge und Dienste ermöglichen. Letztlich führen sie zu einer Technologisierung der klassischen wertschöpfenden Prozesse, verändern die Arbeitsorganisation und das Zusammenspiel von Mensch und Technik nachhaltig und ermöglichen die Gestaltung neuartiger industrieller Prozesse bis hin zur Veränderung von Geschäftsmodellen und der Erschaffung neuer Dienstleistungen.

¹ BMWi steht für Bundesministerium für Wirtschaft und Energie

² BMBF steht für Bundesministerium für Bildung und Forschung

2.2.1 Potenziale durch die Industrie 4.0

Neben den in der Einleitung vorgestellten abstrakten und kostenbasierten Potenzialen der Industrie 4.0 werden nach Roth (2016) fünf maßgebliche Nutzenpotenziale für Unternehmen definiert, die auf Basis einer gezielten Umsetzung der Industrie 4.0 erreicht werden können (siehe Abbildung 2-3). Diese werden nachfolgend kurz erläutert und durch Anwendungsbeispiele veranschaulicht.

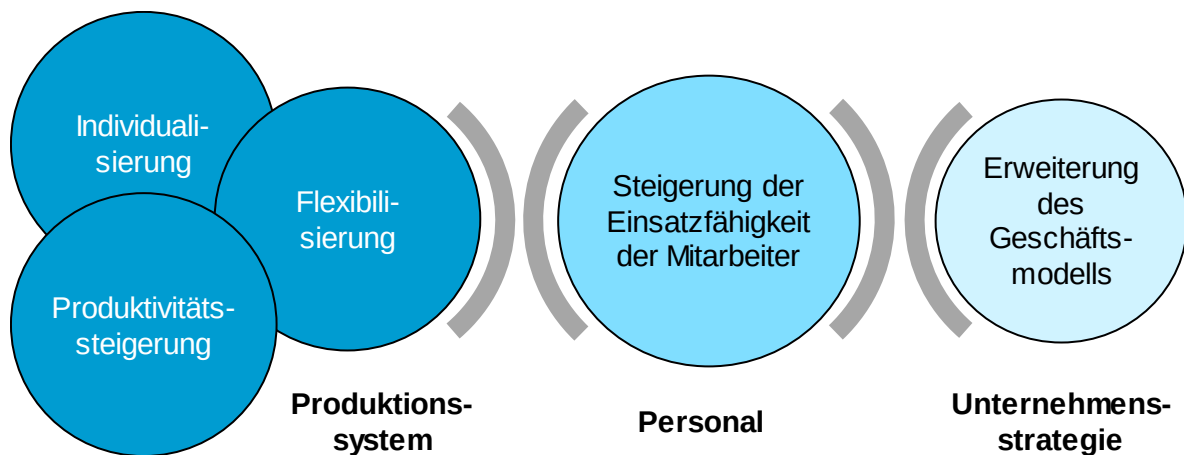


Abbildung 2-3: Potenziale der Industrie 4.0 (Roth 2016)

Der steigende Kundenwunsch nach beliebig konfigurierbaren Produkten erfordert eine **Individualisierung** von Unternehmen und ihren Prozessen. Mittels kundenspezifischer Aufträge und einer bedarfsorientierten Produktion im Kontext der Industrie 4.0 kann diesem Anspruch begegnet werden (Roth 2016). Ein Beispiel hierzu ist die Konfigurierbarkeit von Produkten über Web-Interfaces durch den Kunden und die automatisierte Überführung dieser kundenspezifischen Anforderungen in die Produktionsprozesse, indem geeignete Produktionsmodule ausgewählt bzw. Produktionsprozesse parametrisiert werden (Niggemann et al. 2014). Letztlich wird so die Produktion in Losgröße 1 bei zunehmender Variantenzahl unter Beibehaltung der Wirtschaftlichkeit ermöglicht (Büttner und Brück 2014).

Zusätzlich wird die **Flexibilisierung** als Potenzial angeführt. Diese wird u. a. durch die Implementierung und Vernetzung von CPS zur Erfassung des Produktionsfortschritts, der Bestände und der Verfügbarkeit von Maschinen unterstützt. So können ein aktuelles Statusabbild ermittelt und die dynamische Produktionsplanung und -steuerung innerhalb des Produktionssystems hin zu einem Echtzeit-Auftragsmanagement ermöglicht werden (Bochmann et al. 2016). Entscheidungsprozesse können in der Produktion und Logistik durch die gesteigerte Transparenz in Bezug auf Anlagen- und Mitarbeiterverfügbarkeiten sowie Auftrags- und Materialbestände unterstützt werden (Schagen 2018). Weiterhin ermöglichen Predictive Analytics-Ansätze eine Verkürzung der Reaktion auf Kundenanfragen (Wöstmann et al. 2017).

Ein weiteres Nutzenpotenzial ist die Steigerung der **Produktivität**. Diese kann durch die Automatisierung der Produktion und Logistik mittels CPS umgesetzt werden (Bauernhansl et al. 2014b). Doch auch die Erfassung und Analyse von Maschinen- und Produktionsdaten zur Umsetzung einer prädiktiven Instandhaltung mit dem Ziel der Vermeidung von Maschinenausfällen (Strauß et al. 2018) kann zur Steigerung der Produktivität in Bezug auf Anlagen beitragen. Weiterhin können Qualitätsprognosen aus Prozessdaten abgeleitet und so die Reduzierung von Prüfumfängen sowie die Vermeidung von Ausschuss erzielt werden (Deuse et al. 2019).

Die Unterstützung von **Personal** in komplexen oder physisch anspruchsvollen Produktionsumgebungen stellt ein weiteres Potenzialfeld dar und führt zur Steigerung der Einsatzfähigkeit von Beschäftigten. Ein Anwendungsbeispiel hierzu ist die Bereitstellung und Visualisierung von Informationen in Arbeitsprozessen mit hohem Variantenspektrum (Klinkenberg et al. 2018). So werden Mitarbeiter gezielt unterstützt, um variantenreiche Prozesse zu ermöglichen, aber auch um Weiterbildungsmaßnahmen im Sinne des Job-Enrichment und Job-Enlargement umzusetzen (Roth 2016). Physische Arbeitsassistenzen, wie kollaborierende Roboter, ermöglichen die effiziente und ergonomische Gestaltung von Prozessen (Hengstebeck et al. 2016; Stankiewicz et al. 2016). Zukünftig wird mit steigender Umsetzung der Industrie 4.0 auch ein Wandel der Arbeitsorganisation erwartet (Deuse et al. 2018). Eine erweiterte Betrachtung der Auswirkungen auf Mitarbeiter auf Basis der Elemente des Arbeitssystems wird von Dombrowski et al. (2014) aufgezeigt.

Neben den Potenzialen für das Produktionssystem und das Personal steht die Erweiterung des Leistungsportfolios sowie von **Geschäftsmodellen** mit Fokus auf dem Kunden im Vordergrund der Industrie 4.0. Dazu zählen bspw. nachgelagerte Dienstleistungen für Anlagenbauer, wie Wartungsservices auf Basis der in intelligenten Anlagen erfassten Produktions- und Prozessdaten (Schröder 2016).

Die mit der Industrie 4.0 verbundenen Potenziale werden somit neben der quantitativen Einschätzung nach Bauernhansl (2014) auch qualitativ durch diverse Forschungsarbeiten und Veröffentlichungen hervorgehoben. Die Betrachtungen sind dabei häufig technisch geprägt und anwendungsfallbasiert. Nachfolgend werden die charakteristischen Eigenschaften von CPS näher betrachtet, die die Basis für die beschriebenen Anwendungsszenarien bilden.

2.2.2 Charakteristische Eigenschaften von CPS

Nach Lee und Seshia (2017) setzt sich ein CPS aus den vier Komponenten Sensoren, Prozessoren, Aktoren und Kommunikationsschnittstellen zusammen, siehe Abbildung 2-4. Die Sensoren erfassen Informationen über Prozesse (z. B. Prozessparameter) oder die Umwelt (z. B. Umgebungstemperatur) und leiten diese an den Prozessor weiter. Dieser empfängt sowohl die Sensordaten als auch weitere Daten, die mittels Kommunikationsschnittstellen mit anderen Systemen oder Menschen ausgetauscht werden. Der Austausch kann dabei beidseitig erfolgen, d. h. es können

sowohl Daten empfangen als auch gesendet werden. Aus den empfangenen Daten werden Steuerungsbefehle abgeleitet, die an die Aktoren gesendet werden. Die Aktoren setzen die Steuerungsbefehle um und ermöglichen somit eine physische Interaktion mit der Umwelt, in dem sie mit Menschen oder anderen CPS interagieren.

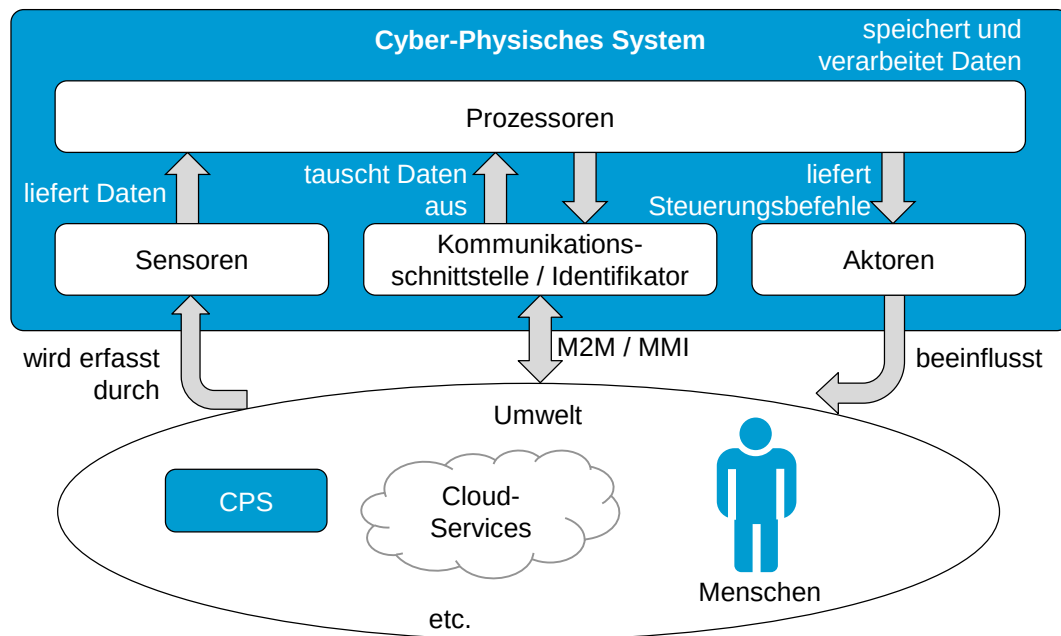


Abbildung 2-4: Struktur cyber-physischer Systeme (i. A. a. Lee und Seshia 2017; Deindl 2013)

Charakteristisch für CPS ist, dass diese aufgrund ihrer Struktur

- weitgehend ortsunabhängig,
- kontextspezifisch („Context Aware“),
- angepasst an die Erfordernisse der Anwendungssituation,
- teilautonom,
- teilautomatisiert,
- multifunktional sowie
- vernetzt und verteilt für die jeweiligen Anwender und Stakeholder

eingesetzt werden können (Geisberger und Broy 2012). Die Interaktion von CPS mit anderen Systemen kann dabei sowohl innerhalb eines Unternehmens als auch über Unternehmensgrenzen hinweg erfolgen (Vogel-Heuser et al. 2012). Letztlich führt das teilautonome Agieren von CPS zu einem Paradigmenwechsel, von der Öffnung der klassischen Automatisierungspyramide hin zu vernetzten, autonom agierenden Strukturen.

Von der Automatisierungspyramide zu einer CPS-basierten vernetzten Struktur

Bisher erfolgte die Planung und Steuerung gemäß der Automatisierungspyramide top-down von der Unternehmensleitebene über die Betriebs-, Prozess- und Steuerungsebene bis herunter zur

Feldebene, auf der sich die einzelnen Maschinen und Anlagen befinden, siehe Abbildung 2-5 (linker Teil). Die Kommunikation zwischen einzelnen Produktionseinheiten auf der Feldebene wird als horizontale Kommunikation bezeichnet. Diese erfolgt typischerweise unter Echtzeit-Bedingungen unter Berücksichtigung der Vorgaben von der Steuerungsleitebene und wird als echtzeit-kritisch betrachtet. Die Weiterleitung von Informationen, die auf der Feldebene erfasst und aufgearbeitet werden, erfolgt wiederum bottom-up. (Hoppe 2014)

Durch den Einsatz von CPS wird nun eine Öffnung der klassischen Automatisierungspyramide erwartet, da CPS eine externe und funktionsorientierte Bereitstellung von Diensten ermöglichen (VDI und VDI/VDE-Gesellschaft 2013), siehe Abbildung 2-5 (rechter Teil). Zunächst wird erwartet, dass die Steuerung mit Echtzeitanforderungen auf der Prozessebene verbleibt, um den fortlaufenden Betrieb sicherzustellen, zukünftig wird es jedoch möglich sein, die Steuerung beliebig im Netzwerk zu verteilen (VDI und VDI/VDE-Gesellschaft 2013). Da die Dienste extern bereitgestellt werden können, haben insbesondere KMU zukünftig die Möglichkeit, IT-Funktionalitäten umzusetzen, ohne die Automatisierungspyramide im eigenen Unternehmen vollumfänglich abzubilden (Bildstein und Seidelmann 2014). So kann auf die Expertise externer Lösungsanbieter zurückgegriffen und über diese die Wiederverwendbarkeit von Diensten ermöglicht werden. Somit werden zukünftig ähnliche Dienste größerer Nutzergruppen bereitgestellt, sodass Zeit und Entwicklungskosten reduziert werden (Forstner und Dümmler 2014).

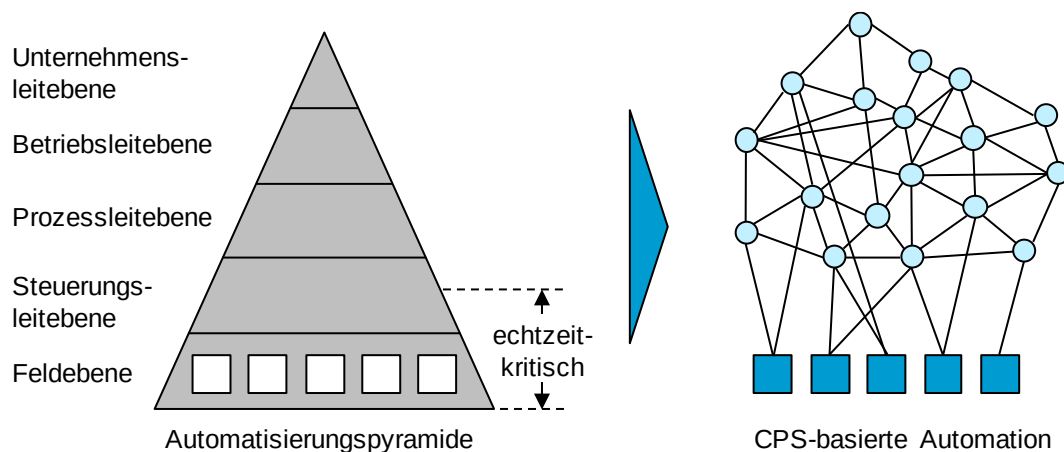


Abbildung 2-5: Öffnung der Automatisierungspyramide durch die CPS-basierte Automation (VDI und VDI/VDE-Gesellschaft 2013)

Sowohl GPS als auch die Industrie 4.0 beeinflussen die Strukturen und die Organisation von Unternehmen. Nach der Erläuterung der klassischen Struktur von GPS und der charakteristischen Eigenschaften der Industrie 4.0, gilt es bestehende Ansätze zur Verknüpfung dieser Themenfelder zu betrachten.

2.3 Bestehende Ansätze zur Verknüpfung von GPS und Industrie 4.0

Die bereits in Kapitel 1.1 und 2.2.1 aufgezeigten Potenziale der Verknüpfung von GPS und Industrie 4.0 machen eine Kombination der beiden Konzepte sinnvoll. Wenngleich bisher kein integrierter Ansatz besteht, belegen Literaturrecherchen von Dombrowski et al. (2017) die positive Wechselwirkung beider Konzepte, siehe Tabelle 2-1. Ca. 65 % der analysierten Forschungsarbeiten beschreiben explizit, dass GPS die Basis für die Industrie 4.0 bilden und eine Implementierung von Industrie 4.0 ohne GPS nicht zielführend ist. Zudem wurde gezeigt, dass die Industrie 4.0 die bestehenden GPS-Ansätze ergänzt und die Umsetzung und die Effizienz verbessern wird. Somit sind organisatorische und mitarbeiterorientierte Ansätze eines GPS und der technologische Ansatz der Industrie 4.0 gemeinsam zu betrachten, da eine Implementierung der Industrie 4.0 nur unter Berücksichtigung von GPS erfolgsversprechend ist (Dombrowski et al. 2015a; Dombrowski und Richter 2016). Des Weiteren ist davon auszugehen, dass durch die Industrie 4.0 die Methoden eines GPS erweitert und ggf. neue Methoden entwickelt werden müssen, um die erwarteten Potenziale heben zu können (Dombrowski et al. 2015a; Spath et al. 2013). Dazu wird ein konsolidierter Ansatz aus dem methodisch orientierten GPS und dem technologisch orientierten Ansatz der Industrie 4.0 benötigt. In der Literatur wird allerdings bisher nicht beschrieben, wie GPS und Industrie 4.0 in einem integrierten Ansatz zur Steigerung der Produktivität und Prozessverbesserung genutzt werden können.

Tabelle 2-1: Literaturstudie Wechselwirkung GPS und Industrie 4.0

Quelle	Aussage	GPS als Basis für Industrie 4.0	Industrie 4.0 ergänzt GPS	Industrie 4.0 steigert Effizienz von GPS	Prinzipien ändern sich
(Bauernhansl et al. 2014a)	- TPS (Toyota Produktionssystem) und Industrie 4.0 kein Widerspruch - Industrie 4.0 erweitert GPS um Dimension der Vernetzung - Auch wenn Prinzipien sich verändern baut Smart Factory auf GPS auf	x	x		x
(Becker 2015)	- CPS (Cyber-Physische Systeme) kein Konkurrenzsystem zu Lean, sondern Anreicherung um Entscheidungshilfen und höhere Effizienz - GPS als Voraussetzung für effiziente Implementierung von Industrie 4.0	x			

(Bick 2014)	• Zwei Wege zum gleichen Ziel • Lean als Basis für Industrie 4.0 • Lean erreicht Grenzen, Industrie 4.0 setzt dort an	x		x	
(Dombrowski et al. 2015b)	• Lean und Industrie 4.0 sind adaptierbar und kompatibel • Industrie 4.0 als technisch zentrierter Ansatz nur auf Grundlage von Lean Prinzipien umsetzbar	x	x		x
(Döppler 2015)	• Erfolg von Industrie 4.0 hängt von Erfahrung der Mitarbeiter mit Lean ab • Verwendet Begriff „Lean 4.0“	x			
(Gepro 16)	• Lean Basis für Industrie 4.0, sonst Neuaufgabe von Computer-Integrated Manufacturing (CIM) • Nennt firmeneigenen Ansatz „SMART LEAN“	X			
(Hasse 13)	• Industrie 4.0 erweitert Lean Werkzeugkasten • „Setzt Lean den Turbo auf“		x		
(Hofmann 2014)	• Unterschiedliche Stoßrichtung, aber gemeinsame Zielerreichung, Lean kommt an Grenzen • Lean als Basis, dann in Industrie 4.0 Bausteine erweitern • Auch schlechte Prozesse lassen sich automatisieren, jedoch nicht mit Erfolg	x	X		
(Höth 16)	• Industrie 4.0 verdrängt Lean nicht/ kein Widerspruch/ Industrie 4.0 ergänzt Lean • CPS werden zum Motor und Beschleuniger des Lean Gedankens		x	x	
(Ifp 14)	• Industrie 4.0 und Lean kein grundsätzlicher Widerspruch • Jedoch umfassende Veränderung der Umsetzung/Prinzipien				x
(Kolberg und Zühlke 2015)	• Industrie 4.0 Wiedergeburt von Lean Automation • Lean am Limit/ Industrie 4.0 bringt neue Möglichkeiten • Schon Ohno denkt Autonomation an		x		
(Netland 2015)	• Industrie 4.0 unterstützt und verstärkt Lean-Zielsetzung • Prinzipien von Lean teilweise weniger Bedeutung	x			x

(Soder 2016)	Es gilt perfektes Lean mit Industrie 4.0 zu kombinieren	x			
(Spath et al. 2013)	Kein grundsätzlicher Widerspruch zwischen Industrie 4.0 und schlanker Produktion/ können sich sehr wohl ergänzen, gehen allerdings nicht in allen Details konform		x		x
(Zuehlke 2010)	„Don't make things fat, think lean!" Create and use lean technologies now as you created a lean organization then!" - Auch Industrie 4.0 muss Lean Prinzip der Schlankheit und Verschwendungsvermeidung folgen	x			

Wie die Literaturstudie zeigt, haben sich bereits viele Autoren mit der generellen Vereinbarkeit von GPS und Industrie 4.0 beschäftigt. Neben dieser grundsätzlichen Betrachtungsweise existieren Forschungsprojekte in Wissenschaft und Industrie, die bereits die Kombination einzelner Aspekte von GPS und Industrie 4.0 untersucht und teilweise auch umgesetzt haben, siehe Tabelle 2-2. Recherchen haben über 40 Projekte identifiziert, die sich mehr oder weniger eindeutig einzelnen Prinzipien und Methoden von GPS zuordnen lassen und die bereits Funktionen der Industrie 4.0 umgesetzt haben. Der Stand der einzelnen Projekte reicht dabei von theoretischen Konzepten bis hin zu bereits in die Praxis integrierten Anwendungen.

Tabelle 2-2: Forschungsprojekte zur Kombination von GPS und Industrie 4.0

Quelle	Projektart*	Titel/ Zusammenfassung	Prinzip
(Wittenstein AG 2014)	U	Milkrun 4.0: Echtzeitfähige, verbrauchsorientierte Materialversorgung, die flexibel auf Bedarfsschwankungen reagieren kann	Pull-Prinzip
(Daimler AG 2015)	U	Fahrerloses Transportsystem bei Daimler: Individuelle Materialbereitstellung mittels autonomen Transportsystemen	Pull-Prinzip
(Huber 2016b)	U	Intelligente FTS bei BMW: Autonome Transportsysteme, die auf Bedarfe reagieren und zu Routenzügen zusammengefasst werden können	Pull-Prinzip
(SEW-EURODRIVE GmbH & Co KG 2019)	U	Intelligente Logistikassistenten: Autonome Transportsysteme, die sowohl zur Materialbereitstellung als auch als Montagehelfer verwendet werden können	Pull-Prinzip
(BLOKSMA ENGINEERING 2015)	U	Intelligenter Supermarkt: Pufferfläche mit sensorgestützter Anliefer- und Entnahmefläche, die Materialbewegungen in und aus dem Supermarkt erkennt	Pull-Prinzip

(Robert Bosch Manufacturing Solutions GmbH 2018)	U	Stock Management: Automatisches Erfassen aller Materialbewegungen in und aus dem Supermarkt sowie Integration in eine übergeordnete Logistikplattform	Pull-Prinzip
(Würth Industrie Service GmbH & Co. KG 2014)	U	iBin: Sensorgestützter Behälter der Materialentnahmen erkennt und an ein übergeordnetes Logistiksystem kommuniziert	Pull-Prinzip
(Fraunhofer-Institut für Materialfluss und Logistik IML 2019)	W	inBin: Kommunikationsfähiger Behälter der Material und Umgebung erfassen kann und in ein übergeordnetes Logistiksystem integriert ist	Pull-Prinzip
(Huber 2016a)	U	Full Manufacturing Operations Management: Softwaregestützte Ermittlung und Automatisierung von Produktionssequenzen	Pull-Prinzip
(Wittenstein AG 2014)	U	Digitale Nivellierungstafel: Dezentrale, kontextabhängige Visualisierung von anlagenspezifischen Produktionsaufträgen	Pull-Prinzip
(Bousonville 2017)	U	RFID-Kanban: Ausstattung von Kanban Karten mit RFID-Transpondern	Pull-Prinzip
(Würth Industrie Service GmbH & Co. KG 2016)	U	CPS-RFID: System zur automatisierten Nachbestellung von C-Teilen bei Unterschreiten eines definierten Mindestbestands	Pull-Prinzip
(Zienert 2014)	U	E-Kanban: System zur automatisierten Materialbereitstellung durch fahrerlose Transportsysteme bei unterschreiten eines definierten Mindestbestands	Pull-Prinzip
(Rauch et al. 2018)	W	Smart Shopfloor Management: Ermittlung von Anforderungen und zukünftigen Entwicklungen an ein digitales Shopfloor Management	Standardisierung
(Wagner et al. 2018)	W	Shopfloor Management: Konzept zur Visualisierung von KPIs des Shopfloor Managements	Standardisierung
(Dombrowski und Richter 2018)	W	Industrie 4.0 Konzept: Konzept zur gesamtbetrieblichen Datenerfassung und Nutzung in der Industrie 4.0	Standardisierung
(Meißner et al. 2018)	W	Digitales Shopfloor Management: Erweiterungen des SFM um digitale Komponenten sowie Leitfaden zur Einführung eines digitalen SFM	Standardisierung
(Hochhuth 2019)	U	MESSDAS: Energiemanagementsystem zur verursachergetreuen Echtzeit-Erfassung und Auswertung von Energieverbräuchen	Verschwendungs-vermeidung
(Festo 2019)	U	Energietransparenzsystem: System zur Erfassung von Energiedaten sowie zur dezentralen, maschinengenauen Visualisierung von Energieverbräuchen	Verschwendungs-vermeidung
(Weidmüller 2019)	U	Horizontale Vernetzung von Maschinen und Nutzung von Energiemonitoring Instrumenten zur Identifikation von Einsparungspotenzialen	Verschwendungs-vermeidung

(Lee et al. 2014)	U	Fernwartungssystem zum Condition-Monitoring des Dieselmotors eines Ausrüstungsfahrzeuges in der Bauindustrie	Verschwendungs-vermeidung
(Krug et al. 2017)	W/ U	Nutzung von Bewegungsdaten zur Identifikation von Verschwendung in einem Chaku Chaku Arbeitssystem	Verschwendungs-vermeidung
(Tomanek und Schröder 2017)	W	Bewertungssystematik zur Identifikation von Verbesserungspotenzial bei der Informationsübertragung mittels elektronischer Übertragung	Verschwendungs-vermeidung
(Kühnert 2013)	W	Datengetriebene Fehlerlokalisierung in der Verfahrenstechnik	Null Fehler Prinzip
(Herger 2019)	W	InWiPro: Digitalisierung von Produktionsprozessen	Null Fehler Prinzip
(Fraunhofer IOSB 2019)	W	ProDaMi: Data Mining im Produktionsumfeld	Null Fehler Prinzip
(Seitz 2019)	W	Intelligente Werkzeuge für die Produktion	Null Fehler Prinzip
(Walz 2019)	W	Smarte Systemoptimierung für Fehleridentifikation, Fehlervermeidung und Ursachenfindung	Null Fehler Prinzip
(Aehnelt 2019)	W	Plant@Hand3D: Multitouch Leitstand für die Produktion	Null Fehler Prinzip
(Kuester et al. 2018)	W	Computergestützte Bewertung von 8D-Reports	Null Fehler Prinzip
(Kühnert 2019)	W	Industrie 4.0 MonOpt: Datenanalyseplattform für klein- und mittelständische Unternehmen	Null Fehler Prinzip
(Kolberg und Zühlke 2015)	W	Smart Operator: Smart Devices zur dezentralen Fehlersignalisierung	Null Fehler Prinzip
(Kock und Reiterer 2019)	W	Echtzeit Visualisierung von Messdaten	Null Fehler Prinzip
(InnoServPro 2019)	U	InnoServPro: Geschäftsmodellentwicklung zur Verwendung von Maschinendaten, um Fehler und Störungen vollständig vorzubeugen	Null Fehler Prinzip
(Pier 2018)	U	Anlagenüberwachung mittels Sensorik und dezentraler Visualisierung in der Landwirtschaftsindustrie	Null Fehler Prinzip
(InnoServPro 2019)	U	Softwaregestützte Optimierung des Arbeitsablaufs zur Fehleridentifikation, -vermeidung und -behebung	Null Fehler Prinzip
(Bauer 2017)	U	Woodflex: Echtzeit Überwachung einer Fertigungsanlage	Null Fehler Prinzip
(Koch 2019)	U	Intelligente Schraubwerkzeuge mit endgerätabhängiger Bedienoberfläche zur Überwachung, Programmierung und zum Fehlermanagement	Null Fehler Prinzip

(iTAC Software AG 2015)	U	Smart Electronic Factory: Automatische Erkennung von Fehlerursachen	Null Fehler Prinzip
(Bosch Rexroth AG 2016)	U	ActiveCockpit: Integration von IT-Systemen innerhalb der Produktion und dezentrale Bereitstellung u. a. über mobile Endgeräte	Null Fehler Prinzip
(SAP Technology 2014)	U	SAP HANA: Echtzeit-Betriebsüberwachung von Maschinen zur prädiktiven Instandhaltung	Null Fehler Prinzip
* U ... Unternehmens-/Industrieprojekt; W ... Wissenschaftliches Forschungsprojekt			

Wie der Tabelle 2-2 zu entnehmen ist, wurden nahezu alle identifizierten Projekte durch Großunternehmen oder Forschungseinrichtungen durchgeführt. Dies ist darin zu begründen, dass KMU bei der Implementierung und Durchführung von Industrie 4.0-Projekten deutlich geringere Ressourcen zur Finanzierung von Pilotprojekten sowie für Fachpersonal zur Verfügung stehen. Zur Entwicklung von Ansätzen, die KMU bei der systematisierten und zielorientierten Implementierung von GPS-Methoden in Verbindung mit Industrie 4.0-Lösungen unterstützen, sind die Eigenschaften von KMU daher stets zu berücksichtigen.

2.4 Eigenschaften von KMU

Es existieren verschiedene Definitionen für kleine und mittlere Unternehmen (KMU). Etabliert sind quantitative Definitionen, die Umsatz- und Beschäftigtenzahlen fokussieren und eine grobe Einordnung von Unternehmen in die Unternehmenslandschaft ermöglichen (Ihlau und Duscha 2019). Diese Betrachtung findet insbesondere für statistische Zwecke ihren Einsatz. In Abbildung 2-6 sind gängige Definitionen in einer Übersicht zusammengefasst.

Institution bzw. Gesetz	Definition von KMU
§ 267 Abs. 2 HGB; Grenze für mittelgroße Kapitalgesellschaften ¹	Bilanzsumme < 19,25 Mio. Euro pro Jahr Umsatz < 38,5 Mio. Euro pro Jahr Arbeitnehmer im Jahresdurchschnitt < 250
Empfehlung der EU-Kommission ²	Jahresbilanzsumme < 43 Mio. Euro Jahresumsatz < 50 Mio. Euro Beschäftigte < 250
Institut für Mittelstandsforschung, Bonn ³	Umsatz < 50 Mio. Euro Beschäftigte < 500
Deloitte Mittelstandsinstitut an der Universität Bamberg ⁴	Jahresumsatz < ca.600 Mio. Euro Beschäftigte < ca. 3.000

Abbildung 2-6: Übersicht ausgewählter KMU-Definition 1 (Hefermehl 2018), 2 (Europäische Kommission 2003) 3 (IfM 2019), 4 (Becker et al. 2007)

Eine detaillierte Ableitung typischer Eigenschaften und Hemmnisse seitens KMU kann durch diese Kennzahlen jedoch nicht abgeleitet werden. Daher wurden neben quantitativen Definitionen für diese Unternehmensgruppe typische qualitative Merkmale erarbeitet und in Merkmalskataloge überführt (Reinemann 2019; Immerschitt und Stumpf 2019). Diese Merkmalskataloge variieren in ihrem Umfang und ihrer Detaillierung. Ein idealtypischer Merkmalskatalog kann aufgrund der Heterogenität von KMU nicht existieren (Immerschitt und Stumpf 2019). Eine detaillierte Darstellung größenspezifischer Merkmale auf Basis betriebswirtschaftlicher Veröffentlichungen erfolgt jedoch durch Pfohl (2013a). Dieser stellt den umfangreichsten und verbreitetsten Merkmalskatalog dar (Immerschitt und Stumpf 2019; Castrellon Gutierrez 2018). Die Gliederung der Merkmale erfolgt nach Pfohl (2013a) anhand der unterschiedlichen Unternehmensbereiche. Aus den Charakteristika der Unternehmensbereiche Forschung und Entwicklung, Organisation, Finanzen und Personal (siehe Abbildung 2-7) können Hemmnisse von KMU in Bezug auf die selbständige Kombination der Industrie 4.0 mit Methoden ganzheitlicher Produktionssysteme abgeleitet werden. Ausgewählte Hemmnisse werden im Folgenden kurz erläutert.

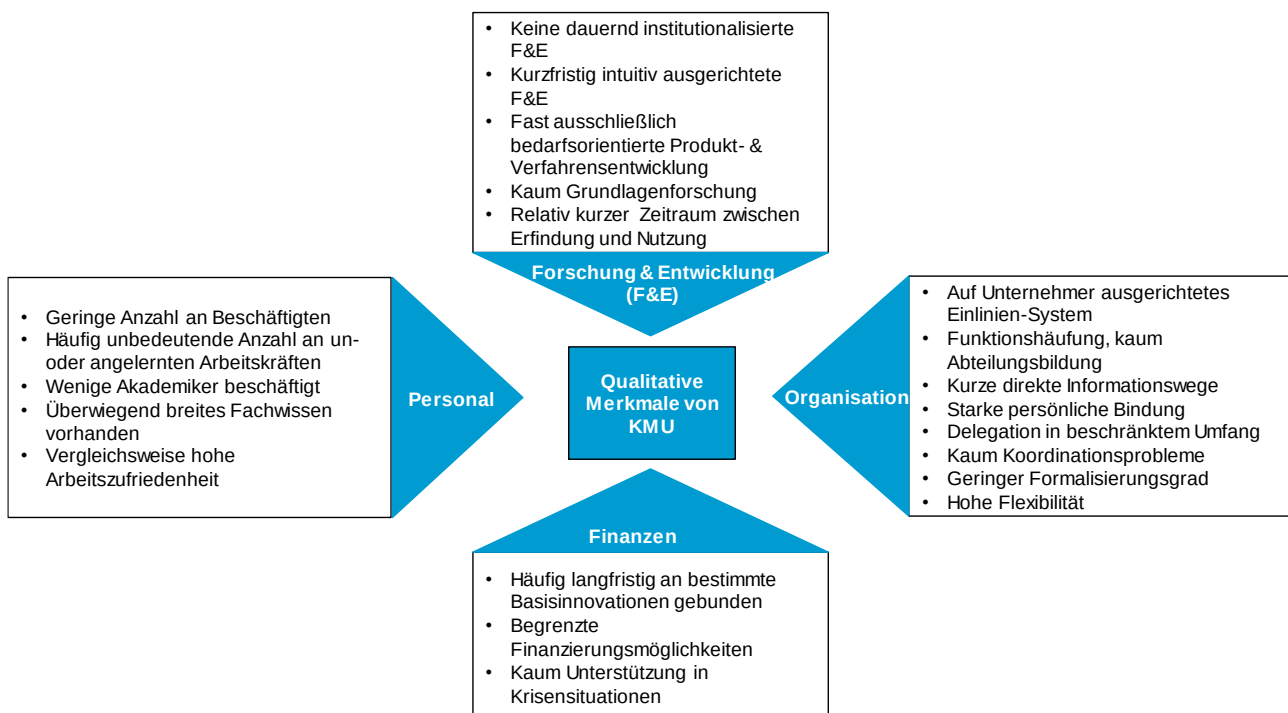


Abbildung 2-7: Auswahl qualitativer Merkmale von KMU nach Pfohl (2013b)

Da KMU häufig keine institutionalisierte Forschung und Entwicklung (F&E) besitzen, fehlen die erforderlichen Strukturen und Kapazitäten eigene Lösungen im komplexen Umfeld von GPS und der Industrie 4.0 zu entwickeln. Weiterhin erschweren kurzfristig und intuitiv ausgerichtete F&E-Aktivitäten, mit dem Anspruch Lösungen zeitnah umsetzen zu können, die Entwicklung komplexerer Lösung, die eine mittel- bis langfristige Betrachtung erfordern.

Weiterhin führen eine geringe Beschäftigtenzahl in Kombination mit der nicht institutionalisierten F&E dazu, dass wenig spezialisiertes Personal für eine spezifische Methodenentwicklung vorhanden ist. Die hohe Technologisierung im Kontext der Industrie 4.0 erfordert außerdem ein spezifisches Technologie-Know-how, insbesondere im Bereich IT, sowie ein detailliertes Verständnis für ganzheitliche Produktionssysteme. Dies ist in KMU, deren Mitarbeiter eher über ein breites Fachwissen verfügen, häufig nicht ausreichend vorhanden.

Die flexible Organisation unterstützt Innovationen prinzipiell durch geringe Schnittstellenverluste, doch aufgrund der Funktionshäufung, sind die Entscheidungsträger häufig mit operativen Aufgaben ausgelastet und wenig Ressourcen stehen für die strategische Planung zur Verfügung. Der geringere Formalisierungsgrad von KMU und die daraus resultierende heterogene Ausgangsbasis in Bezug auf Prozesse und technische Systeme, erschwert zusätzlich die Entwicklung eigener, übertragbarer Lösungsansätze.

Auch aus den finanziellen Rahmenbedingungen resultieren verschiedene Hindernisse. Durch beschränkte Finanzierungsmöglichkeiten steht weniger Kapital zur Verfügung, dass in die Entwicklung investiert werden kann. Zugleich müssen die entwickelten Lösungen potenziell in verschiedenen Bereichen eingesetzt werden können, da KMU eher an langfristige Basisinnovationen gebunden sind. Dies spiegelt sich auch in einer geringeren Risikoaffinität wider. Somit sind KMU häufig auf bereits etablierte Technologien und Konzepte angewiesen.

Aufgrund der Komplexität der Verknüpfung von GPS mit der Industrie 4.0 und den dargestellten Hemmnissen für KMU, sind klare Rahmenbedingungen zu schaffen, an denen sich die Unternehmen orientieren können und die dennoch eine unternehmensspezifische Adaption ermöglichen. Hierzu wird im Rahmen des Projektes die Entwicklung eines Methodenkatalogs inklusive einer zugehörigen Auswahlmethodik verfolgt. So können KMU auf bereits definierte Methoden zurückgreifen, die für den eigenen Anwendungsfall geeignet sind. Die externe Entwicklung erlaubt die Betrachtung vielfältiger Lösungen, die die Basis zu einer mittel- und langfristigen Verbesserung des Unternehmens bilden können.

3 Konzeptentwicklung

Die zugrundeliegende Konzeptentwicklung ist in insgesamt sechs Arbeitspakete untergliedert, die jeweils auf den Ergebnissen der vorigen Arbeitspakete aufbauen. Um die Auswahlssystematik den Bedürfnissen der KMU entsprechend zu konzipieren, wird im ersten Arbeitspaket durch Experteninterviews sichergestellt, dass sowohl die entsprechenden Anforderungen identifiziert und in die Auswahlssystematik mit einbezogen werden, als auch die zu erarbeitenden Methoden nach den Bedürfnissen der KMU aufgebaut und dokumentiert werden. Zudem wird eine Kategorisierung von GPS-Methoden und Industrie 4.0-Lösungen vorgenommen. Dies ist Gegenstand des ersten Arbeitspakets.

Das zweite Arbeitspaket besteht aus einem zweistufigen Vorgehen, bestehend aus einer induktiv-empirischen und einer deduktiv-logischen Analyse. Mithilfe beider Ansätze wird eine Synergiematrix abgeleitet, welche die Synergien zwischen GPS-Methoden und Industrie 4.0-Funktionen aufzeigt.

Innerhalb des dritten Arbeitspakets werden die GaProSys 4.0-Methoden entwickelt. Zudem wird für jede entwickelte Methode, ein korrespondierendes Methodenblatt erstellt, welches nach den identifizierten Anforderungen konzipiert wird. Zudem werden die Methoden auf Synergien analysiert, sowie eine Bewertung bezüglich der Zieldimensionen vorgenommen.

Mit dem vierten Arbeitspaket wird eine Typologie entwickelt, welche die spezifischen Rahmenbedingungen eines KMU beschreiben kann und deren Merkmale gleichzeitig eine Relevanz für die Auswahl von GaProSys 4.0-Methoden besitzen. Abschließend wird eine Bewertung der Eignung jeder entwickelten Methode für die jeweiligen Merkmale, respektive deren Ausprägungen in der Typologie, bewertet.

Das fünfte Arbeitspaket beinhaltet die Konzeption der eigentlichen Auswahlssystematik und deren Umsetzung in einem Softwaretool. Die Konzeption erfolgt in einem zweistufigen Verfahren. Zuerst wird ein Grobkonzept erstellt, welches danach in einer Feinplanung zur Anwendungsreife gebracht wird.

Abschließend stellt das sechste Arbeitspaket die Validierungsphase der erarbeiteten Ergebnisse der vorigen Phasen dar. Die Auswahlssystematik sowie das Konzept zur Methodenentwicklung werden in Validierungsworkshops mit partizipierenden Unternehmen angewendet und evaluiert.

3.1 AP 1: Anforderungsermittlung sowie Kategorisierung von GPS-Methoden und Industrie 4.0-Lösungen

In AP 1 wird die wissenschaftliche Grundlage für das Vorhaben *„Entwicklung einer Auswahlssystematik für Methoden eines „Ganzheitlichen Produktionssystems 4.0“ für den Mittelstand* erarbeitet. Dabei werden die Grundlagen für die zu erarbeitenden Methoden eines Ganzheitlichen

Produktionssystems 4.0 (GaProSys 4.0-Methoden) beschrieben sowie die Anforderungen an die zu erarbeitende Auswahlssystematik identifiziert.

Unter dieser Zielsetzung wird in AP 1.1 zunächst ein Kategorisierungsschema für GPS-Methoden vorgestellt. In AP 1.2 wird anschließend ein Ansatz zur Strukturierung bestehender Industrie 4.0-Lösungen dargestellt. Um die Anforderungen von Industrieunternehmen hinsichtlich einer Auswahlssystematik von GaProSys 4.0-Methoden systematisch zu identifizieren, wurden leitfadengestützte Experteninterviews durchgeführt. Die Vorstellung der Ergebnisse erfolgt abschließend in AP 1.3. Die Durchführung und Auswertung der Experteninterviews erfolgt arbeitsteilig durch beide Forschungsinstitute.

Basierend auf den Ergebnissen dieses Arbeitspakets werden in AP 2 die Synergien zwischen GPS-Methoden und Industrie 4.0-Lösungen systematisch analysiert, um hierauf aufbauend zielgerichtet GaProSys 4.0-Methoden erarbeiten zu können.

3.1.1 AP 1.1: Kategorisierung von GPS-Methoden

Zielsetzung:

Das Ziel dieses Teilarbeitspakets bestand in der Erarbeitung eines Kategorisierungsschemas von GPS-Methoden. Dabei wurde die übergeordnete Zielsetzung verfolgt, eine eindeutige Beschreibung von GPS-Methoden und die Charakterisierung ihrer spezifischen Eigenschaften zu ermöglichen.

Durchgeführte Arbeiten:

In leitfadengestützten Experteninterviews (siehe Kapitel 3.1.3) wurde neben den Anforderungen an die Auswahlssystematik das durch die VDI-Richtlinie 2870 vorgestellte Kategorisierungsschema für GPS-Methoden vorgestellt und diskutiert. Dabei wurde die Frage evaluiert, inwieweit dieses Kategorisierungsschema den praktischen Anforderungen genügt. Weiterhin wurde diskutiert, ob die Strukturierung zielführend im Sinne des Forschungsvorhabens ist. Die Vorteilhaftigkeit der Strukturierung der VDI-Richtlinie 2870 wurde vor dem Hintergrund weiterer Lean-Methodensammlungen diskutiert und bewertet.

Ergebnisse:

Die Expertengespräche zur Kategorisierung der GPS-Methoden führten zu dem Ergebnis, dass das Klassifikationsschema der VDI-Richtlinie 2870 zielführend im Sinne des Forschungsvorhabens ist und für das zu entwickelnde Konzept adaptiert wird. Im Vergleich zu weiteren Lean-Methodensammlungen wurde insbesondere die Taxonomie des GPS-Ordnungsrahmens als positiv durch die Experten bewertet. Diese ermöglicht eine kaskadierte Kategorisierung der GPS-Methoden und bietet zudem die Möglichkeit, zwei Ansätze zur Methodenauswahl zu verfolgen. (VDI 2870 Blatt 1) Ein Ansatz besteht aus der Auswahl von Methoden, um das jeweilige Gestaltungsprinzip

umzusetzen, also einem gestaltungsprinzipienorientierten Ansatz. Der zweite Ansatz ist ein weniger abstrakter, problemorientierter Ansatz und wird auf dem Methodenlevel verfolgt. Ausgehend von einer konkreten Problemstellung, welche sich im Kontext von Produktionsbereichen in die Kategorien Qualität, Zeit und Kosten unterteilt, können geeignete Methoden, welche jene Zieldimension positiv beeinflussen, ausgewählt werden.

3.1.2 AP 1.2: Kategorisierung von Industrie 4.0-Lösungen

Zielsetzung:

Das Ziel des AP 1.2 bestand in der Erarbeitung einer Kategorisierung von Industrie 4.0-Lösungen. Dazu ist ein geeignetes Betrachtungslevel zu definieren, dass einerseits die Komplexität der Industrie 4.0 abbildet sowie ihren spezifischen Eigenschaften gerecht wird und andererseits handhabbar ist. Zusätzlich soll diese Kategorisierung die Gegenüberstellung mit der erarbeiteten Kategorisierung von GPS-Methoden aus Kapitel 3.1.1 ermöglicht werden.

Durchgeführte Arbeiten:

Es wurden bestehende Ansätze zur Kategorisierung von Industrie 4.0-Lösungen recherchiert und hinsichtlich der Eignung für die Adaption auf das Forschungsvorhaben analysiert. Daraus wurde eine geeignete Kategorisierung für Industrie 4.0-Lösungen abgeleitet und diese im Rahmen einer Expertenbefragung (siehe Kapitel 3.1.3) diskutiert.

Ergebnisse:

Ebenso vielfältig wie die Definitionen der Industrie 4.0 sind die bestehenden Ansätze zur Strukturierung der Industrie 4.0. Der Fokus bisheriger Strukturierungen lag insbesondere in der Darstellung von Funktionen, Einsatzbereichen und Zukunfts- sowie Technologiefeldern (Hölczli et al. 2016; Lucke et al. 2014; Wischmann et al. 2015; Bauer et al. 2014; Bischoff 2015). Die Charakterisierung von Industrie 4.0-Ansätzen nach Einsatzbereichen (vgl. Lucke et al. 2014), wie bspw. der Fertigung oder dem Lager, ist ungeeignet, um eine konkrete Industrie 4.0-Lösung zu beschreiben. Zukunftsfelder (vgl. Wischmann et al. 2015), wie bspw. Informations- und Kommunikationstechnologien (IKT) oder innovative Produktionssysteme, ermöglichen eine erste Einordnung von Industrie 4.0-Lösungen, sind jedoch zu unspezifisch. So können unter innovativen Produktionssystemen sowohl eine ganze Produktionshalle mit Fertigungsanlagen bis hin zu einem manuellen Arbeitsplatz mit Werkerunterstützung beliebige Arbeitssysteme verstanden werden. Ähnlich verhält es sich bei Technologiefeldern (vgl. Bauer et al. 2014), zu denen bspw. Embedded Systems oder das Cloud-Computing gezählt werden. Diese sind ebenfalls nicht detailliert genug, um eine Verknüpfung zwischen GPS-Methoden und Industrie 4.0 ableiten zu können, und fokussieren

übergeordnete technologische Ansätze, die zwar zur Umsetzung der Industrie 4.0 befähigen, aber nicht einzelne Anwendungen detaillierter charakterisieren können.

Wird die Industrie 4.0 dagegen anhand konkreter Technologien strukturiert, wie bspw. einem Leichtbauroboter oder eines Tablets eines spezifischen Herstellers, resultiert daraus eine große Bandbreite, die nicht handhabbar ist. Die Definition von Technologieclustern (vgl. Wöstmann et al. 2016) könnte die Definition von Industrie 4.0-Prinziplösungen unterstützen. Doch auch diese Betrachtung wird als nicht geeignet eingestuft, um diese hinsichtlich ihrer Synergien zu GPS-Methoden einzusetzen.

Stattdessen wurde im Rahmen des Projektes die Betrachtungsebene der Industrie 4.0-Funktionen gewählt (vgl. Bischoff 2015; Lucke et al. 2014; Hölczi et al. 2016). Mittels der Industrie 4.0-Funktionen kann ein beliebig detailliertes Level einer Industrie 4.0-Lösung beschrieben werden, von einer einzelnen technologischen Komponente bis hin zu einem komplexen Anwendungsszenario. Somit ist diese Kategorisierung allgemeingültig genug, um alle Aspekte und Facetten der Industrie 4.0 zu beschreiben. Andererseits bietet diese Kategorisierung konkrete Anknüpfungspunkte für die Kombination mit GPS-Methoden. So können etablierte GPS-Methoden hinsichtlich ihrer Synergien mit Industrie 4.0-Funktionen analysiert und basierend darauf kombinierte GaProSys 4.0-Methoden abgeleitet werden.

Aus den bestehenden Ansätzen, die unterschiedliche Industrie 4.0-Funktionen definieren, wurden zehn Funktionen abgeleitet, die auf der Definition von Hölczi et al. (2016) aufbauen und die Grundlage für die Kategorisierung der Industrie 4.0 im Rahmen dieses Projektes bilden. Diese Kategorisierung ist zusammenfassend in Abbildung 3-1 dargestellt. Die definierten Industrie 4.0-Funktionen wurden hinsichtlich ihrer Eignung für die Kombination mit GPS-Methoden im Rahmen von Experteninterviews validiert. Hierzu wurden GPS-Methoden ausgewählt und den Industrie 4.0-Funktionen gegenübergestellt, sodass erste Synergien zwischen diesen analysiert werden konnten. Die Detaillierung dieser Arbeiten erfolgt in den nachfolgenden AP.



Abbildung 3-1: Industrie 4.0-Funktionen (i. A. a. Hölczli et al. 2016)

3.1.3 AP 1.3: Ermittlung der Anforderungen von KMU an Konzipierung und Auswahlssystematik von GaProSys 4.0-Methoden mithilfe leitfadengestützter Experteninterviews

Zielsetzung:

Ziel des AP 1.3 war die Ermittlung und Dokumentation der Anforderungen von Anwenderunternehmen – insbesondere KMU – an den Aufbau, die Gestaltung und Dokumentation von GaProSys 4.0-Methoden. Dadurch soll die Grundlage für die bedarfsgerechte, praxisorientierte Entwicklung und Dokumentation der GaProSys 4.0-Methoden sowie der Auswahlssystematik, die es in den nachfolgenden Arbeitspaketen zu entwickeln gilt, geschaffen werden.

Durchgeführte Arbeiten:

Zur Erreichung der Zielsetzung wurden zunächst mögliche Anforderungen auf Grundlage einer Literaturrecherche und unter Einbezug der Erfahrungen der projektbearbeitenden Institute ermittelt und dokumentiert. Hierbei wurden einerseits bestehende standardisierte Beschreibungsformen für klassische GPS-Methoden herangezogen und um Inhalte, die im Kontext der Implementierung von Industrie 4.0-Funktionen relevant sind, erweitert. Andererseits wurden auf der Grundlage charakteristischer Eigenschaften von KMU (siehe Kapitel 2.4) und daraus resultierender potentieller Anforderungen weitere Anpassungen vorgenommen. Zur Validierung und Erweiterung der hierdurch ermittelten, vorläufigen Ergebnisse wurde darüber hinaus ein Interviewleitfaden zur Durchführung halbstrukturierter Interviews zur Anforderungsermittlung bei Unternehmen erstellt und auf dieser Grundlage Experteninterviews mit 17 Vertretern aus insgesamt zehn Unternehmen durchgeführt.

Die Gruppe der Befragten setzte sich aus Geschäftsführern, Produktionsleitern, Logistikleitern sowie Lean-/ und Digitalisierungsbeauftragten zusammen. Zusätzlich wurde die Relevanz der Kategorien eines Methodenblattes zur Beschreibung von GaProSys 4.0-Methoden im Rahmen der Interviews bewertet. Die einzelnen Kategorien wurden dabei durch den Interviewer erläutert und die Bewertung des Befragten anhand einer fünfstufigen Skala nach Likert (Greving 2009) anhand der folgenden Einstufungen vorgenommen: „sehr wichtig“, „wichtig“, „relativ wichtig“, „etwas wichtig“, „nicht wichtig“. Die Likert-Skala mit der fünfstufigen verbalen Beschreibung ermöglicht die transparente Erfassung der Einstellung der Befragten. Zusätzlich werden den verbalen Beschreibungen numerische Werte zugeordnet, um eine nachfolgende Auswertung zu ermöglichen: von „sehr wichtig“ (5) bis „nicht wichtig“ (1) (Greving 2009).

Ergebnisse:

Ein erstes Ergebnis der Literaturrecherche war die Ermittlung potentieller Anforderungen von KMU, welche die Ausgangsbasis für die Erstellung der Interviewleitfäden bildeten und im Rahmen der nachfolgenden Interviewdurchführung validiert wurden (siehe unten). Desweiteren wurde ein Entwurf für ein Formblatt zur standardisierten Beschreibung von GaProSys 4.0 Methoden entwickelt. Dieses basiert auf dem Formblatt zur Beschreibung klassischer GPS Methoden (VDI 2870 Blatt 2), welches neben einer Kurzbeschreibung der Methode und der Beschreibung der Vorgehensweise auch die Nennung ergänzender Methoden, Potenziale und Risiken sowie der Wirkung der Methode in unterschiedlichen Unternehmensprozessen vorsieht. Im Kontext der Erweiterung von GPS Methoden um Industrie 4.0-Funktionen erfolgt auch die Erweiterung des Methodenblatts um entsprechende technikorientierte Kategorien, wie bspw. die Nennung adressierter Industrie 4.0-Funktionen und verwendbarer Technologien sowie der damit einhergehenden Aufwände und Kosten zur Implementierung. Die somit ermittelten Kategorien für die Beschreibung von GaProSys 4.0-Methoden bilden die Basis für die Bewertung der Kategorienrelevanz zum Abschluss der Interviews.

Die an die Literaturrecherche anschließende Interviewdurchführung führte zu folgenden zentralen Erkenntnissen:

Anforderungen an die Verständlichkeit:

Die Beschreibung der GaProSys 4.0-Methoden soll diese für KMU greifbar und verständlich machen. Sowohl hinsichtlich der Beschreibung der Methode als auch ihrer Auswirkung auf das Unternehmen. Dabei soll kein Vorwissen vorausgesetzt werden.

Anforderungen an die Transparenz des Zielbeitrags der Methode:

Aus Sicht der Industrievertreter sollte außerdem der Zielbeitrag bzw. der Nutzen einer Methode transparent und zu Beginn der Methodenbeschreibung dargestellt werden. Hier besteht insbesondere der Bedarf nach der Darstellung der realisierbaren Potenziale, aber auch der erreichbaren Verbesserungen in den Unternehmensprozessen. Von Interesse ist hier auch die

Darstellung der Unterschiede bzw. Mehrwerte der GaProSys 4.0-Methode im Vergleich zur zugrunde gelegten GPS-Methode.

Anforderungen an die Transparenz des Einführungsaufwands:

Vielfach betont wurde die Relevanz einer transparenten Darstellung des Einführungsaufwands der Methoden. Insbesondere wird in diesem Zusammenhang eine quantitative Darstellung der initialen Kosten für die Einführung der Methode von einer Vielzahl der Befragten gefordert. Aus Sicht der Forschungspartner ist eine unternehmensunabhängige Kostenbewertung nicht unmittelbar möglich, da individuelle Rahmenbedingung, wie beispielsweise die vorhandene technische Hardware oder die vorliegende IT-Infrastruktur, die Kosten wesentlich beeinflussen. Zusammen mit den Interviewpartnern wurde daher die Festlegung einer ungefähren Kostenspanne vereinbart.

Bewertung der Relevanz der Kategorien des GaProSys 4.0-Methodenblatts:

Um die Anforderungen von Industrieunternehmen an die Beschreibung von GaProSys 4.0-Methoden zu quantifizieren, wurden die Befragten im letzten Abschnitt des Interviews gebeten, eine Einschätzung der Relevanz der unterschiedlichen Beschreibungskategorien auf einer Skala von „gar nicht wichtig“ (1 Punkt), „etwas wichtig“ (2 Punkte), „relativ wichtig“ (3 Punkte), „wichtig“ (4 Punkte) bis „sehr wichtig“ (5 Punkte) abzugeben. Da die Bewertung im Dialog mit den Experten erfolgte, konnte die unmittelbare Diskussion möglicher Verbesserungen mit den Gesprächspartnern erfolgen. Nachfolgend wird zunächst die quantitative Auswertung der Interviews visualisiert (siehe Abbildung 3-2) und anschließend die aus der quantitativen Auswertung und den entstandenen Diskussionen erlangten Erkenntnisse zusammengefasst.

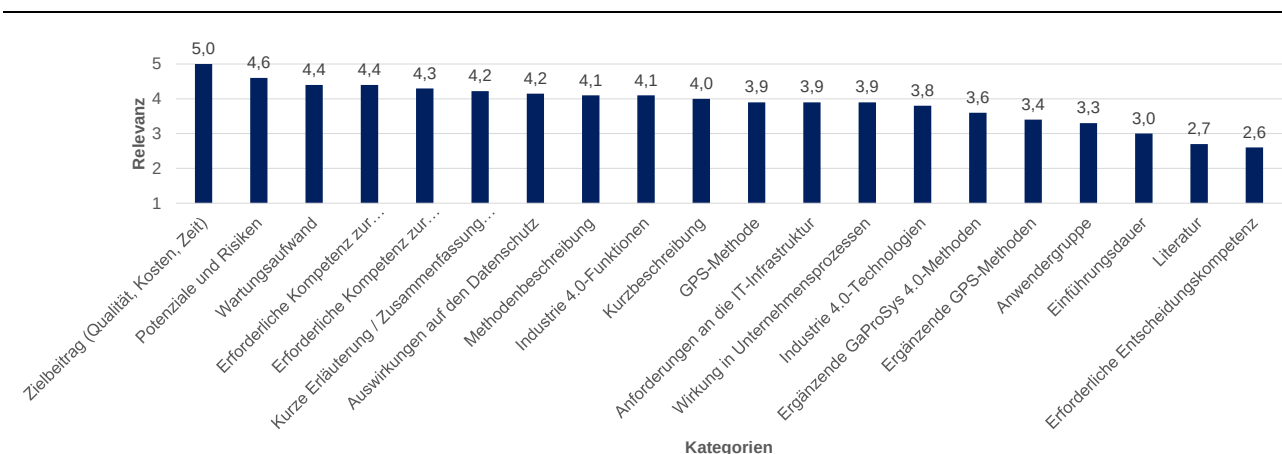


Abbildung 3-2: Ergebnis der Expertenbefragungen

Erkenntnisse aus der quantitativen Bewertung der Kategorienrelevanz:

Insgesamt wurden von den Teilnehmenden alle Kategorien durchschnittlich mindestens als „relativ wichtig“ bewertet. Davon ausgehend wird der vorläufige Entwurf des Methodenblatts als

grundsätzlich praxisorientiert eingestuft. Dennoch ist zu konstatieren, dass bestimmte Beschreibungskategorien als weniger relevant eingestuft wurden als andere. So wurden bspw. die erforderliche Entscheidungskompetenz sowie Angaben zu zusätzlicher Literatur und Internetquellen nur als „etwas wichtig“ bis „relativ wichtig“ eingestuft. Die Befragten stellten zudem die Anforderung, dass die Auswahlssystematik sowie die Methodenbeschreibung bereits die für die Implementierung und Anwendung der GaProSys 4.0-Methode wesentlichen Informationen beinhalten. Ebenfalls wurde die Kategorie „Entscheidungskompetenz“ lediglich als „relativ wichtig“ bewertet. Hier sahen die befragten Experten inhaltliche Überschneidungen mit der Kategorie „Kompetenzen zur Methodenanwendung“. Infolgedessen wurden die beiden genannten Kategorien zusammengefasst. Eine ähnliche Relevanzbewertung erhält auch die Beschreibung der Einführungsdauer bzw. des Einführungsaufwands einer Methode. Ein Teil der Befragten war der Ansicht, dass die Angabe der Einführungsdauer eine essenzielle Information darstelle. Andere Interviewpartner bemängelten hingegen, dass aufgrund der Heterogenität potentieller Anwenderunternehmen keine genaue Abschätzung der Einführungsdauer möglich sei. Neben Kategorien, die von den meisten Experten lediglich als „relativ wichtig“ interpretiert wurden, wurde einigen Kategorien von den meisten Experten eine hohe Relevanz zugesprochen. Als durchgängig sehr wichtige Kategorie wurde der Zielbeitrag (hinsichtlich Kosten, Qualität und Zeit) eingestuft. Diese Angabe sei insbesondere für das Management relevant, um über die Einführung der Methode zu entscheiden. Auch Angaben zu Potenzialen und Risiken der Methodenanwendung, dem Wartungsaufwand zur Aufrechterhaltung der Methodenfunktionalität im laufenden Betrieb sowie zu den erforderlichen Qualifikationen zur Methodeneinführung und Anwendung wurden als „wichtig“ angesehen. Diese Angaben unterstützen einerseits die einer Methodeneinführung vorangehende Aufwand-/Nutzen-Abschätzung. Andererseits werden aus der Beschreibung der Qualifikationsanforderungen die Komplexität sowie etwaige erforderliche Qualifikationsbedarfe ersichtlich.

Die aus der Kategorienbewertung gewonnenen Erkenntnisse wurden zur Überarbeitung des Formblatts genutzt. Eine ausführliche Betrachtung des mit Experten abgestimmten Formblatts erfolgt in Kapitel 3.3.1.

3.2 AP 2: Erarbeitung einer Synergiematrix von GPS-Methoden und Industrie 4.0-Lösungen

Zielsetzung:

Im Rahmen des zweiten Arbeitspaketes wurden die Synergien zwischen GPS-Methoden und den in AP 1 identifizierten Industrie 4.0-Funktionen untersucht. Dabei bestand die Zielsetzung darin, den durch die Kombinationsmöglichkeiten aus GPS-Methoden und Industrie 4.0-Funktionen erzeugten Lösungsraum zunächst systematisch einzugrenzen. Auf Basis der analysierten Synergien werden nachfolgend die GaProSys 4.0-Methoden erarbeitet.

Durchgeführte Arbeiten:

Die Analyse der Synergien beruht auf einem Vorgehen zum Erkenntnisgewinn, welches als induktiv-empirisch charakterisiert werden kann. Mit diesem Vorgehen wird der Versuch unternommen, eine Verallgemeinerung wiederholt beobachteter Erfahrungstatsachen zu einer umfassenden Theorie zu beschreiben. Der erste Schritt im Rahmen des induktiv-empirischen Vorgehens bestand aus der systematischen Analyse und Dokumentation von 358 industriellen Anwendungsfällen hinsichtlich des Zusammenwirkens von GPS-Methoden und Industrie 4.0-Funktionen (vgl. Abbildung 3-3). Die Bewertung der Synergieeffekte stellte den nächsten Schritt des Vorgehens dar. Sofern ein Anwendungsfall das positive Zusammenwirken einer GPS-Methode mit einer oder mehreren Industrie 4.0-Funktionen beschrieben hat, wurde ein positiver Synergieeffekt konstatiert. Dabei wurden die in dem Anwendungsfall beschriebenen GPS-Methoden und Industrie 4.0-Funktionen sinngetreu interpretiert, da keine einheitliche Begriffsverwendung in den Anwendungsfällen verwendet wurde.

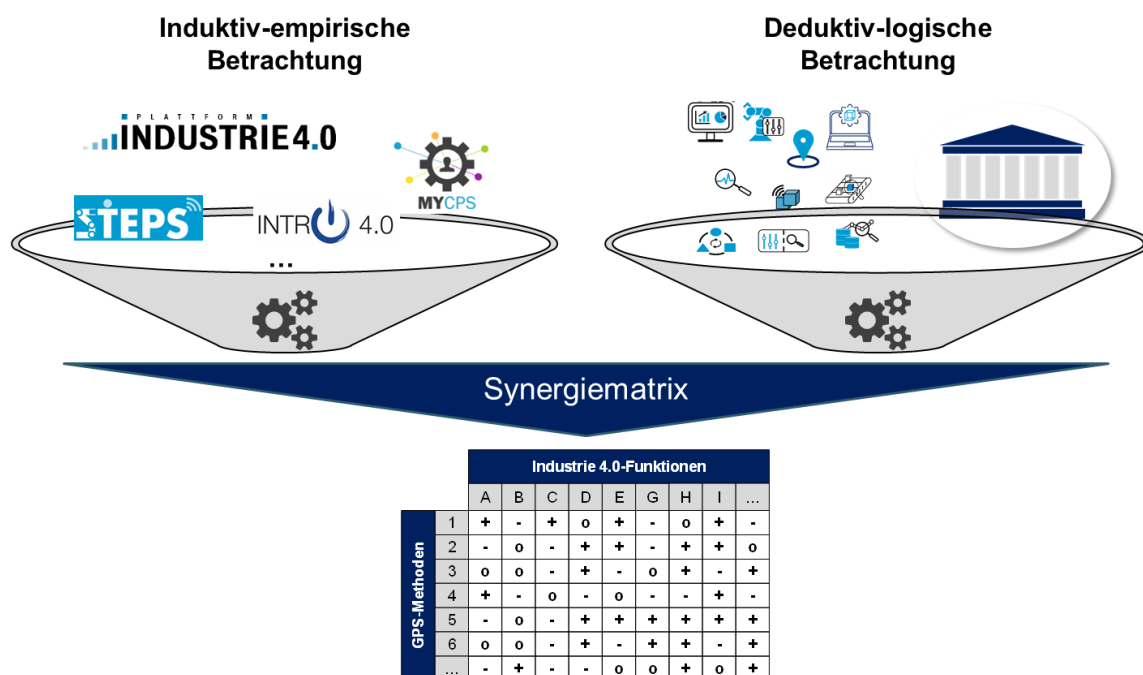


Abbildung 3-3: Vorgehensweise zur Ermittlung der Synergiematrix

Ergänzend zum induktiv-empirischen Vorgehen, bei dem konkrete Anwendungsfälle betrachtet wurden, erfolgte anschließend die deduktiv-logische Identifikation von Synergien zwischen den Funktionen und Methoden. Dazu werden die Kerneigenschaften der jeweiligen Methoden analysiert und mit den Wirkungsweisen der Methoden verglichen. Diese Vorgehensweise ergänzt das induktiv-empirische Vorgehen, indem es den Fokus von den praktischen Anwendungsfällen um eine generalisierte Betrachtungsweise ergänzt. Daraus wurde letztlich eine Synergiematrix abgeleitet, die

die Inhalte der beiden Ansätze vereint und sowohl aus empirischer Sicht als auch aus analytischer Sicht Synergien beschreibt.

Ergebnisse:

Das Ergebnis des rein induktiv-empirischen Vorgehens ist im Anhang in der Tabelle 10-1 in Form einer Synergiematrix aufgezeigt. Im Vordergrund steht jedoch das Gesamtergebnis der Synergiematrix unter Einbeziehung der deduktiv-logischen Betrachtung. Dieses Gesamtergebnis ist nachfolgend in der Tabelle 3-1 dargestellt. Die Übersicht stellt alle GPS-Methoden (Spalten eins und zwei) gemäß der VDI 2870 den Industrie 4.0-Funktionen (Zeile eins) gegenüber. Die beigefügte Legende erläutert die verwendete Symbolik innerhalb der Matrix. Nachfolgend wird die Synergiematrix detaillierter beschrieben.

Tabelle 3-1: Synergiematrix

GPS-Prinzip	Industrie 4.0-Funktion GPS-Methode	Identifikation	Lokalisierung	Visualisierung	Zustands- erfassung	Daten- verarbeitung	Vernetzung	Steuerung/ Kontrolle	Simulation	Manipulation	Anpassungs- fähigkeit
Standardisierung	5S	+	++	++	++	0	+	0	0	0	0
	Prozessstandardisierung	++	+	++	+	0	++	0	0	0	0
Null-Fehler-Prinzip	5x Warum	++	+	+	++	+	+	0	0	0	0
	8D-Report	++	+	+	++	++	+	0	0	0	0
	A3-Methode	++	+	++	++	++	+	0	0	0	0
	Ishikawa	++	+	++	++	+	+	++	0	+	0
	Statistische Prozessregelung	++	+	+	++	++	+	0	+	0	0
	Autonomation	++	+	++	++	+	++	0	0	0	0
	Kurze Regelkreise	++	0	++	++	+	0	0	++	0	0
	Poka Yoke	++	+	++	++	++	++	0	0	0	0
	Six Sigma	++	++	++	++	++	+	+	0	+	+
	Werker selbstkontrolle	0	0	+	++	+	0	0	0	0	0
Visuelles Management	Andon	+	0	++	++	+	++	++	0	+	0
	Shopfloor Management	+	0	++	++	++	++	+	0	0	+
Kontinuierlicher Verbesserungsprozess	Audit	0	0	++	++	++	+	0	0	0	0
	Benchmarking	+	0	++	++	++	+	0	0	0	0
	Cardboard Engineering	+	+	++	0	+	0	0	++	0	0
	Ideenmanagement	++	+	++	+	++	++	0	++	0	0
	PDCA	+	0	++	++	++	++	0	+	0	0
Mitarbeiterorientierung und Führung	Hancho	+	0	++	++	+	0	0	0	0	0
	Zielmanagement	++	0	++	++	++	+	0	0	0	+
Fließprinzip	First in First Out	++	0	+	++	0	+	++	0	0	0
	One Piece Flow	++	+	+	++	++	++	++	+	++	++
	Schnellrüsten	0	+	+	++	0	0	++	0	++	+
	Wertstromplanung	++	++	++	++	++	+	0	++	0	+
	U-Layout	0	0	++	++	0	0	++	+	0	0
Pull-Prinzip	JIT/ JIS	++	++	++	++	++	++	++	++	++	+
	Kanban	++	+	++	++	++	+	++	+	0	0
	Nivellierung	++	+	++	++	++	+	++	+	++	++
	Milkrun	++	0	++	0	++	++	+	++	0	+
	Supermarkt	++	++	++	++	+	++	++	+	+	+
Vermeidung von Verschwendung	Chaku Chaku	0	0	++	++	0	0	0	+	0	0
	Low Cost Automation	++	++	0	++	0	++	++	0	++	0
	Total Productive Maintenance	0	0	++	++	++	++	++	+	+	++
	Verschwendungsbewertung	++	++	++	++	++	++	0	+	0	0

Legende:

o = Keine Synergie:

Zwischen der GPS-Methode und der Industrie 4.0-Funktion wurde keine Wechselwirkung identifiziert.

+ = Mittlere Synergie:

Die Methode kann durch die Industrie 4.0-Funktion verbessert werden, in dem ein Zusatznutzen generiert oder eine Funktion mit starker Synergie ergänzt wird.

++ = Starke Synergie:

Klassische Eigenschaften der GPS-Methode können durch die Industrie 4.0-Funktion übernommen und verbessert oder erweitert werden.

Nachfolgend werden ausgewählte Synergien kurz beschrieben, um das Verständnis der Synergiematrix zu steigern. Eine ausführliche Beschreibung dieser Synergien wird dem Schlussbericht in einem gesonderten Dokument beigelegt. Die Methoden des GPS-Prinzips Standardisierung, 5S und Prozessstandardisierung weisen hohe Synergiepotenziale mit der Industrie 4.0-Funktion Visualisierung auf. Im Falle der Standardisierung kann nicht nur der Ablauf der Methode, sondern auch die jeweilige Ordnung der Gegenstände visualisiert werden. Damit wird die Dokumentation des vierten Schritts jener Methode, der Anordnungsstandardisierung, verbessert. Für die Prozessstandardisierung kann die Dokumentation und Kommunikation der Standards verbessert werden. Hierzu kann bspw. die dezentrale Bereitstellung der Prozessstandards über visuelle Ausgabemedien (Monitore, mobile Endgeräte) beitragen.

Die unter das Null-Fehler-Prinzip fallenden Methoden weisen durchgehend hohe Synergiepotenziale bezüglich der Industrie 4.0 Funktion Zustandserfassung auf. Dieser Sachverhalt erscheint plausibel, da das Entdecken von Abweichungen etc. durch eine Zustandserfassung detektiert und eine umfassende sowie granulare Zustandserfassung zum Verständnis der jeweiligen Probleme beitragen kann. Um die Zustände zu erfassen, gilt es den Shopfloor weitreichend mit Sensorik zu bestücken. So kann bspw. die 5x-Warum-Methode durch einen Sensoreinsatz unterstützt werden. Die Ursachenfindung wird durch die Sensordaten verbessert und erlaubt eine faktenbasierte Identifikation der Problemursache.

Für die Methoden des visuellen Managements stellen die Funktionen Visualisierung, Zustandserfassung und Vernetzung hohes Synergiepotenzial dar. Die Zuordnung der Funktion Visualisierung zu der Methode Andon mit einem hohen Synergiepotenzial stellt eine Trivialität dar, denn die GPS-Methode zielt selbst auf die Visualisierung von Zuständen ab. Die Funktion verbessert somit eine Kerneigenschaft der Methode. Für das Shopfloor Management kann eine Digitalisierung der Visualisierung vorgenommen werden. Damit können Live-Aktualisierungen der dargestellten Informationen und somit eine hohe Daten-Aktualität sichergestellt werden. Die Zustandserfassung ist essenziell für beide Methoden. Andon ist eine Methode, um Zustände zu visualisieren. Durch eine

automatisierte Zustandserfassung kann das dazugehörige Reißleinenkonzept verbessert werden. Unter dem Reißleinenkonzept wird die schnelle Zustandsmeldung eines Arbeitssystems, im Falle von Störungen oder Problemen, über eine Reißleine verstanden. Für das Shopfloor Management ist die Erfassung der Zustände eine Notwendigkeit, um den Shopfloor effektiv und effizient zu steuern. Eine automatische Zustandserfassung kann den enormen Aufwand zur Datenerfassung und -analyse automatisieren und zugleich eine höhere Datenaktualität sowie -qualität gewährleisten. Dies gilt auch für die Funktion der Vernetzung, denn beide Methoden müssen die erfassten Zustände an die jeweiligen Instanzen vermitteln.

Auch der kontinuierliche Verbesserungsprozess weist ein starkes Synergiepotenzial mit der Funktion Visualisierung für alle darunterfallenden Methoden auf. So kann bspw. das Cardboard Engineering, eine Methode um eine einfache Simulationsumgebung zu erschaffen, in vielfältigster Weise verbessert werden. Bspw. durch die Darstellung von zusätzlichen Zuständen zu den nachgebauten Anlagen oder durch digitale Repräsentation (AR- und VR-Technologien).

Die Methoden der Mitarbeiterorientierten Führung besitzen ebenfalls Synergiepotenzial bezüglich der Visualisierung. Der Hancho kann durch Visualisierung bei der Organisation von Rationalisierungsmaßnahmen unterstützt werden. Weiterhin können Ansätze zur Problemlösung besser visualisiert und damit auch besser verstanden werden. Für das Zielmanagement erlaubt die Funktion die Visualisierung von verschiedenen Teilaspekten der Methode.

Das Fließprinzip, bzw. deren Methoden haben ein hohes Synergiepotenzial bezüglich der Zustandserfassung. So können Materialbewegungen erfasst und damit bspw. die Einhaltung der FIFO-Methode kontrolliert werden. Des Weiteren können Störungen präventiv erkannt und damit verhindert werden.

Für das Pull-Prinzip weisen sämtliche Methoden hohe Synergiepotenziale mit diversen Industrie 4.0-Funktionen auf. Hervorzuheben sind jedoch die Identifizierung und Visualisierung. Sämtliche Methoden des Pull-Prinzips können durch die Funktion Identifizierung profitieren. So können bspw. durch RFID Objekte und Ladungsträger eindeutig identifiziert werden und damit die JiT/JiS-Methode, welche die 6R-Regel verlangt, verbessert werden. Damit einhergehend sind die Methoden Milkrun, Kanban und Supermarkt zu implizieren. Die Visualisierung kann bspw. dazu eingesetzt werden, die Nivellierungstafel zu verbessern oder den Milkrun-Fahrer bei der Materialversorgung unterstützen.

Wie bei den vorherigen Beschreibungen haben auch die Methoden der Verschwendungsvermeidung ein hohes Synergiepotenzial bezüglich der Zustandserfassung. So kann bspw. der Zustand verschiedener Objekte erfasst werden, um mangelhafte Teile auszusortieren. Weiterhin können Anlagen ihren jeweiligen Zustand übermitteln und proaktiv eine Wartung zu initialisieren.

Es ist festzuhalten, dass besonders die Funktionen Zustandserfassung, Visualisierung und Identifikation ein hohes Synergiepotenzial mit den meisten GPS-Methoden aufweisen, während bspw. Funktionen wie Manipulation und Anpassungsfähigkeit weniger Synergiepotenzial mit der Mehrheit der Methoden aufweisen.

3.3 AP 3: Definition von GaProSys 4.0-Methoden und Bewertung des Einflusses auf unternehmerische Zieldimensionen

Im AP 3 stand die Definition von GaProSys 4.0-Methoden im Vordergrund. Dazu wurde zunächst eine standardisierte Beschreibungsmethodik erarbeitet und anschließend wurden die Methoden entwickelt und strukturiert beschrieben. Abschließend galt es, den Einfluss der Methoden auf unternehmerische Zieldimensionen zu bewerten.

3.3.1 Standardisierte Beschreibungsmethodik

Zielsetzung:

Um Anwendern den Zugang zu den entwickelten GaProSys 4.0-Methoden zu erleichtern und deren Implementierung zu unterstützen, bedarf es einer einheitlichen und übersichtlichen Form der Dokumentation. Ziel des Arbeitspakets war daher die Entwicklung eines standardisierten Formblatts, welches zur Beschreibung der GaProSys 4.0-Methoden geeignet ist. Dieses Formblatt wurde anschließend zur Methodendokumentation verwendet.

Durchgeführte Arbeiten:

Im Rahmen von Literaturrecherchen, Experteninterviews und der Kooperation mit dem Projektbegleitenden Ausschuss wurden relevante Kriterien für die Beschreibung der GaProSys 4.0-Methoden identifiziert und eine allgemeingültige Vorlage für die Beschreibung abgeleitet. Hierbei wurden insbesondere die identifizierten Anforderungen aus AP 1.3 berücksichtigt.

Ergebnisse:

Ergebnis des Arbeitspakets ist das in Tabelle 3-2 abgebildete Formblatt zur Beschreibung von GaProSys 4.0-Methoden.

Tabelle 3-2: Formblatt zur Beschreibung der GaProSys 4.0-Methoden

Methodenkopf	
Bezeichnung	
GPS-Methode	
Industrie 4.0-Funktionen	
Technologien	

Ergänzende GaProSys 4.0-Methoden				
Ergänzende GPS-Methoden				
Zielbeitrag	Qualität	Kosten	Zeit	Flexibilität
Aufwand / Kosten				
Anschaffungskosten				
Wartungsaufwand				
Kurzbeschreibung				
Einführung				
Einführungsdauer				
Kompetenz zur Konfiguration und Einführung				
Anforderungen an die IT-Infrastruktur				
Auswirkungen auf den Datenschutz				
Anwendergruppe				
Kompetenz zur Methodenanwendung				
Wirkung in Unternehmensprozessen				
Fertigung				
Montage				
Planung				
Instandhaltung				
Qualitätsmanagement				
Logistik				
Potenziale und Risiken				
Potenziale				
Risiken				
Literatur				

Die Struktur des Formblatts lässt sich in insgesamt acht Abschnitte unterteilen (siehe Tabelle 3-2, graue Bereiche):

1. Methodenkopf

Im Methodenkopf werden neben der Methodenbezeichnung und der zugrundeliegenden klassischen GPS-Methode auch die beteiligten Industrie 4.0-Funktionen sowie beispielhaft Technologien benannt. Hierbei soll durch die Benennung der Funktionen auf übergeordneter Ebene festgelegt werden, welche Funktionalitäten von (grundsätzlich beliebigen) einzusetzenden Industrie 4.0-Lösungen zur Implementierung der GaProSys 4.0-Methode erforderlich sind. Zusätzlich werden beispielhaft Technologien benannt, die zur Realisierung der erforderlichen Industrie 4.0-Funktionen eingesetzt werden können. Aufgrund der Fülle verfügbarer Technologien und der kontinuierlichen technologischen Entwicklung wird bei deren Auflistung innerhalb der Formblätter kein Anspruch auf Vollständigkeit erhoben. Die benannten Beispiele sollen dem Anwender vielmehr eine erste

Orientierungshilfe für Möglichkeiten der praktischen Implementierung der erforderlichen Funktionen geben.

Abschließend werden im Methodenkopf ergänzende GaProSys 4.0- und GPS-Methoden benannt. Hierdurch sollen die Synergien sowie zeitliche und inhaltliche Korrelationen zwischen unterschiedlichen Methoden aufgezeigt und schließlich der gezielte Einsatz eines Methodenverbundes gefördert werden. Hervorzuheben ist dabei, dass Synergien und Korrelationen nicht nur mit anderen GaProSys 4.0-Methoden, sondern auch mit klassischen GPS-Methoden bestehen können.

2. Zielbeitrag

Um den Nutzen einer Methode differenziert bewerten zu können, wurden vier Zielbeitragskategorien definiert: Qualität, Kosten, Zeit und Flexibilität. Bei den ersten drei Kategorien handelt es sich um klassische Unternehmenszielgrößen, welche beispielsweise bereits zur Bemessung des Zielbeitrags klassischer GPS-Methoden (VDI 2870 Blatt 2) herangezogen wurden. Mithilfe eines Punktesystems (gering = ●, mittel = ●●, hoch = ●●●) wird bewertet, wie hoch der Beitrag einer betrachteten Methode zur Verbesserung der Qualität (z. B. Produkt- oder Prozessqualität), zur Senkung der Kosten (z.B. Herstellkosten) oder zur Verringerung relevanter Zeiten (z. B. Auftragsdurchlaufzeit) ist. Im Kontext sich verkürzender Produktlebenszyklen in Kombination mit zu erbringendem Investitionsaufwand zur Implementierung der GaProSys 4.0 Methode wurde in Abstimmung mit dem Projektbegleitenden Ausschuss zusätzlich die Kategorie „Flexibilität“ in die Zielbeitragsbemessung aufgenommen. Bewertet wird dabei die Flexibilität der Anpassung der GaProSys 4.0-Methode bei sich ändernden Rahmenbedingungen wie beispielsweise einer Veränderung des Typ-Mengen-Mixes.

Die Punktebewertung der vier Kategorien ergänzend sieht das Methodenblatt ein Feld für Freitext vor, in dem zur Transparenzsteigerung eine kurze Erläuterung der getroffenen Punktebewertung aufgeführt wird.

3. Aufwand / Kosten

Den Zielbeiträgen stehen Aufwände / Kosten zur Einführung und zum laufenden Betrieb einer GaProSys 4.0-Methode gegenüber. Neben Anschaffungskosten, die primär den Erwerb von Hardware und Softwarelizenzen umfassen, sind auch Wartungsaufwände zu betrachten. Letztere umfassen sowohl die Wartung von Hardware wie beispielsweise verbauter Sensorik als auch die kontinuierliche Aktualisierung von Datenspeichern oder Softwareprozessen und -anwendungen.

Um den Vergleich der Aufwände und Kosten zwischen unterschiedlichen GaProSys 4.0-Methoden zu ermöglichen, wird die Bewertung in drei Stufen (gering, mittel, hoch) vorgenommen und bei der Bewertung zu erwartender Kosten eine Kostenspanne (bis 10.000 €; 10.000 € bis 50.000 €; mehr als 50.000 €) angegeben. In Abstimmung mit dem Projektbegleitenden Ausschuss wurde eine

differenziertere Angabe der Kosten aufgrund der starken Abhängigkeit von unternehmens-individuellen Rahmenbedingungen sowie der individuell ausgewählten Soft- und Hardwarelösungen nicht als sinnvoll erachtet. Stattdessen wurden die wesentlichen zu erwartenden Kostenpositionen bzw. Wartungsaufwände zusätzlich stichpunktartig benannt und damit die Anwenderunternehmen zu einer individuellen Abschätzung der Aufwände befähigt.

Insgesamt erlaubt die kombinierte Betrachtung von Zielbeiträgen, Aufwänden und Kosten eine gezielte Aufwand-Nutzen-Abschätzung mit Blick auf die für das Anwenderunternehmen individuell relevanten Zieldimensionen.

4. Kurzbeschreibung

Die Grundzüge einer GaProSys 4.0-Methode werden im Abschnitt „Kurzbeschreibung“ in Form eines Freitexts zusammengefasst und durch eine Konzeptgrafik visualisiert. Darüber hinaus werden in Abstimmung mit dem Projektbegleitenden Ausschuss die Erweiterungen bzw. Unterschiede zur zugrundeliegenden klassischen GPS-Methode aufgeführt und somit eine Abgrenzung geschaffen.

5. Einführung

Durch die höhere Technologisierung von GaProSys 4.0-Methoden, im Vergleich zu klassischen GPS-Methoden, entstehen neue Herausforderungen, welche im Rahmen dieses Abschnitts dargestellt werden.

Einerseits ist die erforderliche Kompetenz zur Konfiguration und Einführung der Methode sowie zur Methodenanwendung zu betrachten und zu differenzieren. Während zur Einführung einer neuen Methode zudem weitreichende Kompetenzen, beispielsweise in den Bereichen der Datenintegration und -analyse oder in der Einrichtung von Messtechnik erforderlich sein können, kann die spätere Nutzung der Methode oftmals durch Mitarbeiter ohne entsprechende Kenntnisse erfolgen, da nach einer initialen Einrichtungsphase viele komplexen Prozesse (z. B. Datenverarbeitung) automatisiert ablaufen.

Andererseits bilden die Aufzeichnung und Auswertung von Daten einen Grundstein der Funktionsweise von Industrie 4.0-Technologien. In diesem Kontext steigen sowohl die Anforderungen an die IT-Struktur, die die Datenaufzeichnung, -vernetzung und -verarbeitung unterstützen muss, als auch die Anforderungen an den Datenschutz, da zunehmend neben sensiblen Unternehmensdaten auch personenbezogene Daten verarbeitet werden.

Die Ausprägung der genannten Kategorien erfolgt stichpunktartig bzw. als Fließtext. Zusätzlich wird die Einführungsdauer der Methode stufenweise angegeben: kurzfristig (bis 6 Monate), mittelfristig (6 bis 12 Monate), langfristig (mehr als 12 Monate).

6. Wirkung in Unternehmensprozessen

In diesem Abschnitt wird in qualitativer Form durch Freitextangabe die Wirkung der GaProSys 4.0-Methode auf Unternehmensprozesse in unterschiedlichen Bereichen wie Fertigung, Montage, Planung, Instandhaltung, Qualitätsmanagement und Logistik bewertet. Bei der Auswahl zu betrachtender Unternehmensbereiche wurden jene fokussiert, die typischerweise durch klassische GPS-Methoden und insbesondere durch im Forschungsprojekt entwickelte GaProSys 4.0-Methoden beeinflusst werden. Aufgrund des Betrachtungsbereichs werden primär produktionsnahe Bereiche adressiert. Analog zur Entwicklung und Verbreitung klassischer GPS-Methoden werden durch GaProSys 4.0-Methoden zunächst die produktionsnahen Bereiche durchdrungen. Bei nachträglicher Erweiterung des GaProSys 4.0-Methodenkatalogs, beispielsweise um Methoden, welche primär Verwaltungsprozesse beeinflussen, ist daher auch die Erweiterung des Methodenblatts hinsichtlich weiterer Unternehmensbereiche zu erwägen.

7. Potenziale und Risiken

In diesem Abschnitt werden die Potenziale und Risiken der Anwendung der Methode benannt. Dabei werden neben technischen beispielsweise auch finanzielle und rechtliche Aspekte betrachtet. Üblicherweise sind die hier enthaltenen Informationen auch in den oberen Abschnitten des Formblatts explizit oder implizit aufgeführt. Somit handelt es sich an dieser Stelle primär um eine abschließende Zusammenfassung der mit der Einführung der Methode einhergehenden Potenziale und Risiken. In Abstimmung mit dem Projektbegleitenden Ausschuss ist diese für Praxisanwender zur Bewertung der Methode unerlässlich.

8. Literatur

Durch die Angabe von zusätzlichem Informationsmaterial soll dem Anwender die vertiefte Auseinandersetzung mit der GaProSys 4.0-Methode ermöglicht werden. Neben schriftlichem Material zur zugrundeliegenden GPS-Methode und zu Industrie 4.0-Funktionen und -Technologien werden hier beispielsweise auch Verlinkungen zu Use Cases eingefügt, deren Inhalte in die Methodenentwicklung eingeflossen sind.

3.3.2 Methodenentwicklung

Zielsetzung:

Ausgehend von der erarbeiteten Synergiematrix in AP 2, galt es Konzepte zu erarbeiten, die die konventionellen GPS-Methoden mit Industrie 4.0-Funktionen kombinieren. Durch die Vorarbeit in AP 2 wurde der Fokus bei der Weiterentwicklung der Methoden auf die bereits identifizierten positiven Synergien gelegt. Letztendlich verwenden die GaProSys 4.0-Methoden somit genau die Industrie 4.0-Funktionen, die die Eigenschaften der konventionellen Methode verbessern und

ergänzen. Abschließend waren die entwickelten GaProSys 4.0-Methoden auf Grundlage des im vorigen Abschnitt erarbeiteten Methodenblatts zu standardisieren und zu dokumentieren.

Durchgeführte Arbeiten:

Die Entwicklung der GaProSys 4.0-Methoden erfolgte sowohl analytisch anhand der aufgezeigten Synergien als auch auf Basis der durchgeführten Literaturrecherche und dabei identifizierter Lösungsansätze. Weiterhin wurde Impulse aus Expertengesprächen mit dem Projektbegleitenden Ausschuss berücksichtigt. Im Zuge der Expertengespräche wurden sowohl ausgehend von bestehenden Schwachstellen der GPS-Methoden als auch die Potenziale der Synergiematrix für die Entwicklung der Methoden zugrunde gelegt.

Ergebnisse:

Die Ergebnisse des Arbeitspakets sind die ausgeprägten GaProSys 4.0-Methodenblätter aus dem vorigen Abschnitt. Im Zuge des Projekts wurden 13 GaProSys 4.0-Methoden entwickelt, um die Eignung des Ansatzes aufzuzeigen. Im Anhang sind in Tabelle 10-2 bis Tabelle 10-13 die entwickelten Methodenblätter dargestellt. Zur Veranschaulichung des Vorgehens wird die Methodenentwicklung nachfolgend anhand des Beispiels „Jidoka 4.0“ verdeutlicht. Dazu wird zunächst der Schwachpunkt der bestehenden Methoden beschrieben und anschließend auf Basis der identifizierten Synergien die Methode weiterentwickelt. Abschließend wird die Methode durch die standardisierte Beschreibungsmethodik (siehe Kapitel 3.3.1) in ein Methodenblatt überführt.

Die GPS-Methode Jidoka beschreibt eine intelligente oder autonome Automatisierung. Ziel der Methode ist die Einrichtung von kleinen, sich selbst kontrollierenden Regelkreisen, welche den Produktionsprozess überwachen und Defekte schon bei der Entstehung erkennen. So soll erreicht werden, dass Abweichungen im Produktionsprozess sofort erkannt und eliminiert werden. Zur Umsetzung der Methode werden Sensoren und mechanische Komponenten eingesetzt, welche den Produktionsprozess automatisch stoppen, sobald sie eine Abweichung vom Prozessstandard erkennen. Der zuständige Mitarbeiter ist nun dafür zuständig, die Prozessabweichung zu beheben. Durch den unmittelbaren Abbruch des Prozesses erhöht sich der Druck auf den Mitarbeiter, den ursächlichen Fehler schnellstmöglich zu eliminieren. Fehler im Produktionsprozess werden somit direkt nach ihrer Entstehung erkannt und behoben.

Wenngleich die Methode eine schnelle Reaktion auf auftretende Prozessabweichungen ermöglicht, kann die Abweichung selbst nicht verhindert werden. Indem die Prozessunterbrechungen die Maschinenverfügbarkeit reduziert und die Mitarbeiter für Reparaturen binden, besteht hier das Potenzial, die Methode weiter zu verbessern. Dafür müssen potenzielle Prozessabweichungen bereits vor dem Auftreten prädiktiv erkannt werden.

Durch die Potenziale der Industrie 4.0 ergibt sich die Möglichkeit, das beschriebene Verbesserungspotenzial umzusetzen. Grundlegend bietet sich dafür zunächst der Einsatz von Technologien zur Zustandserfassung an. Durch die steigende Verfügbarkeit von Sensoren und Hardware zur Datenverarbeitung und -speicherung, können die Datenmengen, die innerhalb des Produktionsprozesses generiert werden, erfasst und gespeichert werden. So können umfassende Datensätze aufgebaut werden, die das implizite Wissen des Produktionsprozesses enthalten. Die Datensätze werden anschließend in der Datenverarbeitung genutzt, um verborgene Muster innerhalb der Daten zu ermitteln und somit bisher unbekanntes Wissen über den entsprechenden Produktionsprozess zu generieren. Dieses Wissen kann dann eingesetzt werden, um datengetriebene Modelle zur Prognose von Prozessabweichungen zu trainieren.

Die Umsetzung dieser Prognosemodelle kann dabei grundsätzlich über zwei Wege erfolgen, durch überwachtes oder unüberwachtes Lernen. Das überwachte Lernen nutzt Daten, bei denen sowohl die Prozessparameter als auch der Prozesszustand bekannt sind. Das Verfahren kann bspw. eingesetzt werden, um bereits erkannte Fehlerbilder zu erkennen und zu verhindern. Das unüberwachte Lernen verwendet hingegen nur die Daten der Prozessparameter. Durch den Verzicht auf den zugehörigen Prozesszustand können bspw. neue, bisher nicht erkannte Fehlerbilder identifiziert werden.

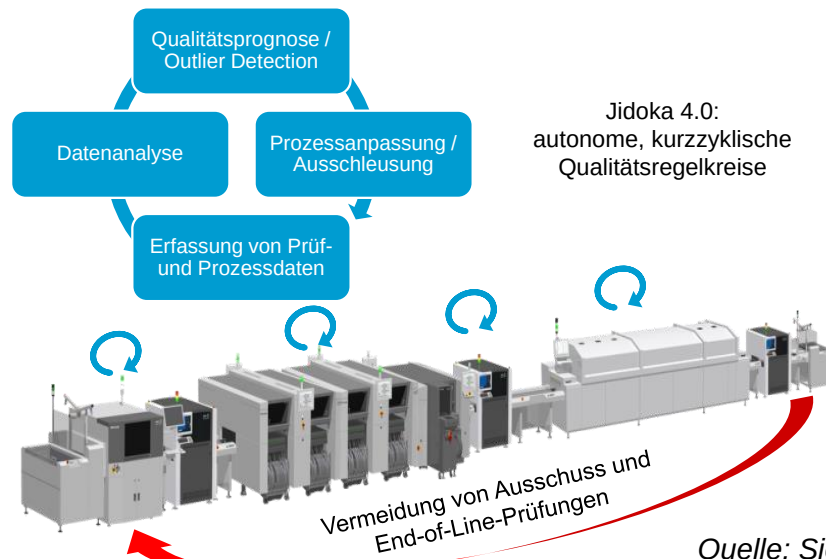
Unter Berücksichtigung der in Kapitel 3.1.2 angeführten Industrie 4.0-Funktionen wird nachfolgend die entwickelte GaProSys 4.0-Methode beschrieben. Die Funktionen der Identifikation und der Zustandserfassung werden genutzt, um die relevanten Prozessparameter und -zustände zu erfassen und zu speichern. Die Identifikation dient dazu, die mittels Sensorik erfassten Prozessparameter dem in diesem Moment bearbeiteten Werkstück zuzuordnen. Anschließend ermöglicht die Funktion der Datenverarbeitung das Umsetzen der genannten Lernverfahren und das Trainieren der Prognosemodelle. Die Prognosemodelle erlauben es dann, zukünftige Defekte im Voraus zu erkennen und an den zuständigen Mitarbeiter zu übermitteln. Für die Darstellung der Information wird die Funktion der Visualisierung eingesetzt. Da unbekannte Fehlerbilder auftreten können, muss das Überwachungssystem sich selbst an die neuen Fehlerbilder anpassen. Dies erfolgt durch das selbstständige Aktualisieren des bestehenden Prognosemodells, ermöglicht durch die Funktion der Adaption. Des Weiteren werden die Funktionen der Steuerung und Kontrolle sowie die Manipulation genutzt, damit der Produktionsprozess bei Auftreten eines Fehlers selbstständig reagieren und den Prozess stoppen kann. Die zugehörige Methodenbeschreibung ist in Tabelle 3-3 dargestellt.

Tabelle 3-3: GaProSys 4.0-Methode Jidoka 4.0

Bezeichnung	Jidoka 4.0
GPS-Methode	Jidoka (Autonomation)
Industrie 4.0-Funktionen	Identifikation, Zustandserfassung, Datenverarbeitung, Visualisierung, Adaption, Steuerung und Kontrolle, Manipulation
Technologien	Barcode / RFID, Maschinendatenerfassung / Sensorik, Qualitätsprüfsystem, Datenanalyseplattform (Serverumgebung, Data Mining Software)
Ergänzende GaProSys 4.0-Methoden	Ishikawa 4.0, Sensordatenbasierte QRK
Ergänzende GPS-Methoden	Andon, Poka Yoke, (5xWarum)

Zielbeitrag	Qualität ●●●	Kosten ●●	Zeit ●●	Flexibilität ●
Durch die prädiktive Erkennung und Vermeidung von Qualitätsmängeln wird die Produktqualität gesteigert. Die Reduktion bzw. frühzeitige Erkennung von Ausschussteilen führt zu einer Senkung der Material- und Produktionskosten. Zusätzlich wird dadurch die Herstellung bzw. Weiterbearbeitung von Ausschussteilen reduziert und somit nicht wertschöpfende Zeit eingespart / die Produktivität gesteigert.				
Aufwand / Kosten				
Anschaffungskosten	Mittel (10.000–50.000 €) Sensorik, Softwarelizenz, Server(-lizenz)			
Wartungsaufwand	Mittel Wartung der Sensorik, Anpassungen im Datenanalyseprozess bei signifikanten Änderungen des Fertigungsprozesses (Grundkenntnisse der Datenanalyse erforderlich), laufende Kosten für die Datenanalyseplattform			

Kurzbeschreibung



Maschinen und Anlagen werden durch den Jidoka 4.0-Ansatz autonom betrieben. Eine Prozessüberwachung durch Mitarbeiter ist nicht erforderlich. Das zu bearbeitende Produkt wird automatisch identifiziert und prozessbeeinflussende, variantenspezifische Merkmale berücksichtigt. Die Prozess- und Qualitätsüberwachung erfolgt auf Basis von (komplexen, vielfältigen) Maschinen- und Sensordaten. Diese werden durch Datenanalysesoftware in Echtzeit ausgewertet und eine Qualitätsprognose abgeleitet. Die Grundlage hierzu ist die Erkennung von (Prozess-)Anomalien auf Basis der ermittelten Parameter. Somit können Prozessabweichungen bereits prospektiv / prädiktiv erkannt und entsprechende Gegenmaßnahmen (bspw. durch die Maschinensteuerung) eingeleitet werden. Anzustreben ist die Anpassung des Bearbeitungsprozesses, sodass die Herstellung von Ausschuss vermieden wird. Somit erfolgt die Umsetzung kurzer Qualitätsregelkreise, sodass eine End-of-Line-Prüfung nur in Ausnahmefällen erforderlich ist. Falls die Anpassung des Bearbeitungsprozesses zur Herstellung eines Gutteils nicht möglich ist, sollte das Produkt möglichst frühzeitig aus dem Prozess ausgeschleust werden, sodass keine weitere Wertschöpfung eingebracht wird. Die Dokumentation der aufgetretenen Qualitäts- / Prozessabweichungen ist zur Ursachenanalyse heranzuziehen.

Verbesserung zum klassischen Jidoka:

- Überwachung des Prozesses anstatt / zusätzlich zur Kontrolle des Bauteils
- Erkennung eines Qualitätsmangels, bevor er auftritt
- Möglichkeit zur Identifikation komplexer Prozesszusammenhänge zwischen Prozess- und Qualitätsparametern

Einführung

Einführungsdauer	mittelfristig (6 bis 12 Monate)
Kompetenz zur Konfiguration und Einführung	▪ Auswahl und Integration geeigneter Sensorik ▪ Datenerhebung ▪ Prognosemodellbildung, -evaluation und -anwendung
Anforderungen an die IT-Infrastruktur	▪ Gepflegte Stücklisten, Arbeitspläne und Produktionsprogramm ▪ Prozess- und Prüfparameter ▪ Vernetzung von Anlage, Sensorik und Analyseplattform
Auswirkungen auf den Datenschutz	Ggf. Speicherung der Daten auf Servern von Dienstleistern

Anwendergruppe	Operative Mitarbeiter in Produktion und Qualitätsmanagement
Kompetenz zur Methodenanwendung	Keine; die Maschine trifft die Entscheidungen Sekundär: Fehleranalysekompetenz
Wirkung in Unternehmensprozessen	
Fertigung	Vermeidung der Bearbeitung / Wertschöpfung an Ausschussteilen
Montage	Vermeidung der Bearbeitung / Wertschöpfung an Ausschussteilen
Planung	-
Instandhaltung	-
Qualitätsmanagement	Verbesserung der Produktqualität
Logistik	Kein unnötiges Handling von Ausschussteilen
Potenziale und Risiken	
Potenziale	▪ Steigerung der Produktqualität ▪ Prüftorentlastung ▪ Erzielung stabiler Prozesse ▪ Vermeidung von Ausschussteilen durch prädiktiven Prozesseingriff ▪ Vermeidung von Wertschöpfung oder Handling von Ausschussteilen ▪ Entlastung von Mitarbeitern durch automatische Prozessüberwachung (bspw. Ermöglichung von Mehrmaschinenbedienung)
Risiken	▪ Störanfälligkeit verwendeter Hardware (bspw. Sensorik) ▪ Auftreten von Pseudofehlern (Klassifizierung von Gutteilen als Ausschuss) ▪ Auftreten von Schlupf (Klassifizierung von Ausschuss als Gutteil) ▪ Unvorteilhaftes Kosten-Nutzen-Verhältnis bei bereits stabilen Prozessen
Literatur	
VDI-Richtlinie VDI 2870 / Blatt 2 (2013): Ganzheitliche Produktionssysteme. Fayyad U, Piatetsky-Shapiro G and Smyth P. From Data Mining to Knowledge Discovery in Databases. AI Magazine 1996; 17(3): 37–54. Deuse J, Schmitt J, Bönig J and Beitinger G. Dynamische Röntgenprüfung in der Elektronikproduktion: Einsatz von Data-Mining-Verfahren zur Qualitätsprognose. Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb 2019; 114(3): 264–267.	

3.3.3 Analyse der Korrelation der GaProSys 4.0-Methoden untereinander

Zielsetzung:

Ziel dieses Teilarbeitspakets ist die Betrachtung von Korrelationen der GPS 4.0-Methoden untereinander. Dabei sollen insbesondere die Methoden ermittelt werden, die durch ihr positives Zusammenwirken Synergieeffekte erzeugen. Des Weiteren werden Abhängigkeiten identifiziert, die zwischen den einzelnen Methoden bestehen.

Durchgeführte Arbeiten:

Die Darstellung der Synergien der einzelnen Methoden erfolgte anhand einer Synergiematrix. Durch die Analyse der Wechselwirkungen der einzelnen Methoden, kann die Intensität der Synergien anhand von drei Stufen bewertet (o = keine Synergien, + = Synergien vorhanden, ++ = starke Synergien vorhanden) und in der Synergiematrix eingetragen werden. Zusätzlich sorgt eine Auswertung der erstellten Methodenblätter dafür, dass voneinander abhängige Methoden erkannt und in der Synergiematrix berücksichtigt werden.

Ergebnisse:

Das Ergebnis des Teilarbeitspakets ist eine Synergiematrix, welche die einzelnen Wirkzusammenhänge der Methoden untereinander darstellt. Exemplarisch werden im Folgenden die Zusammenhänge zwischen den GaProSys 4.0-Methoden Dynamischer Milkrun, Intelligenter Supermarkt und RFID-Kanban beschrieben. Dazu werden die drei Methoden zunächst in aller Kürze beschrieben und anschließend die Synergien erläutert sowie ein Ausschnitt der resultierenden Synergiematrix vorgestellt.

Kurze Erläuterung der Methoden

Der **dynamische Milkrun** beschreibt eine verbrauchsabhängige Materialversorgung, die flexibel auf Bedarfe reagiert. Entgegen dem konventionellen Milkrun findet die Materialversorgung nicht gemäß eines fix definierten Regelfahrplans statt, sondern wird an die aktuelle Versorgungssituation angepasst. Dafür wertet eine Steuerungssoftware die Materialbedarfe in Echtzeit aus und passt die Abfahrtszeiten und/ oder die Haltepunkte des Routenzugs an. Die angepasste Route wird anschließend an den Routenzug gesendet und auf einem mobilen Endgerät visualisiert.

Das **RFID-Kanban** zielt auf eine echtzeitfähige nachfrageorientierte Produktionssteuerung ab. Die Produktion ist in ein System geschlossener Regelkreise unterteilt, wobei es in jedem Regelkreis definierte Mindestbestände gibt. Durch die Ausstattung der Arbeitsplätze mit RFID-Readern sowie den Behältern mit RFID-Transpondern werden Materialbewegungen automatisch erkannt. Die Erfassung der Materialbewegungen und -verbräuche erfolgt damit entgegen dem konventionellen Kanban unabhängig von den physischen Behältern bzw. Kanban Karten. Außerdem werden die Materialbewegungen in Echtzeit an ein übergeordnetes System gesendet und die aktualisierten Bestände mit den Mindestbeständen abgeglichen. Bei der Unterschreitung von Mindestbeständen wird die Materialversorgung mit einer Nachlieferung beauftragt.

Der **intelligente Supermarkt** verfügt auf Anliefer- und Entnahmeseite über RFID-Reader an jedem Stellplatz. Über die Ausstattung aller Behälter mit RFID-Transpondern werden Materialanlieferung und -entnahme automatisch erfasst und an ein übergeordnetes System gesendet. Die Echtzeit-Erfassung aller Materialbewegung führt dadurch zu einer maximalen Bestandstransparenz innerhalb des Supermarkts, wodurch die digitale Überwachung des Bestands eine höhere Genauigkeit

aufweist, als es bei einem konventionellen Supermarkt durch die einfache Überwachung des Sichtbestands möglich ist. Des Weiteren erkennt der intelligente Supermarkt das anzuliefernde oder zu entnehmende Material automatisch. Durch Signalleuchten zeigt der Supermarkt die entsprechenden Stellplätze an und kann bei fehlerhafter Befüllung ein visuelles Signal anzeigen.

Erläuterung der Korrelation zwischen jeweils zwei Methoden

Nachfolgend werden die Synergien zwischen den Methoden exemplarisch erläutert. Die Abbildung 3-4 zeigt die Abhängigkeit zwischen dem dynamischen Milkrun und dem intelligenten Supermarkt. Der Regelfahrplan des Routenzugs umfasst normalerweise einen Halt an aller vier Arbeitsstationen bzw. den zugehörigen Supermärkten. Allerdings besteht an zwei der vier Haltepunkte kein Bedarf. Ein Anfahren dieser Haltepunkte nach Regelfahrplan stellt damit Verschwendung dar. Der intelligente Supermarkt erfasst automatisiert die Bestandslevel und daraus abgeleitete Bestandsreichweiten und generiert basierend auf den Bedarfen Transportaufträge für den dynamischen Milkrun. Der dynamische Milkrun wiederum erstellt auf Basis der Transportaufträge eine wegoptimierte Route und versorgt die Supermärkte mit den Materialien.

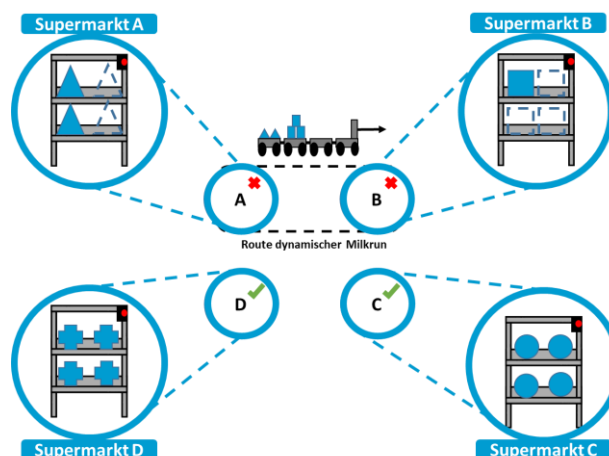


Abbildung 3-4: Intelligenter Supermarkt und dynamischer Milkrun

Abbildung 3-5 zeigt wie die Erfassung der Materialbewegung durch die Supermärkte zu einer Optimierung des Regelfahrplans führt. Die erfassten Materialbewegungen der Supermärkte und der Materialbewegungen an den Arbeitsplätzen werden an ein übergeordnetes System gesendet. Das übergeordnete System, hier Kanban-Cockpit genannt, errechnet aus den kommunizierten Materialbewegungen die tatsächlichen Bestände innerhalb der einzelnen Regelkreise, dessen Bedarf über definierbare Mindestbestände werden die Bedarfe der Regelkreise ermittelt. Der Regelfahrplan wird aufgrund dieser Informationen optimiert und an den Routenzug gesendet. Durch die jederzeit aktuelle Bestandsübersicht werden Transporte und Strecken eingespart. Außerdem sinkt die Wiederbeschaffungszeit von Materialien, da schneller auf Bedarfe reagiert wird. Folglich können Mindestbestände reduziert werden.

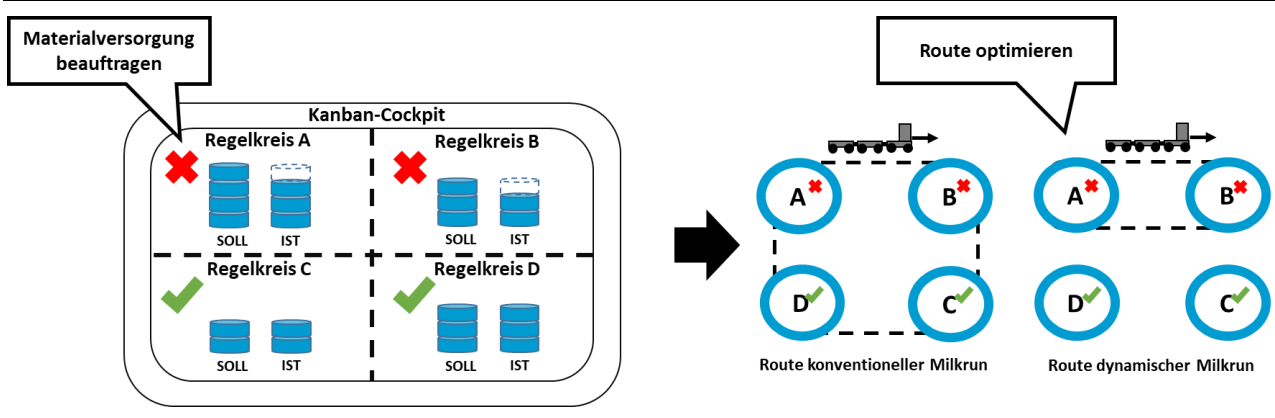


Abbildung 3-5: RFID-Kanban und dynamischer Milkrun

Weiterhin können auch Korrelationen zwischen allen drei Methoden aufgezeigt werden. In einem Zusammenspiel der Methoden ist der dynamische Milkrun für die flexible Materialversorgung der Arbeitsstationen und Pufferflächen zuständig, wobei er für eine optimale Routenplanung auf eine maximale Bestandstransparenz angewiesen ist. Die Übersicht innerhalb der Pufferflächen wird dabei durch den intelligenten Supermarkt gewährleistet. Durch die Digitalisierung der Materialbewegungen an den Arbeitsstationen mittels RFID-Kanban wird die Bestandstransparenz über die verschiedenen Regelkreise hinweg komplettiert. Abschließend betrachtet stehen die drei Methoden damit in einer engen Verbundenheit, sodass die Kombination der Methoden zu starken Synergien führt. Für ein Unternehmen bietet es sich somit an, die drei Methoden kombiniert einzuführen und die Synergien zwischen den Methoden zu nutzen.

Zusammenfassung

Der Übersichtlichkeit halber wird auf eine mehrdimensionale Gegenüberstellung der Methoden verzichtet. Außerdem werden bereits durch die bilaterale Gegenüberstellung der Methoden Synergien aufgezeigt, die beliebige Kombination, auch zwischen mehreren Methoden, ermöglichen. Ein Auszug der identifizierten Synergien ist in der Abbildung 3-6 auf der linken Seite dargestellt.

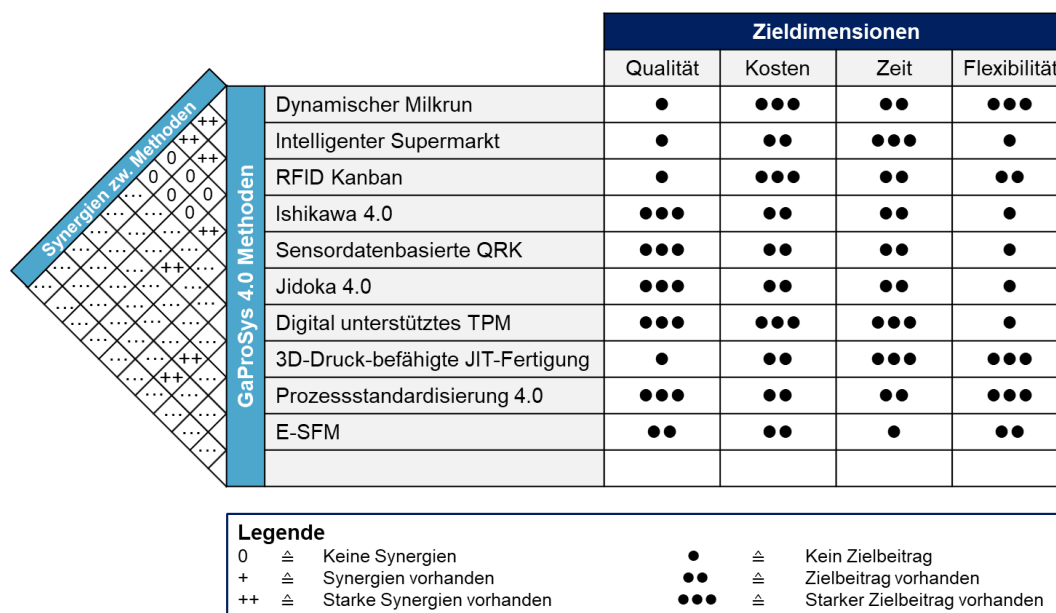


Abbildung 3-6: Auszug aus den Synergien zwischen den Methoden

3.4 AP 4: Ermittlung erforderlicher Rahmenbedingungen in KMU zur Umsetzung von GaProSys 4.0-Methoden

Um die Eignung der GaProSys 4.0-Methoden für ein Unternehmen festzustellen und damit auch die Auswahl von GaProSys 4.0-Methoden für den spezifischen Anwendungsfall unterstützen zu können, müssen die unternehmensspezifischen Rahmenbedingungen ermittelt werden, die einen maßgeblichen Einfluss auf die Auswahl bzw. Eignung jener Methoden haben. Zusätzlich wird die erarbeitete Typologie für eine diesbezügliche Bewertung der GaProSys 4.0-Methoden genutzt. Durch die Bewertung der GaProSys 4.0-Methoden für jede Merkmalsausprägung der Typologie, wird die Bewertungsbasis für die Auswahlssystematik gelegt.

3.4.1 Typologie zur Charakterisierung der unternehmensspezifischen Rahmenbedingungen

Zielsetzung:

Ziel dieses Arbeitspakets war die Entwicklung einer Typologie, die es erlaubt einen Anwendungsfall, respektive ein Produktionssystem, so zu beschreiben, dass eine Bewertung hinsichtlich der Eignung von GaProSys 4.0-Methoden ermöglicht wird. Die Typologie muss einen generischen Charakter aufweisen, um den Nutzen für ein beliebiges KMU mit seinen spezifischen Eigenschaften sicherzustellen. Aus den jeweiligen Merkmalen und deren Ausprägungen soll sich dann wiederum das bestehende Produktionssystem konfigurieren lassen. Es soll in Referenz zur Auswahlssystematik in Kapitel 3.5 darauf geachtet werden, dass die Granularität der Typologie beschränkt bleibt und damit

das Produktionssystem weitestgehend ohne Betriebsanalyse beschrieben werden kann, bzw. ein Anwender das Produktionssystem ohne einen nennenswerten Rechercheaufwand abbilden kann.

Durchgeführte Arbeiten:

Im vierten Arbeitspaket wurden die erforderlichen Rahmenbedingungen ermittelt, die zur Umsetzung der in AP 3 definierten GaProSys 4.0-Methoden erfüllt sein müssen. Hierzu wurde, basierend auf in der Literatur bestehenden Konzepten, eine Typologie entwickelt, die die Erfassung der im Unternehmen gegebenen Rahmenbedingungen ermöglicht. Anschließend wurde für unterschiedliche (unternehmensspezifische) Ausprägungen der Typologie eine Möglichkeit erarbeitet, um die Eignung der GaProSys 4.0-Methoden hinsichtlich der Zieldimensionen zu bewerten. Die durchgeführten Arbeiten für die Ermittlung der erforderlichen Rahmenbedingungen in KMU zur Umsetzung der GaProSys 4.0-Methoden zeigt die folgende Abbildung 3-7.

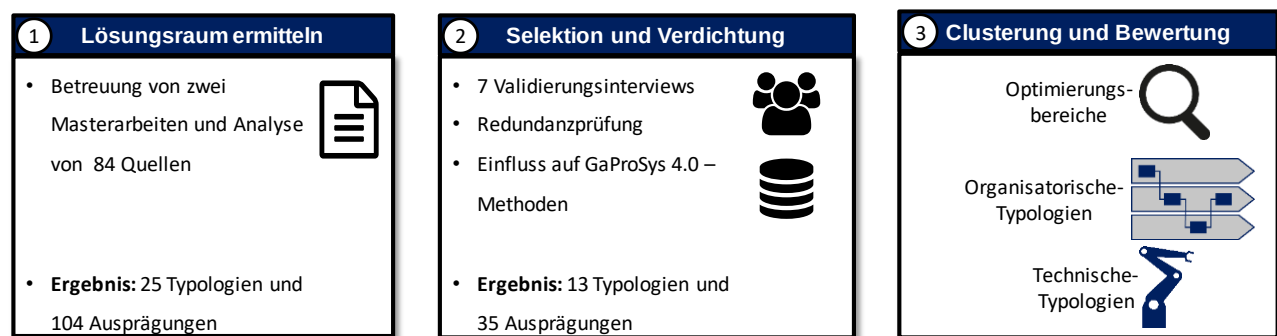


Abbildung 3-7: Durchgeführte Arbeiten zur Erstellung der Typologie

Ergebnisse:

Die entwickelte Typologie setzt sich aus drei Merkmalsklassen zusammen, die in Anlehnung an die sozio-technische Betrachtungsweise eines Produktionssystems in die Elemente Mensch, Organisation und Technik gegliedert werden. Da die Bewertung der Dimension Mensch nur schwer möglich ist, bzw. nur subjektiv erfolgen kann, wurde festgestellt, dass diese die Komplexität der Auswahlmethodik stark erhöht. Daher wurde die menschliche Komponente bei der Bildung der Typologien weitestgehend vernachlässigt. Dies wird zudem dadurch gerechtfertigt, dass entsprechende Merkmale wie Qualifikation, Akzeptanz oder Kompetenzen, keine signifikanten Unterscheidungsmerkmale der jeweiligen Methoden darstellen und somit für die Methodenauswahl nicht von Relevanz sind. Allerdings wird in der Methodenbeschreibung die Dimension Mensch bei der Beschreibung zur Implementierung berücksichtigt. Die Inhalte der Merkmalsklassen der Optimierungsbereiche, und ihre organisatorischen sowie technischen Kriterien werden nachfolgend beschrieben.

Optimierungsbereich: Durch den Optimierungsbereich soll der Anwendungsbereich und die Funktion einer GaProSys 4.0-Methode definiert werden. Der Anwendungsbereich ist aus der VDI-Richtlinie 2870-1 abgeleitet und grenzt dabei den Führungsprozess und den Unterstützungsprozess *Human Resources* aus, welche nicht als Optimierungsobjekte von GaProSys 4.0-Methoden gesehen werden (VDI 2870 Blatt 1). Somit bilden sich der Richtlinie nach die folgenden differenzierbaren Produktionsbereiche aus:

- Fertigung: Umfasst Prozesse des schrittweisen Veränderns oder der Stoffeigenschaften oder beider von einem Rohzustand in einen Fertigungszustand (DIN 8580).
- Montage: Umfasst Prozesse des Zusammenbauens von Teilen und / oder Baugruppen (DIN 8580).
- Logistik: Umfasst Prozesse der Planung, Steuerung und Überwachung des innerbetrieblichen Transports von Materialien und Halbzeugen, bzw. Erzeugnissen (VDI 4400)
- Instandhaltung: Umfasst Prozesse der Instandhaltungsplanung, -steuerung, und der Instandhaltungstätigkeiten (DIN EN 13306)
- Qualitätsmanagement: Umfasst die Prozesse zur Sicherstellung der Kundenanforderungen sowie weiterer Anforderungen an Ihre Produkt- bzw. Dienstleistungsqualität zu erfüllen. (DIN EN ISO 9001)

Durch diese Einteilung wird eine granulare Zuordnung der Methoden in Anwendungskontexte ermöglicht.

Für die Funktionen einer Methode wird auf Gottmann (2016) verwiesen, welche die GPS-Methoden in die Funktionen Planung, Steuerung und Kontrolle einteilt. Jene Funktionen werden folgendermaßen definiert:

- Planung: Entwicklung und Ideengenerierung eines Soll-Zustands (inklusive Identifikation von Problemlösungen)
- Steuerung: Steuerung der Prozesse oder des Materials
- Kontrolle: Identifikation von Abweichungen durch einen Vergleich der Soll- und Ist-Zustände von Prozessen und / oder Produkten

Durch die Festlegung des Optimierungsbereichs kann jeder GaProSys 4.0-Methode eine Bewertung bezüglich der Anwendungsmöglichkeit und des -zwecks gegeben werden.

Organisatorische Merkmale: Die Beschreibung der organisatorischen Rahmenbedingungen erfolgt vordergründig durch die Ablauforganisation, da die zu einer Organisation dazugehörige Aufbauorganisation kein Optimierungsziel von GaProSys 4.0-Methoden darstellt. Zur Beschreibung

der Ablauforganisation eines Produktionsbereichs lassen sich zwei Merkmalsklassen bilden, das Produktionsprogramm und die Prozessstruktur. Das Produktionsprogramm lässt sich durch das Erzeugnisspektrum und die Fertigungsart beschreiben. Mit dem Erzeugnisspektrum wird der Standardisierungsgrad der Erzeugnisse ausgedrückt. Ausgehend von kundenanonymen Standarderzeugnissen (Select-to-Order) erstreckt sich ein Spektrum bis zum kundenindividuellen Produkt (Engineer-to-Order) (Schuh und Schmidt 2014). Die Fertigungsart wiederum gibt die Auflagenhöhe respektive die zu fertigenden Stückzahlen an und lässt sich in die Einmalfertigung, Einzel- und Kleinserienfertigung, Serienfertigung und Massenfertigung unterteilen (Baumgärtner 2006). Nach den produktspezifischen Merkmalen wird die Prozessstruktur benötigt. Jene ergibt sich vordergründig aus dem zugrundeliegenden Fertigungsprinzip. Das Fertigungsprinzip legt die räumliche und organisatorische Struktur eines Fertigungsbereichs fest und beschreibt somit das räumliche Zusammenspiel von Betriebsmitteln und Menschen in der Fertigung (Westkämper und Decker 2006). Allgemein steht die Fertigungsart als die primäre Entscheidungsgrundlage für das Fertigungsprinzip. Wesentliche bzw. grundlegende Fertigungsprinzipien stellen folgende Strukturen dar (Wiendahl und Wiendahl 2020):

- Baustellenprinzip: Das zu bearbeitende Werkstück ist zu groß bzw. schwer, um es zu transportieren. Dadurch wird es notwendig die Betriebsmittel, um das Werkstück anzuordnen.
- Werkbankprinzip: Stellt eine nicht weiter spezifizierbare Anordnung von Betriebsmitteln dar. Mensch und Material werden zu den notwendigen Betriebsmitteln verwiesen.
- Werkstattprinzip: Arbeitsplätze bzw. Betriebsmittel werden dem Bearbeitungsverfahren nach gruppiert. Ein Beispiel hierfür stellt eine Dreherei dar.
- Inselprinzip: Stellt eine Gruppierung von Betriebsmitteln verschiedener Verfahren dar, welche eine Gruppe, ähnlicher Werkstücke bzw. Erzeugnisse, herstellen.
- Fließprinzip: Die Anordnung der Betriebsmittel entspricht der Arbeitsfolge des Erzeugnisses. Das Fließprinzip kann lose oder starr verkettet umgesetzt werden. Lose bedeutet das Zwischenpuffer vorhanden sind bzw. aufgebaut werden, während eine starre Verkettung keine Puffer zwischen den Betriebsmitteln vorsieht.

Ein weiteres Merkmal der Prozessstruktur stellt der Automatisierungsgrad dar, welcher in drei Stufen unterteilt wird. Mit der ersten Stufe wird die manuelle Arbeit beschrieben, d.h. der Bediener ist für die Führung und Steuerung von Werkzeugen zuständig. Die zweite Stufe charakterisiert eine automatisierte Bedienung und beschreibt angetriebene Werkzeuge mit maschinelltem Vorschub (z.B. Werkzeugmaschine). In dieser Stufe ist der Bediener für die Ein- und Ausgabe notwendig. Die dritte Stufe beschreibt die automatisierte Bestückung und Bedienung. Es gibt in dieser Stufe keinen Bediener mehr, sondern nur noch eine Überwachung durch Mitarbeiter.

Technische Merkmale: Für die technischen Merkmale wird auf die Entwicklungsstufen des Industrie-4.0-Maturity-Index der acatech zurückgegriffen (Cirullies und Hermann 2018). Anstatt der Nutzung der Entwicklungsstufen als Zwischenschritte zu einer digitalen Transformation im Sinne der Industrie 4.0, werden die Entwicklungsstufen zur Beschreibung eines definierten, digitalen Stands eines Produktionsbereichs genutzt, die im Folgenden kurz nach acatech (2013) erläutert werden.

- **Computerisierung:** Die Computerisierung stellt den niedrigsten Grad der digitalen Durchdringung innerhalb der Entwicklungsstufen dar. Unter Computerisierung wird verstanden, dass in einem Betrieb isolierte Informationstechnologien zum Einsatz kommen, dies ist im Allgemeinen bereits in der Praxis als etabliert anzusehen. Als Beispiel für eine Computerisierung dient eine CNC-Fertigungsmaschine, die dem Namen entnehmend, über eine rechnergestützte numerische Steuerung verfügt, ansonsten aber als isoliert betrachtet werden kann.
- **Konnektivität:** Stellt die nächste Entwicklungsstufe dar und behebt den beschriebenen Missstand der vorigen Entwicklungsstufe, d.h. die bestehenden IT-Systeme werden verknüpft und spiegeln die Kerngeschäftsprozesse wider. Ein Bsp. für Konnektivität stellt die IT-technische Integration des CAD/CAM-Prozesses dar.
- **Sichtbarkeit:** Die dritte Stufe des Entwicklungspfads stellt die Sichtbarkeit dar, welche die Echtzeiterfassung des Betriebszustands beschreibt. Hierfür ist vor allem eine Erhöhung der Anzahl an Sensorik auf dem Shopfloor erforderlich. Durch die Echtzeiterfassung wird die Erstellung eines zu jeder Zeit aktuellen digitalen Modells des Unternehmens ermöglicht, welche auch digitaler Schatten genannt wird. Durch die Erstellung eines solchen Modells kann zudem der Erzeugung redundanter Daten entgegengewirkt werden.
- **Transparenz:** Wird durch die Sichtbarkeit die Möglichkeit gegeben, den Zustand des Unternehmens zu erfassen, kann der Entwicklungsschritt der Transparenz helfen, Kausalketten aus den gesammelten Daten abzuleiten. Um diese Wirkungszusammenhänge zu identifizieren, wird aufgrund der enormen Datenmengen der Einsatz von Big Data erforderlich.
- **Prognosefähigkeit:** Bedeutet das digitale Modell auf Zukunftsszenarien hin, simulieren zu können. Aus dem daraus entstehenden Wissen können Ereignisse antizipiert werden und Maßnahmen vorab abgeleitet werden, respektive das Eintreten des Ereignisses verhindert werden.
- **Adaptierbarkeit:** Werden zur Entwicklungsstufe der Prognosefähigkeit, die Maßnahmen noch selbst abgeleitet, wird in der letzten Entwicklungsstufe der Adaptierbarkeit, Maßnahmen automatisch abgeleitet und umgesetzt. In diesem Sinne wird den IT-Systemen Autonomie

gegeben, Entscheidungen selbst zu treffen und das Unternehmen stetig an wechselnde Umwelteinflüsse zu adaptieren.

Optimierungsziele: Die Typologie wird durch die Merkmalsklasse Optimierungsziele vervollständigt. Die Ausprägungen jener Klasse setzen sich aus dem klassischen Zieldreieck der Produktion zusammen (Qualität, Kosten und Zeit), welche in Anlehnung an Erlach, um die Zieldimension der Flexibilität erweitert wird (Erlach 2010, Bauernhansl 2014). Damit wird der steigenden Bedeutung der Reaktions- und Anpassungsfähigkeit unter den heutigen Rahmenbedingungen des verarbeitenden Gewerbes Rechnung getragen. Durch das Aufnehmen jener Optimierungsziele in die Typologie, kann eine zusätzliche Präferenz bezüglich der gewünschten Optimierungseffekte beigefügt werden. Dies ist von besonderer Bedeutung, um in der später beschriebenen Auswahlssystematik neben der eigentlichen Eignung aufgrund der Produktionsumgebung, auch den Beitrag zur gewünschten Optimierungsdimension zu ermitteln. Die vollständige Typologie ist in der Abbildung 3-8 dargestellt.

Optimierungsbereich								Merkmale												Optimierungsziele									
[0= nicht geeignet; 1=geeignet]								0= nicht geeignet; 1=geeignet												1 = wenig, 2 = mittel, 3 = hoch									
Zu optimierender Bereich								Produktionsprogramm				Prozessstruktur				Technik				Qualität Koster Zeit Flexibilität									
								Erzeugnisspektrum				Fertigungsart des Produkts				Fertigungsprinzip								Automatisierungsgrad				Daten Industrie 4.0 Reifegrad	
Fertigung	Montage	Logistik	Instandhaltungsmanagement	Qualitätsmanagement	Planung	Steuerung	Kontrolle	Standarderzeugnisse ohne Varianten				Einmalfertigung				Werkbankprinzip				gering				Computersierung	Konnektivität	Sichtbarkeit	Transparenz	Prognosefähigkeit	Adaptierbarkeit
								Standarderzeugnisse mit Varianten				Einzel-/Kleinserienfertigung				Baustellenprinzip				mittel									
								Typisierte Erzeugnisse mit kundenspez. Varianten				Serienfertigung				Werkstatprinzip				hoch									
								Erzeugnisse nach Kundenspezifikation				Massenfertigung				Inselprinzip													

Abbildung 3-8: Typologie der Auswahlssystematik

Ausgehend von diesen definierten Beschreibungen der digitalen Durchdringung des Produktionsbereichs, kann eine Eignung der GaProSys 4.0-Methoden für die jeweiligen Stufen vorgenommen werden.

Die beispielhafte Bewertung der einzelnen Merkmalsklassen der Typologie für die GaProSys 4.0-Methode „Dynamischer Milkrun“ ist in Abbildung 3-9 verdeutlicht. Die Bewertung der Methoden wurde mit Hilfe einer Expertenanalyse vorgenommen, indem eine qualitative Bewertung der einzelnen Methoden hinsichtlich ihrer Zuträglichkeit zu den Merkmalen erfolgte. Jene Bewertung baut sich für das Methodenprofil mit dem folgenden Bewertungsschlüssel auf:

1. Optimierungsbereich: Ja= 1; Nein= 0
2. Merkmalskatalog: 1 = sehr schlecht; 2 = schlecht; 3 = durchschnittlich; 4 = gut; 5 = sehr gut
3. Zielkatalog: 1 = wenig; 2 = mittel; 3 = hoch

Das Ergebnis der Bewertung stellt ein Methodenprofil für die in AP 3 identifizierten GaProSys 4.0-Methoden dar.

Bsp: Bewertung des Dynamischen Milkrun

Methode	Filterkriterien							Bewertungskriterien															
	Optimierungsbereich							Organisatorische Merkmale															
	[0= nicht geeignet; 1=geeignet]							1 = sehr schlecht, 2 = schlecht, 3 = Durchschnittlich, 4 = Gut, 5 = Sehr gut															
	Zuoptimierender Bereich							Produktionsprogramm				Fertigungsart des Produkts				Prozessstruktur				Automatisierungsgrad			
								Erzeugnisspektrum								Fertigungsprinzip							
	Fertigung	Montage	Logistik	Instandhaltungsmanagement	Planung	Steuerung	Kontrolle	Standardzeugnisse ohne Varianten	Standardzeugnisse mit Varianten	Typisierte Erzeugnisse mit kundenspezif. Varianten	Erzeugnisse nach Kundenspezifikation	Einmalfertigung	Einzel-/Kleinserienfertigung	Serienfertigung	Massenfertigung	Werkbankprinzip	Baustellenprinzip	Werkstatprinzip	Inselprinzip	Fließprinzip	Stufe 1: Manuelle Arbeit	Stufe 2: Automatisierte Bedienung	Stufe 3: Automatisierte Bedienung und Bestückung
Dynamischer Milkrun	1	1	1	0	1	1	0	3	5	5	2	1	3	5	4	2	1	3	4	5	4	4	3

Abbildung 3-9: Beispielhafte Spezifizierung der Rahmenbedingungen auf die Typologien

3.4.2 Bewertung der GaProSys 4.0-Methoden hinsichtlich der Eignung für unterschiedliche Rahmenbedingungen

Zielsetzung:

In diesem Arbeitspaket wurde die Eignung der GaProSys 4.0-Methoden für die zuvor festgestellten Ausprägungen der Typologie untersucht. Da jede GaProSys 4.0-Methode eigene Optimierungsbereiche sowie Optimierungsziele adressiert und Rahmenbedingungen voraussetzt, ist nicht jede GaProSys 4.0-Methode für jedes Unternehmen bzw. jede Ausprägung der Typologie geeignet. Die unterschiedlichen Methoden werden deshalb auf ihre Eignung für die verschiedenen Charakteristika der Typologie bewertet. Dadurch wird die Grundlage für die Auswahlssystematik gelegt, welche Unternehmen in Abhängigkeit von ihrer Zielsetzung sowie ihrer spezifischen Charakteristika bei der Auswahl geeigneter GaProSys 4.0-Methoden unterstützt. Die Auswahlssystematik wird im nachfolgenden AP 5 detailliert erläutert.

Durchgeführte Arbeiten:

Die Bewertung der einzelnen Methoden hinsichtlich ihrer Eignung für unterschiedliche Charakteristika erfolgte initial mittels einer qualitativen Analyse. Anschließend werden Anmerkungen aus dem Projektbegleitenden Ausschuss, die insbesondere in den durchgeführten Workshops zum Ausdruck kommen, in den Bewertungen berücksichtigt. Dies bedingt, dass neben den Kompetenzen der beiden Institute auch die praktische Erfahrung der kooperierenden Unternehmen in die Bewertung einfließen. Die Bewertungen werden in Tabellenform dargestellt und erfolgen für jede

Merkmalsausprägung der vier Kategorien: Optimierungsbereiche, organisatorische Merkmale, technische Merkmale und Optimierungsziele.

Ergebnisse:

Die Ergebnisse umfassen für jede GaProSys 4.0-Methode und jede Merkmalsausprägung der Typologie eine Eignungsbewertung. Abhängig von der Merkmalsausprägung erfolgt eine binäre oder eine stufenweise Bewertung. Exemplarisch wird im Folgenden die Eignung der Methode „Dynamischer Milkrun“ für die verschiedenen Merkmalsausprägungen erläutert. Anschließend wird ein kurzer Überblick über die vollständigen Ergebnisse gegeben.

Optimierungsbereich

Der Dynamische Milkrun stellt eine bedarfsgerechte Materialversorgung hinsichtlich Bereitstellungszeitpunkt und -menge bei einem beliebigen Variantenspektrum dar. Dabei steht insbesondere die Logistik mit der Funktion des Materialtransports im Fokus, aber auch die beiden wertschöpfenden Bereiche der Fertigung und der Montage, deren Materialbedarf bzw. -versorgung durch diese Methode gesteuert werden. Weiterhin werden die Bereiche der Planung und der Steuerung durch die Methode beeinflusst. Die Steuerung der Materialversorgung wird optimiert, indem die Versorgungssicherheit der materialverbrauchenden Bereiche erhöht und der Überwachungsaufwand durch den Steuerungsbereich reduziert werden. Erreicht wird dies durch die dynamischen und automatisierten Anpassungen der Versorgungstouren auf Basis des Dynamischen Milkruns. Weiterhin werden Planungsaufwände in Form einer vorausschauenden, langfristigen Festlegung der starren Regelfahrpläne, wie es beim klassischen Milkrun der Fall ist, vermieden.

Organisatorische Merkmale

Erzeugnisspektrum

Der Dynamische Milkrun führt zu einer höheren Versorgungsflexibilität und Prozesseffizienz bei einer steigenden Variantenvielfalt. Folglich eignet sich die GaProSys 4.0-Methode gut für Unternehmen, die ein Erzeugnisspektrum mit Standarderzeugnissen und darauf aufbauenden Varianten bzw. typisierte Erzeugnisse mit kundenspezifischen Varianten aufweisen. Für Unternehmen, die in ihrem Erzeugnisspektrum keine Varianten aufweisen, ist die Methode ebenfalls geeignet, jedoch ist zu prüfen, ob nicht bereits die klassische Methode des Milkruns den Prozess ausreichend unterstützt. Für Erzeugnisse, die rein nach Kundenspezifikation hergestellt werden, weist die Methode aufgrund der hohen Individualität der Erzeugnisse eine geringere Eignung auf.

Fertigungsart des Produkts

Das Konzept des Dynamischen Milkrun beschreibt eine wiederkehrende, bedarfsgesteuerte Materialversorgung, bei der verbrauchtes Material in definierten Losen wiederaufgefüllt wird.

Deshalb ist die Methode insbesondere für die Fertigungsarten geeignet, die eine hohe Ausbringungsmenge und damit einen dauerhaften Materialverbrauch haben. Da dies sowohl auf die Massenfertigung sowie auf die Serienfertigung zutrifft, ist die Methode für die beiden Fertigungsarten gut bzw. sehr gut geeignet. Die besondere Eignung für die Serienfertigung resultiert aus der Befähigung von Prozessen eine hohe Variantenvielfalt abzubilden. Für die Einzel- und Kleinserienfertigung besteht eine durchschnittliche Eignung, da hier zwar eine variantenreiche Produktion vorliegt, die Materialverbräuche jedoch deutlich geringer ausfallen. Aufgrund der variablen Ausbringungsmenge und der kundenspezifischen Produkte ist die Methode für eine Einmalfertigung wenig geeignet.

Fertigungsprinzip

Der Dynamische Milkrun ist für eine Materialversorgung vorgesehen, in der das Material in Form einer Quelle-Senke-Beziehung von einer Arbeitsstation an die darauffolgende, das Material weiterverarbeitende Arbeitsstation transportiert wird. Dies erfolgt in Abhängigkeit des tatsächlichen Materialverbrauchs. Die Methode eignet sich vor allem für Fertigungsprinzipien mit stetem und prinzipiell höherem Materialverbrauch sowie einem definierten Variantenspektrum. Somit ist die Methode besonders für das Insel- und das Fließprinzip geeignet. Für weniger standardisierte Prozesse im Rahmen des Baustellen-, Werkbank- und Werkstattprinzips kann der dynamische Milkrun durch seine gesteigerte Flexibilität ebenfalls eingesetzt werden, besitzt aber gerade bei variierenden Bauteilgeometrien und starken Volumenschwankungen eine geringere Eignung im Vergleich zu den zuerst genannten Fertigungsprinzipien.

Automatisierungsgrad

Die ursprüngliche Methode des Milkruns stammt aus der manuellen Fertigung (Stufe 1), doch für den dynamischen Milkrun wird aufgrund der flexiblen Bereitstellung von Vorprodukten unter volatileren Rahmenbedingungen auch eine Eignung für die Bedienung von Anlagen (Stufe 2) bewertet. Für die Stufe 3, die automatisierte Fertigung und Bestückung von Anlagen, wurde im Expertengespräch eine durchschnittliche Eignung festgestellt.

Technische Merkmale:

Der Dynamische Milkrun erfordert eine Erfassung der Materialverbräuche bzw. der kommenden Materialbedarfe innerhalb der zu versorgenden Bereiche auf Basis des Produktionsprogramms. Folglich erfordert die Methode den Datenaustausch zwischen Arbeitsstationen sowie die Transparenz in Bezug auf die Materialbedarfe an den Stationen und die Kapazität der Routenfahrzeuge, sodass die Stufe der „Transparenz“ erforderlich ist.

Optimierungsziele

Qualität

Durch die strukturierte Bereitstellung der erforderlichen Materialien, werden die Prozesse hinsichtlich ihrer Qualität positiv beeinflusst. Die Auswirkung ist allerdings als eher gering einzustufen.

Kosten

Die Methode führt zu einer effizienteren Auslastung der Transporteinheiten (Routenzug und Routenzugfahrer), sodass für eine gleichbleibende Materialversorgung weniger Transporteinheiten benötigt werden. Dadurch werden die Materialbereitstellungskosten gesenkt, sodass eine hohe Wirkung auf die Zieldimension Kosten erzielt wird.

Zeit

Die Anlieferzeit wird verkürzt, indem die Materialanlieferung zum tatsächlichen Bedarfszeitpunkt und abweichend zu einer starren Anlieferreihenfolge erfolgen kann sowie zeitraubende Leerfahrten zu Verbrauchsorten ohne Materialbedarf vermieden werden. Die Methode hat somit eine mittlere Wirkung auf die Zieldimension Zeit

Flexibilität

Da der Dynamische Milkrun flexibel auf die aktuelle Bedarfssituation reagieren kann, in dem für jede Versorgungsfahrt eine individuelle Route bestimmt wird, wird die Versorgungsflexibilität stark erhöht. Da dies insbesondere die Versorgungssicherheit für die variantenreiche Produktion verbessert, hat die Methode eine hohe Wirkung auf die Zieldimension Flexibilität.

Abschließend ist in Abbildung 3-10 ein Teilausschnitt der finalen Darstellungsform des vollständigen Bewertungsprofils dargestellt. Zu sehen sind die vier Merkmalsklassen (Optimierungsbereich, Organisatorische Merkmale, Technische Merkmale, Optimierungsziele) sowie die zugehörigen Bewertungsstufen. Im unteren Bildbereich sind zeilenweise die bewerteten GaProSys 4.0-Methoden eingetragen. Der vorgestellte Dynamische Milkrun ist durch die hellblaue Umrandung hervorgehoben.

Nr. Methode		Optimierungsbereich (0= nicht geeignet, 1= geeignet)										Organisatorische Merkmale 1 = sehr schlecht, 2 = schlecht, 3 = Durchschnittlich, 4 = Gut, 5 = Sehr gut										Technische Merkmale					Optimierungsziele 1 = wenig, 2 = mittel, 3 = hoch								
		Zuoptimierender Bereich										Produktionsprogramm					Prozessstruktur					Daten Industrie 4.0 Reifegrad													
		Erzeugnispektrum										Fertigungsart des Produkts					Fertigungsprinzip					Automatisierungsgrad													
		Fertigung	Montage	Logistik	Instandhaltungsmanagement	Qualitätsmanagement	Planung	Steuerung	Kontrolle	Standarderzeugnisse ohne Varianten	Standarderzeugnisse mit Varianten	Typisierte Erzeugnisse mit kundenspezif. Varianten	Erzeugnisse nach Kundenspezifikation	Einmalfertigung	Einzel-/Kleinserienfertigung	Serienfertigung	Massenfertigung	Werkbankprinzip	Baukastenprinzip	Werkstattprinzip	Fließprinzip	Fließprinzip	Stufe 1: Manuelle Arbeit	Stufe 2: Automatisierte Bedienung	Stufe 3: Automatisierte Bedienung und Bestückung	Computerisierung	Konnektivität	Sichtbarkeit	Transparenz	Prognosefähigkeit	Adaptierbarkeit	Qualität	Kosten	Zeit	Flexibilität
1	Dynamischer Milkrun	1	1	1	0	0	1	1	0	3	5	5	2	1	3	5	4	2	1	3	4	5	4	4	3	0	0	0	1	0	0	1	3	2	3
2	E-SPM	1	0	0	1	0	1	1	0	2	4	5	4	5	3	1	2	2	2	2	2	1	2	5	5	0	0	0	1	0	0	1	3	2	3
3	Intelligenter Supermarkt	1	0	1	0	0	0	1	1	3	2	3	4	2	4	3	1	5	4	3	2	1	2	5	5	0	0	1	0	0	0	3	1	3	2
4	Ishikawa 4.0	1	1	0	1	1	0	0	0	5	4	3	1	1	3	4	5	5	5	2	2	2	5	2	5	0	0	0	1	0	0	0	3	2	2
5	Jidoka 4.0	1	1	0	1	1	0	0	0	5	4	3	1	1	2	4	5	5	5	2	2	2	5	1	4	5	0	0	0	1	1	3	2	2	
6	JIT 4.0	1	1	1	0	0	0	0	0	1	4	3	2	5	1	2	4	5	5	5	2	5	5	5	5	0	0	0	0	0	0	3	2	2	
7	Prozessstandardisierung 4.0	1	1	1	1	1	0	0	0	5	4	3	2	5	1	2	4	5	5	5	2	5	5	5	5	0	0	0	0	0	0	3	2	2	
8	RF ID-Kanban	1	1	1	0	0	0	0	1	1	3	5	3	1	1	4	5	5	5	5	2	1	2	5	5	0	0	1	0	0	0	1	2	2	2
9	Sensordatenbasierte DRK	1	1	0	1	1	0	0	0	5	4	3	2	2	3	4	5	5	5	5	2	4	4	5	5	0	0	0	1	1	0	3	2	2	2
10	Digital unterstütztes TPM	1	1	0	1	1	0	0	0	4	4	3	3	2	3	4	5	5	5	5	4	5	1	5	5	0	0	0	1	1	0	2	2	2	2

Abbildung 3-10: Merkmalsabhängige Bewertungen einzelner GaProSys 4.0-Methoden (Teilausschnitt)

3.5 AP 5: Auswahlssystematik für GaProSys 4.0-Methoden

Um KMU bei der Auswahl geeigneter Methoden zu unterstützen, umfasst das folgende Kapitel die Konzeption und Umsetzung einer Auswahlssystematik für GaProSys 4.0-Methoden. Die Ergebnisse des vorigen Arbeitspakets fließen als integrale Komponenten ein. Aufgrund der Granularität der in AP 4 erzeugten Typologie, welche das bestehende Produktionssystem soweit beschreibt, dass eine prinzipielle Bewertung auf Methodenlevel ermöglicht wird, wird auch die darauf aufbauende Auswahlssystematik die Eignung auf der höheren Betrachtungsweise nutzen. Unter Einbezug der Methodenblätter und der notwendigen Fachkenntnisse können die von der Auswahlssystematik als geeignet gewerteten GaProSys 4.0-Methoden durch den Anwender tiefgründiger analysiert werden. Die konzipierte Auswahlssystematik wurde zudem in ein Softwaretool überführt, um die Projektergebnisse möglichst einfach für Unternehmen zugänglich zu machen. Das Softwaretool wird gemeinsam mit dem Schlussbericht der Öffentlichkeit zur Verfügung gestellt.

3.5.1 Grobkonzept einer Auswahlssystematik auf Basis der erarbeiteten Typologie

Zielsetzung:

Ziel dieses Arbeitspakets war die Erarbeitung eines Grobkonzepts für die Auswahlssystematik. Dieses Grobkonzept soll die Grundstruktur der Auswahlssystematik darstellen, von welcher aus eine Detailplanung der einzelnen Konzeptelemente vorgenommen werden kann. Somit können die jeweiligen Bausteine der Auswahlssystematik aufgrund ihrer gleichen Grundstruktur leichter

gegenübergestellt werden. Gleichzeitig wird eine Leitstruktur für die Konzeption der Bausteine erstellt.

Durchgeführte Arbeiten:

Unter dem Einbezug der vorigen Arbeitspakete wurde ein Grobkonzept entwickelt, wobei eine Ablaufstruktur der Auswahlssystematik entwickelt worden ist, welche aus einzelnen sequenzierten Bausteinen besteht. Die Bausteine selbst wurden insoweit beschrieben, dass ihre jeweilige Funktion innerhalb der Ablaufstruktur eindeutig definiert ist.

Ergebnisse:

Das entwickelte Grobkonzept der Auswahlssystematik ist in der Abbildung 3-11 illustriert. Insgesamt sind drei wesentliche Bausteine in der Ablaufstruktur zu durchlaufen, welche im Folgenden erläutert werden. Ein zusätzliches Element stellt das Unternehmensprofil dar, welches die Rahmenbedingungen des spezifischen Anwendungsfalls berücksichtigt.

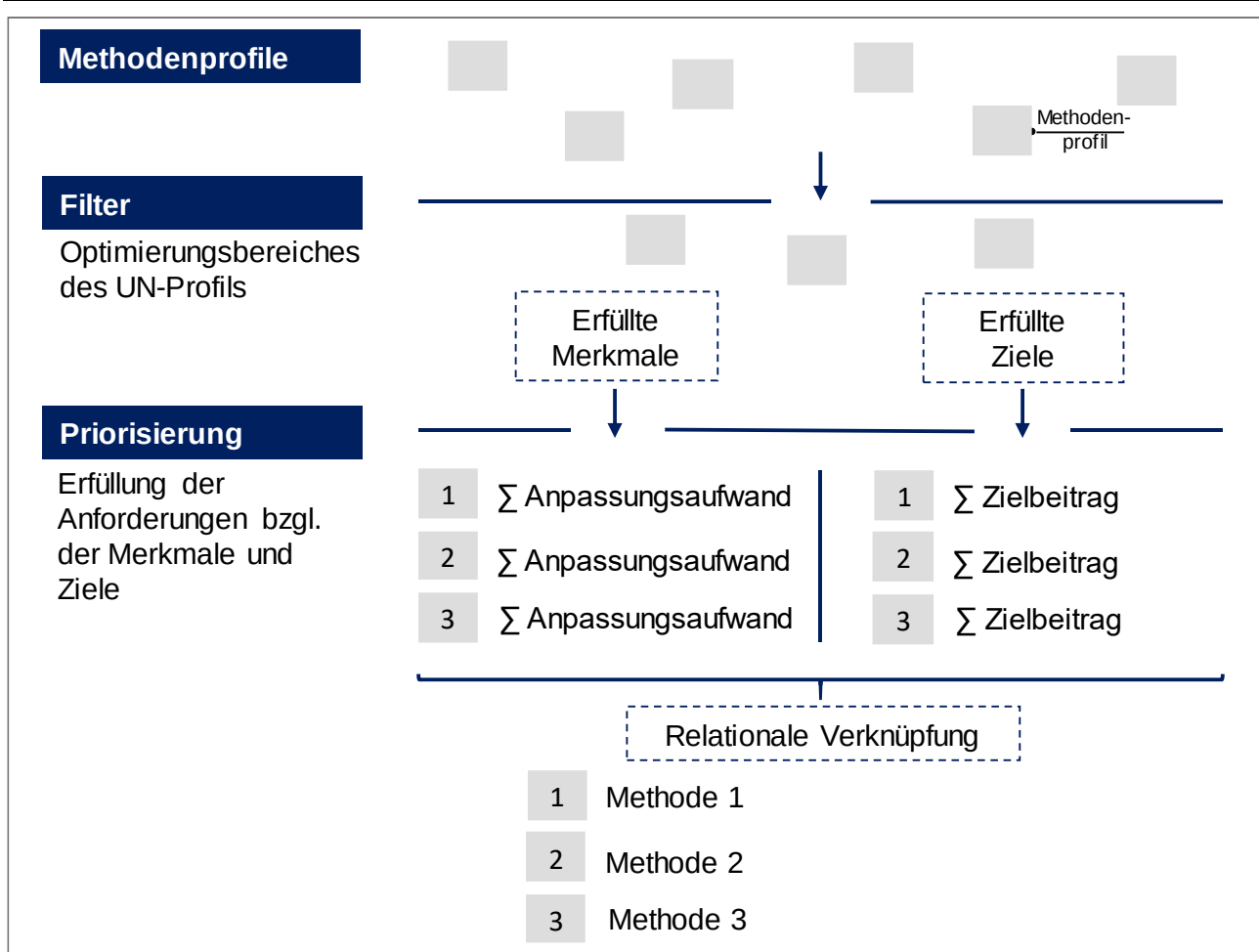


Abbildung 3-11: Grobkonzept der Auswahlssystematik

1. Unternehmensprofil

Das Unternehmensprofil greift auf die Ergebnisse des AP 4 zurück. Die erarbeitete Typologie, welche sich aus dem Optimierungsbereich, den spezifischen Rahmenbedingungen und der Ziel-Priorisierung zusammensetzt, wird für die jeweilige Ausprägung des Unternehmensprofils genutzt. Über eine geführte Nutzereingabe wird die Typologie mit den entsprechenden Spezifika des Anwenders gefüllt, um der Auswahlssystematik die notwendigen Informationen zur Auswahl und Priorisierung der GaProSys 4.0-Methoden zu übergeben.

2. Methodenprofile

Die Auswahlssystematik greift auf Methodenprofile zu, welche die Bewertung von GaProSys 4.0-Methoden hinsichtlich der diversen Merkmalsausprägungen der in AP4 erarbeiteten Typologie darstellen. Durch diese Verknüpfung wird die Auswahlssystematik dem Grundgedanken Ganzheitlicher Produktionssysteme gerecht, da die Umsetzung einzelner Methoden nur mit einer ganzheitlichen Abstimmung des Produktionssystems fokussiert wird (siehe Kapitel 2.1). Die Methodenprofile sollen daher die Ergebnisse der Eignungs-Bewertung der GaProSys 4.0-Methoden aus AP 4 nutzen. Somit wird jede GaProSys 4.0-Methode mit einer Bewertung bezüglich der Optimierungsbereiche, der organisatorischen Merkmale und der Zielgrößen in der Auswahlssystematik hinterlegt. Durch die Nutzung jener Methodenprofile, wird die eigentliche Bewertung der GaProSys 4.0-Methoden für den jeweiligen Anwendungsfall ermöglicht. Dadurch wird die Wichtigkeit der Eignungs-Bewertung für die Ergebniserstellung der Auswahlssystematik hervorgehoben.

3. Filter

Der Filter bildet den zweiten Schritt der Auswahlssystematik. Die Aufgabe des Filters ist das Filtern von prinzipiell geeigneten und nicht geeigneten GaProSys 4.0-Methoden auf Basis ihres hinterlegten Methodenprofils. Um die prinzipielle Eignung einer GaProSys 4.0-Methode bezüglich der vorgegebenen Unternehmensspezifika zu überprüfen, wird ein Abgleich des Unternehmensprofils, also der durch den Anwender ausgeprägten Typologie, mit dem korrespondierenden Methodenprofil vorgenommen. Dieser Abgleich wird für alle in der Auswahlssystematik hinterlegten GaProSys 4.0-Methoden durchgeführt. Es findet jedoch kein Abgleich bezüglich sämtlicher Merkmale der Typologie statt, sondern ausschließlich mit dem Optimierungsbereich. Eine GaProSys 4.0-Methode wird nur als geeignet angesehen, wenn die Methode für die ausgewählten Optimierungsbereiche geeignet ist. Somit werden GaProSys 4.0-Methoden, welche nicht für den ausgewählten Optimierungsbereich geeignet sind im Voraus durch den Filter, unabhängig von der möglichen Eignung für das Produktionssystem oder der Zielloptimierung, aussortiert.

4. Priorisierung

Durch den vorigen Baustein müssen in der Priorisierung nur noch die prinzipiell geeigneten Methoden berücksichtigt werden. Die Priorisierung der verbleibenden Methoden richtet sich nach

zwei Kriterien. Einerseits der Eignung für die jeweiligen Rahmenbedingungen respektive die Eignung bezüglich des vorliegenden Produktionssystems. Andererseits wird die im Unternehmensprofil eingepflegte Ziel-Priorisierung berücksichtigt. Daher werden beide Kriterien vorerst getrennt voneinander für jede verbleibende GaProSys 4.0-Methode betrachtet. Das bedeutet, es sollen zwei Priorisierungslisten erstellt werden, welche die GaProSys 4.0-Methoden nach dem jeweiligen Kriterium priorisieren bzw. bewerten. Neben den beiden Priorisierungslisten auf Basis der Kriterien, wird eine zusätzliche Priorisierungsliste, welche sich aus den Ergebnissen beider Priorisierungslisten ergibt, erstellt. Daher erhalten die beiden separaten Ergebnisse eine relationale Verknüpfung.

5. Ergebnisdarstellung

Die Ergebnisdarstellung ist der letzte zu gestaltende Baustein der Auswahlssystematik. Das Ergebnis der vorigen Priorisierung wird dem Anwender ausgegeben. Um den Umfang der Ausgabe zu begrenzen und damit auch die Übersichtlichkeit zu erhöhen, sollen nicht sämtliche Methoden ausgegeben werden, sondern nur eine festzulegende Anzahl der bewerteten Methoden. Wie in der Einleitung zu AP 5 beschrieben, wird nach der Ergebnisdarstellung eine Auseinandersetzung mit den als besonders geeignet bewerteten GaProSys 4.0-Methoden geschehen. Dafür müssen dem Anwender detaillierte Beschreibungen der Methoden zur Verfügung gestellt werden. Ermöglicht wird dies durch die entwickelten Methodenblätter (siehe Kapitel 3.3.1). Weiter werden dem Anwender praxisnahe Anwendungsfälle vorgestellt, die in der Auswahlssystematik simultan mit der Bereitstellung der Priorisierungslisten in den dazugehörigen Methodenblättern ausgegeben werden.

3.5.2 Feinplanung der Auswahlssystematik

Zielsetzung:

Unter Bezugnahme auf das vorherige Grobkonzept, werden die jeweiligen Bausteine detailliert ausgeplant. Das Ergebnis stellt ein konkretisiertes und in ein Softwaretool umsetzbares Konzept der Auswahlssystematik dar.

Durchgeführte Arbeiten:

Ausgehend von der Struktur des Grobkonzepts wurden die bisher nur in ihrer Funktion bestimmten Bausteine einer Feinplanung unterzogen. Jeder Baustein wurde auf Basis der jeweiligen Funktion respektive dessen Vorgaben im Detail ausgearbeitet. Es steht somit eine anwendbare Auswahlssystematik zur Verfügung, welche durch ein Softwaretool abgebildet werden kann.

Ergebnisse:

1. Unternehmensprofil

Das Unternehmensprofil wird, entsprechend der Ergebnisse aus AP 4, als eine Ausprägung der Typologie mit einer einzigen Zeile dargestellt. Jede Spalte des Unternehmensprofils steht für eine Merkmalsausprägung und wird standardmäßig auf den Wert 0 gesetzt. Durchläuft der Anwender die sequenzierte Abfrage nach dem angestrebten Optimierungsbereich samt dazugehöriger Funktion, sowie den organisatorischen Merkmalen, wird bei der Auswahl einer Ausprägung, der jeweilige Wert der Spalte auf 1 gesetzt. Damit führen die jeweiligen Eingaben zu einem anwenderspezifischen Unternehmensprofil. Jede Spalte kann somit einen Wert aus der Menge $\{0,1\}$ annehmen. Es kann jedoch immer nur eine Spalte des jeweiligen Merkmals zu 1 transformiert werden, um Fehleingaben zu vermeiden. Diese Eigenschaft ist im späteren Softwaretool zu berücksichtigen, bzw. eine diesbezügliche Restriktion zu implementieren.

Für die Eingabe der Optimierungsziele wurde zur Priorisierung ein Bewertungsschema erstellt, wobei der Benutzer jedes Optimierungsziel mit dem folgenden Bewertungsschlüssel bewerten kann:

- 1 = gering
- 2 = mittel
- 3 = hoch

2. Methodenprofile

Die Methodenprofile wurden gemäß AP 4 in einer Bewertungsmatrix hinterlegt (siehe Abbildung 3-10). Der Bewertungsschlüssel aus AP 4 wird beibehalten.

3. Filter

Aus dem spezifizierten Unternehmensprofil werden sämtliche Eingaben bezüglich des Optimierungsbereichs und dessen Funktionen mit der jeweils korrespondierenden Spalte der Methodenprofils multipliziert und anschließend die Summe für jede GaProSys 4.0-Methode gebildet. Die Summe kann somit nur Element der Menge $\{0,1,2\}$ sein. Beträgt die Summe der jeweiligen Methode 0, so ist die Methode ungeeignet für den ausgewählten Optimierungsbereich und dessen Funktion. Berechnet sich die Summe zu 1, so ist entweder der Optimierungsbereich oder die Funktion nicht geeignet für die Methode. Wenn die Summe 2 ist, ist die Methode als geeignet für den Optimierungsbereich und der gewünschten Funktion anzunehmen. Methoden, welche den Filter mit den Werten 1 oder 2 passieren, werden im Folgenden weiterbetrachtet, alle anderen Methoden werden aussortiert.

4. Priorisierung

Die Priorisierung teilt sich gemäß den Vorgaben aus dem Grobkonzept, in zwei zunächst getrennt voneinander betrachtete Priorisierungsaspekte.

Zunächst erfolgt eine Bewertung der prinzipiellen Eignung jeder verbliebenen Methode in Bezug auf den spezifischen Anwendungsfall. Dafür werden die Bewertungen der Merkmalsausprägungen des Methodenprofils, welche mit den ausgewählten Merkmalsausprägungen des Unternehmensprofils korrespondieren, summiert. Die Anzahl der Summanden ist durch die Anzahl bzw. Begrenzungen der Auswahl von Merkmalsausprägungen auf insgesamt fünf festgesetzt. Der dadurch entstehende absolute Wert wird durch die Division durch einen theoretischen Maximalwert der Eignung relativ gesetzt. Der Maximalwert ergibt sich aus der Multiplikation der Maximal-Bewertung einer Merkmalsausprägung (5), mit der Anzahl an möglichen Merkmalsausprägungen (5) zu 25. Jener Relativwert stellt den Priorisierungswert bezüglich der Eignung dar.

Für die Bestimmung des Zielbeitrags werden die Bewertungseingaben der Optimierungsziele aus dem Unternehmensprofil berücksichtigt. Die Bewertungseingaben werden in einem paarweisen Vergleich gegeneinandergestellt, um Gewichtungswerte für die einzelnen Optimierungsziele zu generieren. Jener Gewichtungsfaktor, welcher einen Wert zwischen 0 und 100 besitzen kann, wird mit der dazu korrespondierenden Bewertung der Methoden aus dem Methodenprofil multipliziert. Da dieser Wert zu groß ist, um nachfolgend mit den Eignungswerten verknüpft zu werden, wird das Ergebnis durch 300 dividiert. Durch diese Division wird einerseits der Wert des Zielbeitrags auf eine dem Eignungswert entsprechende Größenordnung gebracht und auch der Maximalwert des Zielbeitrags auf den Wert 1 begrenzt.

Das Gesamtergebnis jeder Methode ergibt sich aus der Berechnung des arithmetischen Mittelwerts beider Priorisierungsaspekte. Zusätzlich wird jener Wert mit dem Quotienten aus dem Filterungswert der jeweiligen Methode, berechnet im vorhergehenden Schritt und der Summe jener Filterungswerte über alle Methoden, also einem normalisierten Wert, addiert. Das Ergebnis kann dadurch einen Wert größer 1 einnehmen.

4. Ergebnisdarstellung

Der einzige verbleibende Parameter in der Feinplanung der Ergebnisdarstellung ist die Anzahl an auszugebenden Methoden bzw. die Länge der Priorisierungslisten. Hierbei wurde ein Wert von drei Methoden als sinngemäß erachtet, um den Anwender nicht zu viele unterschiedliche Methoden bereitzustellen. Daher werden für jeden Priorisierungsaspekt die drei am höchsten priorisierten Methoden samt Ergebnisse und Methodenblättern ausgegeben.

3.5.3 Umsetzung der Auswahlssystematik in ein Softwaretool

Zielsetzung:

Um die Auswahlssystematik zur Anwendung zu bringen, wird die Auswahlssystematik in einem Softwaretool umgesetzt. Dabei wird ein wesentlicher Fokus auf eine einfachere Bedienung bzw.

Anwendung des Softwaretools gesetzt und eine Möglichkeit von unerlaubten Eingaben (bspw. mehreren Merkmalsausprägungen eines Merkmals) verhindert.

Durchgeführte Arbeiten:

Die Auswahlsystematik wurde in Microsoft Excel aufgebaut, um der Vielzahl der Nutzer eine vertraute Softwareumgebung zu bieten und damit die Nutzer die Systematik auch ohne Kenntnisse einer Programmiersprache nachvollziehen können. Allerdings wurde mittels eines VBA-Skripts ein Formular erzeugt, welches dem Benutzer eine graphische Benutzeroberfläche (engl. Graphical User Interface (GUI)) mit einer geführten Eingabe der Daten für das Unternehmensprofil zur Hilfe stellt und die Ergebnisse erzeugt.

Ergebnisse:

Im Folgenden wird das erstellte Softwaretool beschrieben bzw. der Programmablauf erläutert. Das Tool initialisiert ein Startfenster, welches dem Nutzer die Möglichkeit gibt, das Softwaretool zu starten (siehe Abbildung 3-12).

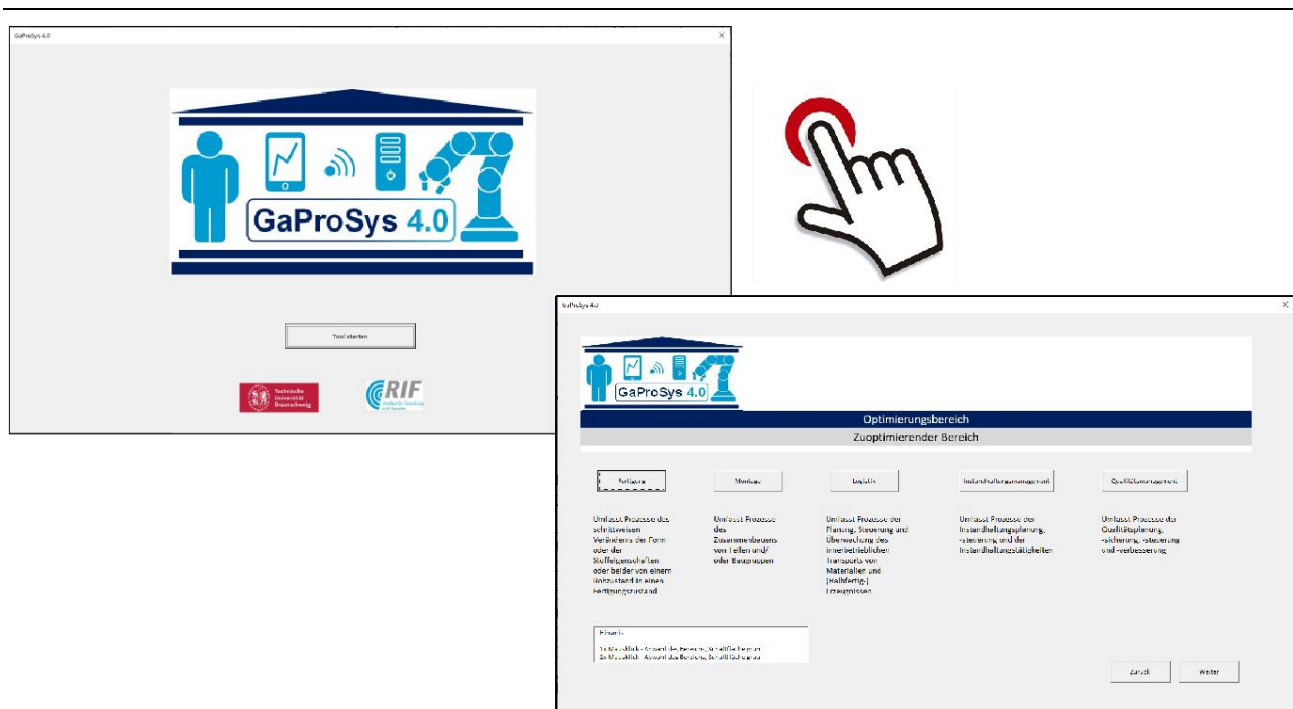


Abbildung 3-12: Startfenster des Softwaretools und Aufbau der Eingabefenster

Wird das Tool gestartet, bzw. der korrespondierende Button per Mausklick betätigt, so wird der Nutzer durch die Eingabe der notwendigen Daten des Unternehmensprofils geführt. Die grundlegende Struktur der Fenster ist bei allen folgenden Eingabefenstern identisch (siehe Abbildung 3-12). Merkmalsausprägungen werden dargestellt und können per Mausklick ausgewählt werden, wobei jeweils immer nur eine Merkmalsausprägung pro Eingabefenster ausgewählt werden kann. Um den Nutzer weiterhin bei der Auswahl zu unterstützen, ist den meisten

Merkmalsausprägung eine kurze Beschreibung beigefügt. Ist ein Button betätigt, so wird nicht direkt das nächste Eingabefenster geöffnet. Dies erfolgt erst durch die Betätigung des Buttons „weiter“. Somit kann der Nutzer seine Eingabe nochmals überprüfen, bevor das nächste Fenster geöffnet wird. Zusätzlich besteht eine Möglichkeit, vorige Eingaben umzuändern, indem über den Button „zurück“ zu bereits bearbeiteten Auswahlfenster zurücknavigiert werden kann. Das Tool muss also nicht neugestartet werden, falls eine Falscheingabe getätigt wurde.

Ist die Eingabe des Unternehmensprofils beendet, kann das Softwaretool die Filterung und Priorisierung der GaProSys 4.0-Methoden vornehmen. Zur Ergebnisauswertung wird nachfolgend eine PDF-Datei erzeugt, welche dem Nutzer ausgegeben wird (Abbildung 3-13). Die Methodenblätter sind zusätzlich in der Excel-Datei hinterlegt und werden ebenfalls als PDF-Datei ausgegeben.

Ranking: Eignung				
Ranking	Methode	Eignung	Zielbeitrag	Gesamt
1	Dynamischer Milkrun	0,76	0,83	1,02
2	Ishikawa 4.0	0,76	0,67	0,71
3	Prozessstandardisierung 4.0	0,76	0,83	0,91

Ranking: Zielbeitrag				
Ranking	Methode	Eignung	Zielbeitrag	Gesamt
1	Dynamischer Milkrun	0,76	0,83	1,02
2	Prozessstandardisierung 4.0	0,76	0,83	0,91
3	Ishikawa 4.0	0,76	0,67	0,71

Ranking: Gesamt				
Ranking	Methode	Eignung	Zielbeitrag	Gesamt
1	Dynamischer Milkrun	0,76	0,83	1,02
2	Prozessstandardisierung 4.0	0,76	0,83	0,91
3	RFID-Kanban	0,68	0,58	0,85

Abbildung 3-13: Ergebnisausgabe

3.6 AP 6: Umsetzung und Validierung der Auswahlssystematik

Zielsetzung:

Das Ziel des letzten Arbeitspakets ist die Validierung der Auswahlssystematik unter Einbeziehung des Projektbegleitenden Ausschusses. Im Zuge dessen wurden die Auswahlssystematik sowie das

entwickelte Vorgehen zur Ableitung unternehmensspezifischer GaProSys 4.0-Methoden mit den Unternehmen angewendet und bewertet, wodurch einerseits die Eignung der Projektergebnisse bewertet sowie Grenzen und Optimierungspotenziale identifiziert werden. Das Ergebnis der Validierung ist die finalisierte Auswahlssystematik.

Durchgeführte Arbeiten:

Die Validierung der Auswahlssystematik erfolgte mit acht Unternehmen aus dem Projektbegleitenden Ausschuss. Fünf der Unternehmen waren KMU, drei Unternehmen waren Großunternehmen. Durch diese Zusammensetzung wird der KMU-Fokus der Auswahlssystematik sichergestellt, doch auch zusätzlich die Eignung für Großunternehmen evaluiert. Den Schwerpunkt der Validierung bildeten produzierende Unternehmen (sieben Unternehmen), da hier der Schwerpunkt für die Anwendung der Systematik zugeordnet wird. Ein Unternehmen ist der Branche Beratung und Dienstleistung zuzuordnen, sodass ein zusätzlicher Einblick in die Anwendung der Auswahlssystematik als Beratungsdienstleistung gewonnen werden konnte.

Die Validierung erfolgte anhand halbtägiger Validierungsworkshops, welche per Webkonferenz durchgeführt wurden. Als Ausgangsbasis des Workshops wurde der derzeitige Stand des Lean Management im Unternehmen näher betrachtet und im Anschluss die Auswahlssystematik schrittweise angewendet und die Ergebnisse dokumentiert. Durch diese umsetzungsbegleitende Dokumentation konnten im Anschluss Hinweise und Hilfestellungen an entsprechender Stelle des Softwaretools bzw. der Systematik ergänzt werden, sodass die Auswahlssystematik nach Fertigstellung durch die Unternehmen eigenständig und intuitiv genutzt werden kann. Weiterhin werden Schwächen und Grenzen der Auswahlssystematik identifiziert, sodass diese im Zuge der Validierung erfasst und verbessert werden können. Die Validierung betrifft zum einen die Anwendbarkeit der Auswahlssystematik als auch die Benutzerfreundlichkeit des Softwaretools, sodass sowohl die Auswahlssystematik selbst, als auch die Benutzerfreundlichkeit verbessert werden. Abschließend erfolgte eine Bewertung der Projektergebnisse durch die Unternehmensvertreter des Projektbegleitenden Ausschusses.

Ergebnisse:

Das Vorgehen des Workshops gliedert sich in zwei sequenzielle Phasen (siehe Abbildung 3-14). In der ersten Phase erfolgt die Nutzung der Auswahlssystematik, d.h. das Anwenden des entwickelten Softwaretools, mitsamt einer nachfolgenden Diskussion. In der zweiten Phase wird das Konzept der Methodenentwicklung mit den Unternehmen praktisch angewendet. So können Unternehmen auch eigene Methoden entwickeln, sofern in der bestehenden Methodensammlung keine geeignete Methode vorhanden ist.

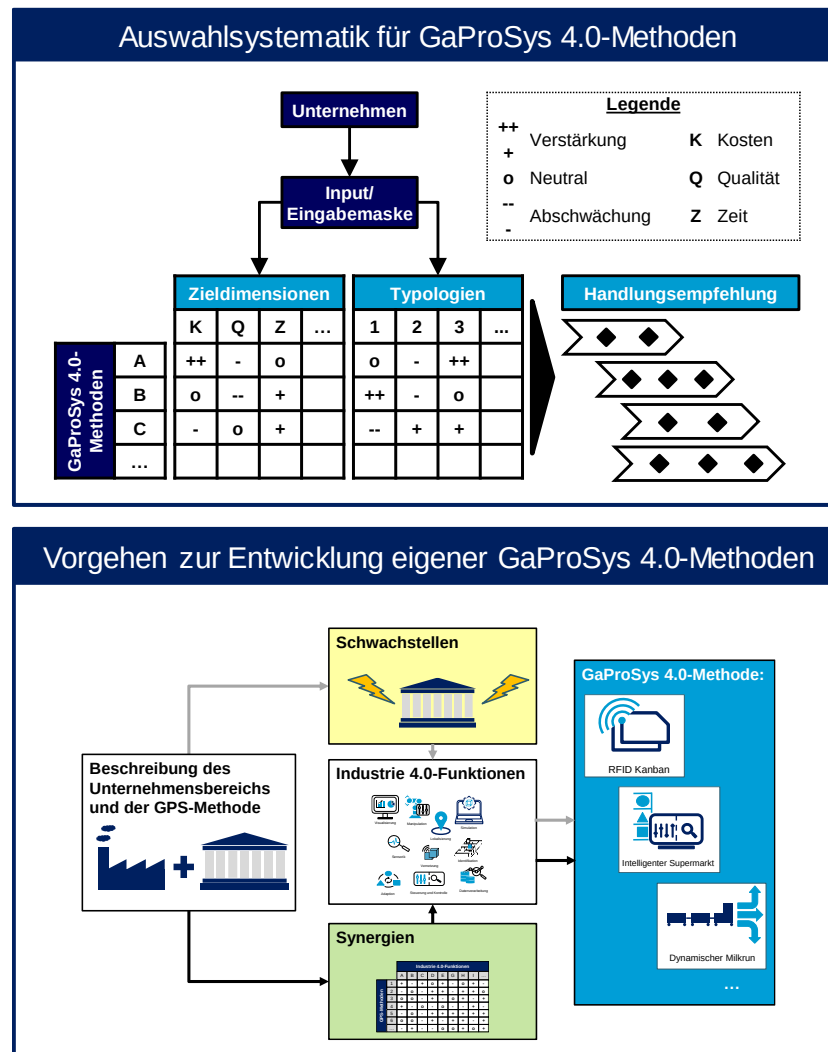


Abbildung 3-14: Auswahlssystematik und Konzept zur Entwicklung eigener GaProSys 4.0-Methoden

Beschreibung des Vorgehens der praktischen Validierung der Auswahlssystematik

Allgemeines Vorgehen

Der prinzipielle Ablauf der Auswahlssystematik respektive des korrespondierenden Softwaretools ist in Kapitel 3.5 bereits ausführlich beschrieben. Den jeweiligen partizipierenden Unternehmen wird das Softwaretool im Zuge der Validierung bereitgestellt. Während der jeweiligen Durchführung waren Hilfestellungen durch die Leiter des Workshops möglich. Somit konnten während der Durchführung bereits Verbesserungsvorschläge bezüglich der Benutzerfreundlichkeit und möglichen semantischen Problemstellungen identifiziert und aufgenommen werden.

Die Auswahlssystematik enthält bisher nur eine beschränkte Anzahl an GaProSys 4.0-Methoden, weshalb die Möglichkeit besteht, dass ein Unternehmen bei näherer Analyse der von der Auswahlssystematik priorisierten bzw. ausgewählten GaProSys 4.0-Methoden, keine Methode als geeignet ansieht, um die gewünschten Problemstellungen anzugehen. An dieser Stelle kann das

Vorgehen zur Entwicklung eigener GaProSys 4.0-Methoden zurückgegriffen werden (siehe Abbildung 3-14). Das folgende Beispiel stammt aus einem Validierungsworkshop.

Beispiel

Das in der Validierungsphase partizipierende Unternehmen wendete die Auswahlmethodik an, welche das in der Abbildung 3-15 illustrierte Ergebnis für den gewünschten Optimierungsbereich, sowie den gewichteten Zielgrößen und des gegebenen Produktionsumfelds lieferte.

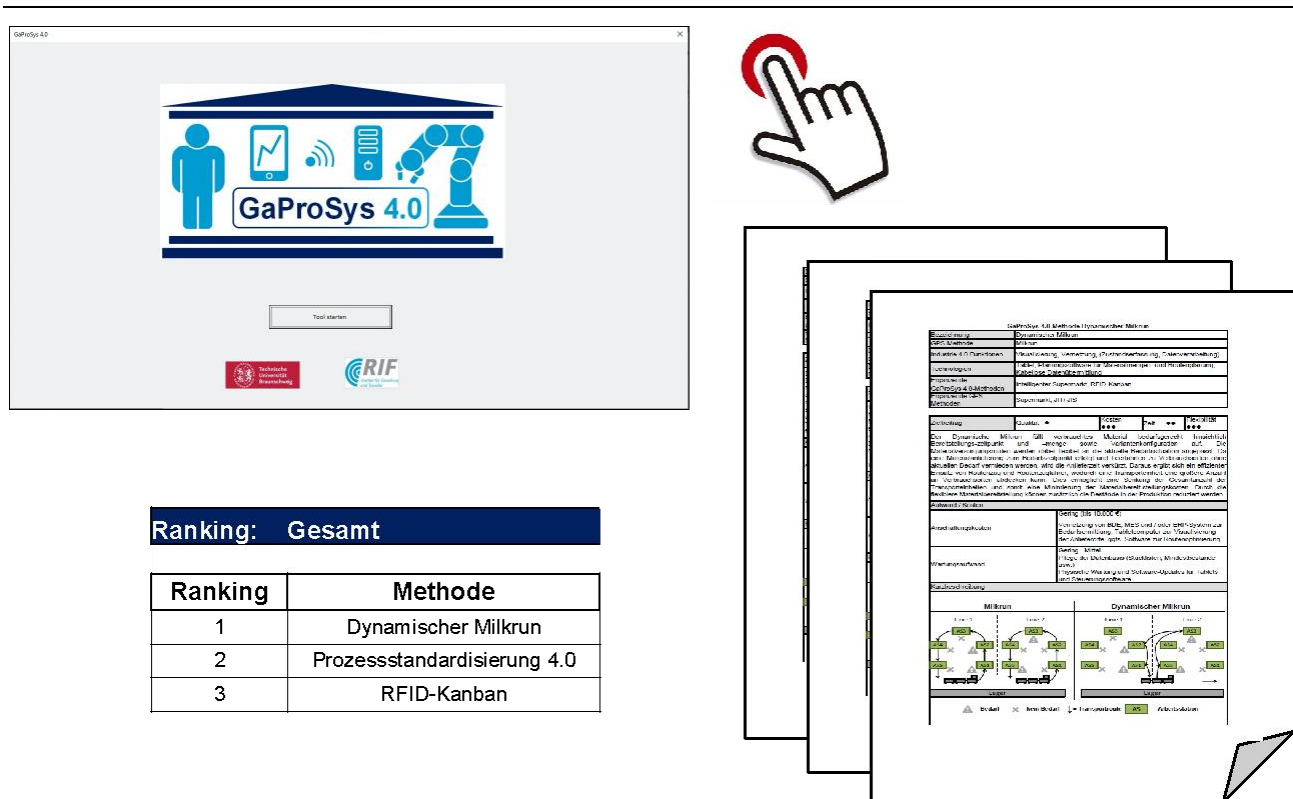


Abbildung 3-15: Ergebnis der Auswahlmethodik eines partizipierenden Unternehmens

Das Ranking der Auswahlmethodik wird sowohl hinsichtlich der Eignung als auch des Zielbeitrags durch die Methoden „Dynamischer Milkrun“ und „Prozessstandardisierung 4.0“ dominiert und von der Methode „RFID-Kanban“ ergänzt, wobei jede der Methoden einen hohen Zielbetrag aufweist. Die Eignungswerte fallen demgegenüber ab. Bei näherer Analyse der Ergebnisse, konnte festgestellt werden, dass die Methode „RFID-Kanban“ am besten für den Anwendungsfall geeignet ist. Jenes Unternehmen sieht seine Problemstellung in der bedarfsorientierten Auftragserzeugung sowie -freigabe, um die Bestände und Durchlaufzeiten in dem individuellen Fertigungsbereich zu reduzieren. Das beigefügte Methodenblatt erwies sich für das Unternehmen als besonders hilfreich an, um eine tiefgreifende Analyse der Einsatzmöglichkeiten durchzuführen.

Wenn keine der empfohlenen GaProSys 4.0-Methoden für die eigentliche Problemstellung des Unternehmens geeignet ist, kann im nächsten Schritt, der Methodenentwicklung, eine neue,

problemorientierte GaProSys 4.0-Methode entwickelt werden. Jene Methode kann im Anschluss das Konsortium der bestehenden GaProSys 4.0-Methoden ergänzen und somit die Methodensammlung erweitern. Hierfür ist jedoch eine anschließende Bewertung der Methode für die Merkmalsausprägungen der Typologie erforderlich. Zu diesem Zweck wurden die partizipierenden Unternehmen gebeten, ihre im Kontext des Workshops entwickelte Methode für die Merkmalsausprägungen zu bewerten.

Beschreibung des Vorgehens zur Entwicklung eigener GaProSys 4.0-Methoden

Allgemeines Vorgehen

Das Vorgehen zur Entwicklung eigener GaProSys 4.0-Methoden dient der Ergänzung der im vorhergehenden Abschnitt vorgestellten Auswahlmethodik. Da die Datenbasis beschränkt ist und einer weiteren Fortschreibung Bedarf, ist es möglich, dass durch ein Unternehmen keine geeignete, bereits bestehende Methode identifiziert werden konnten. In diesem Fall unterstützt das Vorgehen bei der Entwicklung einer Methode, die auf die unternehmensspezifischen Rahmenbedingungen zugeschnitten ist. Die Grundlage für das Vorgehen bilden die entwickelte Synergiematrix (siehe Kapitel 3.2) und die Erkenntnisse aus der Methodenentwicklung (siehe Kapitel 3.3).

Das erarbeitete und angewendete Vorgehen ist in Abbildung 3-16 dargestellt. Dieses weist zwei unterschiedliche Ansätze auf, die voneinander losgelöst oder seriell durchgeführt werden. Die Ausgangsbasis beider bildet die Analyse des betrachteten Unternehmensbereichs und der eingesetzten GPS-Methoden.

Anschließend sind im ersten Ansatz bestehende Problemstellungen im Betrachtungsbereich bzw. Schwachstellen der GPS-Methode detaillierter zu analysieren. Identifizierte Schwachstellen können bspw. bei der Methode Kanban der Verlust von Kanban-Karten bzw. die Zeitdauer bis zum Einsammeln der Kanban-Karten sein, die zu Verzögerungen im Informationsfluss führen. Nachfolgend werden über die beschriebenen Industrie 4.0-Funktionen (siehe Kapitel 3.1.2) Verbesserungsansätze abgeleitet. Hierbei gilt es durch das interdisziplinäre Workshop-Team durch ein Brainstorming mögliche Lösungsansätze abzuleiten. Im angeführten Kanban-Beispiel könnte dies die Nutzung digitaler Kanban-Karten sein, sodass durch den Werker mittels Tablet Materialverbräuche an vorgelagerte Produktionsbereiche übermittelt werden. Durch die Industrie 4.0-Funktionen werden in diesem Prozess der Lösungsfindung die relevanten Funktionen im Kontext der Industrie 4.0 hervorgehoben. So ist für die Identifikation der verbrauchten Materialien, die Vernetzung des Arbeitsplatzes mit den vorgelagerten Produktionsbereichen, die Visualisierung von Informationen usw. Schritt für Schritt ausgeprägt und die unternehmensspezifische GaProSys 4.0-Methode ausgeprägt.

Der zweite Ansatz basiert auf der Identifikation von Optimierungspotenzialen anhand der entwickelten Synergiematrix. Die Synergiematrix stellt die bestehenden GPS-Methoden den

Industrie 4.0-Funktionen gegenüber und zeigt Synergien zwischen diesen auf. Die Synergien sind symbolisch (++ = Starke Synergie, + = Mittlere Synergie, o = Keine Synergie) dargestellt und werden zusätzlich textuell erläutert. So werden für Paarungen aus GPS-Methode und Industrie-Funktion positiven Synergien erläutert und, soweit vorhanden, durch bestehende Anwendungsbeispiele ergänzt. Dadurch werden Unternehmen konkrete Synergien aufgezeigt, die die Grundlage für die Ausgestaltung einer unternehmensspezifischen GaProSys 4.0-Methode bilden.

Die Erarbeitung der unternehmensspezifischen GaProSys 4.0-Methoden sollte durch ein interdisziplinäres Projektteam erfolgen. Die Einbindung von Lean-Experten, operativen Mitarbeitern des Produktionsbereichs, Mitarbeitern aus der Arbeitsplanung und Arbeitssystemgestaltung sowie Führungskräfte und IT ermöglichen eine dezidierte Analyse der Zielsetzung, der bestehenden Problemstellung sowie die Ausarbeitung eines geeigneten Lösungsansatzes unter Verwendung der beschriebenen Projektergebnisse.

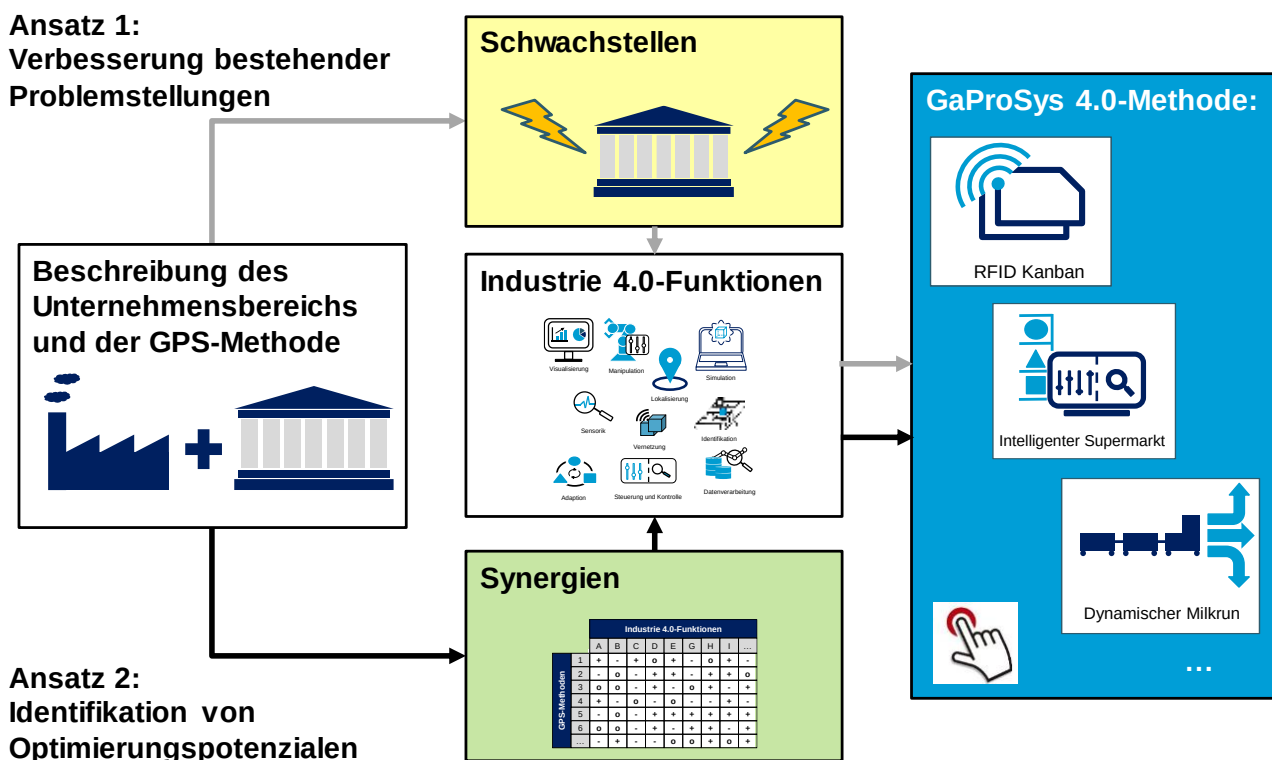


Abbildung 3-16: Vorgehen zur Entwicklung eigener GaProSys 4.0-Methoden

Anwendung des Vorgehens bei einem Mitglied des Projektbegleitenden Ausschusses

Die Anwendung des entwickelten Vorgehens wird im Folgenden exemplarisch für ein Unternehmen des Projektbegleitenden Ausschusses beschrieben. Auch in diesem Unternehmen wurde zunächst die Auswahlssystematik angewendet, doch ohne eine für die Problemstellung geeignete Methode zu identifizieren. Daher wurde gemeinsam mit dem Unternehmen das Vorgehen zur

Methodenentwicklung angewendet und eine neue Methode erarbeitet, welche der Auswahlssystematik hinterlegt wurde.

Es handelt sich bei dem Unternehmen um ein KMU der Elektronikindustrie, das u. a. Steuerungen für industrielle Tore und Schrankenanlagen sowie RFID-Identifikationssysteme herstellt. Die Arbeitssysteme der Endmontage sind durch die U-förmige Anordnung von Arbeitsplätzen geprägt, die sowohl manuelle als auch automatisierte Prozesse umfassen. Da bereits eine systematische Umsetzung von GPS-Methoden und deren Verankerung in Unternehmensprozessen besteht, existiert ein etabliertes Vorgehen für die Gestaltung und Umsetzung dieser Arbeitssysteme. Aufbauend auf der Wertstromanalyse werden die Arbeitssysteme in den übergeordneten Wertstrom eingeordnet und relevante Rahmenbedingungen für die Gestaltung des Arbeitssystems abgeleitet. Anschließend erfolgt die Konzepterstellung des Arbeitssystems im 2D-Layout und die nachfolgende Konzeptrealisierung und -optimierung in Form des Cardboard Engineering. Abschließend erfolgt die Umsetzung und Stabilisierung des Arbeitssystems.

Beim Cardboard Engineering werden Standardmodule für Arbeitstische verwendet und Kunststoffboxen für die Materialbereitstellung eingesetzt. Weitere Arbeitssystemkomponenten sowie technische Systeme werden durch Pappe modelliert und das geplante Arbeitssystem abgebildet. Dadurch können Flächenbedarfe ermittelt und der Arbeitsablauf hinsichtlich der Ergonomie und der Wirtschaftlichkeit bewertet werden, wobei die operativen Mitarbeiter aktiv in den Gestaltungsprozess eingebunden werden. Durch dieses Vorgehen wird die Planung unterstützt und die Mitarbeiterakzeptanz gesteigert. Allerdings lassen sich technische Systeme und automatisierte Prozesse nicht abbilden, die eine steigende Bedeutung für die Arbeitssysteme einnehmen. Somit können Produktionsprozesse zukünftig nur begrenzt abgebildet werden und der erforderliche Detaillierungsgrad des simulierten Arbeitsablaufs wird zukünftig nicht ausreichen. Weiterhin sind physische Produkte in diesem Planungsstadium nur teilweise verfügbar, sodass auch produktseitig eine Begrenzung der Simulationsfähigkeit besteht. Weiterhin besteht ein hoher Aufwand für den physischen Aufbau komplexer Arbeitssysteme, mit einer Vielzahl an Systemelementen, die am Nachgang entsorgt und nicht wiederverwendet werden. Daher galt es für die beschriebene Methode des Cardboard Engineering unter Verwendung des entwickelten Vorgehens einen alternativen Ansatz zu erarbeiten.

Aufbauend auf den dargestellten Schwachstellen der klassischen GPS-Methode des Cardboard Engineering wurde die unternehmensspezifische GaProSys 4.0-Methode „Augmented Reality (AR) -Cardboard Engineering“ im Rahmen eines Workshops erarbeitet. Dazu wurden die vier Industrie 4.0-Funktionen Vernetzung, Visualisierung, Simulation und Adaption als besonders relevant identifiziert und im Unternehmenskontext weiter ausgeführt (siehe Abbildung 3-17).

**Vernetzung**

- Integration von virtuellen Abbildern aus vorgelagerten Bereichen
- Digitale Produkte und Bauteile aus der Konstruktion
- Maschinenabbild aus dem Anlagenbau oder von Lieferanten

**Visualisierung**

- Erweiterung der realen Welt durch virtuelle Objekte und Informationen mittels Augmented Reality
- Darstellung virtueller Produkte und Arbeitssysteme
- Visualisierung von Maschinen- und Prozesszuständen

**Simulation**

- Simulation des Montageprozesses
- Analyse und Auswertung der Arbeitsabläufe

**Adaption**

- Manuelle Anpassung des Arbeitssystems
- Optimierung des Ablaufs hinsichtlich definierter Zielgrößen

Abbildung 3-17: Potenziale der Industrie 4.0-Funktionen für das Cardboard Engineering

Daraus abgeleitet wurde ein Konzept für das AR-Cardboard Engineering, das eine realitätsnahe Abbild des geplanten Arbeitssystems und basierend darauf die Simulation von Prozessen und Bewertung des Arbeitssystems ermöglicht. Die Mitarbeiter können wie zuvor im Arbeitsumfeld auf Basis der bestehenden, realen Standard-Arbeitssystemelemente (Arbeitstische, Materialboxen usw.) planen. Ergänzt werden virtuelle Gegenstände für Sonderaufbauten, Maschinen, Produkte und unterstützende Funktionen, wie bspw. die Logistik. Weiterhin werden virtuelle Informationen in Bezug auf den Status von Montageprozess, der Anlagen sowie Materialfluss und Logistik ergänzt. Die virtuellen Gegenstände können archiviert und in zukünftigen Arbeitssystem wiederverwendet werden, auch wenn es sich dabei nicht um Standard-Arbeitssystemelemente handelt. Ein Konzeptbild der Methoden ist in Abbildung 3-18 dargestellt.

Vorteile, die in Bezug auf die neue Methode identifiziert wurden sind eine höhere Planungsqualität bei komplexeren Arbeitssystemen, eine Zeitreduzierung durch die Archivierung und Wiederverwendung virtueller Szenarien und Komponenten und eine gesteigerte Flexibilität durch die Abbildung beliebiger Planungsszenarien, die den Mitarbeitern viel Freiraum zum Erproben ermöglichen. Demgegenüber wurden der Initialaufwand zur Einführung sowie ein fehlendes Aufwand-Nutzen-Verhältnis für einfache Arbeitssysteme als Nachteile identifiziert.

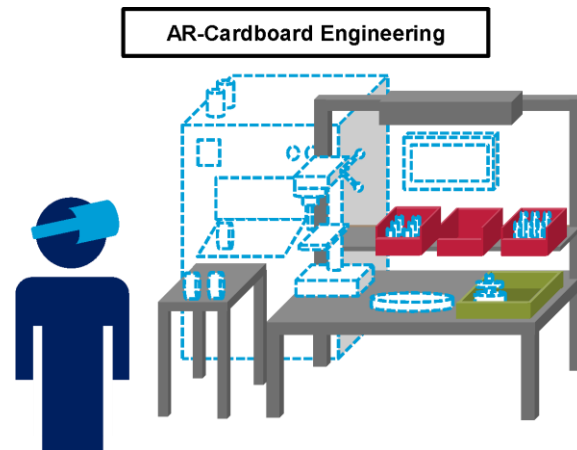


Abbildung 3-18: Konzeptbild des virtuellen Cardboard Engineerings

Bewertung der Auswahlssystematik

Zum Abschluss der Validierungsworkshops wurden das Vorgehen zur Methodenentwicklung sowie die Auswahlssystematik durch die Unternehmen bewertet. Dazu wurden die nachfolgend genannten neun Thesen definiert und durch die Unternehmen anhand einer Skala von eins (Stimme gar nicht zu) bis fünf (Stimme voll und ganz zu) bewertet. Das Ergebnis der Bewertung ist in Abbildung 3-19 dargestellt.

Insgesamt zeigen die Ergebnisse zufriedenstellende bzw. positive Resultate. Zudem wurden allen der aufgeführten Thesen, seitens der partizipierenden Unternehmen, im Allgemeinen zugestimmt. Dabei sind jeweils nur wenige Ausreißer zu erkennen, welche jedoch in keinem Bewertungsaspekt einer kompletten Verneinung der These gegenüberstehen. Bezüglich der Methodenentwicklung wird vor allem die Meinung der generischen Anwendbarkeit des Entwicklungskonzepts bestätigt. Es kann damit angenommen werden, dass auch bei weiteren praktischen Anwendungen jenes Konzepts, keine Restriktionen zu befürchten sind, welche einer Anpassung des Konzepts bedürfen bzw. notwendig machen. Insgesamt können die Ergebnisse des Methodenentwicklungsaspekts insoweit zusammengefasst werden, dass das Konzept eine nützliche Hilfe zur Entwicklung von neuen, unternehmensindividuellen GaProSys 4.0-Methoden bietet, durch welche die Implementierung von Industrie 4.0-Lösungen, im Kontext der Erhebung neuer Potentiale von GPS-Methoden, geschehen kann. Die Auswahlssystematik weist besondere Bestätigung bezüglich der These einer hohen Benutzerfreundlichkeit des Softwaretools auf, wodurch die diesbezügliche Konzeptionsanforderung als erfüllt angenommen werden kann. Wird bei der Bewertung zwischen den verschiedenen Unternehmensgrößen differenziert, so zeigt sich eine positivere Bestätigung durch die KMU gegenüber den Großunternehmen. So wird bspw. das Softwaretool für Großunternehmen nur von begrenzter Nützlichkeit sein, wenn angenommen werden kann, dass das Großunternehmen bereits weitreichende Kompetenzen bezüglich der Implementierung von Industrie 4.0-Lösungen besitzt und entsprechende Verknüpfungspunkte an GPS-Methoden bereits erkannt oder erschlossen hat. Für

4 Zusammenfassung der Forschungsergebnisse und Ausblick

Zusammenfassung

Ziel des beschriebenen Forschungsvorhabens war die Entwicklung einer Systematik, welche die Implementierung eines integrierten methodischen (GPS), sowie technologischen Ansatzes (Industrie 4.0) in Form von GaProSys 4.0-Methoden unterstützt und bei der Restrukturierung der Unternehmens- und Produktionsprozesse eine Hilfestellung leistet. Dabei sollten die Anforderungen von KMU eine besondere Berücksichtigung finden, da jene durch diverse Rahmenbedingungen vor besonderen Herausforderungen bezüglich der Implementierung von Industrie 4.0-Lösungen stehen. Die wesentlichen Forschungsergebnisse lassen sich in die Entwicklung von GaProSys 4.0-Methoden (siehe Anhang Tabelle 10-2 bis Tabelle 10-13) und einer dazugehörigen Auswahlssystematik (wird zusammen mit dem Schlussbericht bereitgestellt) differenzieren.

Um die etablierten GPS-Methoden mit dem Industrie 4.0-Ansatz in Symbiose zu bringen, wurden in einer induktiv-empirischen Analyse und einem weiteren deduktiv-analytischem Vorgehen, Synergieeffekte zwischen GPS-Methoden und den im Bericht erläuterten Funktionen der Industrie 4.0 gesucht. Somit fußt die Analyse der Synergieeffekte auf einem Fundament aus analytischen und empirischen Untersuchungen. Unter deren Zuhilfenahme konnten GaProSys 4.0-Methoden entwickelt werden, welche sich aus um Industrie 4.0-Funktionen erweiterten GPS-Methoden zusammensetzen. Vordergründig wurden hierbei Schwachstellen der konventionellen Methoden anvisiert. Um die Methoden zu beschreiben bzw. zu dokumentieren, wurde eine an die VDI-Richtlinie 2870 angelehnte Darstellung mittels Methodenblättern genutzt. Die aufgestellten Beschreibungskriterien wurden in Kooperation mit der praxisorientierten Sichtweise der partizipierenden Unternehmen selektiert. Ein wichtiges Merkmal jener Methodenblätter stellt die qualitative Einschätzung der Methoden für die generischen Zielgrößen eines Unternehmens dar. Zusätzlich wurden Synergien zwischen den neuentwickelten Methoden analysiert und dokumentiert. Dabei wurde eine Vielfalt an Synergien identifiziert, die Ansätze für weitere Forschungsarbeiten aufzeigen.

Das zweite wesentliche Forschungsergebnis bildet eine Auswahlssystematik, die als eine Hilfestellung zur Identifikation und zur Auswahl von geeigneten GaProSys 4.0-Methoden dienen soll. Hierfür wurde eine Typologie entwickelt, durch welche die wesentlichen Rahmenbedingungen eines Unternehmens erfasst werden können, die im Kontext der Auswahl von GaProSys 4.0-Methoden Relevanz besitzen. Es wurde bewusst die Entscheidung getroffen, eine eher auf die prägnanten Rahmenbedingungen reduzierte Typologie zu konzipieren, um eine unkomplizierte Anwendbarkeit zu garantieren und die Einstiegsbarriere, insbesondere auch für KMU, zu senken. Anschließend wurden sämtliche GaProSys 4.0-Methoden bezüglich der jeweiligen Merkmalsausprägungen der

Typologie bewertet. Diese Bewertung in Form einer hinterlegten Bewertungsmatrix, kann als Rückgrat der gesamten Auswahlmethodik angesehen werden und beeinflusst maßgeblich die Qualität der Priorisierungsergebnisse. Das Grundkonzept der Auswahlmethodik sieht vor, eine nach den spezifischen Rahmenbedingungen ausgeprägte Typologie (Unternehmensprofil) mit der erwähnten Bewertungsmatrix abzugleichen. Dieser Prozess wurde zweistufig gegliedert. Vorerst werden sämtliche prinzipiell ungeeigneten Methoden ausgesondert. Um dies zu realisieren, wird die Beschreibung des Optimierungsbereichs genutzt, welche bezüglich jener Merkmalsausprägung abgeglichen wird um nur die Methoden weiterzuverfolgen, welche für den grobgesteckten Optimierungsbereich als sinnvoll erachtet werden. Der nächste Schritt des Vorgehens bildet die eigentliche Priorisierung der GaProSys 4.0-Methoden. Für jenen Schritt wurde bewusst auf die Konzeption eines transparenten bzw. leicht nachzuvollziehenden Priorisierungsverfahrens geachtet. Daher wurde auf in der Forschung etablierte multikriterielle Entscheidungsmethoden wie TOPSIS oder AHP verzichtet, welche die Nachvollziehbarkeit des Priorisierungsverfahrens negativ beeinflussen würde. Die eigentliche Priorisierung teilt sich zuerst in die zwei Bewertungskriterien Eignung und Zielbeitrag auf. Für jeden Bewertungsaspekt wird eine isolierte Priorisierung durchgeführt, bevor im Anschluss eine aus beiden Kriterien zusammengeführte Priorisierung erfolgt. Somit entstehen insgesamt drei Priorisierungslisten mit den drei bestgeeignetsten Methoden, welche dem Anwender zur Verfügung gestellt werden. Dazu werden begleitend die korrespondierenden Methodenblätter zur weiteren Analyse bzw. Diskussion ausgegeben. Im Weiteren wurde die Auswahlmethodik zur praktischen Umsetzung und Validierung in ein Softwaretool überführt. Um eine leichte Anwendbarkeit, eine hohe Akzeptanz und darüber hinaus eine hohe Transparenz zu bieten, wurde das Softwaretool in einer Excel-Datei erstellt, welches durch eine VBA-Programmierung eine geführte bzw. automatisierte Durchführung der Methodik ermöglicht. In Validierungsworkshops wurde jenes Softwaretool zur Anwendung gebracht und von mehreren KMU und Großunternehmen positiv bewertet. Besonders hervorzuheben ist demnach die Benutzerfreundlichkeit des Softwaretools. Neben der Auswahlmethodik wurde in den Validierungsworkshops eine Methodik zur Entwicklung von neuen GaProSys 4.0-Methoden, die auf die unternehmensspezifischen Rahmenbedingungen zugeschnitten sind, validiert. Das erarbeitete und angewendete Vorgehen weist zwei unterschiedliche Ansätze auf, die voneinander losgelöst oder seriell durchgeführt werden. So kann einerseits auf Basis von Schwachstellen der etablierten GPS-Methoden problemorientiert gearbeitet werden. Andererseits besteht die Möglichkeit, über Synergien Optimierungspotenziale von GPS-Methoden zu finden und mit Industrie 4.0-Funktionen die diesbezüglichen Potenziale zu heben. Das Verfahren besticht nach Angaben der Teilnehmer bzw. Unternehmen vor allem durch seine universelle Anwendbarkeit.

Ausblick

Die in dieser Arbeit vorgestellten Ergebnisse bieten Anlass für weiterführende Arbeiten, die die Auswahlssystematik erweitern sowie diese durch weitere qualitative Untersuchungen verbessern können. Ein wesentlicher Aspekt weiterer Arbeiten sollte die Erweiterung des bestehenden Methodenkonsortiums der GaProSys 4.0-Methoden beinhalten. Im Kontext dieser Forschungsarbeiten konnte nur eine begrenzte Menge an GaProSys 4.0-Methoden entwickelt werden. Dies führt zwangsläufig zu Konstellationen, wie in Kapitel 3.6 beschrieben, in welchen keine geeigneten Methoden für die jeweilige Problemstellung durch die Auswahlssystematik bereitgestellt werden können. Um das Konsortium der GaProSys 4.0-Methoden sukzessive zu ergänzen, könnte eine weitere Zusammenarbeit mit Unternehmen vorgenommen werden, mit denen auf Basis von problemorientierten Ansätzen, neue Methoden entwickelt werden können. Der problemorientierte Ansatz könnte zudem die Akzeptanz erhöhen, um die auf die unternehmensindividuelle Problematik konzipierte Methode auch nachhaltig zu implementieren. Diesbezüglich könnte die Möglichkeit genutzt werden, die potenzielle Umsetzung der Methode zu begleiten. Dadurch könnten neben der allgemeinen Aufnahme der Methode in den Methodenkatalog wichtige aus den empirischen Erfahrungen gewonnene Informationen für das Methodenblatt, wie bspw. die Implementierungsdauer oder die entstehenden Kosten, genutzt werden. Darüber hinaus kann zugleich ein rein analytischer Ansatz verfolgt werden, Optimierungspotenziale von GPS-Methoden offenzulegen und auf Synergien mit Industrie 4.0-Funktion hin zu untersuchen. Daher ist hierbei eine zweigleisige Fortführung der Forschungstätigkeiten möglich.

Neben der Erweiterung des Methodenkonsortiums können sich weitere Arbeiten anschließen, welche sich dem Aspekt der Methodenimplementierung zuwenden. Hier könnten bspw. Studien bzw. empirische Analysen von bereits umgesetzten GaProSys 4.0-Methoden vorgenommen werden, um generische Vorgehensschritte zur Implementierung jener Methoden ableiten zu können. Damit könnten unter anderem allgemeingültige Implementierungs-Richtlinien erstellt werden, um den Implementierungsprozess insbesondere für KMU transparenter zu gestalten. Dies wäre der nächste logische Schritt, um KMU bei der Umsetzung von Industrie 4.0-Lösungen zu unterstützen.

Ein weiterer Forschungsansatz kann in der Analyse von Implementierungsreihenfolgen liegen. So stellt sich die Frage, in welcher Reihenfolge ein Unternehmen GaProSys 4.0-Methoden implementieren sollte, falls mehrere Methoden als geeignet identifiziert wurden, oder ob ggf. die Möglichkeit besteht, die Implementierung mehrerer Methoden parallel abzuwickeln. Zudem könnten neben dem bisherigen Aspekt der ausschließlichen Berücksichtigung der aktuellen Situation, unter Zuhilfenahme der Synergiematrix und des Industrie 4.0-Reifegrads, Forschungsansätze verfolgt werden, um eine Konzeption einer langfristig angesiedelten, unternehmensindividuellen GaProSys 4.0-Roadmap zu unterstützen.

5 Bewertung des Einzelfinanzierungsplans

5.1 Forschungsstelle 1 (IFU)

Entsprechend dem Forschungsantrag und dem im Arbeitsplan dargestellten Aufgabenspektrum wurden 24 Personenmonate an wissenschaftlich-technischem Personal im gesamten Bewilligungszeitraum beschäftigt. Hierbei war ein Mitarbeiter als Projektleiter tätig und wurde, entsprechend der jeweiligen benötigten Fachkenntnisse, durch weitere Projektmitarbeiter unterstützt. Weiterhin erfolgte die Unterstützung durch studentische Hilfskräfte.

Durch die Bearbeitung mehrerer wissenschaftlicher Mitarbeiter und der klaren Definition eines Projektleiters zu jedem Zeitpunkt konnte einerseits das vorhandene Wissen am Institut für die inhaltliche Bearbeitung intensiv genutzt und andererseits eine zielorientierte Projektkoordination des Forschungsvorhabens gewährleistet werden.

Die wissenschaftlichen Angestellten wurden während der gesamten Laufzeit von studentischen Hilfskräften, je nach Aufwand der Arbeitspakete, unterstützt. Die Hilfskräfte unterstützten insbesondere in AP 1 und AP 2 bei der Literaturrecherche und der Datenaufbereitung sowie in AP 3 bis AP 5 bei der Entwicklung erforderlicher Rahmenbedingungen in KMU und der Implementierung der Auswahlssystematik in das Excel-Tool. In AP 6 und AP 7 unterstützten die studentischen Hilfskräfte bei der Validierung der Auswahlssystematik und der Dokumentation sowie der Durchführungen der Treffen des Projektbegleitenden Ausschusses. Zusätzlich konnte durch die Betreuung von studentischen Arbeiten mit Bezug zum Forschungsvorhaben ein breitgefächertes Spektrum relevanter Literatur evaluiert und verschiedene Lösungsansätze verfolgt werden.

Entsprechend dem Forschungsantrag wurden keine Mittel für die Gerätebeschaffung und Leistungen Dritter beantragt. Die geplanten und getätigten Mittelabrufe für das eingesetzte Personal, die sich für die Forschungsstelle 1 ergeben, sind in Tabelle 5-1 dargestellt. Die Diskrepanz ergibt sich aus den gestiegenen Bruttoentgelte für das wiss.-techn. Personal sowie für Hilfskräfte gemäß TV-L.

Tabelle 5-1: Übersicht über beantragte Zuwendungen

Position	Zuwendung laut Einzelfinanzierungsplan [€]	Getätigter Mittelabruf [€]
Bruttoentgelte für wiss.-techn. Personal	120.360,00	129.229,98
Bruttoentgelte für übriges Fachpersonal	0,00	0,00
Bruttoentgelte für Hilfskräfte	9.880,00	9.989,53
Pauschale für Personalausgaben	9.100,00	9.100,00
Ausgaben für Gerätebeschaffung	0,00	0,00
Ausgaben für Leistungen Dritter	0,00	0,00
Pauschale für Sonstige Ausgaben	27.860,00	27.860,00
Summe	167.200,00	176.179,51
Bisher abgerufene Mittel		158.840,00
Mehrausgabe (+) bzw. Bestand (-)		+ 17.339,51

Die beantragten bzw. die getätigten vorhabenbezogenen Aufwendungen der Wirtschaft und die Gesamtkosten für das Forschungsvorhaben sind in Tabelle 5-2. dargestellt. Aufgrund der gemeinsamen Ausrichtung von Veranstaltungen, wie beispielsweise das Abschlusstreffen per Webkonferenz, wird in der Tabelle die Summe der vorhabenbezogenen Aufwendungen der Wirtschaft (vAW) im Zusammenhang mit der Forschungsstelle 1 und der Forschungsstelle 2 aufgeführt.

Tabelle 5-2: Übersicht über vorhabenbezogene Aufwendungen der Wirtschaft (vAW)

Position	Zuwendung laut Gesamtfinanzierungsplan [€]	Getätigter Mittelabruf [€]
Vorhabenbezogene Dienstleistungen	17.280,00	22.900,00
Aufwendungen für den Projektbegleitenden Ausschuss	51.200,00	35.000,00
Summe	68.480,00	57.900,00

Anhand der getätigten Mittelabrufe wird deutlich, dass die beantragten Forschungsgelder für die erfolgreiche Bearbeitung des Forschungsvorhabens und die damit einhergehende

Ergebniserarbeitung eingesetzt wurden. Die nachgewiesenen Aufwendungen für die vorhabenbezogenen Dienstleistungen und die Projektbegleitenden Ausschüsse belegen zudem den regen Austausch mit interessierten Unternehmen, durch den ein dauerhafter Transfer von Forschungsergebnissen und Erfahrungen zwischen dem Forschungsinstitut und der Wirtschaft gewährleistet wurde. Da sich im Laufe des Projekts ein verstärkter bilateraler Austausch via Webkonferenzen mit den Unternehmen des Projektbegleitenden Ausschusses bewährt hat, wurden etwas geringere Aufwendungen für die Treffen des Projektbegleitenden Ausschusses im größeren Kreis und dafür vermehrt Aufwendungen für vorhabenbezogene Dienstleistungen im bilateralen Austausch geleistet.

5.2 Forschungsstelle 2 (RIF)

Dem Forschungsantrag sowie dem im Arbeitsplan dargestellten Aufgabenspektrum entsprechend wurden 24 Personenmonate an wissenschaftlich-technischem Personal im gesamten Bewilligungszeitraum eingesetzt. Hierzu wurde ein Mitarbeiter als Projektleiter über den gesamten Bewilligungszeitraum eingesetzt und nach den jeweiligen erforderlichen Fachkenntnissen durch weitere Projektmitarbeiter unterstützt. Weiterhin erfolgte die Unterstützung durch studentische Hilfskräfte.

Durch die feste Zuweisung eines Projektleiters zu dem Vorhaben wurde eine durchgängige Bearbeitung des Forschungsvorhabens über die gesamte Projektlaufzeit sichergestellt, sodass ohne Übergangsverluste auf vorhandene Ergebnisse und erarbeitetes Wissen zurückgegriffen werden konnte. Durch die wissenschaftlichen Mitarbeiter wurde eine inhaltlich und methodisch korrekte Bearbeitung des Projektes sichergestellt. Die wissenschaftlichen Angestellten wurden während der gesamten Laufzeit von studentischen Hilfskräften, je nach Aufwand der Arbeitspakete, unterstützt. Die Hilfskräfte unterstützten insbesondere in AP 1 und AP 2 bei der Literaturrecherche und der Datenaufbereitung sowie in AP 3, AP 4 und AP 5 bei der Beschreibung und Bewertung der GaProSys 4.0-Methoden. In AP 6 und AP 7 unterstützten die studentischen Hilfskräfte bei der Validierung der Auswahlssystematik und der Dokumentation sowie der Durchführungen der Treffen des Projektbegleitenden Ausschusses.

Entsprechend dem Forschungsantrag wurden keine Mittel für die Gerätebeschaffung und Leistungen Dritter beantragt. Die geplanten und getätigten Mittelabrufe für das eingesetzte Personal sind in Tabelle 5-3 dargestellt.

Tabelle 5-3: Übersicht über beantragte Zuwendungen

Position	Zuwendung laut Einzelfinanzierungsplan [€]	Getätigter Mittelabruf [€]
Bruttoentgelte für wiss.-techn. Personal	120.360,00	128.627,91
Bruttoentgelte für übriges Fachpersonal	0,00	0,00
Bruttoentgelte für Hilfskräfte	16.340,00	7.094,57
Pauschale für Personalausgaben	9.560,00	9.500,57
Ausgaben für Gerätebeschaffung	0,00	0,00
Ausgaben für Leistungen Dritter	0,00	0,00
Pauschale für Sonstige Ausgaben	29.240,00	29.044,61
Summe	175.500,00	174.267,66

Die beantragten bzw. die getätigten vorhabenbezogenen Aufwendungen der Wirtschaft und die Gesamtkosten für das Forschungsvorhaben sind in Tabelle 5-4 dargestellt.

Tabelle 5-4: Übersicht über vorhabenbezogene Aufwendungen der Wirtschaft (vAW)

Position	Zuwendung laut Gesamtfinanzierungsplan [€]	Getätigter Mittelabruf [€]
Vorhabenbezogene Dienstleistungen	17.280,00	22.900,00
Aufwendungen für den Projektbegleitenden Ausschuss	51.200,00	35.000,00
Summe	68.480,00	57.900,00

Anhand der getätigten Mittelabrufe wird deutlich, dass die beantragten Forschungsgelder für die erfolgreiche Bearbeitung des Forschungsvorhabens und die damit einhergehende Ergebniserarbeitung eingesetzt wurden. Die nachgewiesenen Aufwendungen für die vorhabenbezogenen Dienstleistungen und die Projektbegleitenden Ausschüsse belegen zudem den regen Austausch mit interessierten Unternehmen, durch den ein dauerhafter Transfer von Forschungsergebnissen und Erfahrungen zwischen dem Forschungsinstitut und der Wirtschaft gewährleistet wurde. Da sich im Laufe des Projekts ein verstärkter bilateraler Austausch via Webkonferenzen mit den Unternehmen des Projektbegleitenden Ausschusses bewährt hat, wurden

etwas geringere Aufwendungen für die Treffen des Projektbegleitenden Ausschusses im größeren Kreis und dafür vermehrt Aufwendungen für vorhabenbezogene Dienstleistungen im bilateralen Austausch geleistet.

6 Erläuterung der Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit

Entsprechend dem begutachteten und bewilligten Antrag betrug die Projektlaufzeit 24 Monate. Da der Mittelfluss gemäß der Mittelabrufe aufgrund der kassenmäßigen Beschränkungen seit Projektstart nicht erfolgte, war eine Reduktion des Personals während der regulären Projektlaufzeit erforderlich. Dadurch kam es zu einer Verzögerung bei der Projektbearbeitung, die zu einer Abweichung vom zeitlichen Projektplan führte. Um die im Forschungsantrag geplante Durchführung der Arbeitspakete nach Art und Umfang sicherzustellen, wurde daher am 12.07.2019 ordnungsgemäß eine kostenneutrale Verlängerung um 12 Monate beantragt, der am 04.07.2020 stattgegeben wurde.

Der Mitarbeiterereinsatz verteilte sich wie in Tabelle 6-1 dargestellt. Das Ende der Projektlaufzeit war der 31.12.2020. Wie in den inhaltlichen Ausführungen zur Konzeptentwicklung in Kapitel 3 erläutert, entspricht die geleistete Arbeit nach Art und Umfang dem begutachteten sowie bewilligten Antrag und war notwendig sowie angemessen für die Durchführung des Vorhabens. Die definierten Projektziele konnten wie geplant erreicht werden.

Tabelle 6-1: Projektverlauf

AP-Nr.	Arbeitspaket (AP)	PM	Zeitraum											
			2018			2019				2020				
			Q2	Q3	Q4	Q1	Q2	Q3	Q4	Q1	Q2	Q3	Q4	
1	Anforderungsermittlung sowie Kategorisierung von GPS-Methoden und Industrie 4.0-Lösungen	3	■	■	■	■	■							
2	Erarbeitung einer Synergiematrix von GPS-Methoden und Industrie 4.0-Lösungen	3			■	■	■							
3	Definition von GaProSys 4.0-Methoden und Bewertung bzgl. Zieldimensionen	9			■	■	■	■	■					
4	Ermittlung erforderlicher Rahmenbedingungen in KMU zur Umsetzung von GaProSys 4.0-Methoden	2					■	■	■					
5	Entwicklung einer Auswahlssystematik für GaProSys 4.0-Methoden	4							■			■	■	
6	Umsetzung und Validierung der Auswahlssystematik	3											■	■
7	Projektmanagement, projektbegleitende Validierung und Öffentlichkeitsarbeit	-	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Treffen des Projektbegleitenden Ausschusses					◆	◆			◆					◆

7 Wissenschaftlich-technischer und wirtschaftlicher Nutzen für Unternehmen, insbesondere KMU

In diesem Forschungsprojekt wurde eine Systematik entwickelt, welche die Implementierung eines integrierten methodischen (GPS) sowie technologischen Ansatzes (Industrie 4.0) in Form von GaProSys 4.0-Methoden unterstützt und bei der Restrukturierung der Unternehmens- und Produktionsprozesse Hilfestellung leistet. Die Forschungsergebnisse resultieren damit in der Entwicklung von GaProSys 4.0-Methoden inklusive einer Auswahlssystematik, welche die systematisierte und zielorientierte Implementierung von GPS-Methoden, kombiniert mit Industrie 4.0-Lösungen, ermöglicht. Damit wird eine Verbesserung der Produktionsprozesse (Fertigungs-, Füge-, Qualitäts-, Logistik-, Handhabungs-, und Instandhaltungsprozesse) für produzierenden Unternehmen angestrebt.

Nutzung der Forschungsergebnisse für produzierende Unternehmen

Die Forschungsergebnisse können von produzierenden Unternehmen unmittelbar genutzt und angewendet werden, um eine Steigerung der Wettbewerbsfähigkeit anzustreben. Zunächst wurden im Forschungsprojekt die Synergien zwischen GPS-Methoden und den Funktionen der Industrie 4.0 analysiert, wobei ein hohes Synergiepotenzial identifiziert werden konnte. An dieser Stelle wurde neben einem induktiv-empirischen Vorgehen, bei dem konkrete Anwendungsfälle betrachtet wurden, ein deduktiv-logisches Vorgehen zur Identifikation von Synergien gewählt. Aus beiden Ansätzen konnte eine Synergiematrix entwickelt werden, die sowohl aus empirischer und analytischer Sicht die Synergien aufzeigt. Damit können Unternehmen, auch ohne die Auswahlssystematik zu durchlaufen, Potenziale hinsichtlich eingesetzter GPS-Methoden identifizieren und diskutieren.

Um den Auswahlprozess von geeigneten GaProSys 4.0-Methoden zu unterstützen, kann auf die entwickelte Auswahlssystematik zurückgegriffen werden. Diese verknüpft das Unternehmensprofil mit den Methodenprofilen, um eine Priorisierung hinsichtlich der Eignung und des Zielbeitrags vorzunehmen. Im Unternehmensprofil kann der Anwender den Optimierungsbereich sowie spezifische Rahmenbedingungen des Unternehmens eingeben. Jede GaProSys 4.0-Methode ist in der Auswahlssystematik mit einer Bewertung bezüglich der Optimierungsbereiche, der organisatorischen Merkmale und der Zielgrößen hinterlegt, um eine Priorisierung vornehmen zu können.

Für produzierende Unternehmen ist besonders die Implementierung dieser Methoden von großer Bedeutung. Daher werden dem Anwender im Ergebnis die entsprechenden Methodenblätter zu den geeigneten Methoden ausgegeben. Dadurch kann der Anwender nicht nur in der Auswahl, sondern auch in der Implementierung der Methoden hinreichend unterstützt werden.

Im Rahmen des Forschungsprojektes wurde die Auswahlssystematik sowie das entwickelte Vorgehen zur Ableitung unternehmensspezifischer GaProSys 4.0-Methoden mit produzierenden

Unternehmen angewendet und bewertet. Die Validierung hat verdeutlicht, dass die generische Methodenentwicklung in der praktischen Anwendung eine nützliche Hilfe darstellt und die Auswahlmethodik eine hohe Benutzerfreundlichkeit und Unterstützung in der Identifikation von GaProSys 4.0-Methoden aufweist.

Steigerung der Wettbewerbsfähigkeit für KMU

Im Rahmen des Forschungsprojektes wurde der Fokus auf das produzierende Gewerbe und insbesondere auf KMU gelegt. Um spezifische Eigenschaften eines KMU abzubilden, wurde zunächst eine Typologie zur Charakterisierung der unternehmensspezifischen Rahmenbedingungen entwickelt. Diese Typologie ermöglicht es, einen spezifischen Anwendungsfall bzw. ein Produktionssystem zu beschreiben, sodass eine Bewertung hinsichtlich der Eignung und des Zielbeitrags von GaProSys 4.0-Methoden ermöglicht wird. Die Granularität der Typologie wurde bewusst beschränkt, damit die Anwender die Bewertung ohne eine umfangreiche Betriebsanalyse vornehmen können. Damit konnten die KMU spezifischen Anforderungen, welche im AP 1.3 analysiert wurden, in die Forschungsergebnisse integriert werden.

Weiter wurde bei der Entwicklung der GaProSys 4.0-Methoden und der Auswahlmethodik die systematisierte und zielorientierte Implementierung dieser Methoden fokussiert. Für KMU stellen insbesondere die Potenzial- und Risikoabschätzung der GaProSys 4.0 Methoden große Herausforderungen dar, welche durch die Forschungsergebnisse abgebaut werden konnten. Die Auswahlmethodik wurde in ein intuitives Software-Tool überführt und leitet den Anwender durch gezielte Beschreibungen und klare Definitionen durch den Auswahlprozess. Die angehängten GaProSys 4.0-Methodenblätter geben Auskunft über die qualitative Bewertung hinsichtlich der Zielgrößen Qualität, Kosten, Zeit und Flexibilität. Zugleich werden dem Anwender industrielle Anwendungsfälle ausführlich dargelegt, wodurch der Implementierungsprozess unterstützt wird. Damit ist der konkrete Nutzen für KMU die Verbesserung der Produktionsprozesse durch die systematische und strukturierte Bewertung und Implementierung der GaProSys 4.0 Methoden.

8 Ergebnistransfer in die Wirtschaft

8.1 Durchgeführte Transfermaßnahmen

Im Rahmen des Bewilligungszeitraums wurden umfangreiche Transfermaßnahmen durchgeführt, die in Tabelle 8-1 zusammenfassend dargestellt sind. Im nachfolgenden Kapitel wird der Ergebnistransfer in die Wirtschaft abschließend bewertet.

Tabelle 8-1: Übersicht durchgeführter Transfermaßnahmen

Maßnahme	Ziel	Ort/Rahmen	Datum/ Zeitraum
Sitzungen des Projektbegleitenden Ausschusses (PA)	• Ermittlung von Anforderungen • Inhaltliche Diskussion des Projektfortschritts • Sicherstellung von Praxisorientierung und Akzeptanz • Verbreitung der Projektergebnisse	Bei den Forschungsinstituten, ca. halbjährlich (Kick-Off, Meilensteine, Abschluss)	1.PA: 14.11.2018 2.PA: 14.03.2019 3.PA: 06.12.2019 4.PA: 04.12.2020
Umfragen und zehn qualitative Interviews u. a. im PA	Ermittlung von Anforderungen und Rahmenbedingungen sowie Zielgrößen und praktischer Erfahrungen	Vor Ort, bei den Forschungsinstituten oder via Web-/ Videokonferenz	01.10.2018 – 01.03.2019
Information über die Institutshomepages	Verbreitung von Projektfortschritt und Projektergebnissen	Webbasiert	Fortlaufend
Projekt-, Bachelor- und Masterarbeiten zu Themen des Forschungsvorhabens und Transfer in die Lehre	• Heranführung von Studierenden an ein selbständiges und wissenschaftliches Arbeiten • Erarbeitung von wissenschaftlichen Erkenntnissen im Projektkontext • Wissenstransfer in die Lehre durch die Einbindung von Projektergebnissen in Lehrveranstaltungen	• Betreuung der studentischen Arbeiten durch die wissenschaftlichen Mitarbeiter und Professoren der Forschungsinstitute • Einbindung der Projektergebnisse in die Veranstaltungsreihe „Gestaltung von Produktionssystemen“ (TU Dortmund)	Fortlaufend
Vorstellung auf Tagungen, Kongressen, Konferenzen und Industrie- und Arbeitskreisen	• Vortrag und wissenschaftlicher Bericht von Projektergebnissen für Forschung und Industrie • Kontaktaufnahme zu interessierten Unternehmen und Diskussion der Ergebnisse	1) STEPS-Projekt-Abschluss (RIF e. V., Dortmund) 2) IDS-Conference 3) NIRO e. V. Lean-Arbeitskreistreffen 4) LeanIng e. V. Arbeitskreistreffen 5) AWF-Arbeitsgruppe	1) 30.10.2018 2) 13.03.2019 3) 13.11.2019, 04.11.2020 4) 16.12.2019 5) 02.03.2021
Veröffentlichung in Fachzeitschriften und Journals	Publikation der Ergebnisse für Industrie und Forschung	1) International Journal of Engineering Business Management (IJEEM) 2) Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb (ZWF)	1) Publikation in 2020 2) ZWF Ausgabe 6/2021

Zwischen- und Abschlussberichte	Information über aktuellen Projektfortschritt	• Homepage der GVB: www.gvb-ev.de • Projekthomepage	Fortlaufend
Pilotartige Umsetzung der Projektergebnisse	• Validierung und Optimierung der Projektergebnisse • Schaffung eines Referenzprozesses zur Umsetzung der Methodik • Transfer der Projektergebnisse in Unternehmen	• Durchgeführt bei acht Unternehmen des projektbegleitenden Ausschusses (siehe AP 6)	Acht Termine mit den Unternehmen in Q4/2020
Dissertation	Transfer von Teilergebnissen in eine Dissertation zum Thema: „Ansatz zur zielgerichteten Gestaltung von cyber-physischen Produktionssystem für kleine und mittlere Unternehmen“	Printveröffentlichung	Juni 2021

8.2 Bewertung des Ergebnistransfers in die Wirtschaft

Die Durchführung der Transfermaßnahmen erfolgte analog zu den im Projektplan definierten Maßnahmen und ist als erfolgreich in Bezug auf den Wissenstransfer in die Industrie einzustufen.

Die Interviews zur Anforderungsdefinition zu Beginn des Projekts erfolgten mit Unternehmen des projektbegleitenden Ausschusses, aber auch mit weiteren KMU. Dadurch konnte weitere interessierte Unternehmen in das Projekt eingebunden und die Anzahl der KMU noch einmal gesteigert werden. Ergänzend erfolgte die intensive Diskussion der Anforderungen im zweiten projektbegleitenden Ausschuss, sodass praxisorientierte Anforderungen bei der Entwicklung des Konzepts explizit berücksichtigt werden konnten. Weiterhin erfolgte ein intensiver Austausch in den vier halbtägigen Workshops mit dem projektbegleitenden Ausschuss zum aktuellen Entwicklungsstand des Konzepts, um ergänzende Anregungen der Industrie in die weitere Entwicklung einfließen lassen zu können. Auch aus den Diskussionen mit Industriearbeitskreisen konnten weitere Verbesserungen abgeleitet werden. Dieser umfassende Austausch mit Industrievertretern hat die Grundlage für die erfolgreiche Validierung mit acht Unternehmen gelegt.

Die Anwendung des Konzepts in Form eines Workshops zur Ableitung bzw. Weiterentwicklung von GaProSys 4.0-Methoden, basierend auf den unternehmensspezifischen Rahmenbedingungen eines ausgewählten Fertigungsbereichs, ist als besonders wertvoll einzustufen. Im Zuge der Validierungsworkshops konnte die Anwendbarkeit des Konzepts und der damit einhergehende Nutzen verifiziert werden. Dies spiegelt sich insbesondere in den sehr positiven Bewertungen der Validierungsworkshops durch die Unternehmen (siehe Kapitel 3.6) wider. Da die Anwendung des Konzepts mit Unternehmen unterschiedlicher Branchen sowie variierender Unternehmensgröße erfolgte, mit einem Fokus auf KMU, ist von einer branchenübergreifenden Anwendbarkeit der Ergebnisse, aber insbesondere auch einer Eignung für KMU, auszugehen. Die Bereitstellung der

Projektergebnisse in Form der entwickelten Auswahlssystematik sowie der Vorgehensweise zur (Weiter-)Entwicklung unternehmensspezifischer GaProSys 4.0-Methoden befähigt die Unternehmen die Projektergebnisse eigenständig anzuwenden. Ergänzende Unterlagen, wie die erarbeitete Synergiematrix, unterstützen dabei. Somit wird der Transfer der Projektergebnisse gezielt unterstützt.

Darüber hinaus wird die Integration der Projektergebnisse in die Lehre sowie die Betreuung studentischer Arbeiten als relevant eingestuft. So können die Studierenden zukünftig zu einem weiteren Transfer der Projektergebnisse in die Industrie beitragen. Außerdem fand bei praxisorientierten Abschlussarbeiten unter Industriebeteiligung auch bereits während der Projektlaufzeit der Transfer statt.

Der bei der Antragsstellung formulierte Nutzen der Kombination von GPS-Methoden mit der Industrie 4.0 konnte durch das entwickelte Konzept und die Validierung aufgezeigt werden. In Abhängigkeit der jeweiligen Unternehmensziele und der gewählten Methode wurde ein Nutzen für die vier Zieldimensionen Zeit, Qualität, Kosten und/oder Flexibilität aufgezeigt. Weiterhin werden Unternehmen bei der Auseinandersetzung mit der Industrie 4.0 und einem Ansatz zum Übertrag der Industrie 4.0 auf das eigene Unternehmen unterstützt, was langfristig als wichtiger strategischer Wettbewerbsfaktor eingestuft wird.

9 Literaturverzeichnis

Acatech (2013): Umsetzungsempfehlungen für das Zukunftsprojekt Industrie 4.0. Abschlussbericht des Arbeitskreises Industrie 4.0. acatech - Deutsche Akademie der Technikwissenschaften e.V. Online verfügbar unter https://www.bmbf.de/files/Umsetzungsempfehlungen_Industrie4_0.pdf, zuletzt geprüft am 04.04.2019.

Aehnelt, Mario (2019): Plant@Hand3D. Multi-Touch-Leitstand für die Produktion. Fraunhofer-Institut für Graphische Datenverarbeitung IGD. Rostock. Online verfügbar unter https://www.igd.fraunhofer.de/sites/default/files/media/projekte/2017-0725_flyer_planthand-3d_web.pdf.

Bauer, Doris (2017): Maximale Transparenz innerhalb der gesamten Kantenanlage. HOMAG. Online verfügbar unter <https://www.homag.com/news-events/kundenberichte/detail/maximale-transparenz-innerhalb-der-gesamten-kantenanlage/>.

Bauer, Wilhelm; Horváth, Péter (2015): Industrie 4.0 - Volkswirtschaftliches Potenzial für Deutschland. In: *CON* 27 (8-9), S. 515–517. DOI: 10.15358/0935-0381-2015-8-9-515.

Bauer, Wilhelm; Schlund, Sebastian; Marrenbach, Dirk; Ganschar, Oliver (2014): Industrie 4.0 – Volkswirtschaftliches Potenzial für Deutschland. Hg. v. Bundesverband Informationswirtschaft, Telekommunikation und neue Medien e. V. (BITKOM).

Bauernhansl, Thomas (2014): Die Vierte Industrielle Revolution – Der Weg in ein wertschaffendes Produktionsparadigma. In: Thomas Bauernhansl, Michael ten Hompel und Birgit Vogel-Heuser (Hg.): *Industrie 4.0 in Produktion, Automatisierung und Logistik*. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden, S. 5–35.

Bauernhansl, Thomas; Hompel, Michael ten; Vogel-Heuser, Birgit (Hg.) (2014): *Industrie 4.0 in Produktion, Automatisierung und Logistik. Anwendung, Technologien, Migration*. Wiesbaden: Springer Vieweg.

Baumgärtner, Gerhard (2006): *Reifegradorientierte Gestaltung von Produktionssystemen. Theoretische und empirische Analyse eines Gestaltungsmodells*. Zugl.: München, Techn. Univ., Diss, 2006. 1. Aufl. München: TCW Transfer-Centrum (TCW Wissenschaft und Praxis, 40).

Becker, Klaus-Detlev (2015): Arbeit in der Industrie 4.0 – Erwartungen des Instituts für angewandte Arbeitswissenschaft e.V. In: Alfons Botthof und Ernst Andreas Hartmann (Hg.): *Zukunft der Arbeit in Industrie 4.0*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, S. 23–29.

Becker, Wolfgang; Fischer, S.; Staffel, M.; Ulrich, P. (2007): Anforderungen mittelständischer Unternehmen an potentielle Bewerber aus den Bereichen Controlling, Finance & Accounting.

Ergebnisbericht einer empirischen Untersuchung. Bamberg: Deloitte-Mittelstandsinst. an der Univ. Bamberg (Bamberger betriebswirtschaftliche Beiträge Forschung, 146).

Bertagnolli, Frank (2018): Lean Management. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden.

Bick, Werner (2014): Warum Industrie 4.0 und Lean zwingend zusammengehören. In: VDI-Z (11), S. 46–47. Online verfügbar unter https://www.roi.de/fileadmin/user_upload/presse/2014_11_VDI-ZB880_ROI-Management.pdf.

Bildstein, A.; Seidelmann, J. (2014): Industrie 4.0-Readiness: Migration zur Industrie 4.0-Fertigung. In: Thomas Bauernhansl, Michael ten Hompel und Birgit Vogel-Heuser (Hg.): Industrie 4.0 in Produktion, Automatisierung und Logistik. Anwendung, Technologien, Migration. Wiesbaden: Springer Vieweg, S. 581–597.

Bischoff, Jürgen (Hg.) (2015): Erschließen der Potenziale der Anwendung von Industrie 4.0 im Mittelstand. Studie im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie (BMWi). agiplan GmbH. Mülheim an der Ruhr.

BLOKSMA ENGINEERING (2015): Industrie 4.0: Der intelligente Supermarkt. Hg. v. Lectura press. Online verfügbar unter <https://press.lectura.de/de/article/industrie-4-0-der-intelligente-supermarkt/25765>, zuletzt geprüft am 04.04.2019.

BMWi (2015): Studie Industrie 4.0 - Volkswirtschaftliche Faktoren für den Standort Deutschland.

Bochmann, Lennart Sören; Gehrke, Lars; Gehrke, Nils; Mertens, Christoph; Seiss, Oliver (2016): Innovative Konzepte einer sich selbstorganisierenden Fahrzeugmontage am Beispiel des Forschungsprojekts SMART FACE. In: Armin Roth (Hg.): Einführung und Umsetzung von Industrie 4.0. Grundlagen, Vorgehensmodell und Use Cases aus der Praxis. Berlin, Heidelberg: Springer Gabler, S. 173–191.

Bosch Rexroth AG (2016): ActiveCockpit – Interaktive Kommunikationsplattform für die Fertigungsindustrie. Online verfügbar unter <https://www.boschrexroth.com/de/de/produkte/produktgruppen/montagetechnik/news/activecockpit/index>.

Bousonville, Thomas (2017): Anwendungsfälle im Lager und in der internen Materialversorgung. In: Thomas Bousonville (Hg.): Logistik 4.0. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden (essentials), S. 35–41.

Brunner, Franz J. (2014): Japanische Erfolgskonzepte. KAIZEN, KVP, Lean-Production-Management, Total Productive Maintenance, Shopfloor-Management, Toyota Production System, GD³ - Lean Development. München: Carl Hanser Verlag GmbH & Co. KG.

- Burgess, T. F.; Gules, H. K.; Gupta, J. N. D.; Tekin, M. (1998): Competitive priorities, process innovations and time-based competition in the manufacturing sectors of industrialising economies. The case of Turkey. In: *Benchmarking: An International Journal* 5 (4), S. 304–316.
- Büttner, Karl-Heinz; Brück, Ulrich (2014): Use Case Industrie 4.0-Fertigung im Siemens Elektronik Werk Amberg. In: Thomas Bauernhansl, Michael ten Hompel und Birgit Vogel-Heuser (Hg.): *Industrie 4.0 in Produktion, Automatisierung und Logistik. Anwendung, Technologien, Migration*. Wiesbaden: Springer Vieweg, S. 121–144.
- Castrellon Gutierrez, Barbara (2018): *Die Nachhaltigkeitsorientierung von kleinen und mittleren Unternehmen (KMU)*. 1. Aufl. Siegburg: Josef Eul (Kleine und mittlere Unternehmen, 24).
- Cirullies, Jan; Hermann, Mario (2018): *Industrie 4.0 Maturity Index - Wie reif ist Ihr Unternehmen für die Industrie 4.0?*
- Daimler AG (2015): *Das Fahrerlose Transportsystem (FTS): Autonom im Werk unterwegs*. Daimler AG. Online verfügbar unter <https://media.daimler.com/marsMediaSite/de/instance/ko/Das-Fahrerlose-Transportsystem-FTS-Autonom-im-Werk-unterwegs.xhtml?oid=9905077>, zuletzt geprüft am 03.04.2019.
- Deindl, Matthias (2013): *Gestaltung des Einsatzes von intelligenten Objekten in Produktion und Logistik*. 1. Aufl. Aachen: Apprimus (Edition Wissenschaft Apprimus, 118).
- Deuse, Jochen; Busch, Felix; Weisner, Kirsten; Steffen, Marlies (2015a): Gestaltung sozio-technischer Arbeitssysteme für Industrie 4.0. In: Hartmut Hirsch-Kreinsen, Peter Ittermann und Jonathan Niehaus (Hg.): *Digitalisierung industrieller Arbeit: Nomos*, S. 148–165.
- Deuse, Jochen; Nöhring, Fabian; Wöstmann, René (2018): Auswirkungen der Industrie 4.0 auf die Arbeit der Zukunft. In: *Betriebspraxis & Arbeitsforschung* (232), S. 35–41.
- Deuse, Jochen; Schmitt, Jacqueline; Bönig, Jochen; Beitinger, Gunter (2019): Dynamische Röntgenprüfung in der Elektronikproduktion. Einsatz von Data-Mining-Verfahren zur Qualitätsprognose. In: *Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb (ZWF)* 114 (5), S. 264–267.
- Deuse, Jochen; Weisner, Kirsten; Hengstebeck, André; Busch, Felix (2015b): Gestaltung von Produktionssystemen im Kontext von Industrie 4.0. In: Alfons Botthof und Ernst Andreas Hartmann (Hg.): *Zukunft der Arbeit in Industrie 4.0*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, S. 99–109.
- DIN Deutsches Institut für Normung e. V.: DIN 8580:2003-09: *Fertigungsverfahren - Begriffe, Einteilung*, Beuth Verlag, Berlin 2003
- DIN Deutsches Institut für Normung e. V.: DIN EN 13306:2018-02: *Instandhaltung - Begriffe der Instandhaltung*, Beuth Verlag, Berlin 2018

DIN Deutsches Institut für Normung e. V.: DIN ISO EN 9001:2015-11:

Qualitätsmanagementsysteme - Anforderungen, Beuth Verlag, Berlin 2015

Dombrowski, U.; Richter, Thomas; Ebentreich, David (2015a): Ganzheitliche Produktionssysteme und Industrie 4.0. Ein Ansatz standardisierter Arbeit im flexiblen Produktionsumfeld. In: *Industrie Management* 3, S. 53–56.

Dombrowski, Uwe (Hg.) (2014): 7. Braunschweiger Symposium für Ganzheitliche Produktionssysteme. GPS 2020. Neue Epoche oder Projekt beendet. Braunschweig.

Dombrowski, Uwe; Gemeiner, Anne; Henningsen, Nadja (2019): Das neu(nt)e Gestaltungsprinzip im Ganzheitlichen Produktionssystem. In: *ZWF* 114 (11), S. 725–729. DOI: 10.3139/104.112183

Dombrowski, Uwe; Mielke, Tim (Hg.) (2015): Ganzheitliche Produktionssysteme. Aktueller Stand und zukünftige Entwicklungen. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.

Dombrowski, Uwe; Richter, Thomas (2016): Ganzheitliche Produktionssysteme und Industrie 4.0. Prozessorientierung als Befähiger der Industrie 4.0. In: *ZWF* 111 (12), S. 771–774. DOI: 10.3139/104.111651.

Dombrowski, Uwe; Richter, Thomas (2018): The Lean Production System 4.0 Framework – Enhancing Lean Methods by Industrie 4.0. In: Ilkyeong Moon, Gyu M. Lee, Jinwoo Park, Dimitris Kiritsis und Gregor von Cieminski (Hg.): *Advances in Production Management Systems. Smart Manufacturing for Industry 4.0*, Bd. 536. Cham: Springer International Publishing (IFIP Advances in Information and Communication Technology), S. 410–416.

Dombrowski, Uwe; Richter, Thomas; Ebentreich, David (2015b): Auf dem Weg in die vierte industrielle Revolution: ganzheitliche Produktionssysteme zur Gestaltung der Industrie-4.0-Architektur. In: *Zeitschrift für Führung + Organisation: ZfO* 84, S. 157–163.

Dombrowski, Uwe; Richter, Thomas; Krenkel, Philipp (2017): Interdependencies of Industrie 4.0 & Lean Production Systems: A Use Cases Analysis. In: *Procedia Manufacturing* 11, S. 1061–1068. DOI: 10.1016/j.promfg.2017.07.217.

Dombrowski, Uwe; Riechel, Christoph; Evers, Maren (2014): Industrie 4.0 – Die Rolle des Menschen in der vierten industriellen Revolution. In: Wolfgang Kersten, Hans Koller und Herrmann Lödding (Hg.): *Industrie 4.0. Wie intelligente Vernetzung und kognitive Systeme unsere Arbeit verändern*. Berlin: Gito (Schriftenreihe der Hochschulgruppe für Arbeits- und Betriebsorganisation e.V. (HAB)), S. 129–153.

Dombrowski, Uwe; Schmidtchen, Kai (2010): Ganzheitliche Produktionssysteme. KMU spezifische Konzeption und Implementierung. In: *ZWF* 105 (10), S. 914–918. DOI: 10.3139/104.110412.

- Döppler, Karl Heinz (2015): Lean 4.0. das Unternehmen der Zukunft! Herausgeber LEANmagazin. Online verfügbar unter <https://www.leanmagazin.de/351-kommentare/1136-lean-4-0-das-unternehmen-der-zukunft.html>.
- Erlach, Klaus (2010): Wertstromdesign. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.
- Europäische Kommission (2003): Empfehlung der europäischen Kommission 2003/361/EG. Definition der Kleinstunternehmen sowie der kleinen und mittleren Unternehmen.
- Experton Group AG (2014): Große Anwenderstudie zu Industrie 4.0 in Deutschland. Hohe Potenziale, aber auch Unsicherheit und unklare Verantwortungen. Ismaning.
- Festo (2019): Energietransparenzsystem. Systematische und dezentrale Energiedatenerfassung. Plattform Industrie 4.0. Online verfügbar unter <https://www.plattform-i40.de/PI40/Redaktion/DE/Anwendungsbeispiele/037-energietransparenzsysteme-festo/beitrag-energietransparenzsysteme-festo.html>.
- Forstner, Lisa; Dümmler, Mathias (2014): Integrierte Wertschöpfungsnetzwerke – Chancen und Potenziale durch Industrie 4.0. In: *Elektrotech. Inftech.* 131 (7), S. 199–201.
- Fraunhofer IOSB: ProDaMi. Data Mining im Produktionsumfeld. Fraunhofer IOSB. Online verfügbar unter <https://www.prodami.de/servlet/is/10422/>.
- Fraunhofer-Institut für Materialfluss und Logistik IML (2019): INTELLIGENTER BEHÄLTER. Fraunhofer-Institut für Materialfluss und Logistik IML. Online verfügbar unter https://www.iml.fraunhofer.de/content/dam/iml/de/documents/OE%20130/Themenbroschueren/Themenbroschuere_InBin_Web_DE.pdf, zuletzt geprüft am 03.04.2019.
- Geisberger, Eva; Broy, Manfred (Hg.) (2012): agendaCPS - Integrierte Forschungsagenda Cyber-Physical Systems. acatech. München (acatech Studie).
- Gepro mbH (2019): Industrie 4.0 und Lean: Ein Widerspruch?
URL:<http://www.gepro.com/rundbriefbeitraege>. Abrufdatum 11.01.2019
- Gottmann, Juliane (2016): Produktionscontrolling: Wertströme und Kosten optimieren. 1. Auflage. Wiesbaden: Springer Gabler Verlag 2016
- Greving, Bert (2009): Messen und Skalieren von Sachverhalten. In: Sönke Albers (Hg.): Methodik der empirischen Forschung. 3., überarb. und erw. Aufl. Wiesbaden: Gabler, S. 65–78.
- Hefermehl, Wolfgang (2018): Handelsgesetzbuch HGB. mit Seehandelsrecht, mit Wechselgesetz und Scheckgesetz und Publizitätsgesetz. München: dtv.
- Hengstebeck, André; Weisner, Kirsten; Deuse, Jochen; Roßmann, J.; Kuhlenkötter, Bernd (2016): MANUSERV. Industrielle Servicerobotik am Beispiel der Kleinteilemontage. In: VDI/VDE-Gesellschaft (Hg.): Statusreport. Arbeitswelt Industrie 4.0, S. 28–29.

Herger, Hana (2019): InWiPro. Digitalisierung von Produktionsprozessen. Fraunhofer IIS. Online verfügbar unter <https://www.iis.fraunhofer.de/de/ff/lv/net/projekte/inwipro.html>.

Hirsch-Kreinsen, Hartmut (2012): „Hidden Innovators“. Perspektiven nicht-forschungsintensiver Industrien. In: *WSI-Mitteilung* (8), S. 561–569. Online verfügbar unter https://www.wsi.de/data/wsimit_2012-08_hirsch-kreinsen.pdf.

Hochhuth AG (2019): Energiemanagement mit dem Energiemanagementsystem MESSDAS®. Plattform Industrie 4.0.

Hofmann, Johann (2014): Lean meets Industrie 4.0. In: *mav* (12), S. 104–105. Online verfügbar unter https://www.johannhofmann.info/images/hofmann/publikationen/pdf/MAV_12-2014.pdf.

Hölczli, Andreas; Roth, Maximilian; Birkhold, Markus; Scheifele, Christian (2016): Basistechnologien für Industrie 4.0. DFAM-Studie zum Stand der Technik und aktuellen Forschungs- und Entwicklungspotentialen für KMU. Deutsche Forschungsgesellschaft für Automatisierung und Mikroelektronik e.V. (DFAM). Nürnberg. Online verfügbar unter http://www.dfam.de/Abschlussberichte_pdf/DFAM%20Studie%2011%20KF.pdf.

Höth, H.-G. (2019).: Industrie 4.0 versus Produktionssystem.
URL: <http://www.gepro.com/rundbriefbeitraege>. Abrufdatum 11.01.2019

Hoppe, Stefan (2014): High-Performance Automation verbindet IT und Produktion. In: Thomas Bauernhansl, Michael ten Hompel und Birgit Vogel-Heuser (Hg.): *Industrie 4.0 in Produktion, Automatisierung und Logistik. Anwendung, Technologien, Migration*. Wiesbaden: Springer Vieweg, S. 249–276.

Huber, Walter (Hg.) (2016a): *Industrie 4.0 in der Automobilproduktion*. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden.

Huber, Walter (2016b): Umsetzungen der Automobilhersteller und Zulieferer. In: Walter Huber (Hg.): *Industrie 4.0 in der Automobilproduktion*. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden, S. 117–181.

IfM (2019): KMU-Definition des IfM Bonn. Online verfügbar unter <https://www.ifm-bonn.org/definitionen/kmu-definition-des-ifm-bonn/>, zuletzt geprüft am 08.06.2019.

Ihlau, Susann; Duscha, Hendrik (2019): Besonderheiten bei der Bewertung von KMU. Planungsplausibilisierung, Steuern, Kapitalisierung. 2. Aufl. Wiesbaden: Springer Gabler.

Immerschitt, W.; Stumpf, M. (2019): Employer Branding für KMU. Der Mittelstand als attraktiver Arbeitgeber. 2. überarb. Aufl. Wiesbaden: Springer Fachmedien, zuletzt geprüft am 25.01.2019.

Imai, Masaaki (1998): *Kaizen. Der Schlüssel zum Erfolg der Japaner im Wettbewerb*. Ungekürzte Ausg., 8. Aufl. Berlin: Ullstein (Ullstein-Bücher Management, 35332).

InnoServPro: InnoServPro. Online verfügbar unter <https://www.innoservpro.de/projekt.html>, zuletzt geprüft am 03.04.2019.

iTAC Software AG (2015): Smart Electronic Factory. Online verfügbar unter <https://www.youtube.com/watch?v=L4eVQIY5Vec>.

Ittermann, Peter; Niehaus, Jonathan; Hirsch-Kreinsen, Hartmut (2015): Arbeiten in der Industrie 4.0. Trendbestimmungen und arbeitspolitische Handlungsfelder. Hans Böckler Stiftung. Düsseldorf.

Jeske, Tim; Lennings, Frank; Stowasser, Sascha (2016): Industrie 4.0 – Umsetzung in der deutschen Metall- und Elektroindustrie. In: *Z. Arb. Wiss.* 70 (2), S. 115–125. DOI: 10.1007/s41449-016-0018-7.

Kagermann (2013): Umsetzungsempfehlungen für das Zukunftsprojekt Industrie 4.0.

Kagermann, Henning; Lukas, Wolf-Dieter; Wahlster, Wolfgang (2011): Industrie 4.0: Mit dem Internet der Dinge auf dem Weg zur 4. industriellen Revolution. In: *VDI Nachrichten* (13), S. 2.

Kagermann, Henning; Wahlster, Wolfgang; Helbig, Johannes (2012): Im Fokus: Das Zukunftsprojekt Industrie 4.0. Handlungsempfehlungen zur Umsetzung. Hg. v. Promotorengruppe Kommunikation der Forschungsunion Wirtschaft – Wissenschaft. Berlin.

Kagermann, Henning; Wahlster, Wolfgang; Helbig, Johannes (Hg.) (2013): Umsetzungsempfehlungen für das Zukunftsprojekt Industrie 4.0. Deutschlands Zukunft als Produktionsstandort sichern. Abschlussbericht des Arbeitskreises Industrie 4.0. Forschungsunion Wirtschaft - Wissenschaft.

Keßler, Stephan; Uygun, Yilmaz (2007): Ganzheitliche Produktionssysteme: Systematische Entscheidungsunterstützung beim Implementieren. In: *Industrie Management* 23 (3), S. 67–70.

Kletti, Jürgen; Schumacher, Jochen (2014): Die perfekte Produktion. Manufacturing Excellence durch Short Interval Technology (SIT). 2. Aufl. Berlin: Springer Vieweg.

Klinkenberg, Ralf; Schlunder, Philipp; Klapić, Edin; Lackner, Thomas (2018): Zukunftsweisende Informations- und Kommunikations-Technologien. In: Rainer Maria Wagner (Hg.): Industrie 4.0 für die Praxis. Mit realen Fallbeispielen aus mittelständischen Unternehmen und vielen umsetzbaren Tipps. Berlin: Springer, S. 129–146.

Koch, Thomas (2019): Intelligente Vernetzung von Schraubwerkzeugen. Plattform Industrie 4.0. Online verfügbar unter <https://www.plattform-i40.de/PI40/Redaktion/DE/Anwendungsbeispiele/419-alfing/beitrag-alfing.html>.

Koch, Volkmar; Kuge, Simon; Geissbauer, Reinhard; Schrauf, Stefan (2014): Industrie 4.0. Chancen und Herausforderungen der vierten industriellen Revolution. PWC.

Kock, Holger; Reiterer, Alexander: Echtzeit-Visualisierung von Messdaten. Fraunhofer IPM. Online verfügbar unter

https://www.ipm.fraunhofer.de/de/presse_publicationen/Presseinformationen/echtzeit-visualisierung-von-messdaten.html.

Kolberg, Dennis; Zühlke, Detlef (2015): Lean Automation enabled by Industry 4.0 Technologies. In: *IFAC-PapersOnLine* 48 (3), S. 1870–1875. DOI: 10.1016/j.ifacol.2015.06.359.

Krugh, Matthew; McGee, Ethan; McGee, Stephen; Mears, Laine; Ivanco, Andrej; Podd, K. C.; Watkins, Barbara (2017): Measurement of Operator-machine Interaction on a Chaku-chaku Assembly Line. In: *Procedia Manufacturing* 10, S. 123–135. DOI: 10.1016/j.promfg.2017.07.039.

Kuester, Benjamin; Eilert, Bjoern; Stonis, Malte; Overmeyer, Ludger (2018): Evaluating 8D Reports Using Text-Mining. In: *International Journal of Computer and Information Engineering* 12 (4), S. 235–240. Online verfügbar unter <https://publications.waset.org/10008745/evaluating-8d-reports-using-text-mining>.

Kuhlang, Peter; Edtmayr, Thomas; Sunk, Alexander; Hrach, Michael; Sihn, Wilfried (2014): Weiterentwicklung des Wertstromdesigns. Steigerung der personalen und organisationalen System- und Methodenkompetenz. In: *Industrie Management* (03), S. 25–29.

Kühnert, Christian (2019): Datenanalyseplattform für klein- und mittelständische Unternehmen: Industrie 4.0 MonOpt. Fraunhofer IOSB. Online verfügbar unter <https://www.iosb.fraunhofer.de/servlet/is/66030/>.

Kühnert, Christian (2013): Data-driven Methods for Fault Localization in Process Technology. Hg. v. Karlsruher Schriften zur Anthropomatik.

Lasi, Heiner; Fettke, Peter; Kemper, Hans-Georg; Feld, Thomas; Hoffmann, Michael (2014): Industrie 4.0. In: *Wirtschaftsinformatik* 56 (4), S. 261–264.

Lee, Edward Ashford; Seshia, Sanjit Arunkumar (2017): Introduction to embedded systems. A cyber-physical systems approach. Second edition. London: MIT Press.

Lee, Jay; Kao, Hung-An; Yang, Shanhu (2014): Service Innovation and Smart Analytics for Industry 4.0 and Big Data Environment. In: *Procedia CIRP* 16, S. 3–8. DOI: 10.1016/j.procir.2014.02.001.

Leyh, Christian; Bley, Katja (2016): Digitalisierung: Chance oder Risiko für den deutschen Mittelstand? – Eine Studie ausgewählter Unternehmen. In: *HMD* 53 (1), S. 29–41. DOI: 10.1365/s40702-015-0197-2.

Lucke, Dominik; Görzig, David; Kacir, Marvin; Volkmann, Johannes; Haist, Christoph; Sachsenmaier, Marco; Rentschler, Hannes (2014): INDUSTRIE 4.0 FÜR BADEN-

- WÜRTTEMBERG. Baden-Württemberg auf dem Weg zu Industrie 4.0. Hg. v. Thomas Bauernhansl und Michael Lickefett. Ministerium für Finanzen und Wirtschaft Baden-Württemberg; Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung IPA.
- Meißner, Alyssa; Hertle, Christian; Metternich, Joachim (2018): Digitales Shopfloor Management – Ihr Weg zur vernetzten Fabrik. In: *ZWF* 113 (5), S. 281–284. DOI: 10.3139/104.111905.
- Mertens, Peter; Barbian, Dina; Baier, Stephan (2017): Digitalisierung und Industrie 4.0 - eine Relativierung. Wiesbaden, Germany: Springer Vieweg.
- Netland, Torbjørn H. (2015): Industry 4.0: Where does it leave lean? In: *Lean Management Journal* 5, S. 22–23. Online verfügbar unter https://better-operations.com/wp-content/uploads/2015/04/Lean-in-industry-4.0_LMJ-april-2015.pdf.
- Niggemann, Oliver; Jasperneite, Jürgen; Vodencarevic, Asmir (2014): Konzepte und Anwendungsfälle für die intelligente Fabrik. In: Thomas Bauernhansl, Michael ten Hompel und Birgit Vogel-Heuser (Hg.): *Industrie 4.0 in Produktion, Automatisierung und Logistik. Anwendung, Technologien, Migration*. Wiesbaden: Springer Vieweg, S. 173–190.
- Obermaier, Robert (2016): Industrie 4.0 als unternehmerische Gestaltungsaufgabe: Strategische und operative Handlungsfelder für Industriebetriebe. In: Robert Obermaier (Hg.): *Industrie 4.0 als unternehmerische Gestaltungsaufgabe. Betriebswirtschaftliche, technische und rechtliche Herausforderungen*. Wiesbaden: Springer Gabler, S. 3–34.
- Ōno, Taiichi (2013): *Das Toyota-Produktionssystem. [das Standardwerk zur Lean Produktion]*. 3., erw. und aktualisierte Aufl. Frankfurt /Main [u.a.]: Campus-Verl.
- Pfohl, Hans-Christian (2013a): Abgrenzung der Klein- und Mittelbetriebe von Großbetrieben. In: Hans-Christian Pfohl (Hg.): *Betriebswirtschaftslehre der Mittel- und Kleinbetriebe. Größenspezifische Probleme und Möglichkeiten zu ihrer Lösung*. 5., neu bearb. und erw. Aufl. Berlin: Schmidt (Management und Wirtschaft Praxis, 44), S. 1–26.
- Pfohl, Hans-Christian (Hg.) (2013b): *Betriebswirtschaftslehre der Mittel- und Kleinbetriebe. Größenspezifische Probleme und Möglichkeiten zu ihrer Lösung*. 5., neu bearb. und erw. Aufl. Berlin: Schmidt (Management und Wirtschaft Praxis, 44). Online verfügbar unter <http://site.ebrary.com/lib/alltitles/docDetail.action?docID=10757028>.
- Pier, Marcus (2018): InnoServPro: Innovative Service Products for individual and availabilityoriented business models in capital goods industry. Online verfügbar unter https://www.clubofbologna.org/ew/ew_proceedings/2018_S1.3_KNR_PIER_mf.pdf.
- Rauch, Erwin; Rojas, Rafael; Dallasega, Patrick; Matt, Dominik T. (2018): Smart Shopfloor Management. In: *ZWF* 113 (1-2), S. 17–21. DOI: 10.3139/104.111854.

Reinemann (2019): Mittelstandsmanagement: Springer Fachmedien Wiesbaden.

Robert Bosch Manufacturing Solutions GmbH (2018): Stock Management. Digitalisierung des Materialflusses und Materiallokalisierung in Echtzeit durch Stock Management. Robert Bosch Manufacturing Solutions GmbH. Online verfügbar unter <https://www.bosch-connected-industry.com/connected-logistics/hexeed-intralogistics-execution/stock-management/>, zuletzt geprüft am 03.04.2019.

Roth, Armin (2016): Einführung und Umsetzung von Industrie 4.0. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.

SAP Technology (2014): Customer Testimonial: SAP HANA at Kaeser Kompressoren. Online verfügbar unter <https://www.youtube.com/watch?v=9oylnxA5vQ8>.

Schagen, Silvan (2018): Huppertz in Köln – Intelligente interne Logistik. In: Rainer Maria Wagner (Hg.): Industrie 4.0 für die Praxis. Mit realen Fallbeispielen aus mittelständischen Unternehmen und vielen umsetzbaren Tipps. Berlin: Springer, S. 229–240.

Schröder, Christian (2016): Herausforderungen von Industrie 4.0 für den Mittelstand. Hg. v. Friedrich-Ebert-Stiftung - Abteilung Wirtschafts- und Sozialpolitik. Bonn (Gute Gesellschaft - soziale Demokratie # 2017plus).

Schuh, Günther; Schmidt, Carsten (Hg.) (2014): Produktionsmanagement. Handbuch Produktion und Management 5. 2. Aufl. Berlin: Springer Vieweg (VDI-Buch). Online verfügbar unter <http://dx.doi.org/10.1007/978-3-642-54288-6>.

Seitz, Jochen (2019): Intelligente Werkzeuge für die Produktion. Fraunhofer IIS. Online verfügbar unter <https://www.iis.fraunhofer.de/de/ff/lv/dataanalytics/anwproj/werkzeug.html>.

SEW-EURODRIVE GmbH & Co KG: Mobile Transport- und Assistenzsysteme. für eine durchgängige Mensch-Technik-Kooperation. SEW-EURODRIVE GmbH & Co KG. Online verfügbar unter https://www.sew-eurodrive.de/unternehmen/ihr_erfolg/zukunftsthemen/industrie-40/cyber_physical_production_system/smart_assistenten/smart_assistenten.html, zuletzt geprüft am 03.04.2019.

Siepmann, David; Graef, Norbert (2016): Industrie 4.0 – Grundlagen und Gesamtzusammenhang. In: Armin Roth (Hg.): Einführung und Umsetzung von Industrie 4.0. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, S. 17–82.

Soder, Johann (2016): Use Case Production. In: Birgit Vogel-Heuser, Thomas Bauernhansl und Michael ten Hompel (Hg.): Handbuch Industrie 4.0. Produktion, Automatisierung und Logistik. Living Reference Work, continuously updated edition. Berlin, Heidelberg: Springer (Springer NachschlageWissen), S. 1–23.

Söllner, René (2014): Die wirtschaftliche Bedeutung kleiner und mittlerer Unternehmen in Deutschland. In: Statistisches Bundesamt (Hg.): Wirtschaft und Statistik. Wiesbaden, S. 40–51.

Spath, Dieter (Hg.) (2003): Ganzheitlich produzieren. Innovative Organisation und Führung. Stuttgart: LOG_X Verl.

Spath, Dieter (Hg.); Ganschar, Oliver; Gerlach, Stefan; Hämmerle, Moritz; Krause, Tobias; Schhlund, Sebastian (2013): Produktionsarbeit der Zukunft – Industrie 4.0.

Stankiewicz, Lukas; Thomas, Carsten; Deuse, Jochen; Kuhlenkötter, Bernd (2016): Application of Customizable Robot Assistance Systems to Compensate Age-Related Restrictions of the Musculoskeletal System for Assembly Workplaces. In: Applied Mechanics and Materials. MHI-Fachkolloquium. Hamburg, 24.-25.02.2016. Zürich: Trans Tech Publications, S. 82–90.

Strauß, Patrick; Wöstmann, René; Schmitz, Markus; Deuse, Jochen (2018): Enabling of Predictive Maintenance in the Brownfield through Low-Cost Sensors, an IIoT-Architecture and Machine Learning. In: 2018 IEEE International Conference on Big Data. Seattle, 10.-13.12.2018. Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE), S. 1474–1483.

Techconsult (2015): Business Performance Index BPI. Der Mittelstand D/A/C. Expertenbericht Diskrete Fertigung. Kassel.

Tomanek, Dagmar Piotr; Schröder, Jürgen (2017): Analysing the value flow by using the value added heat map.

VDI 2870 Blatt 1, Verein Deutscher Ingenieure: VDI-Richtlinie 2870 Blatt 1: Ganzheitliche Produktionssysteme: Grundlagen, Einführung und Bewertung. Berlin: Beuth Verlag GmbH 2012

VDI 2870 Blatt 2, Verein Deutscher Ingenieure: VDI-Richtlinie 2870 Blatt 2: Ganzheitliche Produktionssysteme: Grundlagen, Einführung und Bewertung. Berlin: Beuth Verlag GmbH 2012.

VDI 4400 Blatt 1, Verein Deutscher Ingenieure: Richtlinie VDI 4400 Blatt 1, Logistikkennzahlen für die Beschaffung, 2001.

VDI; VDI/VDE-Gesellschaft (Hg.) (2013): Cyber-Physical Systems: Chancen und Nutzen aus Sicht der Automation. Thesen und Handlungsfelder.

Vogel-Heuser, Birgit; Bayrak, Gülden; Frank, Ursula (2012): Forschungsfragen in „Produktionsautomatisierung der Zukunft“. acatech Materialien - Diskussionspapier für die acatech Projektgruppe „ProCPS – Production CPS“. Hg. v. acatech. München.

Wagner, Tobias; Herrmann, Christoph; Thiede, Sebastian (2018): Identifying target oriented Industrie 4.0 potentials in lean automotive electronics value streams. In: *Procedia CIRP* 72, S. 1003–1008. DOI: 10.1016/j.procir.2018.03.003.

- Walz, Jörg-Dieter (2019): Smarte Systemoptimierung. Fraunhofer IPA. Online verfügbar unter https://www.ipa.fraunhofer.de/de/presse/presseinformationen/Smarte_Systemoptimierung_Maschinenbenchmarking.html.
- Weidmüller Gruppe (2019): Transparente Fabrik Detmold. Die Fabrik der Zukunft - transparent, vernetzt und umweltfreundlich. Plattform Industrie 4.0. Online verfügbar unter <https://www.plattform-i40.de/PI40/Redaktion/DE/Anwendungsbeispiele/103-transparente-fabrik-detmold/beitrag-transparente-fabrik-detmold.html>.
- Westkämper, Engelbert; Decker, Markus (2006): Einführung in die Organisation der Produktion. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag Berlin Heidelberg (Springer-Lehrbuch).
- Wiendahl, Hans-Peter; Wiendahl, Hans-Hermann (2020): Betriebsorganisation für Ingenieure. Mit 279 Abbildungen. 9., vollständig überarbeitete Auflage.
- Wischmann, Steffen; Wangler, Leo; Botthof, Alfons (2015): Studie Industrie 4.0 - Volkswirtschaftliche Faktoren für den Standort Deutschland. Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi). Online verfügbar unter <https://vdivde-it.de/system/files/pdfs/industrie-4.0-volks-und-betriebswirtschaftliche-faktoren-fuer-den-standort-deutschland.pdf>, zuletzt geprüft am 20.02.2019.
- Wittenstein AG (Hg.) (2014): move. Das Magazin für Kunden und Freunde der WITTENSTEIN AG. Igersheim, zuletzt geprüft am 17.01.2019.
- Wöstmann, René; Nöhring, Fabian; Deuse, Jochen (2016): Katalog zur zielgerichteten Auswahl von Industrie 4.0-Lösungen. In: *Betriebspraxis & Arbeitsforschung* 228 (3), S. 38–40.
- Wöstmann, René; Nöhring, Fabian; Deuse, Jochen; Klinkenberg, Ralf; Lackner, Thomas (2017): Big Data Analytics in der Auftragsabwicklung. Erschließung ungenutzter Potenziale in der variantenreichen Kleinserienfertigung. In: *Industrie 4.0 Management* (4), S. 7–11.
- Würth Industrie Service GmbH & Co. KG (2014): iBin. Bestände im Blick. Würth Industrie Service GmbH & Co. KG. Online verfügbar unter https://www.wuerth-industrie.com/web/media/de/pictures/wuerthindustrie/unternehmen/download_center/Broschuere_iBin_DE.pdf, zuletzt geprüft am 22.01.2019.
- Würth Industrie Service GmbH & Co. KG (2016): CPS®RFID. Radio Frequency IDentification. Würth Industrie Service GmbH & Co. KG. Online verfügbar unter https://www.wuerth-industrie.com/web/media/de/pictures/wuerthindustrie/unternehmen/download_center/Broschuere_CPS_RFID_DE_07-2016.pdf, zuletzt geprüft am 24.01.2019.
- Zienert, Detlef (2014): Besser funken als Karten lesen. Konradin-Verlag Robert Kohlhammer GmbH. o.O. Online verfügbar unter <https://wirautomatisierer.industrie.de/messtechnik-sensorik/sensorik/besser-funken-als-karten-lesen/>, zuletzt geprüft am 17.01.2019.

Zuehlke, Detlef (2010): SmartFactory—Towards a factory-of-things. In: *Annual Reviews in Control* 34 (1), S. 129–138. DOI: 10.1016/j.arcontrol.2010.02.008.

10 Anhang

Tabelle 10-1: Synergien zwischen GPS-Methoden und Industrie 4.0-Funktionen

I4.0-Eigenschaften GPS-Methoden	Identifikation	Lokalisierung	Visualisierung	Zustandserfassung	Datenverarbeitung	Vernetzung	Steuerung und Kontrolle	Simulation	Manipulation	Anpassungsfähigkeit
5S										
Prozessstandardisierung										
5 x Warum										
8D-Report										
A3-Methode										
Automation										
Ishikawa-Diagramm										
Kurze Regelkreise										
Poka Yoke										
Six Sigma										
Statistische Prozessregelung										
Werkerselbstkontrolle										
Andon										
Shopfloor Management										
Audit										
Benchmarking										
Cardboard Engineering										
Ideenmanagement										
PDCA										
Hancho										
Zielmanagement										
First In First Out										
One Piece Flow										
Schnellrüsten										
Wertstromplanung										
U-Layout										
JIT/JIS										
Kanban										
Milkrun										
Nivellierung										
Supermarkt										
Chaku-Chaku										
LowCost Automation										
Total Productive Maintenance										
Verschwendungsbewertung										

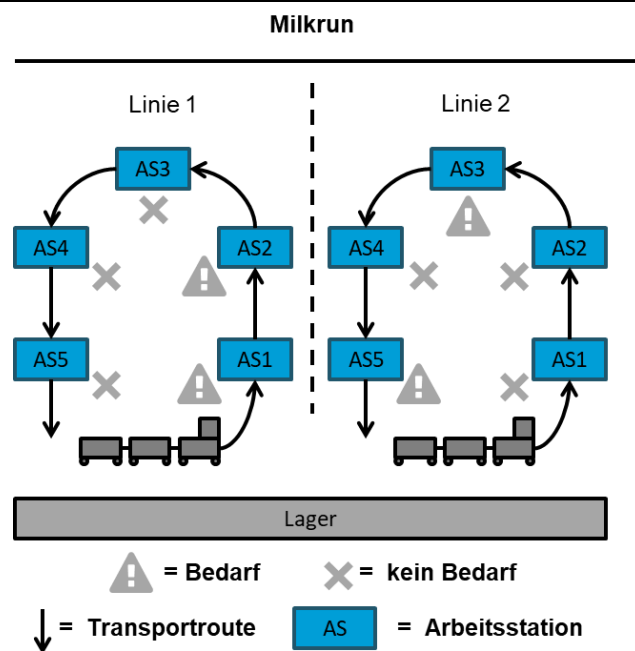
	kein Potenzial (keine Nennung)
	geringes Potenzial (1-4 Nennungen)
	mittleres Potenzial (5-9 Nennungen)
	großes Potenzial (10-19 Nennungen)
	sehr großes Potenzial (> 19 Nennungen)

Tabelle 10-2: GaProSys 4.0-Methode „Dynamischer Milkrun“

Bezeichnung	Dynamischer Milkrun
GPS-Methode	Milkrun
Industrie 4.0-Funktionen	Visualisierung, Vernetzung, Zustandserfassung, Datenverarbeitung
Technologien	Tablet, Planungssoftware für Materialmengen- und Routenplanung, Kabellose Datenübermittlung
Ergänzende GaProSys 4.0-Methoden	Intelligenter Supermarkt, RFID-Kanban
Ergänzende GPS-Methoden	Supermarkt, Kanban, JIT/ JIS

Zielbeitrag	Qualität ●	Kosten ●●●	Zeit ●●	Flexibilität ●●●
Der Dynamische Milkrun füllt verbrauchtes Material bedarfsgerecht hinsichtlich Bereitstellungszeitpunkt und –menge sowie Variantenkonfiguration auf. Die Materialversorgungsrouten werden dabei flexibel an die aktuelle Bedarfssituation angepasst. Da eine Materialanlieferung zum Bedarfszeitpunkt erfolgt und Leerfahrten zu Verbrauchsorten ohne aktuellen Bedarf vermieden werden, wird die Anlieferzeit verkürzt. Daraus ergibt sich ein effizienter Einsatz von Routenzug und Routenzugfahrer, wodurch eine Transporteinheit eine größere Anzahl an Verbrauchsorten abdecken kann. Dies ermöglicht eine Senkung der Gesamtanzahl der Transporteinheiten und somit eine Minimierung der Materialbereitstellungskosten. Durch die flexiblere Materialbereitstellung können zusätzlich die Bestände in der Produktion reduziert werden.				
Aufwand / Kosten				
Anschaffungskosten	Gering (bis 10.000 €) Vernetzung von BDE, MES und / oder ERP-System zur Bedarfsermittlung, Tablet Computer zur Visualisierung der Anlieferorte, ggfs. Software zur Routenoptimierung			
Wartungsaufwand	Gering - Mittel Pflege der Datenbasis (Stücklisten, Mindestbestände usw.) Physische Wartung und Software-Updates für Tablets und Steuerungssoftware			

Kurzbeschreibung



Die Methode „Dynamischer Milkrun“ basiert auf der bedarfsgerechten Planung der Materialversorgungsroute zur Belieferung der einzelnen Verbrauchsorte. Im Gegensatz zum klassischen Milkrun werden die Verbrauchsorte nicht periodisch und in identischer Reihenfolge mit Material versorgt, sondern für jede Versorgungsfahrt eine individuell geeignete Route auf Basis des Bedarfs festgelegt. Dadurch wird insbesondere die variantenreiche Produktion ermöglicht. Die Basis für die Routenplanung bildet eine Echtzeitauswertung der aktuellen Bedarfe an den Verbrauchsorten (Datenverarbeitung). Für die Anwendung der Methode „Dynamischer Milkrun“ ist folglich die Materialbestands-/Bedarfserfassung und Übermittlung im Vorfeld zu gewährleisten. Die Rückmeldung von verbrauchten Materialien kann bspw. durch die automatische Identifikation von Arbeitsaufträgen (Identifikation) aber auch durch die manuelle Rückmeldung bearbeiteter Produkte erfolgen. Der Datenaustausch mit der Produktionsplanung und -steuerung, z. B. MES, hinsichtlich des Produktionsprogramms ermöglicht so die Ableitung der aktuellen Bestände (Vernetzung). Zusätzliche Rahmenbedingungen wie die Routenzugkapazität und Mindestbestände in der Produktion detaillieren die Steuerung der Materialbereitstellung. Letztlich werden die Belieferungsreihenfolge, -mengen und -zeitpunkte festgelegt. Diese Informationen werden einerseits an das Lager übermittelt, sodass die auszuliefernden Materialien in der richtigen Menge und unter Berücksichtigung der Auslieferungsreihenfolge für das Transportfahrzeug vorbereitet werden können. Andererseits werden die Informationen dem Routenzugfahrer über ein sich am Belieferungsfahrzeug befindliches Tablet angezeigt (Visualisierung), sodass die digital geplante Materialbelieferung physisch

umgesetzt werden kann. Ergänzend kann durch die Fahrwege zwischen den Stationen eine Wegoptimierung der Versorgungsroute abgeleitet werden.

Verbesserung zum klassischen Milkrun:

- Höhere Versorgungsflexibilität, um auf schwankende Materialbedarfe und eine steigende Variantenvielfalt zu reagieren
- Einsparung von Reisezeiten durch Routenoptimierung und Belieferung ausschließlich von Verbrauchsorten mit tatsächlich vorliegendem Materialbedarf
- Erhöhte Reaktionsgeschwindigkeit auf Bedarfsspitzen (Vermeidung von Linienstillständen aufgrund von Materialmangel)
- Verbesserte Routenzug- und Routenzugführerauslastung (eine Belieferungseinheit kann eine größere Anzahl an Verbrauchsorten mit Material versorgen)
- Verringerung von Beständen durch die Flexibilisierung der Materialanlieferung

Einführung

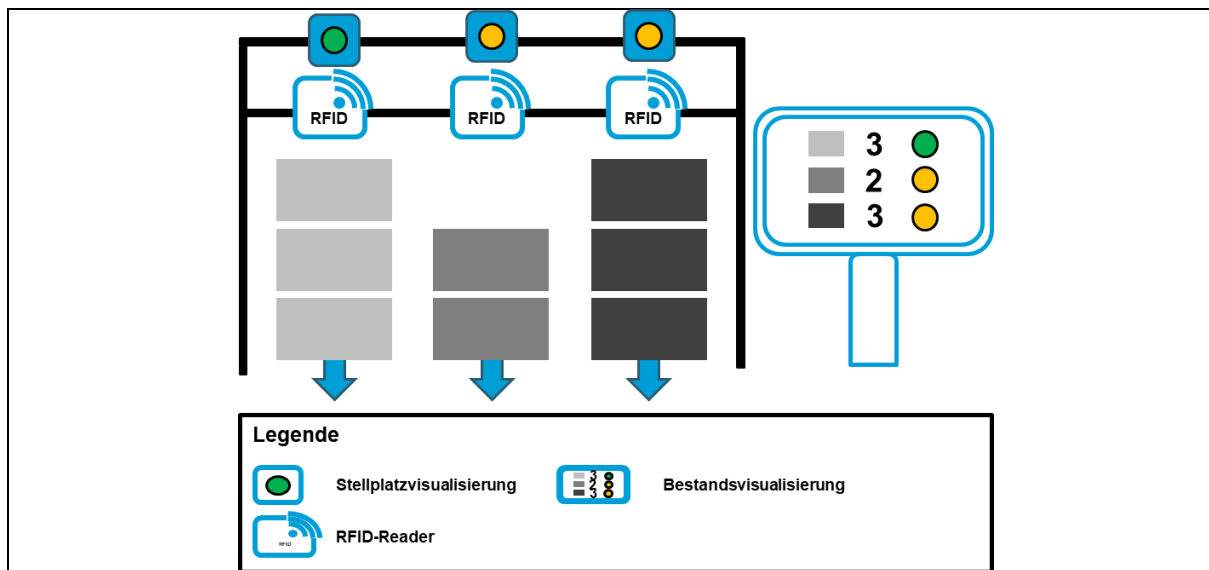
Einführungsdauer	kurzfristig (0 bis 6 Monate)
Kompetenz zur Konfiguration und Einführung	▪ Programmierung eines neuen oder Konfigurierung eines bestehenden softwarebasierten Planungssystems (Visualisierung der Verbrauchsorte etc.)
Anforderungen an die IT-Infrastruktur	▪ Gepflegte Stücklisten, Arbeitspläne und Produktionsprogramm ▪ Vernetzung von Materialbedarfserfassungssystem, Materiallager, Routenplanungssoftware, Anzeigegerät des Routenzugfahrers
Auswirkungen auf den Datenschutz	Ggf. Speicherung der Daten auf Servern von Dienstleistern
Anwendergruppe	Operative Mitarbeiter in der Logistik
Kompetenz zur Methodenanwendung	Routenzugfahrer: Bedienung des Tablets und Interpretation der angezeigten Routeninformationen
Wirkung in Unternehmensprozessen	
Fertigung	Bedarfsgerechte Materialbelieferung (nach Zeitpunkt und Menge)
Montage	Bedarfsgerechte Materialbelieferung (nach Zeitpunkt und Menge)
Planung	Automatisierung der Materialversorgungsplanung
Instandhaltung	-
Qualitätsmanagement	-
Logistik	▪ Bedarfsgerechte Materialversorgung (nach Zeitpunkt und Menge) ▪ Reduzierung der Anzahl und Länge zu fahrender Routen

	▪ Kostenreduzierung durch Möglichkeit der Versorgung einer größeren Anzahl an Verbrauchsorten durch eine Transporteinheit
Potenziale und Risiken	
Potenziale	▪ Reduzierung der Bestände an den Verbrauchsorten ▪ Reduzierung der Transportkosten durch verbesserte Effizienz und Auslastung der Transporteinheiten ▪ Reduzierung des innerbetrieblichen Verkehrsaufkommens ▪ Erhöhte Flexibilität, um auf Änderungen im Typ-Mengen-Mix zu reagieren
Risiken	▪ Störanfälligkeit verwendeter Hardware (bspw. Funktionsausfall eines intelligenten Behälters/ Supermarkts führt zur Nichterfassung des Materialbedarfs und kann in ausbleibender Materialversorgung resultieren) ▪ Steigende Komplexität/ sinkende Standardisierung bei der Materialversorgung durch häufig variierende Versorgungsrouten
Literatur	
VDI-Richtlinie VDI 2870 /Blatt 2 (2013): Ganzheitliche Produktionssysteme. Lappe, Dennis; Veigt, Marius; Franke, Marco; Kolberg, Dennis (2014): Vernetzte Steuerung einer schlanken Intralogistik. Simulationsbasierte Potentialanalyse einer bedarfsorientierten Materialversorgung in der Fertigung. In: wt Werkstatttechnik online (3), S. 112–117. Schlick, Jochen; Stephan, Peter; Loskyll, Matthias; Lappe, Dennis (2014): Industrie 4.0 in der praktischen Anwendung. In: Thomas Bauernhansl, Michael ten Hompel und Birgit Vogel-Heuser (Hg.): Industrie 4.0 in Produktion, Automatisierung und Logistik. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden, S. 57–84. Veigt, Marius; Lappe, Dennis; Franke, Marco; Thoben, Klaus-Dieter; Freitag, Michael (2015): Entwicklung und Potenziale Cyber-Physischer Logistiksysteme am Beispiel eines Zahnradfertigers. In: Fraunhofer Verlag (Hg.): Intelligente Vernetzung in der Fabrik. Industrie 4.0 Umsetzungsbeispiele für die Praxis. 1. Aufl., S. 213–225. Wittenstein AG (Hg.) (2014): move. Das Magazin für Kunden und Freunde der WITTENSTEIN AG. Igersheim	

Tabelle 10-3: GaProSys 4.0-Methode „Intelligenter Supermarkt“

Bezeichnung	Intelligenter Supermarkt
GPS-Methode	Supermarkt
Industrie 4.0-Funktionen	Identifikation, Vernetzung, Visualisierung, Lokalisierung, Zustandserfassung
Technologien	RFID, Tabletcomputer, LED-Signale
Ergänzende GaProSys 4.0-Methoden	Dynamischer Milkrun, RFID-Kanban
Ergänzende GPS-Methoden	Kanban, Milkrun, Wertstromplanung, FIFO

Zielbeitrag	Qualität ●	Kosten ●●	Zeit ●●●	Flexibilität ●
Die Fähigkeit des Intelligenten Supermarkts Materialbewegungen zu erkennen, ermöglicht die Erfassung aller Materialanlieferungen und –entnahmen. Dadurch können die Logistiker bei ihrer Arbeit unterstützt und somit kostenverursachende nicht-wertschöpfende Tätigkeiten reduziert werden. Die Echtzeit-Erfassung und -Kommunikation der Materialbewegungen/ -bedarfe führt zu einer reduzierten Wiederbeschaffungszeit, die zusammen mit der reduzierten Be- und Entladezeit zu einer deutlichen Reduzierung der Durchlaufzeit beiträgt. Die Qualität und Flexibilität bleibt dabei unverändert.				
Aufwand / Kosten				
Anschaffungskosten	Mittel (10.000–50.000 €) RFID-Technologie; Software zur Auswertung der RFID-Signale und zur digitalen Abbildung des Supermarktes			
Wartungsaufwand	gering Wartung der RFID-Technologie			
Kurzbeschreibung				
Die Erweiterung des konventionellen Supermarkts mit RFID-Technologie ermöglicht eine automatische Erkennung aller Materialein- und -ausgänge. Durch die damit realisierte vollständige Bestandstransparenz können Bedarfe erkannt und in Echtzeit an den zuständigen Prozess kommuniziert werden. Des Weiteren können die erfassten Materialbewegungen an übergeordnete Systeme (z.B. ERP) gesendet werden, sodass neben einer Bestandsvisualisierung vor Ort eine dezentrale Überwachung der Bestände ermöglicht wird. Durch die eindeutige Zuordnungsbeziehung von Material und Stell-/ Regalplatz im Supermarkt wird es ermöglicht Materialbewegungen einem definierten Stellplatz zuzuordnen und dem Logistiker mittels visuellem Signal anzuzeigen. In der Folge reduziert sich der Suchaufwand bei der Materialanlieferung/ -entnahme. Anzustreben ist ein Zielzustand, in dem Materialbewegungen nicht nur behälter- sondern auch bauteilweise mittels RFID erfasst werden können. Dazu ist der Einsatz intelligenter Behälter anzuvisieren.				



Verbesserung zum klassischen Supermarkt:

- Automatisierte Bedarfserfassung und -kommunikation
- Dauerhafte Bestandstransparenz
- Aktive Unterstützung der Logistiker

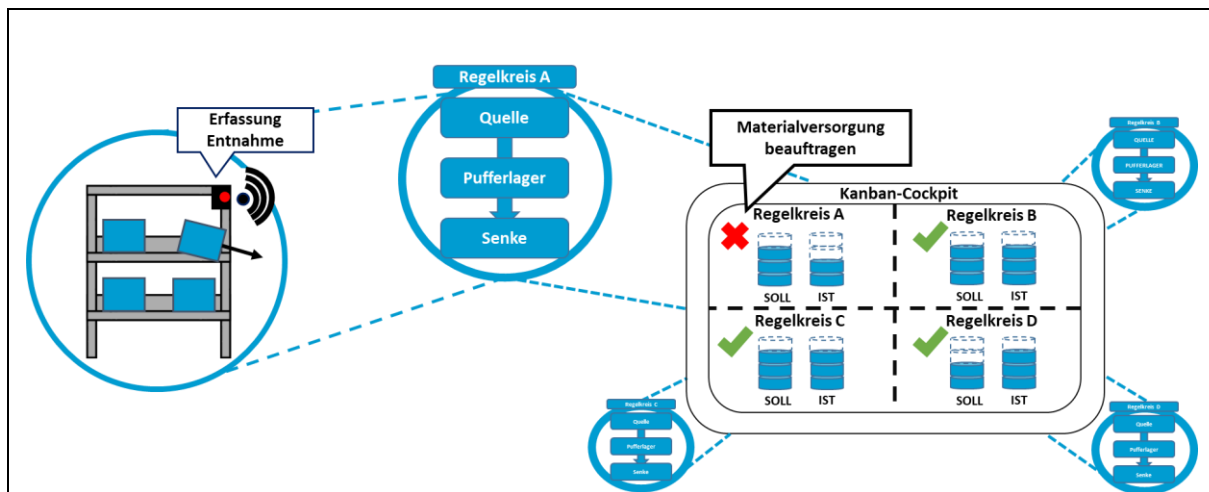
Einführung	
Einführungsdauer	kurzfristig (<6 Monate)
Kompetenz zur Konfiguration und Einführung	▪ Auswahl, Anbringung und softwaretechnische Integration geeigneter RFID-Technologie
Anforderungen an die IT-Infrastruktur	▪ Digitale Abbildung der physischen Stell-/Regalplätze ▪ Benutzeroberfläche für Bestandsvisualisierung vor Ort ▪ Kommunikationsnetzwerk ▪ Integration des Supermarkts in IT-Infrastruktur
Auswirkungen auf den Datenschutz	Gefahr des Zugriffs Unbefugter auf RFID-System oder Kommunikationsnetzwerk
Anwendergruppe	Operative Mitarbeiter in der Logistik (ggfs. auch in der Produktion)
Kompetenz zur Methodenanwendung	▪ Umgang mit RFID-Technologie ▪ Bedienung des Tablets und Interpretation der angezeigten Entnahmeinformationen ▪ Kompetenz zur Fehlerbehebung bei Feststellung einer Abweichung zwischen physischem und digitalen Bestand
Wirkung in Unternehmensprozessen	
Fertigung	Bedarfsgerechte Materialbelieferung
Montage	Bedarfsgerechte Materialbelieferung
Planung	-
Instandhaltung	-
Qualitätsmanagement	-
Logistik	▪ Bedarfsgerechte Materialanlieferung und –entnahme ▪ Reduzierung der Be- und Entladezeit

	▪ Unterstützung der Funktionen der Logistik ▪ Reduzierte Belastung der Mitarbeiter
Potenziale und Risiken	
Potenziale	▪ Entkopplung von Prozessen ▪ Erhöhung der Lieferbereitschaft ▪ Verbesserte Bestandstransparenz ▪ Verbesserte bedarfsgesteuerte Produktionssteuerung ▪ Reduzierung nicht-wertschöpfender Tätigkeiten ▪ Reduzierte Störanfälligkeit
Risiken	▪ Störanfälligkeit verwendeter Hardware (z.B. RFID-System) ▪ Hoher Flächenbedarf (Insbesondere großvolumige Teile)
Literatur	
VDI-Richtlinie VDI 2870 /Blatt 2 (2013): Ganzheitliche Produktionssysteme. BLOKSMA ENGINEERING (2015): Industrie 4.0: Der intelligente Supermarkt. Hg. v. Lectura press. Online verfügbar unter https://press.lectura.de/de/article/industrie-4-0-derintelligente-supermarkt/25765 Robert Bosch Manufacturing Solutions GmbH (2018): Stock Management. Digitalisierung des Materialflusses und Materiallokalisierung in Echtzeit durch Stock Management. Robert Bosch Manufacturing Solutions GmbH. Online verfügbar unter https://www.bosch-connectedindustry.com/connected-logistics/nexeed-intralogistics-execution/stock-management/	

Tabelle 10-4: GaProSys 4.0-Methode „RFID-Kanban“

Bezeichnung	RFID-Kanban
GPS-Methode	Kanban
Industrie 4.0-Funktionen	Identifikation, Zustandserfassung, Vernetzung, Steuerung und Kontrolle
Technologien	RFID, Softwareplattform zur Bestandsüberwachung
Ergänzende GaProSys 4.0-Methoden	Intelligenter Supermarkt, Dynamischer Milkrun
Ergänzende GPS-Methoden	Shopfloor Management, Wertstromplanung, JIT/ JIS, Nivellierung

Zielbeitrag	Qualität ●	Kosten ●●	Zeit ●●	Flexibilität ●●
Die automatische Echtzeit-Erfassung und Kommunikation aller Materialbewegungen innerhalb eines Kanban-Regelkreises reduziert die Wiederbeschaffungszeit des verbrauchten Materials und trägt zur Vermeidung materialengpassbedingter Produktionsstillstände bei. In der Folge können Sicherheitsbestände abgebaut werden und die manuelle Handhabung der Kanban Karten entfällt, wodurch Kosten gesenkt werden. Die Steuerung des Umlaufbestands über eine zentrale Softwareplattform ermöglicht eine schnelle und unkomplizierte Anpassung der Sicherheitsbestände, was zu einer erhöhten Flexibilität führt. Die Qualität des gefertigten Produkts wird durch die Methode nicht beeinflusst.				
Aufwand / Kosten				
Anschaffungskosten	Mittel (10.000–50.000 €) RFID-Hardware, Softwareplattform			
Wartungsaufwand	Mittel Wartung der RFID-Hardware, Updates der Softwareplattform			
Kurzbeschreibung				
RFID-Kanban ermöglicht eine automatisierte Verbrauchserfassung innerhalb definierter Kanban-Regelkreise. Durch den Einsatz von RFID-Technologie werden Materialbewegungen identifiziert und diese Informationen an eine übergeordnete Softwareplattform gesendet. Auf der Softwareplattform werden die aktualisierten Bestände mit einstellbaren Mindestbeständen abgeglichen und ggfs. Nachbestellungen an den für die Versorgung zuständigen Routenzug gesendet. Der Einsatzbereich der Methode erstreckt sich auf alle Bereiche eines Kanban Regelkreises (Quelle, Senke, Pufferlager bzw. Supermarkt), sodass eine vollständige, jederzeit aktuelle Bestandstransparenz gewährleistet wird.				



Verbesserung zum klassischen Kanban:

- Bedarfserfassung und –kommunikation in Echtzeit
- Möglichkeit weiterer Bestandssenkung aufgrund gesenkter Wiederbeschaffungszeiten
- Vollständige Bestandstransparenz aller Regelkreise
- Wegfall des manuellen Handlings der Kanban Karten

Einführung

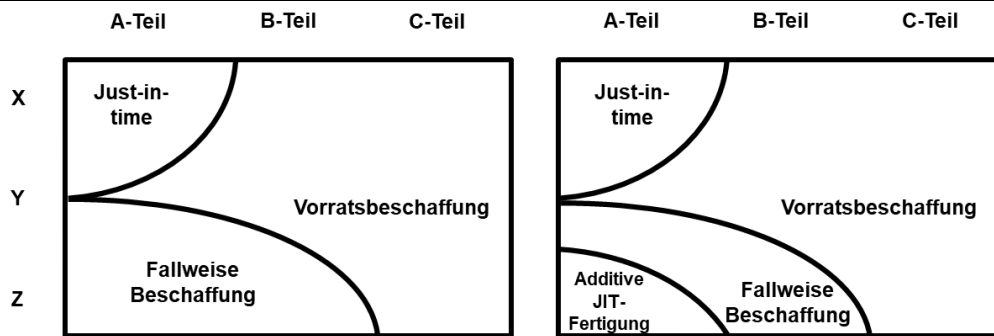
Einführungsdauer	kurzfristig (0 bis 6 Monate)
Kompetenz zur Konfiguration und Einführung	▪ Auswahl und Integration geeigneter RFID-Technologie ▪ Programmierung und Implementierung der Softwareplattform
Anforderungen an die IT-Infrastruktur	▪ Digitalisierung der konventionellen Kanban Karten ▪ Netzwerk zur Kommunikation zwischen den Regelkreisen ▪ Integration der RFID-Technologie
Auswirkungen auf den Datenschutz	Netzwerk und RFID-Technologie müssen vor unbefugtem Zugriff geschützt werden
Anwendergruppe	Operative Mitarbeiter in der Logistik Mitarbeiter in der Logistikplanung
Kompetenz zur Methodenanwendung	▪ Umgang mit RFID-Technologie ▪ Bedienung des Tablets und Interpretation der angezeigten Bedarfsinformationen ▪ Kompetenz zur Fehlerbehebung bei Feststellung einer Abweichung zwischen physischem und digitalen Bedarf
Wirkung in Unternehmensprozessen	
Fertigung	Erhöhte Versorgungssicherheit
Montage	Erhöhte Versorgungssicherheit
Planung	-
Instandhaltung	-
Qualitätsmanagement	-

Logistik	Reduzierung nicht-wertschöpfender Tätigkeiten bei der Materialversorgung
Potenziale und Risiken	
Potenziale	▪ Regelkreisprinzip minimiert Steuerungsaufwand ▪ Reduzierte Störungsanfälligkeit ▪ Flexibilität bei Anpassung des Umlaufbestands ▪ Bestandsreduktion
Risiken	▪ Umschlagfläche für leere Behälter erforderlich ▪ Hohe Verfügbarkeit der Fertigungseinrichtungen notwendig ▪ Risiken von Hardware- und Softwarestörungen
Literatur	
VDI-Richtlinie VDI 2870 /Blatt 2 (2013): Ganzheitliche Produktionssysteme. PR RFID im Blick (2015): Industrielle Fertigung: Industrie 4.0 bei Bosch. www.rfid-im-blick.de. Online verfügbar unter https://www.rfid-im-blick.de/de/201412042426/industrielle-fertigung-industrie-4-0-bei-bosch.html SICK AG (2014): RFID@Bosch: Physische Warenströme in Echtzeit virtualisieren. SICK AG. Online verfügbar unter https://www.sick.com/de/de/rfidbosch-physische-warenstroeme-in-echtzeit-virtualisieren/w/blog-rfidbosch-virtualization-of-physical-flow-of-goods/	

Tabelle 10-5: GaProSys 4.0-Methode „Additive JIT-Fertigung“

Bezeichnung	Additive JIT-Fertigung
GPS-Methode	Just-in-Time
Industrie 4.0-Funktionen	Vernetzung, Datenverarbeitung, Zustandserfassung, Visualisierung
Technologien	Maschinendatenerfassung / Sensorik, Datenanalyseplattform, CAD-Programm, Additive Fertigungsanlage (3D-Drucker), Monitor
Ergänzende GaProSys 4.0-Methoden	Jidoka 4.0, Sensordatenbasierte QRK, Digital unterstütztes TPM
Ergänzende GPS-Methoden	Autonomation, Andon, Prozessstandardisierung

Zielbeitrag	Qualität ●	Kosten ●●	Zeit ●●●	Flexibilität ●●●
Die Methode verlagert die Produktion von AZ-Teilen zurück in das eigene Unternehmen und folgt dabei den Kriterien des konventionellen <i>just in time</i> . Der Einsatz additiver Fertigungsverfahren führt zu einer Kostensenkung durch den Wegfall von produktspezifischen Werkzeugen sowie von Transporten zwischen externem Lieferanten und dem eigenen Unternehmen. Durch die sehr gute Prognostizierbarkeit der Gesamtfertigungsdauer und die verkürzten Transportwege wird die Durchlaufzeit reduziert und die eigene Liefertreue verbessert. Die Vielseitigkeit additiver Fertigungsverfahren, in deren Folge unterschiedliche AZ-Teile auf derselben Maschine gefertigt werden können, führt zu einer sehr hohen Flexibilität. Eine Verbesserung der Produktqualität ist im Vergleich zu konventionellen Fertigungsverfahren nicht zu erwarten.				
Aufwand / Kosten				
Anschaffungskosten	Hoch (> 50.000€) Additive Fertigungsanlage, Softwarelizenzen für Modellierungs- und Slicer-Software			
Wartungsaufwand	Mittel Vorbereitung und Reinigung der additiven Fertigungsanlage für jeden Druckvorgang sowie regelmäßige Wartung der Anlage			
Kurzbeschreibung				
Die Methode Additive JIT-Fertigung verfolgt die Ausweitung des <i>Just-in-Time</i> -Ansatzes auf die Kategorie der AZ-Teile (s. Abbildung). Dazu werden vormals externe, fallweise bezogene Teile mittels additiver Fertigungsverfahren <i>just in time</i> selbst gefertigt. Durch das Insourcing der Produktion sowie die Eigenschaften der additiven Fertigungsverfahren erfolgt für alle A-Teile eine Anlieferung				
- ohne Lagerhaltung, - in der richtigen Menge, - in der richtigen Qualität, - zum richtigen Zeitpunkt und - an der richtigen Stelle innerhalb von Fertigung und Montage.				



Anwendungsbereiche der konventionellen Methode sowie der Methode JIT 4.0 (in Anlehnung an Werner (2013))

Verbesserung zum klassischen Just-in-Time:

- Ausweitung der konventionellen Methode auch auf AZ-Teile
- Keine kostenintensive Lagerhaltung von A-Teilen
- Reduzierung der Transport- und Liegezeit
- Elimination der Nachteile der Einzelbeschaffung (Keine Skalen-Effekte im Einkauf, Risiko qualitativer/ quantitativer Fehlmengen, Risiko der Lieferbereitschaft des Lieferanten)

Einführung

Einführungsdauer	Mittelfristig	
Kompetenz zur Konfiguration und Einführung		▪ Auswahl geeigneter additiver Fertigungsverfahren ▪ Ggf. Adaption der CAD-Modelle an additive Fertigung ▪ Integration der additiven Fertigungsanlage in die Prozesskette
Anforderungen an die IT-Infrastruktur		▪ IT-technische Anbindung der additiven Fertigungsanlage an die Prozesskette ▪ Erweiterung der IT-Infrastruktur um Software zum Slicen von CAD-Modellen und zur Steuerung additiver Fertigungsanlagen
Auswirkungen auf den Datenschutz		Bei In-house Nutzung additiver Fertigungsanlagen externer Dienstleister werden ggf. Modelle der Bauteile mit Dienstleister geteilt
Anwendergruppe		Operative Mitarbeiter in der Produktion Mitarbeiter in der Konstruktion Mitarbeiter in der Produktionsplanung
Kompetenz zur Methodenanwendung		Kenntnisse in der Einstellung, Bedienung und Wartung der additiven Fertigungsanlage
Wirkung in Unternehmensprozessen		
Fertigung		Insourcing der Produktion von AZ-Teilen
Montage		Gesteigerte Liefertreue vorgelagerter Prozesse
Planung		Besser Planbarkeit hinsichtlich von AZ-Teilen
Instandhaltung		Zusätzliche Anlage, die Instand zu halten ist
Qualitätsmanagement		-
Logistik		Wegfall externer Transporte und dazugehörigen Warenumschlags
Potenziale und Risiken		
Potenziale		▪ Verbesserung der eigenen Lieferbereitschaft ▪ Schnellere Reaktionsfähigkeit ▪ Reduzierung der Abhängigkeit von externen Lieferanten

Risiken	▪ Methode nur anwendbar, wenn AZ-Teil für additive Fertigung geeignet ist ▪ Hohe Investitionskosten der Additiven Fertigungsanlage können lange Amortisationsdauern haben
Literatur	
VDI-Richtlinie VDI 2870 /Blatt 2 (2013): Ganzheitliche Produktionssysteme.	
VDI-Richtlinie VDI 3405: Additive Fertigungsverfahren: Grundlagen, Begriffe, Verfahrensbeschreibungen 2014.	
Gebhardt, A.: Additive Fertigungsverfahren: Additive Manufacturing und 3D-Drucken für Proto-typing - Tooling - Produktion. 5. Aufl.: Hanser; 2016.	
Caviezel, C.; Grünwald, R.; Ehrenberg-Silies, S.; Kind, S.; Jetzke, T.; Bovenschulte, M.: Additive Fertigungsverfahren (3-D-Druck). Berlin; 2017.	

Tabelle 10-6: GaProSys 4.0-Methode „e-SFM“

Bezeichnung	e-SFM
GPS-Methode	Shopfloor Management
Industrie 4.0-Funktionen	Visualisierung, Zustandserfassung, Datenverarbeitung, Vernetzung, Identifikation
Technologien	Maschinendatenerfassung/ Sensorik, Datenanalyseplattform, Visualisierungssoftware, Server/ Cloud, Dashboards/ Monitore, Tablet-PCs
Ergänzende GaProSys 4.0-Methoden	Jidoka 4.0, Sensordatenbasierte QRK, Prozessstandardisierung 4.0, Digital unterstütztes TPM
Ergänzende GPS-Methoden	Autonomation, kurze Regelkreise, Andon, Prozessstandardisierung

Zielbeitrag	Qualität ●●	Kosten ●●	Zeit ●	Flexibilität ●●
Die transparente Darstellung automatisiert erfasster Daten umfasst u.a. Qualitätsdaten, sodass die Grundlage für gezielte Qualitätsverbesserungsmaßnahmen gelegt wird. Außerdem führt der Wegfall manueller Datenerfassung und –verarbeitung zu einer Reduzierung nicht wertschöpfender Tätigkeiten der Mitarbeiter, wodurch die indirekten Produktionskosten sinken. Die Durchlaufzeit zur Herstellung eines Produkts wird durch das e-SFM nicht direkt beeinflusst, jedoch bilden die erfasster Daten und ermittelten Kennzahlen die Grundlage für Optimierungsprojekte. Die digitale Bereitstellung der Informationen und Kennzahlen trägt zur flexiblen Anpassungsfähigkeit des e-SFM gegenüber Veränderungen des Produktionssystems bei.				
Aufwand / Kosten				
Anschaffungskosten	Mittel (10.000-50.000€) Sensorik, Softwarelizenz, Hardware (stationäre und mobile Anzeigeegeräte), Server(-lizenz)			
Wartungsaufwand	Mittel Wartung der Sensorik, Wartung der Server/ Cloud, Wartung der Hardware, Änderungen und Anpassungen in der Sensorik und Datenplattform bei signifikanten Änderungen des Produktionsprozesses an einer Anlage			
Kurzbeschreibung				
Die klassische GPS-Methode Shopfloor Management fokussiert die Definition und Überwachung von Zielzuständen sowie die Lösung von Problemen unmittelbar am Ort des Geschehens (Shopfloor) unter Einbezug der operativen Mitarbeiter. Regelmäßige Produktionsrundgänge und -besprechungen auf unterschiedlichen Hierarchieebenen sowie die Erfassung von Daten/ Kennzahlen, deren Austausch, Höherverdichtung und Analyse stellen somit einen wesentlichen Bestandteil der Methode dar. Vor diesem Hintergrund zielt die Methode e-SFM auf eine Digitalisierung der Datenerfassung, -verdichtung, -analyse und des Datenaustauschs ab. Hierbei erfolgt zunächst die digitalisierte Erfassung SFM-relevanter Daten durch geeignete Sensorik (sofern sensorisch erfassbar). Diese Daten werden auf einer zentralen Plattform gesammelt und in vorher definierte Kennzahlen transformiert. Anschließend können die erfassten und berechneten Kennzahlen in Shopfloor-Besprechungen zwischen Vertretern verschiedener Hierarchieebenen anforderungsgerecht digital bereitgestellt werden. Da somit Datenerfassung und -austausch digital unterstützt werden, kann der				

Fokus der Besprechungen auf die Entwicklung von Lösungen für identifizierte Probleme verschoben werden. Beschlossene Lösungsmaßnahmen können anschließend – ebenso wie relevante Kennzahlen – anforderungsgerecht den Nutzern auf unterschiedlichen Hierarchiestufen visualisiert werden. Der Abruf von Informationen über Maßnahmen und Kennzahlen kann jederzeit mobil über Tablet PCs erfolgen.

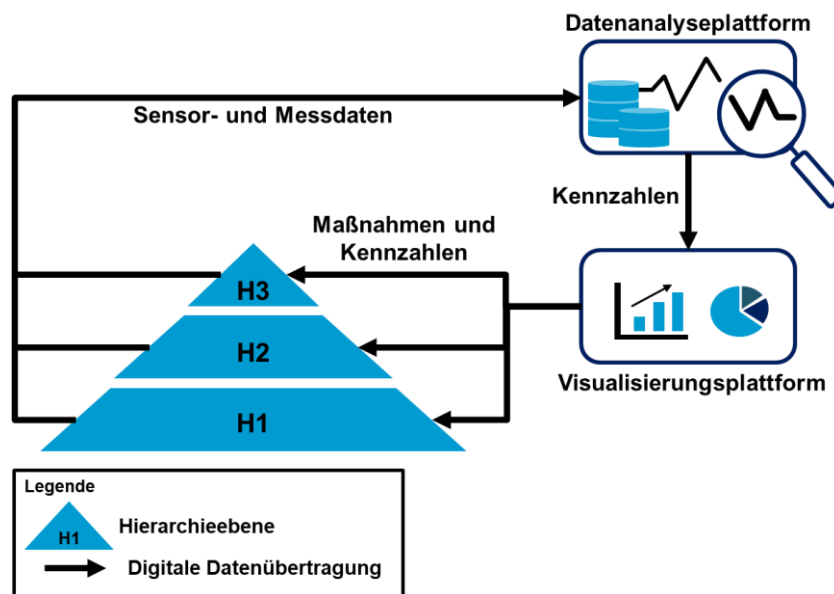


Abbildung 1: Funktionsweise des e-SFM

Verbesserung zum klassischen Shopfloor Management:

- Entlastung der Mitarbeiter bei Datenerfassung, -austausch und Verdichtung
- Verbesserte Qualität, Transparenz und Analyse der erfassten Daten
- Schnellere Handlungsfähigkeit bei auftretenden Problemen
- Benutzergerechte und mobile Bereitstellung und Visualisierung von Kennzahlen und Maßnahmen

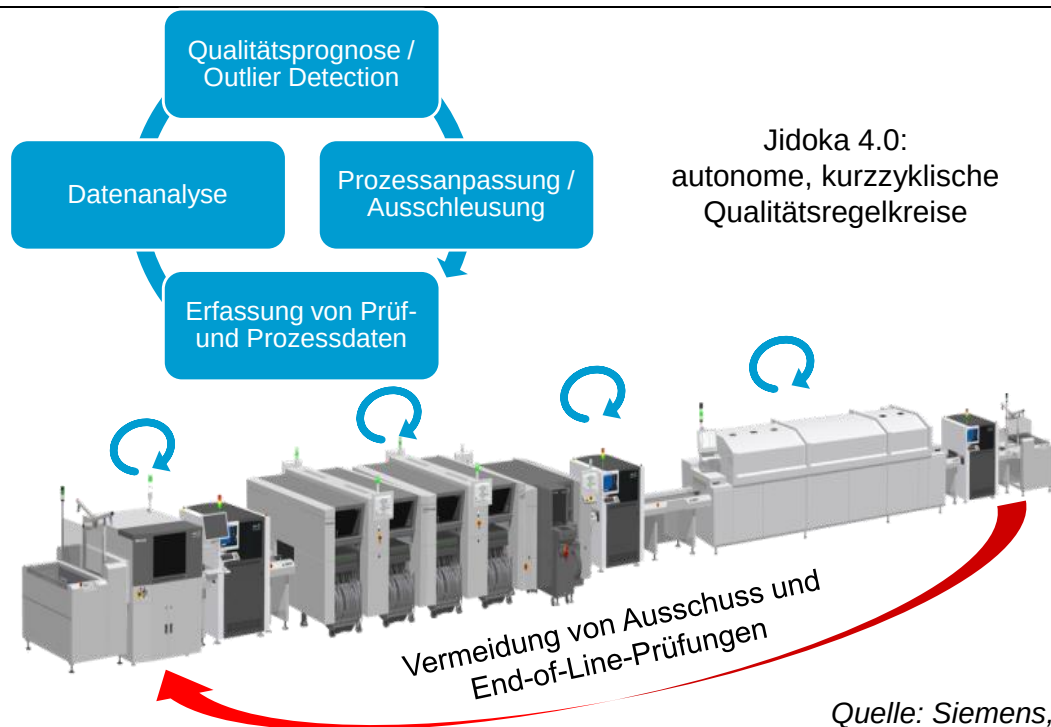
Einführung	
Einführungsdauer	Mittelfristig (6-12 Monate)
Kompetenz zur Konfiguration und Einführung	▪ Datenerhebung, -vernetzung, -verdichtung und Visualisierung ▪ Auswahl und Integration geeigneter Sensorik
Anforderungen an die IT-Infrastruktur	▪ Vernetzung der Sensorik, Anlagen, Datenplattform, Hardware zur Visualisierung ▪ Stabile Netzwerkinfrastruktur
Auswirkungen auf den Datenschutz	▪ Ggf. Speicherung der Daten auf Servern von Dienstleistern ▪ Ggf. Speicherung personenbezogener Daten (z.B. Zeitdaten)
Anwendergruppe	Operative Mitarbeiter und Shopfloor-nahe Führungskräfte
Kompetenz zur Methodenanwendung	▪ Umgang mit digitalen Endgeräten ▪ Umgang mit Plattform (Kennzahlen und Maßnahmen abrufen und einfügen)
Wirkung in Unternehmensprozessen	
Fertigung	Entlastung der Mitarbeiter bei Datenerhebung und -austausch, Erhöhung der Transparenz über Kennzahlen
Montage	Entlastung der Mitarbeiter bei Datenerhebung und -austausch, Erhöhung der Transparenz über Kennzahlen

Planung	Schnellere Reaktionen aufgrund von aktuelleren Daten möglich
Instandhaltung	Verwendung der erfassten Daten im Kontext von Predictive Maintenance
Qualitätsmanagement	Unterstützung der Erhebung qualitätsbezogener Daten
Logistik	Entlastung der Mitarbeiter bei Datenerhebung und -austausch, Erhöhung der Transparenz über Kennzahlen
Potenziale und Risiken	
Potenziale	▪ Adressatengerechte Datenbereitstellung ▪ Schnelle Verfügbarkeit und Nutzung der Daten ▪ Erhöhung der Datentransparenz ▪ Entlastung der Mitarbeiter durch automatisierte Datenerfassung, -integration und -verarbeitung ▪ Erhöhung der Datenqualität und -verfügbarkeit
Risiken	▪ Ggfs. Inakzeptanz der Mitarbeiter gegenüber der Technik ▪ Nutzung setzt ein Mindestmaß an Technikaffinität voraus ▪ Störanfälligkeit und Wartungsaufwand der verwendeten Hardware (z.B. Sensorik, Analyseplattformen, Server, Endgeräte)
Literatur	
VDI-Richtlinie VDI 2870 /Blatt 2 (2013): Ganzheitliche Produktionssysteme. Wagner, T. ; Herrmann, C. ; Thiede, S.: Identifying target oriented Industrie 4.0 potentials in lean automotive electronics value streams. Procedia CIRP, 72 (2018), S. 1003-1008. Dombrowski, U.; Richter, T.: The Lean Production System 4.0 Framework – Enhancing Lean Methods by Industrie 4.0. In MOON, I (Hrsg.); LEE, G. M. (Hrsg.); PARK, J. (Hrsg.); Kiritsis, D. (Hrsg.); Von Cieminski, G. (Hrsg.): Advances in Production Management Sys-tems: Smart Manufacturing for Industry 4.0, S. 410–416, Springer Verlag, 2018	

Tabelle 10-7: GaProSys 4.0-Methode „JIDOKA 4.0“

Bezeichnung	Jidoka 4.0
GPS-Methode	Jidoka (Autonomation)
Industrie 4.0-Funktionen	Identifikation, Zustandserfassung, Datenverarbeitung, Visualisierung, Adaption, Steuerung und Kontrolle, Manipulation
Technologien	Barcode/RFID, Maschinendatenerfassung / Sensorik, Qualitätsprüfsystem, Datenanalyseplattform (Serverumgebung, Data Mining Software)
Ergänzende GaProSys 4.0-Methoden	Ishikawa 4.0, Sensordatenbasierte QRK
Ergänzende GPS-Methoden	Andon, Poka Yoke, (5xWarum)

Zielbeitrag	Qualität ●●●	Kosten ●●	Zeit ●●	Flexibilität ●
Durch die prädiktive Erkennung und Vermeidung von Qualitätsmängeln wird die Produktqualität gesteigert. Die Reduktion bzw. frühzeitige Erkennung von Ausschussteilen führt zu einer Senkung der Material- und Produktionskosten. Zusätzlich wird dadurch die Herstellung bzw. Weiterbearbeitung von Ausschussteilen reduziert und somit nicht wertschöpfende Zeit eingespart / die Produktivität gesteigert.				
Aufwand / Kosten				
Anschaffungskosten	Mittel (10.000–50.000 €) Sensorik, Softwarelizenz, Server(-lizenz)			
Wartungsaufwand	Mittel Wartung der Sensorik, Anpassungen im Datenanalyseprozess bei signifikanten Änderungen des Fertigungsprozesses (Grundkenntnisse der Datenanalyse erforderlich), laufende Kosten für die Datenanalyseplattform			
Kurzbeschreibung				



Maschinen und Anlagen werden durch den Jidoka 4.0-Ansatz autonom betrieben. Eine Prozessüberwachung durch Mitarbeiter ist nicht erforderlich. Das zu bearbeitende Produkt wird automatisch identifiziert und prozessbeeinflussende, variantenspezifische Merkmale berücksichtigt. Die Prozess- und Qualitätsüberwachung erfolgt auf Basis von (komplexen, vielfältigen) Maschinen- und Sensordaten. Diese werden durch Datenanalysesoftware in Echtzeit ausgewertet und eine Qualitätsprognose abgeleitet. Die Grundlage hierzu ist die Erkennung von (Prozess-)Anomalien auf Basis der ermittelten Parameter. Somit können Prozessabweichungen bereits prospektiv/ prädiktiv erkannt und entsprechende Gegenmaßnahmen (bspw. durch die Maschinensteuerung) eingeleitet werden. Anzustreben ist die Anpassung des Bearbeitungsprozesses, sodass die Herstellung von Ausschuss vermieden wird. Somit erfolgt die Umsetzung kurzer Qualitätsregelkreise, sodass eine End-of-Line-Prüfung nur in Ausnahmefällen erforderlich ist. Falls die Anpassung des Bearbeitungsprozesses zur Herstellung eines Gutteils nicht möglich ist, sollte das Produkt möglichst frühzeitig aus dem Prozess ausgeschleust werden, sodass keine weitere Wertschöpfung eingebracht wird. Die Dokumentation der aufgetretenen Qualitäts- /Prozessabweichungen ist zur Ursachenanalyse heranzuziehen.

Verbesserung zum klassischen Jidoka:

- Überwachung des Prozesses anstatt/ zusätzlich zur Kontrolle des Bauteils
- Erkennung eines Qualitätsmangels, bevor er auftritt
- Möglichkeit zur Identifikation komplexer Prozesszusammenhänge zwischen Prozess- und Qualitätsparametern

Einführung	
Einführungsdauer	mittelfristig (6 bis 12 Monate)

Kompetenz zur Konfiguration und Einführung	▪ Auswahl und Integration geeigneter Sensorik ▪ Datenerhebung ▪ Prognosemodellbildung, -evaluation und -anwendung
Anforderungen an die IT-Infrastruktur	▪ Gepflegte Stücklisten, Arbeitspläne und Produktionsprogramm ▪ Prozess- und Prüfparameter ▪ Vernetzung von Anlage, Sensorik und Analyseplattform
Auswirkungen auf den Datenschutz	Ggf. Speicherung der Daten auf Servern von Dienstleistern
Anwendergruppe	Operative Mitarbeiter in Produktion und Qualitätsmanagement
Kompetenz zur Methodenanwendung	Keine; die Maschine trifft die Entscheidungen Sekundär: Fehleranalysekompetenz
Wirkung in Unternehmensprozessen	
Fertigung	Vermeidung der Bearbeitung / Wertschöpfung an Ausschussteilen
Montage	Vermeidung der Bearbeitung / Wertschöpfung an Ausschussteilen
Planung	-
Instandhaltung	-
Qualitätsmanagement	Verbesserung der Produktqualität
Logistik	Kein unnötiges Handling von Ausschussteilen
Potenziale und Risiken	
Potenziale	▪ Steigerung der Produktqualität ▪ Prüftorentlastung ▪ Erzielung stabiler Prozesse ▪ Vermeidung von Ausschussteilen durch prädiktiven Prozesseingriff ▪ Vermeidung von Wertschöpfung oder Handling von Ausschussteilen ▪ Entlastung von Mitarbeitern durch automatische Prozessüberwachung (bspw. Ermöglichung von Mehrmaschinenbedienung)
Risiken	▪ Störanfälligkeit verwendeter Hardware (bspw. Sensorik) ▪ Auftreten von Pseudofehlern (Klassifizierung von Gutteilen als Ausschuss) ▪ Auftreten von Schlupf (Klassifizierung von Ausschuss als Gutteil) ▪ Unvorteilhaftes Kosten-Nutzen-Verhältnis bei bereits stabilen Prozessen
Literatur	
VDI-Richtlinie VDI 2870 /Blatt 2 (2013): Ganzheitliche Produktionssysteme. Fayyad U, Piatetsky-Shapiro G and Smyth P. From Data Mining to Knowledge Discovery in Databases. AI Magazine 1996; 17(3): 37–54. Deuse J, Schmitt J, Bönig J and Beitinger G. Dynamische Röntgenprüfung in der Elektronikproduktion: Einsatz von Data-Mining-Verfahren zur Qualitätsprognose. Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb 2019; 114(3): 264–267.	

Tabelle 10-8: GaProSys 4.0-Methode „Prozessstandardisierung 4.0“

Bezeichnung	Prozessstandardisierung 4.0
GPS-Methode	Prozessstandardisierung
Industrie 4.0-Funktionen	Visualisierung, Vernetzung, Identifikation
Technologien	Server/ Cloud, Touchscreens/ Monitore, Betriebsdatenerfassung (BDE), Software zur Anzeige und Bearbeitung der Prozessstandards
Ergänzende GaProSys 4.0-Methoden	E-SFM, Digital unterstütztes TPM, Jidoka 4.0, Sensordatenbasierte QRK
Ergänzende GPS-Methoden	PDCA, kurze Regelkreise, Ideenmanagement, TPM, Andon

Zielbeitrag	Qualität ●●●	Kosten ●●	Zeit ●●	Flexibilität ●●●
Die werksübergreifende Anwendung von Prozessstandards und Übertragung von Best-Practices gewährleistet eine gleichbleibende Qualität der Produkte über Werksgrenzen hinaus. Die Einbeziehung der Arbeiter an den Anlagen führt zu einer kontinuierlichen Verbesserung der Standards und ermöglicht eine Eliminierung qualitätsgefährdender/ ineffizienter Prozessschritte. In der Folge werden Ausschuss und Nacharbeit sowie Durchlaufzeiten reduziert. Des Weiteren wird die Anpassungsfähigkeit der Prozessstandards an auftretende anlagen-/ auftragsbezogene Änderungen verbessert und die Kommunikation der Änderungen an die Mitarbeiter vereinfacht.				
Aufwand / Kosten				
Anschaffungskosten	Mittel (10.000-50.000€) Softwarelizenz, Server(-lizenz), Hardware (Touchscreens, Monitore)			
Wartungsaufwand	Gering Wartung der Hardware und Serverumgebung			
Kurzbeschreibung				
Prozessstandards werden zentral über eine Cloud/ Serverumgebung an den Anlagen über Monitore visualisiert, wobei die Informationsbereitstellung anforderungsgerecht (auftrags- und mitarbeiterbezogen) erfolgt. Zusätzlich werden die Mitarbeiter befähigt Probleme zu kennzeichnen bzw. Vorschläge zur Anpassung der Prozessstandards unmittelbar am Monitor Ihres Arbeitsplatzes vorzunehmen. Alle so gekennzeichneten Einwände werden von einem prozesskundigen Vorarbeiter (oder vergleichbar) auf Relevanz geprüft und dadurch ggf. ein PDCA-Regelkreis zur Überprüfung und Anpassung des Standards angestoßen. Anschließend wird der				

aktualisierte Standard in der Cloud bereitgestellt und der veraltete Standard entfernt. Angepasste Standards werden in einer Übergangszeit als solche visuell gekennzeichnet, um eine zügige Adaption des neuen Standards durch die Mitarbeiter zu erreichen.

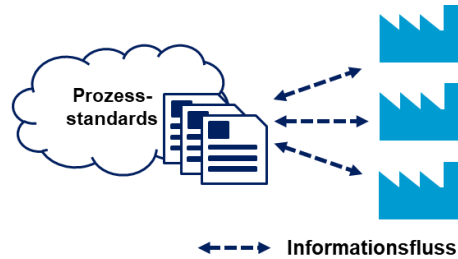


Abbildung 1.1: Struktur der Prozessstandardisierung 4.0



Abbildung 1.2: Regelkreis der Prozessänderung

Verbesserung zur klassischen Prozessstandardisierung:

- Einfacherer und schnellerer Zugriff auf wichtige Dokumente
- Mitarbeitern werden benötigte Informationen direkt am Arbeitsplatz dargestellt
- Gewährleistung von einheitlichen Standards durch Cloud-basierte Dokumentverwaltung
- Verbesserung des Prozesses zur Änderung eines Standards

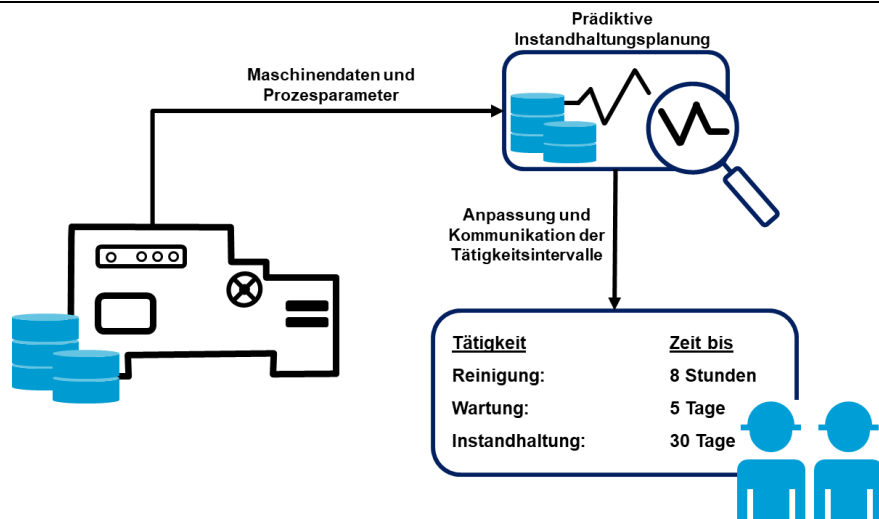
Einführung	
Einführungsdauer	mittelfristig (6 bis 12 Monate)
Kompetenz zur Konfiguration und Einführung	▪ Allgemeine IT-Kenntnisse ▪ Kenntnisse in der Programmierung
Anforderungen an die IT-Infrastruktur	▪ Zugriff auf eine Cloud durch stabile Netzwerkverbindung ▪ Datenausgabe-/ Eingabemöglichkeit durch Touchscreens/Monitore an den Anlagen
Auswirkungen auf den Datenschutz	Ggf. Speicherung der Dateien auf Servern von Dienstleistern

Anwendergruppe	Operative Mitarbeiter in Produktion und Logistik sowie Prozess-/Anlagenverantwortliche
Kompetenz zur Methodenanwendung	Keine technischen Kompetenzanforderungen
Wirkung in Unternehmensprozessen	
Fertigung	Arbeit nach einheitlichen und aktuellen Prozessesstandards
Montage	Arbeit nach einheitlichen und aktuellen Prozessesstandards
Planung	Zuverlässigere Zeitplanung durch höhere Standardisierung
Instandhaltung	-
Qualitätsmanagement	Verbesserung der Produktqualität durch verbesserte Standards
Logistik	-
Potenziale und Risiken	
Potenziale	- Immer optimale, aktuelle und einheitliche Prozessesstandards - Schnellere Bildung von Automatismen bei den Mitarbeitern aufgrund ständiger Konfrontation mit den Standards durch einfachen Zugriff und Visualisierung - Gezielte und schnelle Informationsweitergabe an Mitarbeiter - Kompetenzen der operativen Mitarbeiter werden in den Prozess der Standardoptimierung einbezogen
Risiken	- Ablenkung der Mitarbeiter durch die Monitore - Kosten-Nutzen-Verhältnis nicht exakt bestimmbar - Werksübergreifende Änderung von Prozessesstandards setzt vergleichbare Gegebenheiten an diesen voraus
Literatur	
Richtlinie VDI 2870 Blatt 1 2012 Krebs, M.; Goßmann, D.; Erohin, O.; Bertsch, S.; Deuse, J.; Nyhuis, P.: Standardisierung im wandlungsfähigen Produktionssystem. ZWF Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb, 12 (2011) Brenner, J.: Lean Production: Praktische Umsetzung zur Erhöhung der Wertschöpfung. 3. überarbeitete Auflage, Carl Hanser Verlag, München, 2018 Liker, J.K.; Meier, D.: Toyota Talent: Erfolgsfaktor Mitarbeiter - wie man das Potenzial seiner Angestellten entdeckt und fördert. 1. Auflage, FinanzBuch Verlag, München, 2008 Ōno, T.; Hof, W.; Stotko, E.C.; Rother, M.: Das Toyota-Produktionssystem: Das Standardwerk zur Lean Production. 3. erw. und aktualisierte Aufl., Campus-Verl., Frankfurt am Main, 2013	

Tabelle 10-9: GaProSys 4.0-Methode „Digital unterstütztes TPM“

Bezeichnung	Digital unterstütztes TPM
GPS-Methode	TPM - Prädiktive Instandhaltung
Industrie 4.0-Funktionen	Identifikation, Datenverarbeitung, Visualisierung, Vernetzung, Steuerung & Kontrolle
Technologien	Sensorik zur Aufnahme von Prozessparametern, Datenanalyseplattform zur Prognosemodellbildung und Fehlerprädiktion
Ergänzende GaProSys 4.0-Methoden	Prozessstandardisierung 4.0, Ishikawa 4.0, Sensordatenbasierte QRK, E-SFM
Ergänzende GPS-Methoden	Ishikawa-Diagramm, Prozessstandardisierung, Statistische Prozessregelung, Shopfloormanagement

Zielbeitrag	Qualität ●●	Kosten ●●	Zeit ●●	Flexibilität ●
Die Anwendung der Methode besitzt einen positiven Einfluss auf die Zielgrößen Qualität, Kosten und Zeit. Durch Prädiktion von Verschleiß und Ermöglichung rechtzeitiger Wartungseingriffe wird die Produktqualität sichergestellt. Zudem werden die Kosten für das Unternehmen reduziert, da Wartungs-, und Instandhaltungsmaßnahmen stets zu einem optimalen Zeitpunkt basierend auf der tatsächlichen Abnutzung der Maschinen stattfinden. Auch die Kenngröße Zeit wird durch die Methode positiv beeinflusst, da Ausfallzeiten stark reduziert/ eliminiert und so die Einhaltung der Liefertermine unterstützt wird. Der Beitrag zur Zielgröße Flexibilität wird als gering eingestuft, da es nicht Ziel der Methode ist, auf geänderte Produktionsbedingungen, wie neue Varianten, zu reagieren.				
Aufwand / Kosten				
Anschaffungskosten	Mittel (10.000–50.000 €) Sensorimplementierung; Nutzung von Datenanalyseplattform; Tabletcomputer oder Smart Watches			
Wartungsaufwand	Mittel Regelmäßige Wartung der Sensoren Aktualisierungen der Prognosemodelle Ggfs. Updates für Tablets/ Smart Watches Ggfs. Austausch beschädigter Tablets/ Smart Watches			
Kurzbeschreibung				



Die Reinigung, Wartung und Instandhaltung von Maschinen und Anlagen erfolgt durch den Ansatz des digital unterstützten TPM prädiktiv und weitestgehend autonom durch die Fertigungsmitarbeiter. Anfänglich erfolgen eine Sichtprüfung und Verbesserung der Schwachstellen der Maschinen und Anlagen.

Durch Aufnahme von Prozessparametern an den Maschinen und Anlagen und deren anschließender Analyse können Prognosen für die optimalen Reinigungs-, Wartungs- und Instandhaltungszeitpunkte erstellt werden. Diese basieren nicht mehr auf Vergangenheitsdaten und Schätzungen, sondern auf der tatsächlichen Abnutzung an den Maschinen und maximieren so die Intervalle. Basierend auf den Prognosen wird die Planung der Maßnahmen durchgeführt sowie die Mitarbeiter entsprechend benachrichtigt. Daten über dennoch aufgetretene Probleme sind zur strukturierten Problemlösung und weiteren Fehlerprävention zu nutzen.

Abschließend werden die Tätigkeiten auf die gesamte Arbeitsplatzorganisation ausgeweitet und die Instandhaltungstätigkeiten in Zusammenarbeit von Produktion und Instandhaltung kontinuierlich verbessert.

Verbesserung zur klassischen Methode:

- Automatisierte Erhebung erforderlicher Daten
- Überwachung von Prozessparametern und Ableitung von Rückschlüssen auf die Maschinen
- Durchführung von Wartungsmaßnahme basierend auf tatsächlicher Abnutzung der Maschinen (Prädiktive Instandhaltung)

Einführung

Einführungsdauer	mittelfristig (6 bis 12 Monate)
Kompetenz zur Konfiguration und Einführung	▪ Prozesskompetenz zur Identifizierung von Sensormesspunkten ▪ Installation von Sensoren an relevanten Messpunkten ▪ Vernetzung der Sensorik ▪ Datenanalyse und Prognosemodellbildung/ -anwendung
Anforderungen an die IT-Infrastruktur	▪ Vernetz- und Aufrüstbarkeit der Produktionsanlagen ▪ Kommunikation und Vernetzung von Maschine, Sensorik und Analysesoftware ▪ Vorhandenes ERP- oder MES-System

Auswirkungen auf den Datenschutz	Ggf. Speicherung der Daten auf den Servern von Dienstleistern
Anwendergruppe	Operative Mitarbeiter in Produktion und Instandhaltung, operatives Management, Instandhaltungsmitarbeiter
Kompetenz zur Methodenanwendung	Kompetenz zur Nutzung der Software und Hardware (keine Programmierung)
Wirkung in Unternehmensprozessen	
Fertigung	Vermeidung von Maschinenausfällen und defekten Teilen
Montage	Vermeidung von Maschinenausfällen und defekten Teilen
Planung	-
Instandhaltung	Übernahme von Instandhaltungstätigkeiten durch die Produktionsmitarbeitern
Qualitätsmanagement	Sicherstellung der Produktqualität durch stets gewartete Produktionsanlagen
Logistik	-
Potenziale und Risiken	
Potenziale	▪ Reduktion der Instandhaltungskosten ▪ Steigerung der Verfügbarkeit der Maschinen ▪ Reduktion des Personals- und Materialaufwands für Wartung und Instandhaltung ▪ Steigerung der Produktqualität ▪ Übernahme von Verantwortung für einwandfreien Maschinenzustand durch Produktionsmitarbeiter, sodass Kapazität von Instandhaltungsmitarbeitern frei wird
Risiken	▪ Risiko der Festlegung falscher Sensormessstellen ▪ Risiko falscher Sensorauswahl ▪ Fehlerhafte Sensormeldungen, die zu fehlerhaften Wartungsempfehlungen führen können ▪ Risiko eines Personalabbaus oder der Auflösung der Instandhaltungsabteilung, die für unvorhersehbare Ausfälle dennoch benötigt wird
Literatur	
VDI 2870 InWiPro, Werkzeugtracking, Smarte Systemoptimierung, InnoServPro, Intelligente Vernetzung von Schraubwerkzeugen, SEMAfusion	

Tabelle 10-10: GaProSys 4.0-Methode „Ishikawa 4.0“

Bezeichnung	Ishikawa 4.0
GPS-Methode	Ishikawa-Diagramm
Industrie 4.0-Funktionen	Sensorik, Datenverarbeitung, Vernetzung, Visualisierung
Technologien	Sensoren, Tablet oder Smart Watch
Ergänzende GaProSys 4.0-Methoden	Sensordatenbasierte QRK, Jidoka 4.0, Digital unterstütztes TPM
Ergänzende GPS-Methoden	5 x Warum, Statistische Prozessregelung, Total Productive Maintenance

Zielbeitrag	Qualität ●●●	Kosten ●●	Zeit ●●	Flexibilität ●
-------------	--------------	-----------	---------	----------------

Die Methode Ishikawa 4.0 hat einen positiven Effekt auf den Zielparameter Qualität, da die Produktion von fehlerhaften und defekten Produkten durch frühzeitige Störungsmeldungen verhindert werden kann. Durch die zeitnahe Kommunikation von Fehlern und deren direkter Verortung ergeben sich positive Effekte hinsichtlich des Parameters Zeit, da bspw. aufwendige Maschinenprüfungen entfallen. Der Parameter Kosten wird indirekt über Optimierungen bei Qualität und Zeit unterstützt. Die Flexibilität gegenüber äußeren Veränderungen ist durch die feste Installation zusätzlicher Sensorik begrenzt.

Aufwand / Kosten

Anschaffungskosten	Gering (bis 10.000 €) Sensorimplementierung an kritischen Prozessen im Produktionsprozess, Tabletcomputer oder Smart Watches
Wartungsaufwand	Gering - Mittel Ggfs. Wartung der Sensoren Ggfs. Softwaretechnische Wartung von Tablets/ Smart Watches Ggfs. Austausch beschädigter Tablets/ Smart Watches

Kurzbeschreibung

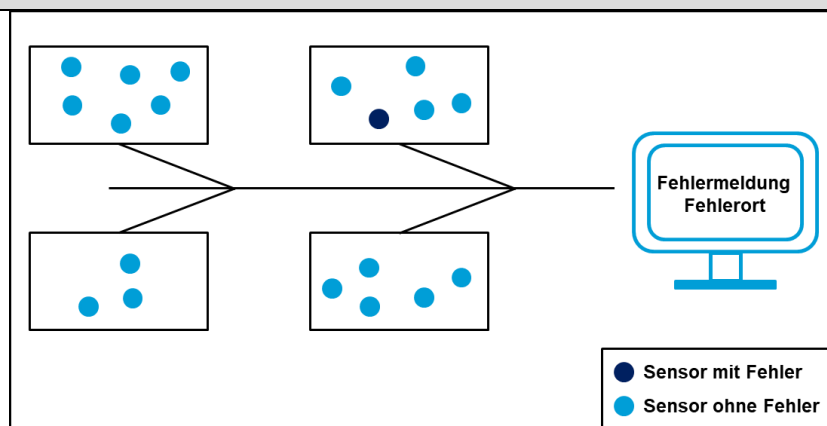


Abbildung 1: Funktionsweise der Methode Ishikawa 4.0

Ziel der Methode Ishikawa 4.0 ist die Entdeckung und Verortung von Fehlern unmittelbar zum Zeitpunkt ihres Entstehens. Um Probleme zu identifizieren, die direkt aus einem Produktionsprozess resultieren, werden die grundlegenden Ursachenklassen Maschine, Produkt, Werkzeug und Umwelt mit zusätzlich Sensorik versehen und diese vernetzt. Dies bildet die erste der beiden Stufen dieser GaProSys 4.0-Methode. Sobald ein Problem oder eine Störung vorliegt, dienen die Ursachenklassen als Hauptgruppen der Lösungsfindung. Während beim Ishikawa-Diagramm im GPS-Umfeld die reine Ursachenfindung im Vordergrund steht, gibt es im GaProSys 4.0-Bereich zwei Ziele:

1. Fehlerursachenfindung
2. Identifikation der Fehlerauswirkungen und -folgen.

Die manuelle Ursachenfindung im Ishikawa-Diagramm wird durch eine Implementierung von Sensorik innerhalb der vier Ursachenklassen substituiert. Zunächst werden alle Einheiten des Produktionsprozesses entlang der vier Klassen skizziert. Anschließend werden für jede Einheit die kritischen Elemente ausgewählt, die mittels Sensorik überwacht werden sollen. Hierzu ist die Bildung eines Expertenteams notwendig, welches aus erfahrenen Mitarbeitern mit Kenntnis der Maschinen sowie Experten für Sensorik besteht. Die Festlegung von Sensorpunkten erfolgt bedarfsgerecht und individuell. Sofern es nicht als notwendig erachtet wird, ist eine Definition von Messpunkten nicht bei allen vier Ursachenklassen notwendig. Um die permanente Übertragung von Datenmengen zu vermeiden, bietet sich eine lokale und dezentrale Vorverarbeitung der Daten an. Grundsätzlich ist im Rahmen von Ishikawa 4.0 ausschließlich eine Fehler- oder Alarmmeldung von Bedeutung. Es sind folglich für jeden überwachten Produktionsparameter Situationen zu definieren, bei denen ein Alarm oder eine Fehlermeldung ausgelöst wird. Die Auswertung der Daten wird folglich am Sensor selbst vorgenommen, im Fehlerfall wird ein Alarmsignal an einen zentralen Server gesendet. Dort sind die Sensoren eindeutig zugeordnet und verortet. Kommt es zu einem Fehler, müssen folgende Informationen auf einem Blick zusammengefasst werden:

1. Zeitpunkt,
2. alarmierender Sensor,
3. Ort des Sensors.

Bei einer engmaschigen Sensorstruktur können zum einen mehrere Alarmmeldungen aufgrund einer Fehlerursache auftreten. Andererseits können Fehler sich auf weitere Produktionsbereiche auswirken, ohne dass ein Alarm ausgelöst wird. Verkettungen können in vor- oder nachgelagerten Produktionsanlagen im Produktionsprozess vorliegen. Wenn ein Fehler gleichzeitig mehrere Alarmmeldungen auslöst, kann auf eine automatisierte Korrelationsanalyse zurückgegriffen werden.

Verbesserung zum Ishikawa-Diagramm:

- Manuelle Fehlersuche entfällt
- Unmittelbare Fehlermeldung bei Eintritt des Fehlers
- Unmittelbare Anzeige des Fehlerortes
- Identifikation von Zusammenhängen in verketteten Systemen

Einführung

Einführungsdauer	mittelfristig (6 bis 12 Monate)
------------------	---------------------------------

Kompetenz zur Konfiguration und Einführung	▪ Prozesskompetenz zur Identifizierung von Sensormesspunkten ▪ Installation von Sensoren an relevanten Messpunkten ▪ Vernetzung der Sensorik und Konfiguration einer Oberfläche zur Fehlervisualisierung für den Endnutzer
Anforderungen an die IT-Infrastruktur	▪ Vernetzung von Anlage, Sensorik und Fehleranzeigeplattform
Auswirkungen auf den Datenschutz	Ggf. Speicherung der Daten auf Servern von Dienstleistern
Anwendergruppe	Operative Mitarbeiter in der Fertigung und Montage, Shopfloor-nahes Management
Kompetenz zur Methodenanwendung	Bedienung des Tablets/ der Smart Watch und Verarbeitung der Information der angezeigten Fehlermeldung
Wirkung in Unternehmensprozessen	
Fertigung	▪ Frühzeitig Fehleridentifikation & unterstützte Fehleranalyse
Montage	▪ Frühzeitig Fehleridentifikation & unterstützte Fehleranalyse
Planung	-
Instandhaltung	▪ Sensor-Fehlermeldungen an Maschinen können als Indikatoren für Wartungsbedarfe dienen
Qualitätsmanagement	▪ Reduzierung der Auswirkungen von Fehlern durch rechtzeitige Fehlermeldung und -lokalisierung
Logistik	-
Potenziale und Risiken	
Potenziale	▪ Fehleridentifikation und -verortung unmittelbar nach Auftreten des Fehlers ▪ Reduzierung von Stillstandzeiten ▪ Reduzierung von Zeiten zur Fehlersuche ▪ Identifikation von Zusammenhängen in verketteten Systemen
Risiken	▪ Risiko der Festlegung falscher Sensormessstellen ▪ Risiko falscher Sensorauswahl ▪ Fehlerhafte Sensormeldungen
Literatur	
VDI-Richtlinie VDI 2870 /Blatt 2 (2013): Ganzheitliche Produktionssysteme.	

Tabelle 10-11: GaProSys 4.0-Methode „Sensordatenbasierte QRK“

Bezeichnung	Sensordatenbasierte QRK
GPS-Methode	Statistische Prozessregelung
Industrie 4.0-Funktionen	Visualisierung, Zustandserfassung, Datenverarbeitung, Vernetzung (Steuerung und Kontrolle; Aktorik)
Technologien	Sensoren, Tablet oder Smart Watch
Ergänzende GaProSys 4.0-Methoden	Ishikawa 4.0, Jidoka 4.0
Ergänzende GPS-Methoden	5 x Warum, Ishikawa-Diagramm, Andon

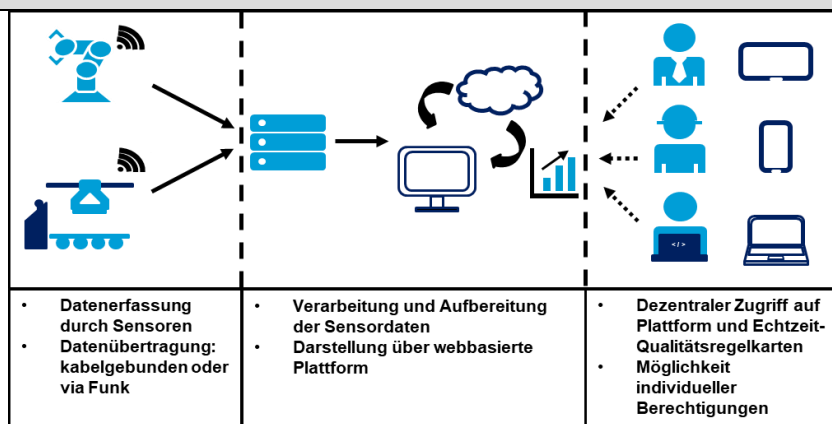
Zielbeitrag	Qualität ●●●	Kosten ●●	Zeit ●●	Flexibilität ●
-------------	--------------	-----------	---------	----------------

Die Sensordatenbasierte QRK hat einen positiven Einfluss auf den Parameter Qualität, da Störungen und Fehler bzw. Prozessdrifts bereits vorausschauend erkannt und beseitigt werden können. Durch die automatisierte Erfassung und Aufbereitung der Informationen wird ein positiver Zielbeitrag zum Parameter Zeit erreicht, da Mitarbeiter die Informationen nicht mehr selbst aufbereiten müssen. Auch ist ein dezentraler Abruf der Inhalte möglich. Der Parameter Kosten wird nur indirekt über Optimierungen bei der Qualität und Zeit unterstützt. Die Flexibilität gegenüber äußeren Veränderungen ist durch die feste Installation zusätzlicher Sensorik begrenzt.

Aufwand / Kosten

Anschaffungskosten	Gering (bis 10.000 €) Ausstattung der Messpunkte mit Sensoren, Konfiguration der Webplattform, Tabletcomputer oder Smart Watches
Wartungsaufwand	Gering - Mittel Ggfs. Wartung der Sensoren Ggfs. Softwaretechnische Wartung von Tablets/ Smart Watches Ggfs. Austausch beschädigter Tablets/ Smart Watches

Kurzbeschreibung



Die Methode Sensordatenbasierte QRK stellt die Weiterentwicklung der statistischen Prozessregelung dar. Ziel der Methode ist die permanente Überwachung von Produktionsprozessen zur Trendanalyse, Fehleridentifikation, Ursachenfindung und schnellen

Fehlerbehebung. Die Kerninhalte der statistischen Prozessregelung darunter auch das Instrument der Qualitätsregelkarte werden in ein Echtzeit-Monitoring transformiert. Dazu wird der Prozess des manuellen und stichprobenartigen Erhebens von Prozessparameter an definierten Messpunkten automatisiert. Hierzu werden an den bisher manuellen Messpunkten Sensoren installiert, die fortlaufend Daten erheben. Die Wahl prozessrelevanter Messpunkte erfolgt durch ein Expertenteam oder erfahrene Mitarbeiter. Bei der Wahl der Messpunkte werden vor allem kritische Prozessabläufe berücksichtigt, an denen Abweichungen zu Problemen führen. Die erhobenen Daten werden an einen zentralen Webserver übertragen, wo diese verarbeitet werden. Um die Übertragung von zu großen Datenmengen zu vermeiden, werden zunächst Übertragungsintervalle definiert, welche zwischen wenigen Sekunden und mehreren Minuten variieren können. Die Übertragungsintervalle hängen maßgeblich von den Anforderungen des gemessenen Prozesses sowie den infrastrukturellen Voraussetzungen (z.B. zulässige Verzögerungszeit) ab. Auf dieser Basis wird eine Analyseplattform programmiert die Sensordaten verarbeiten und umwandeln kann. Darüber hinaus dient die Plattform zur Festlegung von Grenzwerten (z.B. obere/ untere Warngrenze festgelegt durch Expertenteams), zur Visualisierung der aufbereiteten Daten nach dem Vorbild der Qualitätsregelkarte sowie zur Echtzeit-Darstellung der Daten in einer fortlaufenden Zeitreihe. Optional besteht die Möglichkeit, automatische Warnungen und Hinweise zu versenden, wenn bestimmte Toleranz-, Eingriffs- oder Warngrenzen überschritten werden. Über zusätzliche Funktionen wie die automatisierte Korrelationsanalyse oder die Implementierung von Aktoren zum autonomen Eingriff bei Überschreitung von Grenzwerten kann die optimale Einstellung eines Produktionsprozesses unterstützt werden.

Verbesserung zur klassischen Statistischen Prozessregelung:

- vordefinierte oder dynamisch anpassbare Grenzwerte
- automatisierte Aufnahme von Sensordaten sowie Datum und Uhrzeit in Echtzeit
- automatisierte Aufnahme und Visualisierung der Ergebnisse

Einführung	
Einführungsdauer	mittelfristig (6 bis 12 Monate)
Kompetenz zur Konfiguration und Einführung	▪ Installation von Sensoren an relevanten Messpunkten ▪ Festlegung geeigneter Übertragungsintervalle ▪ Vernetzung der Sensorik und Konfiguration einer Oberfläche zur Visualisierung für den Endnutzer
Anforderungen an die IT-Infrastruktur	▪ Große Datenmengen in festgelegten Übertragungsintervallen an zentralen Server kabelgebunden oder via Funk übertragen
Auswirkungen auf den Datenschutz	Ggf. Speicherung der Daten auf Servern von Dienstleistern
Anwendergruppe	Operative Mitarbeiter in der Fertigung und Montage
Kompetenz zur Methodenanwendung	Bedienung des Tablets und Interpretation der angezeigten Qualitätsregelkarten
Wirkung in Unternehmensprozessen	
Fertigung	▪ Zeitersparnis durch Wegfallen der manuellen Erhebung und visuellen Aufbereitung von Messdaten

Montage	▪ Zeitersparnis durch Wegfallen der manuellen Erhebung und visuellen Aufbereitung von Messdaten
Planung	-
Instandhaltung	▪ Sensorik an Maschinen kann als Indikator für Wartungsbedarfe dienen
Qualitätsmanagement	▪ Vermeidung von Fehlern (Ausschuss)
Logistik	-
Potenziale und Risiken	
Potenziale	▪ Intuitive Visualisierung und Informationsdarstellung ▪ Frühzeitige Abweichungserkennung der Produktionsprozesse ▪ Vorausschauende Eingriffe zur Fehlervermeidung ▪ Identifikation von Korrelationen zwischen verschiedenen Prozessen ▪ Daten gebündelt an einem Ort erfasst und aufbereitet ▪ Visualisierungen für den Nutzer dezentral verfügbar
Risiken	▪ Risiko der Festlegung falscher Sensormessstellen ▪ Risiko falscher Sensorauswahl ▪ Fehlerhafte Sensormeldungen
Literatur	
VDI-Richtlinie VDI 2870 /Blatt 2 (2013): Ganzheitliche Produktionssysteme.	

Tabelle 10-12: GaProSys 4.0-Methode „Dynamische Wertstromanalyse“

Bezeichnung	Dynamische Wertstromanalyse (DWSA)
GPS-Methode	Wertstromplanung
Industrie 4.0-Funktionen	Identifikation, Lokalisierung, Visualisierung, Zustandserfassung, Datenverarbeitung, Vernetzung
Technologien	RFID-Technologie/ Barcode, Devices zum Abrufen der DWSA, DWSA Software, Server, Betriebsdatenerfassung (BDE), Manufacturing Execution System (MES),
Ergänzende GaProSys 4.0-Methoden	RFID-Kanban, Intelligenter Supermarkt
Ergänzende GPS-Methoden	One-Piece-Flow, Kanban

Zielbeitrag	Qualität ●	Kosten ●●●	Zeit ●●●	Flexibilität ●●
Die dynamische Wertstromanalyse ermöglicht die Echtzeit-Abbildung und -Analyse aller Wertströme eines produzierenden Unternehmens. Eine manuelle Erfassung von Zyklus- und Durchlaufzeiten sowie von Beständen entfällt. Ebenso wird die Kalkulation von Produktionskennzahlen automatisiert. Insgesamt wird der Arbeitsaufwand zur Abbildung und Analyse der Wertströme deutlich reduziert. Darüber hinaus werden Engpässe im System automatisch identifiziert und zukünftige Systemzustände vorhergesagt, sodass eine Reduzierung der Durchlaufzeiten herbeigeführt wird. Ein Alarmsystem überwacht die Kennzahlen des Systems und identifiziert Abweichungen, wodurch zeitnah und flexibel auf Veränderungen im Wertstrom reagiert werden kann.				
Aufwand / Kosten				
Anschaffungskosten	mittel (10.000€ - 50.000 €) Ausstattung aller Arbeitsstationen im Wertstrom mit gewählter Identifikationstechnologie (z.B. RFID); Vernetzung von BDE, MES und / oder ERP-System zur Bedarfsermittlung; DWSA Software; Endgeräte zur Visualisierung des Wertstroms, Schnittstellenanbindung zur Software, individuelle Datenvorverarbeitung			
Wartungsaufwand	mittel Physische Wartung und Software-Updates für Endgeräte und Software, Aktualisierung von Kennzahlen bei Prozessänderungen im Wertstrom, Aktualisierung von Plandaten			



Datenanalyse zur Bestimmung und Visualisierung der Systemstabilität, Kalkulation der Systemzustände (Bottlenecks, Materialengpässe etc.)

5. Alarmsystem – Vergleich von Soll- und Ist-Zustand, Vorhersage von Bottlenecks, Identifizierung von Variabilitätszunahmen und Stabilitätsverlusten
6. Ursachenanalyse und Ableiten von Maßnahmen – Identifizierung der Ursache durch tieferen Einblick in die Prozessdaten, Ableitung von Gegenmaßnahmen (z.B. Optimierung der Rüstreihenfolge, Verbesserung des Pufferdesigns, Änderung des Produktrouting)
7. Umsetzung der Maßnahmen – Einleitung der Maßnahmen zur Prozessverbesserung, Kontrolle und Überwachung des Maßnahmenerfolgs durch Prozesskennzahlen der DWSA

Verbesserung zur klassischen Wertstromanalyse:

- Echtzeitnahe Abbildung der Wertströme mit aktuellen Beständen, Zykluszeiten, Durchlaufzeiten, Systemzuständen etc.
- Eliminierung des Aufwands zur Aufnahme des Ist-Zustandes
- Schnelle Anpassungsfähigkeit der Wertstromanalyse bei Prozessveränderungen
- Abbildung der Systemvariabilität und -stabilität
- Nutzung von Optimierungsmodellen zur Unterstützung bei der Prozessoptimierung
- Individualisierbare Anwendungen nach Bedarf (Software-as-a-Service)
- Anwenderspezifische Ansicht
- Automatische Vorhersage von Bottlenecks und Materialengpässen

Einführung

Einführungsdauer	kurzfristig (bis 6 Monate)
Kompetenz zur Konfiguration und Einführung	▪ Grundkenntnisse zum Ausrüsten der Arbeitsstationen und Produkte mit einer geeigneten Identifikationstechnologie (z.B. RFID, Scanner und Barcodes) ▪ Kenntnisse im Bereich IT-Schnittstellenmanagement ▪ Kenntnisse von Produktionssystemen/Statistischer Kennzahlen, Lean Methoden
Anforderungen an die IT-Infrastruktur	▪ Digitale Identifizierbarkeit aller Produkte im Wertstrom ▪ Vernetzung von BDE, MES und DWSA ▪ Anbindung aller Arbeitsstationen an die DWSA
Auswirkungen auf den Datenschutz	Ggf. Speicherung der Daten auf Servern von Dienstleistern oder Cloudanbietern
Anwendergruppe	▪ Operative Mitarbeiter in der Produktion und Logistik ▪ Operatives Management ▪ Mitarbeiter in der Produktions- und Logistikplanung ▪ Operation Excellence, Wertstromplaner
Kompetenz zur Methodenanwendung	▪ Kompetenz zur Verwaltung bestehender und neu zu definierender Kennzahlen ▪ Kompetenz zur Aktualisierung des Wertstroms, bei auftretender Prozessänderung

	▪ Kompetenz Kennzahlen zu lesen, zu verstehen und zu interpretieren ▪ Grundverständnis Produktionssysteme und Lean Methoden
Wirkung in Unternehmensprozessen	
Fertigung	▪ Schnellere Reaktionsfähigkeit auf Engstellen oder Materialengpässe zu reagieren ▪ Identifizierung von Problemen/Abweichungen ▪ Steigerung der Transparenz
Montage	▪ Schnellere Reaktionsfähigkeit auf Engstellen oder Materialengpässe zu reagieren ▪ Identifizierung von Problemen/Abweichungen ▪ Steigerung der Transparenz
Planung	▪ Reduzierung des Mitarbeiteraufwands zur Abbildung der Wertströme ▪ Steigerung der Transparenz ▪ Vereinfachte Aktualisierung von Wertströmen bei auftretenden Prozessänderungen ▪ Kontrolle und Überwachung von KVP-Maßnahmen
Instandhaltung	▪ Abschätzung der Auswirkungen von Instandhaltungsmaßnahmen ▪ Präskriptive Instandhaltung
Qualitätsmanagement	▪ Implementierung von Qualitätskennzahlen, wie OEE ▪ Rückverfolgung von Qualitätsproblemen
Logistik	▪ Schnellere Reaktionsfähigkeit auf Engstellen oder Materialengpässe ▪ Transparenz über Abruffrequenzen und Materialflüsse ▪ Dynamische Festlegung von Bestand-Soll-Werten innerhalb des Wertstroms
Potenziale und Risiken	
Potenziale	▪ Reduzierung des Mitarbeiteraufwands zur Abbildung von Wertströmen ▪ Automatische Identifikation von Engstellen und Materialengpässen ▪ Einfache Überwachung von Kennzahlen ▪ Flexibilität im Umgang mit Prozessveränderungen ▪ Abbildung des Wertstroms in Echtzeit ▪ Ermöglichung von Impact-Analysen im Wertstrom
Risiken	▪ Störanfälligkeit verwendeter Hardware (z.B. Ausfall des RFID-Systems) ▪ Verbindung zum Datenmanagementsystems muss gewährleistet sein
Literatur	
VDI-Richtlinie VDI 2870 /Blatt 2 (2013): Ganzheitliche Produktionssysteme. ISO-Norm 22468 (2020): Value stream management (VSM)	

Erlach, K. (2010): Wertstrommanagement – Der Weg zur schlanken Fabrik

Rother, M.; Shook, J. (2015): Sehen lernen. Mit Wertstromdesign die Wertschöpfung erhöhen und Verschwendung beseitigen

Roser, C.; Lorentzen, K.; Deuse, J. Reliable shop floor bottleneck detection for flow lines through process and inventory observations: the bottleneck walk. Logist. Res. 8, 7 (2015).

Deuse, J.; Lenze, D.; Klenner, F.; Friedrich T. (2016): Manufacturing Data Analytics zur Identifikation dynamischer Engpässe in Produktionssystemen mit hoher wertschöpfender Variabilität

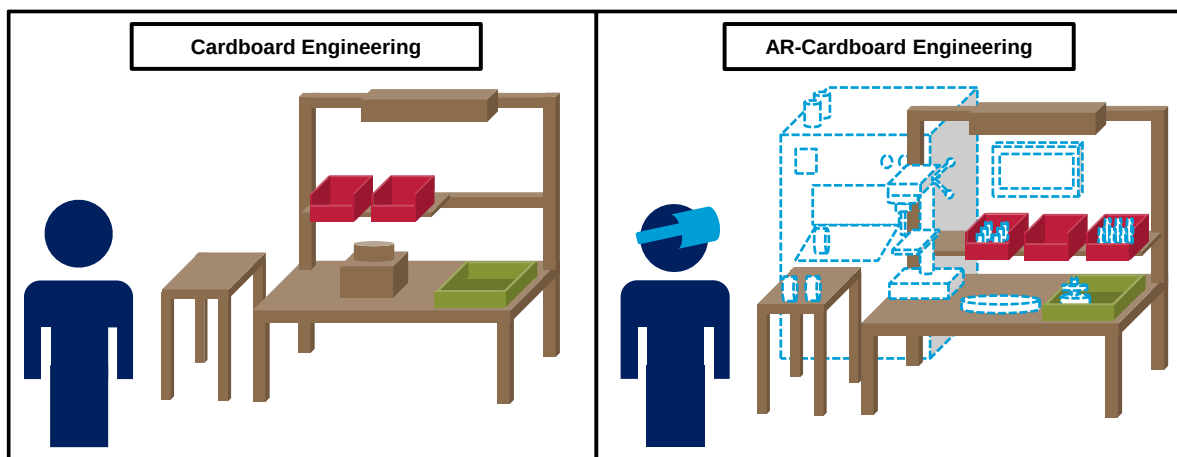
Konrad, B.; Wiegand, M.; Sousanabadi, R.; Willats, P. & Deuse, J. (2014). Quantifizierung von Variabilität durch Big Data Technologien. Productivity Management. 19. 35-38.

Tomidei, L.; Sick, N.; Guertler, M.; Schallow, J.; Lenze, D.; Deuse, J. (2020). Dynamic value stream analysis - How Industry 4.0 can help us to learn to see better. PICMET Conference 2020.

Tabelle 10-13: GaProSys 4.0-Methode „AR-Cardboard Engineering“

Bezeichnung	Augmented Reality (AR)-Cardboard Engineering
GPS-Methode	Cardboard Engineering
Industrie 4.0-Funktionen	Identifikation, Visualisierung, Vernetzung, Simulation
Technologien	AR-Brille, Mobile Endgeräte
Ergänzende GaProSys 4.0-Methoden	Prozessstandardisierung 4.0
Ergänzende GPS-Methoden	Methodenplanung, Poka Yoke, Schnellrüsten

Zielbeitrag	Qualität ●●●	Kosten ●	Zeit ●●	Flexibilität ●●●
Das AR-Cardboard Engineering steigert die Planungsqualität von Arbeitssystemen, indem komplexe, nicht durch Cardboard nachbildbare Objekte virtuell in das Arbeitssystem projiziert werden. Da besonders komplexe Objekte wie Maschinen und Vorrichtungen aus dem Engineering digital dargestellt werden können, reduziert sich der Zeitaufwand zur Planung und dem physischen Nachbau von Arbeitssystemen. Der Einsatz der AR-Technologie fördert zudem die Flexibilität, da digital erstellte Objekte einfach verwaltet und jederzeit wiederverwendet und neue Arbeitssysteme somit schneller und einfacher simuliert werden können.				
Aufwand / Kosten				
Anschaffungskosten	Mittel (10.000 € bis 50.000€) AR-Technologie, Software-Lizenz			
Wartungsaufwand	Gering Wartung der AR-Brille bzw. der mobilen Endgeräte Anpassung bereits digital erstellter Objekte			
Kurzbeschreibung				

*Abbildung 1: Gegenüberstellung der konventionellen Methode und des AR-Cardboard Engineerings*

Das AR-Cardboard Engineering nutzt AR-Technologie zur physischen und virtuellen Simulation von Arbeitssystemen, um deren Gestaltung und Bewertung zu unterstützen. Das grundlegende Arbeitssystem wird aus Standardelementen, wie z.B. Arbeitstischen aus Aluminium-Profilen oder Kunststoffboxen, nachgebaut, die eine hohe Wiederverwendbarkeit aufweisen. Dadurch wird der

Bezug zu bekannten, realen Komponenten für die Mitarbeiter gesteigert. Komplexere Bestandteile, wie z.B. Maschinen oder Werkzeuge, werden digital abgebildet und können über eine AR-Brille oder ein mobiles Endgerät in das Arbeitssystem projiziert werden. Die erforderlichen Informationen werden aus dem Engineering oder von Zulieferern beschafft. Ergänzend werden virtuelle Modelle des in dem Arbeitssystem zu fertigenden Produkts visualisiert. So können bspw. Montageprozesse ohne physische Demonstratoren getestet werden. Neben dem tatsächlichen Arbeitssystem können weitere Systeminformationen (z. B. Anlieferfrequenzen, Bestände und Arbeitsanweisungen) visualisiert werden. Der Einsatz einer zusätzlichen Simulationssoftware erlaubt es, verschiedene nicht-statische Prozesse zu simulieren, wie z.B. Materialanlieferungen oder Produktionsprozesse. <i>Verbesserung zum Cardboard Engineering:</i> ▪ Höherer Detaillierungsgrad des abgebildeten Arbeitssystems ▪ Physisches Durchspielen von Produktionsprozessen möglich ▪ (Teil-)automatisierte Prozesse lassen sich simulieren ▪ Integration von virtuellen Produktdaten aus dem Engineering ▪ Wiederverwendbarkeit digital erstellter und gespeicherter Objekte ▪ Reduzierter Platzbedarf bzw. Ortsunabhängigkeit ▪ Darstellung zusätzlicher Informationen möglich	
Einführung	
Einführungsdauer	mittelfristig (6 bis 12 Monate)
Kompetenz zur Konfiguration und Einführung	▪ Methodenkenntnis des Cardboard Engineerings sowie weiterer GPS-Methoden (z.B. Methodenplanung) ▪ CAD- bzw. Software-Kenntnisse zur Erstellung digitaler Objekte ▪ Aufgeschlossenheit gegenüber der AR-Technologie
Anforderungen an die IT-Infrastruktur	▪ Datenbank zur Speicherung der digitalen Objekte sowie der verknüpften Codes (z.B. Barcodes)
Auswirkungen auf den Datenschutz	Ggf. Speicherung der Daten auf Servern von Dienstleistern
Anwendergruppe	Operative Mitarbeiter in der Fertigung und Montage, Fertigungs-/Produktionsplaner, Shopfloor-nahes Management
Kompetenz zur Methodenanwendung	▪ Bedienung der AR-Brille bzw. der mobilen Endgeräte ▪ Kenntnisse der Methode Cardboard Engineering
Wirkung in Unternehmensprozessen	
Fertigung	▪ Aktives Einbringen in den Planungsprozess
Montage	▪ Aktives Einbringen in den Planungsprozess
Planung	▪ Detaillierter Planungsgrad ▪ Simulation verschiedener Gestaltungsmöglichkeiten
Instandhaltung	-
Qualitätsmanagement	-
Logistik	▪ Darstellungsmöglichkeit und Berücksichtigung von Logistikprozessen bei der Arbeitssystemplanung
Potenziale und Risiken	
Potenziale	▪ Kreativitätsförderung bei der Planung von Arbeitssystemen

	▪ Abbildung von Prozessinformationen bei der Arbeitssystemgestaltung ▪ Ortsungebundenheit der Methode ▪ Darstellbarkeit komplexer Arbeitssysteme und Produkte in frühen Planungsphasen ▪ Hoher Detaillierungsgrad
Risiken	▪ Aufwand-/ Nutzen-Verhältnis der virtuellen Abbildung bei einfachen Arbeitssystemen ▪ Initialaufwand der Einführung ▪ Vorbehalte gegenüber neuer Technologien
Literatur	
VDI-Richtlinie VDI 2870 /Blatt 2 (2013): Ganzheitliche Produktionssysteme. Bansmann M. et al. (2019) Arbeitsplatzplanung mit Augmented Reality und ein Dienstleistungssystem im Konformitätsmanagement als Anwendungsszenarien in der industriellen Praxis. In: Bosse C., Zink K. (eds) Arbeit 4.0 im Mittelstand. Springer Gabler, Berlin, Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-662-59474-2_12 Bansmann M., Harting K. (2018) Mixed-Mock-Up: Mit Augmented Reality Arbeitsplätze virtuell entwickeln. https://www.elektronikpraxis.vogel.de/mixed-mock-up-mit-augmented-reality-arbeitsplaetze-virtuell-entwickeln-a-704032/ Dyck F., Stöcklein J., Eckertz D. und Dumitrescu R. (2020) Mixed Mock-up – Development of an Interactive Augmented Reality System for Assembly Planning. In: Chen J. und Fragomeni G.: Virtual, Augmented and Mixed Reality Industrial and Everyday Life Applications. Lecture Notes in Computer Science. Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-030-49698-2	