
Karlsruher Institut für Technologie

Kriegsstraße 77

Institut für Informationsmanagement im Ingenieurwesen

76133 Karlsruhe

Prof. Dr. Dr.-Ing. Dr. h.c. Jivka Ovtcharova

Telefon (0721) 608-42984

Telefax (0721) 608-43984

E-Mail info@imi.kit.edu

and. mach. Jakob Matthias Bönsch
Matr.-Nr. 1677892

**Analyse der Anwendung der Subjekt-Orientierung in der Produktionsplanung
hinsichtlich der Herausforderungen von Industrie 4.0**

Masterarbeit

Betreuerin: Prof. Dr. Dr.-Ing. Dr. h.c. Jivka Ovtcharova

Mitbetreuender
wiss. Mitarbeiter: Dr.-Ing. Dipl.-Wi.-Ing. Matthes Elstermann

Karlsruhe, den 31.5.2020

Danksagung

Diese Arbeit ist zu großen Teilen in den Zeiten der COVID-19-Pandemie entstanden. Vieles, das ich bisher in meinem Leben als selbstverständlich erachtet habe, wird nun (zumindest für eine begrenzte Zeit) in Frage gestellt. Worauf ich mich immer verlassen habe, ist nicht mehr so sicher. Was *normal* ist wird jeden Tag ein bisschen neu definiert. Deswegen gilt mein erster und größter Dank dem, was ich all zu oft als selbstverständlich abtue.

✚

Anita

Rita und Christof

Gereon, Cordula, Johannes

Danke!

Außerdem gilt ein besonderer Dank dir Matthes, der du mich in die Welt der Subjektorientierung eingeführt hast. Dieses Beschreibungsparadigma ist für mich über die letzten Monate immer mehr zu meinem Denkmodell geworden und wird mich sicherlich auch in der Zukunft noch lange begleiten.

Zudem möchte ich allen meinen Weggefährten, die mich durch meine Studienzzeit begleitet haben, danken. Vor allem denke ich dabei an die KHG in der ich nicht nur *wohnhaf*t geworden bin, sondern auch eine *Heimat* gefunden habe. Last but not least: Martin. Ohne dich hätte ich wahrscheinlich nie das Bachelorstudium abgeschlossen und wäre jetzt sicherlich nicht in dieser Situation.

Kurzfassung

Mit dieser Arbeit werden die Einsatzmöglichkeiten des Denkmodells der Subjektorientierung im Kontext der Produktionsplanung und -steuerung (PPS) von Industrieunternehmen analysiert. Dabei sind zwei unterschiedliche Einsatzgebiete Teil der Untersuchung. Einerseits kann die Subjektorientierung als Beschreibungsparadigma zur Betrachtung der PPS selbst dienen. Dazu werden, in Anlehnung an das Aachener PPS-Modell, mit der subjektorientierten Prozessbeschreibungssprache PASS, Referenzprozessmodelle für idealtypische PPS-Abläufe erstellt. Andererseits wird Subjektorientierung auch als Werkzeug, das im Rahmen der PPS-Tätigkeiten selbst eingesetzt werden kann, untersucht. Hierfür werden mit PASS formal subjektorientierte Modelle von Fertigungssteuerungsverfahren erstellt. Außerdem wird eine Methodik zur Durchführung subjektorientierter Wertstromanalysen präsentiert, die durch eine eigens dafür entwickelte Erweiterung zu PASS unterstützt wird. Anhand dieser subjektorientierten Modelle wird das Beschreibungsparadigma auf seine Eignung zur Unterstützung der PPS, insbesondere in Bezug auf die Herausforderungen der Industrie 4.0, untersucht. Dabei ist festgestellt worden, dass subjektorientiertes Denken in der Produktionsplanung weit verbreitet ist. Meistens ist das nur unbewusst der Fall und subjektorientiert gedachte Konzepte werden in prozedurale Ausdrucksweisen gezwängt. Wenn sich das Denkmodell der Subjektorientierung aber bewusst zu eigen gemacht wird, ergeben sich daraus große Potentiale für die moderne PPS im Zeitalter von Industrie 4.0, z.B. hinsichtlich betrieblichen Wissensmanagements, Ausführbarkeit und Echtzeitfähigkeit.

Abstract

This thesis analyzes the subject-oriented school of thought and how to employ it for the production planning and control (PPC) of industrial companies. Two different types of application are discussed. Firstly, subject-orientation may be used as a description paradigm for PPC itself. Therefore, with regard to the Aachen PPC-model, reference process models for ideal-typical PPC procedures are created with the subject-oriented modelling language PASS. Secondly, subject-orientation is assessed as a tool that can be used within PPC activities themselves. Here, different production control methods are modelled in a formally subject-oriented manner using PASS. Moreover, a methodology to conduct subject-oriented value stream analyses is devised. Also, to better fit the requirements of value stream analyses, an extension to PASS modelling has been developed. Based on these subject-oriented models, the applicability of the description paradigm, especially regarding challenges of Industry 4.0, is assessed. Subject-oriented thinking has been found to already be widely used in production planning. In most cases however, this happens only on an unconscious level and subject-oriented concepts are being forced into procedural modes of expression. Fully embracing the paradigm of subject-orientation, however, results in great potential for modern PPC in the age of Industry 4.0, e.g. in context of operational knowledge management, executability and real-time capability.

Masterarbeit

Thema: Analyse der Anwendung der Subjekt-Orientierung in der Produktionsplanung hinsichtlich der Herausforderungen von Industrie 4.0

Ausgangssituation:

Produzierende Unternehmen stehen vor der Herausforderung den aktuellen Megatrends zu begegnen und sich mit neuen Anforderungen auseinanderzusetzen. Die Industrie 4.0 bzw. die neue Welle der Digitalisierung bieten dabei große Potentiale um für die immer neuen Aufgaben in einer volatilen, ungewissen, komplexen und mehrdeutigen (VUCA) Umgebung gewappnet zu sein. Gerade in der Produktionsplanung und Steuerung (PPS) führt dies zu immer komplexeren Problemstellungen und damit auch komplexeren Beschreibungen bzw. Modellierungen von Problemen und dazugehörigen Lösungen.

Das Subjektorientierte Geschäftsprozessmanagement (S-BPM) bzw. das Beschreibungsparadigma der Subjekt-Orientierung (SO) ist ein Werkzeug, mit dem komplexe Probleme analysiert und übersichtlich dargestellt werden können. Dabei stehen die Akteure und deren Interaktion im Mittelpunkt der Betrachtung von Prozessen und Abläufen. Dadurch bietet SO Potentiale zur Vereinfachung von Geschäftsprozessmodellen und kann mit dem formal ausführbaren Parallel Activity Specification Schema (PASS) auf eine geeignete Modellierungsumgebung zurückgreifen. Ziel gelungener PPS ist die Optimierung von Parameter wie Zeit, Kosten und Qualität nach den Unternehmenszielen. Um dabei der VUCA-Welt gerecht zu werden, ist das Bewahren von Flexibilität in der Produktion essenziell.

Zielsetzung/Fragestellung:

Das Ziel der Arbeit besteht darin zu Prüfen ob eine Abbildung des soziotechnischen Arbeitssystems und dessen relevanten Faktoren der PPS mit dem SO Ansatz neue Blickwinkel oder Potentiale für typische Fragestellungen in der PPS bringen kann. (z.B. U.a. durch die Möglichkeit sowohl horizontale als auch vertikale Integrationen darzustellen bzw. diese Denkweisen ggf. obsolet zu machen).

Diese Betrachtung soll einmal allgemein zum Thema PPS erfolgen, aber auch ggf. auf einzelne etablierte Methoden und Werkzeuge der PPS (z.B. Wertstromanalyse) angewandt werden (**SO als Werkzeug zur Betrachtung der PPS vs. SO als Werkzeug in der PPS**).

Es gilt folgende Hypothesen zu prüfen:

1. SO in der PPS bietet Vorteile hinsichtlich der Nutzung insbesondere im Kontext der Industrie 4.0.
2. SO in der PPS bietet Vorteile hinsichtlich der Optimierung der Faktoren Zeit, Kosten, Qualität und Flexibilität.
3. SO bietet Vorteile bei der unternehmensinternen Kompetenzsicherung im Zusammenhang der PPS.

Vorgehen:

- Eigenständige Erschließung des aktuellen Forschungsstandes bzw. etablierte Methoden und Verfahren in der Domäne der PPS in Zeiten der Industrie 4.0.
- Erstellen von subjektorientierten Prozessmodellen für gängige PPS Vorgänge und Methoden.
- Untersuchung von Möglichkeiten der Nutzung von SO für die PPS.
- Vergleich von herkömmlicher PPS-Methoden und PPS mit SO hinsichtlich von Industrie 4.0 Potentialen, und der Faktoren Zeit, Kosten, Qualität und Flexibilität.
- Ggfs. soll als Resultat dieser Arbeit ein beispielhaftes S-BPM Werkzeug für die PPS entstehen.

Inhaltsverzeichnis

| | |
|--|-----------|
| Kurzfassung..... | 3 |
| Aufgabenstellung | 5 |
| Inhaltsverzeichnis | 6 |
| Abbildungsverzeichnis | 9 |
| Tabellenverzeichnis..... | 11 |
| Abkürzungsverzeichnis | 12 |
| 1. Einleitung..... | 14 |
| 2. Theoretische Grundlagen..... | 18 |
| 2.1 Produktionsplanung und -steuerung..... | 18 |
| 2.1.1 Einordnung von PPS in Industrieunternehmen | 18 |
| 2.1.2 Das Aachener PPS-Modell..... | 20 |
| 2.1.3 Ziele von PPS | 25 |
| 2.1.4 Aufgaben der PPS..... | 27 |
| 2.1.5 PPS-Methoden und Verfahren | 33 |
| 2.1.6 Wertstrommethode..... | 39 |
| 2.2 Industrie 4.0..... | 41 |
| 2.2.1 Die vier industriellen Revolutionen | 41 |
| 2.2.2 Industrie 4.0 Paradigmen | 44 |
| 2.2.3 Industrie 4.0 Modelle | 49 |
| 2.2.4 Produktionsplanung im Kontext der Industrie 4.0..... | 56 |
| 2.3 Subjektorientierung..... | 59 |
| 2.3.1 Definition von Subjektorientierung..... | 59 |
| 2.3.2 Subjekt-basierte Modellierung | 60 |
| 2.3.3 Subjektorientiertes Geschäftsprozessmanagement | 60 |
| 2.3.4 Subjektorientierung im industriellen Umfeld | 61 |
| 2.4 Zusammenfassung der Ausgangssituation..... | 63 |
| 3. Forschungsmethode..... | 64 |
| 3.1 Methodisches Vorgehen | 64 |
| 3.2 Fragestellung und Hypothesen | 66 |
| 3.2.1 Fragestellung | 66 |
| 3.2.2 Szenario | 68 |
| 3.2.3 Modellierungshypothesen | 71 |
| 3.2.4 Analysehypothesen..... | 72 |

| | | |
|-----------|---|------------|
| 3.3 | PASS – Das Parallel Activities Specification Scheme | 73 |
| 3.3.1 | SID – Das Subjekt-Interaktions-Diagramm..... | 73 |
| 3.3.2 | SBD – Das Subjekt-Verhaltens-Diagramm..... | 75 |
| 3.3.3 | Ausführungslogik von PASS | 78 |
| 3.3.4 | SiSi – Simple Simulation | 80 |
| 4. | Subjektorientierte Modelle der Produktionsplanung | 81 |
| 4.1 | PPS-Prozesse | 81 |
| 4.1.1 | Auftragsabwicklungstypen..... | 82 |
| 4.1.2 | SID des PPS-Referenzprozessmodells..... | 83 |
| 4.1.3 | Netzwerkkonfiguration..... | 85 |
| 4.1.4 | Netzwerkabsatzplanung..... | 87 |
| 4.1.5 | Netzwerkbedarfsplanung..... | 89 |
| 4.1.6 | Produktionsprogrammplanung | 91 |
| 4.1.7 | Produktionsbedarfsplanung..... | 97 |
| 4.1.8 | Eigenfertigungsplanung und -steuerung..... | 99 |
| 4.1.9 | Fremdbezugsplanung und -steuerung..... | 102 |
| 4.2 | Fertigungssteuerungsverfahren | 104 |
| 4.2.1 | Kanban..... | 104 |
| 4.2.2 | CONWIP | 108 |
| 4.2.3 | Polca | 111 |
| 4.3 | Produktionsprozess | 118 |
| 4.3.1 | Grundelemente und SID..... | 118 |
| 4.3.2 | Subjektorientierte Wertstromdarstellung | 121 |
| 4.3.3 | Datengrafiken und Shape-Erweiterungen | 122 |
| 5. | Diskussion der Hypothesen | 124 |
| 5.1 | Hypothese 1: PPS-Prozess | 124 |
| 5.1.1 | Aufbau des SID | 124 |
| 5.1.2 | Veränderungen der SBDs | 128 |
| 5.1.3 | Stärken subjektorientierter PPS-Prozessmodelle..... | 132 |
| 5.1.4 | Schwächen subjektorientierter PPS-Prozessmodelle..... | 134 |
| 5.2 | Hypothese 2: Fertigungssteuerungsverfahren | 135 |
| 5.2.1 | Gründe für die Modellierung von Fertigungssteuerungsverfahren..... | 135 |
| 5.2.2 | Stärken subjektorientierter Fertigungssteuerungsmodelle | 136 |
| 5.2.3 | Schwächen subjektorientierter Fertigungssteuerungsmodelle | 137 |
| 5.2.4 | Exkurs: Polca-Modellierungsproblematik | 138 |
| 5.3 | Hypothese 3: Wertstrommethode | 141 |
| 5.3.1 | Stärken subjektorientierter Wertstromanalyse..... | 141 |
| 5.3.2 | Schwächen subjektorientierter Wertstromanalyse | 143 |

| | | |
|-----------|--|------------|
| 5.4 | Hypothese 4: Subjektorientiertes Denken..... | 146 |
| 5.4.1 | Prozedurales und subjektorientiertes Prozessverständnis | 146 |
| 5.4.2 | Subjektorientiertes Denken bei Fertigungssteuerungsverfahren..... | 148 |
| 5.4.3 | Subjektorientierung im Aachener PPS-Modell | 154 |
| 5.4.4 | Synthese subjektorientierten Denkens in der Produktionsplanung..... | 158 |
| 5.5 | Hypothese 5: Wissensmanagement | 159 |
| 5.5.1 | Wissensaufnahme..... | 160 |
| 5.5.2 | Wissensweitergabe | 161 |
| 5.5.3 | Wissensmanagement in der Produktionsplanung | 161 |
| 5.6 | Hypothese 6: Funktionsableitung..... | 163 |
| 5.7 | Hypothese 7: Industrie 4.0 | 166 |
| 5.7.1 | Vollständige Integration..... | 166 |
| 5.7.2 | Dezentralität | 167 |
| 5.7.3 | Durchgängiges digitales Engineering | 168 |
| 5.7.4 | Cyberphysisches Produktionssystem..... | 169 |
| 5.7.5 | Subjektorientierung im Kontext von Industrie 4.0-Modellen | 169 |
| 5.7.6 | Eignung der Subjektorientierung für Industrie 4.0 | 171 |
| 5.8 | Zusammenfassung der Diskussion..... | 172 |
| 5.8.1 | Risiken-Schwächen..... | 173 |
| 5.8.2 | Risiken-Stärken..... | 173 |
| 5.8.3 | Chancen-Schwächen | 175 |
| 5.8.4 | Chancen-Stärken | 175 |
| 6. | Fazit..... | 177 |
| 7. | Ausblick | 180 |
| | Literaturverzeichnis..... | 184 |
| | Anhang | 192 |
| | Eigenständigkeitserklärung..... | 196 |

Abbildungsverzeichnis

| | |
|---|-----|
| Abbildung 1. Referenzsichten des Aachener PPS-Modells (Schuh 2007, S. 19)..... | 21 |
| Abbildung 2. Die Struktur der Aufgabenreferenzsicht des Aachener PPS-Modells (Schuh 2007, S. 21). | 22 |
| Abbildung 3. Prinzipieller Verlauf der Kernzielgrößen Auslastung, Termintreue, Kosten und Durchlaufzeit (Schuh und Schmidt 2014, S. 22; Nyhuis und Wiendahl 2012, S. 178) | 26 |
| Abbildung 4. Ein Modell der Fertigungssteuerung (Lödding 2016, S. 8). | 32 |
| Abbildung 5. Beispiel für eine klassische VSM..... | 40 |
| Abbildung 6. Die vier industriellen Revolutionen im Überblick (nach DFKI 2011) (wbk - Institut für Produktionstechnik 2019, S. 79) | 42 |
| Abbildung 7. Veränderungen auf dem Absatzmarkt als Treiber für die Entwicklung neuer produktionswirtschaftlicher Konzepte (Kellner et al. 2018, S. 274). | 44 |
| Abbildung 8. Auflösung der hierarchischen Automatisierungspyramide hin zu einem Netz von Diensten (Verein Deutscher Ingenieure e.V. 2013, S. 4)..... | 46 |
| Abbildung 9. Stufen des Industrie 4.0 Entwicklungspfads (Schuh et al. 2017, S. 16). | 50 |
| Abbildung 10. Modellaufbau des acatech Industrie 4.0 Maturity Index (Schuh et al. 2017, S. 19). | 52 |
| Abbildung 11. Das Referenzarchitekturmodell Industrie 4.0 (RAMI 4.0) (ZVEI - Zentralverband Elektrotechnik- und Elektronikindustrie e.V. 2015) | 54 |
| Abbildung 12. Die Hierarchien von Industrie 3.0 und Industrie 4.0 im Vergleich (Salari 2018a, 2018b). | 56 |
| Abbildung 13. Auswirkungen von Industrie 4.0 auf Entscheidungs- und Anpassungsprozesse (Bach et al. 2019, S. 815)..... | 57 |
| Abbildung 14. SID des PPS-Referenzprozessmodells. | 84 |
| Abbildung 15. SBD – Netzwerkkonfigurationsplanung. | 86 |
| Abbildung 16. SBD – Netzwerkabsatzplanung, dezentral und zentral..... | 88 |
| Abbildung 17. SBD – Netzwerkbedarfsplanung..... | 90 |
| Abbildung 18. SBD – Auftragsfertiger- Produktionsprogrammplanung..... | 92 |
| Abbildung 19. SBD – Rahmenauftragsfertiger-Produktionsprogrammplanung..... | 94 |
| Abbildung 20. SBD – Variantenfertiger-/Lagerfertiger-Produktionsprogrammplanung..... | 96 |
| Abbildung 21. SBD – Produktionsbedarfsplanung..... | 98 |
| Abbildung 22. SBD – Eigenfertigungsplanung und -steuerung. | 100 |
| Abbildung 23. SBD – Fremdbezugsplanung und -steuerung. | 102 |

| | |
|--|-----|
| Abbildung 24. Kanban-Steuerung – SID. | 105 |
| Abbildung 25. Kanban-Steuerung – SBD. | 107 |
| Abbildung 26. CONWIP-Steuerung subjektorientiert gedacht. | 109 |
| Abbildung 27. Polca-Steuerung – Reduziertes SID. | 112 |
| Abbildung 28. Polca-Steuerung – Vollständiges SID. | 113 |
| Abbildung 29. Polca-Steuerung – SBD – Ausführungseinheit der Fertigungsinsel. | 114 |
| Abbildung 30. Polca-Steuerung – SBD – Organisationseinheit der Fertigungsinsel. | 115 |
| Abbildung 31. Subjektorientierte VSM – SID. | 121 |
| Abbildung 32. Subjektorientierte VSM – Datengrafiken. | 123 |
| Abbildung 33. Subjektorientierte VSM – Summary-Shape. | 123 |
| Abbildung 34. Reduziertes SID des PPS-Referenzprozessmodells. | 125 |
| Abbildung 35. Ausschnitt des Aachener PPS-Modells (Schuh 2007, S. 146) und das subjektorientierte Pendant in PASS. | 131 |
| Abbildung 36. Linearer Ansatz zur Beschreibung der Polca-Steuerung. | 139 |
| Abbildung 37. Beispiel für die Funktionsweise der CONWIP-Steuerung (Lödding 2016, S. 377). | 150 |
| Abbildung 38. Beispiel für die Funktionsweise der Kanban-Steuerung (Lödding 2016, S. 218). | 152 |
| Abbildung 39. Beispiel für die Funktionsweise der Polca-Steuerung (Lödding 2016, S. 471). | 153 |
| Abbildung 40. Schematischer Programmablaufplan der PPS-Prozesse des Lagerfertigers (Schuh 2007, S. 183). | 157 |

Tabellenverzeichnis

| | |
|---|-----|
| Tabelle 1: Liste von Auftragserzeugungsverfahren (Lödding 2016, S. 176) | 35 |
| Tabelle 2: Liste von Auftragsfreigabeverfahren (Lödding 2016, S. 354) | 37 |
| Tabelle 3: Elemente eines SIDs | 74 |
| Tabelle 4: Elemente eines SBDs | 76 |
| Tabelle 5: SWOT-Matrix subjektorientierter Produktionsplanung in Industrie 4.0...172 | |
| Tabelle 6: Idealtypische Charakterisierung des Auftragsfertigers..... | 192 |
| Tabelle 7: Idealtypische Charakterisierung des Rahmenauftragsfertigers..... | 193 |
| Tabelle 8: Idealtypische Charakterisierung des Variantenfertigers..... | 194 |
| Tabelle 9: Idealtypische Charakterisierung des Lagerfertigers..... | 195 |

Abkürzungsverzeichnis

| | | |
|-------|---|--|
| ALPS | - | Abstract Layered PASS |
| AS | - | Arbeitssystem |
| FI | - | Fertigungsinsel |
| IoT | - | Internet der Dinge (Internet of Things) |
| IoTS | - | Internet der Dinge und Dienste (Internet of Things and Services) |
| PASS | - | Parallel Activity Specification Scheme |
| PPS | - | Produktionsplanung und -steuerung |
| SBD | - | Subjektverhaltensdiagramm (Subject Behavior Diagram) |
| SID | - | Subjektinteraktionsdiagramm (Subject Interaction Diagram) |
| SiSi | - | Simple Simulation |
| SO | - | Subjektorientierung |
| S-BPM | - | Subjektorientiertes Geschäftsprozessmanagement (Subject-Oriented Business Process Management) |
| VSM | - | Value Stream Map |

„All models are wrong. Some models are useful.”

William Edwards Deming

1. Einleitung

Volatil, ungewiss, komplex, und mehrdeutig – oder kurz als VUCA-Welt¹ – so wird immer öfter unsere aktuelle Lebenswirklichkeit beschrieben. Unterschiedliche globale Megatrends treiben dabei beständig Veränderungen voran. Outsourcing der Produktion nach Fernost, neue Geschäftsmodelle und digitale Dienstleistungen – der Einsatz moderner Technologien beschleunigt den Wandel der gesellschaftlichen Strukturlandschaft. Aktuell geht mit dem Übertritt in das Zeitalter von Industrie 4.0 eine Rückbesinnung auf die Bedeutung der Industrie für die gesamtwirtschaftliche Lage in Deutschland einher. Dieser Paradigmenwechsel bringt große Potentiale, aber auch vielfältige Herausforderungen mit sich. Dabei betreffen die Veränderungen durch Industrie 4.0 alle Bereiche eines Unternehmens, angefangen bei den Produktionsprozessen, über die indirekten Unternehmensbereiche, bis hin zur Unternehmenskultur. Im Kontext der damit einhergehenden zunehmenden Automatisierung und immer weiter verflochtenen Produktionsnetzwerken steigt die Bedeutung der Organisation des gesamten Produktionssystems und der innerbetrieblichen Abläufe. Schon William Edwards Deming soll diesbezüglich gesagt haben: „Eighty-five percent of the reasons for failure are deficiencies in the systems and process rather than the employee. The role of management is to change the process rather than badgering individuals to do better.“

In Industrieunternehmen werden häufig zwei Bereiche unterschieden, deren Abläufe es zu organisieren gilt. Auf der einen Seite sind das die tatsächlich wertschöpfenden Prozesse, die auch als Produktionsprozesse bezeichnet werden. Auf der anderen Seite stehen unterstützende Prozesse, die auch Geschäftsprozesse genannt werden. Alle Abläufe in einem Unternehmen, die keiner dieser beiden Prozessarten zugeordnet werden können, sind Verschwendung und sollten vermieden werden. Peter Drucker, einer der Begründer der modernen Managementlehre, drückt das wie folgt aus: „There is surely nothing quite so useless as doing with great efficiency what should not be done at all.“ (Drucker 1963)

¹ Akronym aus dem Englischen von volatile, uncertain, complex, und ambiguous.

Es ist für jedes Unternehmen von großer Bedeutung sich auf die Tätigkeiten zu fokussieren, die mit den Unternehmenszielen im Einklang stehen, um auf dem Markt bestehen zu können. Für diese Entscheidungen ist es notwendig, die Abläufe im eigenen Unternehmen zunächst zu beschreiben.² Darüber hinaus ist eine Prozessbeschreibung auch von Nöten, um, wenn einmal die effektiven Aktivitäten bestimmt wurden, die Effizienz dieser Tätigkeitsfolgen zu erhöhen. Erst durch die Prozessbeschreibung kann ein Prozessverständnis erlangt werden, das es ermöglicht einen Prozess zielgerichtet zu beeinflussen oder sogar erfolgreich ganz neu zu gestalten. Zusätzlich bietet dies die nötige Basis für die Kommunikation über die betrieblichen Abläufe eines Unternehmens. Gerade in Anbetracht von Industrie 4.0, bei steigender Komplexität der Abläufe und einem vermehrten Austausch über die Grenzen einer Abteilung hinweg, ist dies ein sehr wichtiger Aspekt. Dies wird noch dadurch verstärkt, dass Industrie 4.0 zwar als Schlagwort in aller Munde ist, aber der Begriff oft unterschiedlich verstanden wird. In Kombination mit mangelndem Verständnis der damit verbundenen Technologien ist es umso wichtiger sich in der Kommunikation über Prozesse klar auszudrücken.

Eine moderne Möglichkeit Abläufe übersichtlich darzustellen ist durch das Beschreibungsparadigma der Subjektorientierung gegeben. Bei dieser Art der Prozessbeschreibung wird die aktive Entität, das Subjekt, in den Mittelpunkt der Beschreibung gestellt. Damit entspricht die subjektorientierte Syntax dem Aufbau der meisten natürlichen Sprachen. Dies bietet Potentiale, die Kommunikation über Prozesse zu erleichtern, ein größeres Prozessverständnis zu erlangen, und bessere Prozessmodelle zu erstellen. Vor allem im Kontext des eng mit der Subjektorientierung an sich verbundenen Subjektorientierten Geschäftsprozessmanagements werden diese Potentiale in verschiedenen Einsatzgebieten genutzt.

Albert Fleischmann, der Begründer des Forschungsgebietes der Subjektorientierung, hat 2018 folgende These aufgestellt: „In Industry 4.0, production processes have to be combined with business processes.“ (Fleischmann 2018, S. 3) Das Bindeglied zwischen diesen beiden Bereichen bildet die Produktionsplanung und -

² William Edwards Deming wird diesbezüglich auch folgendes Zitat zugeschrieben: „If you can't describe what you are doing as a process, you don't know what you're doing.“

steuerung (PPS). Dieses Tätigkeitsfeld hat seit der Einführung der Arbeitsteilung zunehmend an Bedeutung gewonnen. Die grundsätzliche Aufgabe der PPS wird dabei schon von Frederick Winslow Taylor im Jahr 1911 beschrieben:

Perhaps the most prominent single element in modern scientific management is the task idea. The work of every workman is fully planned out by the management at least one day in advance, and each man receives in most cases complete written instructions, describing in detail the task which he is to accomplish, as well as the means to be used in doing the work. And the work planned in advance in this way constitutes a task which is to be solved, as explained above, not by the workman alone, but in almost all cases by the joint effort of the workman and the management. This task specifies not only what is to be done but how it is to be done and the exact time allowed for doing it. (Taylor 2003, S. 39)

Auch wenn Taylor das Beschreibungsobjekt *task* und nicht Prozess nennt, wird deutlich, dass eine ausführliche Hergangsbeschreibung im Kern der Planungsaktivitäten steht. Über die letzten einhundert Jahre und durch eine weitreichende Mechanisierung, Elektrifizierung, Computerisierung, und Automatisierung hat sich auch der Inhalt der Produktionsplanung etwas verschoben. Für die Industrie 4.0 müssen im Zuge der Produktionsplanung aber immer noch das sozio-technische Arbeitssystem und die Arbeitsaufgaben beschrieben werden. Die Abläufe müssen jetzt aber nicht nur vom Menschen, sondern, zumindest zu einem Teil, auch von Maschinen richtig interpretiert werden. Die Erfüllung der Arbeitsaufgabe ist zu Zeiten Taylors und der Industrie 4.0 in dem Zusammenspiel von Management und Produktionstätigkeiten begründet, das durch die Produktionsplanung organisiert wird. Hierbei steigt die Bedeutung der PPS mit der Komplexität der Planungsaufgabe.

Bislang ist die Forschung zum Einsatz von subjektorientierter Prozessbeschreibung in der Produktionsplanung sehr begrenzt. Wegen der besonderen Eignung der Subjektorientierung, die Kommunikation bzw. Interaktion verschiedener Entitäten darzustellen, soll im Rahmen dieser Arbeit untersucht werden, wie und in welchem Umfang dieses Beschreibungsparadigma im Kontext der Produktionsplanung eingesetzt werden kann. Es werden dabei zwei Anwendungsmöglichkeiten unterschieden. So wird zunächst untersucht, inwieweit ein subjektorientierter Ansatz genutzt werden kann, um die Produktionsplanungsprozesse selbst zu beschreiben. Außerdem wird betrachtet, ob und in welcher Weise subjektorientierte Ansätze inner-

halb der Produktionsplanung eingesetzt werden können. Alle in diesem Zusammenhang entwickelten Prozessbeschreibungen dienen als Referenzprozessmodelle und sollen mögliche Einsatzgebiete abstecken und die Eignung des Einsatzes der Subjektorientierung in dem gegebenen Kontext analysieren. Die dargestellten Modelle sind aber keinesfalls als tatsächliche Umsetzung oder Basis zur Implementierung zu verstehen.

In Kapitel 2 folgt eine ausführliche Darstellung der Themenkomplexe *Produktionsplanung und -steuerung* und *Industrie 4.0*. Ersteres dient dazu, diese Arbeit einordnen zu können und die später vorgestellten Konzepte zu verstehen. Zweiteres sorgt für ein gemeinsames Verständnis des Begriffs Industrie 4.0 und der damit verbundenen Elemente. Außerdem werden in diesem Kapitel die Grundlagen des subjektorientierten Denkmodells dargelegt, das die Basis für diese Arbeit bildet. In Kapitel 3 wird die im Rahmen dieser Arbeit genutzte Methodik beschrieben. Auf dieser Basis wird dann die Fragestellung konkretisiert und daraus Hypothesen, die im Weiteren näher betrachtet werden sollen, abgeleitet. Diese Hypothesen sind Abschnitt 3.2.3 und 3.2.4 zu entnehmen. Abschließend wird dann das zur Betrachtung dieser Hypothesen verwendete Modellierungswerkzeug vorgestellt. Die für die folgende Diskussion relevanten subjektorientierten Modelle sind in Kapitel 4 abgebildet und beschrieben. Hier wird in Abschnitt 4.3 auch auf ein Werkzeug für die subjektorientierte Wertstromanalyse eingegangen, das im Zusammenhang mit dieser Arbeit entwickelt und auch gesondert publiziert wurde. In Abschnitt 5.1, 5.2 und 5.3 werden die zuvor beschriebenen Modelle diskutiert. Auf der Basis dieser Auseinandersetzung werden in den Abschnitten 5.4, 5.5, 5.6 und 5.7 die weiteren Hypothesen untersucht. Abschließend werden die wichtigsten Erkenntnisse der Diskussion zueinander in Relation gestellt und zusammenfassend in Abschnitt 5.7.6 beschrieben. In Kapitel 6 werden die Ergebnisse dieser Arbeit noch einmal zusammengestellt und eingeordnet. Anschließend werden in Kapitel 7 noch Grenzen der Betrachtung aufgezeigt und ein Ausblick gegeben, welche Bereiche es noch weiterführend zu untersuchen gilt, aber auch wo die Ergebnisse dieser Arbeit schon jetzt Anwendung finden können.

2. Theoretische Grundlagen

Dieses Kapitel dient dazu den Kontext dieser Arbeit darzustellen. Es wird deswegen zunächst auf das Thema Produktionsplanung und -steuerung, deren Aufgaben und Ziele eingegangen, und einschlägige Produktionsplanungsmethoden werden vorgestellt. Danach wird der Themenkomplex Industrie 4.0 näher betrachtet und die daraus resultierenden Herausforderungen mit der Produktionsplanung in Zusammenhang gebracht. Es folgt eine Einführung in das Modellierungsparadigma und die Gedankenwelt der Subjektorientierung, bevor zuletzt die aus der theoretischen Auseinandersetzung mit diesen Themenfeldern folgende Fragestellung herausgestellt wird.

2.1 Produktionsplanung und -steuerung

In diesem Abschnitt wird zunächst die Produktionsplanung und -steuerung (PPS)³ im Gesamtkontext eines Unternehmensumfeldes verortet. Danach wird das weithin verbreitete Aachener PPS-Modell vorgestellt, an dem sich im Rahmen dieser Arbeit orientiert werden soll, bevor in Abschnitt 2.1.5 gängige PPS-Methoden vorgestellt und beschrieben werden. Abschließend wird noch auf die Wertstrommethode eingegangen.

2.1.1 Einordnung von PPS in Industrieunternehmen

Produktion bedeutet die Transformation von einem Input, den Produktionsfaktoren, zu einem Output, dem Produkt. Dieser Transformationsprozess findet in einem Produktionssystem statt und ist beeinflussbar (Tiedtke 2007; Dangelmaier 2009; Schuh und Schmidt 2014). Die Art dieser Beeinflussung von Produktion im unternehmerischen Umfeld wird durch das Produktionsmanagement festgesetzt. Die Aufgabe des Produktionsmanagements besteht dabei darin die Transformationsprozesse nach

³ Es gilt zwischen dem unternehmerischen Aufgabenbereich der PPS und PPS-Systemen (IT-Lösungen für den Aufgabenbereich der PPS) zu unterscheiden. Im Rahmen dieser Arbeit ist stets, wenn nicht ausdrücklich anders erwähnt, PPS als innerbetrieblicher Aufgabenbereich der PPS zu verstehen.

den Unternehmenszielen zu gestalten. Die Tätigkeiten zur Erreichung dieser Ziele umfassen die Planung, Steuerung und Überwachung der Produktionsfaktoren (Mensch, Maschine, Material, Information) zur Herstellung (und Festlegung) der richtigen Menge an Produkten. Produktionsmanagement spielt sich dabei traditionell im Spannungsfeld des mehrdimensionalen Optimierungsproblems von Kosten, Qualität, und Liefertreue (Zeit) ab.⁴ Produktionsmanagement lässt sich in drei Teilbereiche gliedern: Normatives Produktionsmanagement, Strategisches Produktionsmanagement und Operatives Produktionsmanagement. Das normative Produktionsmanagement setzt sich im Kern mit der Unternehmenspolitik auseinander, während das strategische Produktionsmanagement die Umwelt betrachtet und das Produktionssystem so gestaltet, dass es für zukünftige Herausforderungen vorbereitet ist und Erfolgspotentiale bewahrt und/oder erschlossen werden. Das Operative Produktionsmanagement hat im Wesentlichen die Lenkung des Produktionssystems mit einem eher kurzfristigen Zeithorizont als Aufgabe. Hier ist auch die Produktionsplanung und -steuerung anzusiedeln (Schuh und Schmidt 2014).

Produktionsplanung und -steuerung ist heute notwendig für die erfolgreiche Entwicklung eines Industrieunternehmens (Günther und Tempelmeier 2012). Der Begriff selbst kommt seit den 1980er Jahren vermehrt auf und wurde unzählige Male unterschiedlich definiert. Als erste weithin akzeptierte Definition von PPS gilt die von Hackstein. Er schließt dabei alle Bereiche der Produktion (auch indirekte Bereiche wie z.B. die Konstruktion) mit ein (Hackstein 1989). Der Begriff der PPS hat sich seitdem aber kontinuierlich weiterentwickelt. So galten in den 90er Jahren alle Teilbereiche der Auftragsabwicklung von Angebotsbearbeitung bis Versand als Zielobjekte der PPS. Mittlerweile hat sich die Bedeutung des Begriffes (insbesondere in der wissenschaftlichen Forschung) aber noch geweitet und beinhaltet auch einen viel stärkeren Netzwerkaspekt. Das heißt nicht nur das Einzelunternehmen, sondern die ge-

⁴ Das Konzept des Optimierungsproblems von Kosten, Qualität, und Zeit ist auch als magisches Dreieck der Produktion bekannt.

samte Liefer- und Wertkette⁵, wird im Bereich der PPS betrachtet und gesteuert (Schuh 2007).

2.1.2 Das Aachener PPS-Modell

Das Aachener PPS-Modell wurde in seiner ursprünglichen Form in den 1990er Jahren an der RWTH Aachen entwickelt. Ziel war es wissenschaftlich fundiertes Vorgehen bei der Betrachtung der PPS zu ermöglichen. Ein weiterer großer Vorteil und Grund für die weite Verbreitung und Anwendung des Aachener PPS-Modells, neben seiner Nähe zur betrieblichen Praxis, ist die Ausrichtung des Modells auf die Betrachtung des gesamten Produktionssystems, anstatt den Fokus nur auf Teilbereiche zu legen. Durch Ergänzungen wurde aus diesem Grundstein das erweiterte Aachener PPS-Modell entwickelt, das sich z.B. durch die neu eingeführte Referenzsicht der *Prozessarchitektur* vom ursprünglichen Modell unterscheidet.⁶ Das gesamte Modell wird in *Produktionsplanung und -steuerung. Grundlagen, Gestaltung und Konzepte* von Günther Schuh ausführlich beschrieben (Schuh 2007). Dieses Werk dient als Hauptquelle für den gesamten Abschnitt 2.1.2 dieser Arbeit.⁷

Aufbau des Aachener PPS-Modells

Das Aachener PPS-Modell besteht aus vier verschiedenen *Referenzsichten* und ihrem Zusammenspiel:

- Die Aufgabensicht
- Die Prozessarchitektursicht
- Die Prozesssicht
- Die Funktionssicht

⁵ „Die Value Chain, auf Deutsch Wertkette, ist die logische Aneinanderreihung von Fertigungsstufen vom Ausgangsrohstoff zum anwendbaren Produkt.“ REFA 2020, Value Chain – Wertkette.

⁶ In dieser Arbeit wird mit Aachener PPS-Modell stets das erweiterte Aachener PPS-Modell gemeint.

⁷ Im Folgenden werden nur die zentralen Aspekte des Aachener PPS-Modells vorgestellt, die für das grundlegende Verständnis dieser Arbeit nötig sind. Für eine ausführlichere Auseinandersetzung mit dem Aachener PPS-Modell wird erneut auf Schuh verwiesen.

Die unterschiedlichen Sichten kommen in verschiedenen PPS-Projekten zum Einsatz und werden in Abbildung 1 dargestellt.

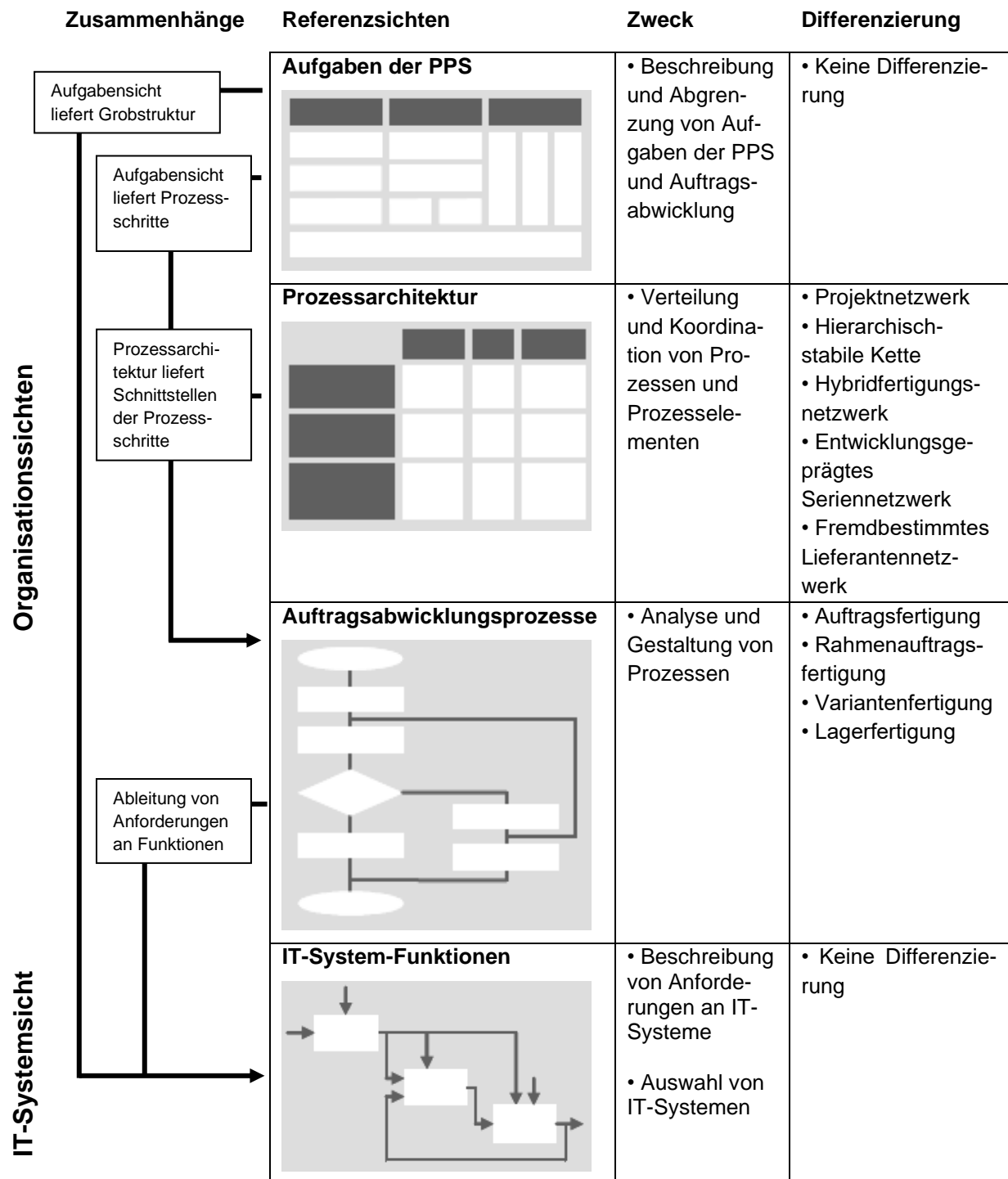


Abbildung 1. Referenzsichten des Aachener PPS-Modells (Schuh 2007, S. 19).

Die Grundstruktur des Modells ergibt sich aus der Aufgabensicht. Das Zusammenspiel von Aufgaben-, Prozessarchitektur-, und Prozesssicht bildet die Basis zur Gestaltung der Aufbau- und Ablauforganisation im Rahmen der PPS. Die vierte Sicht, die Funktionssicht dient der Entwicklung von IT-Unterstützung für die PPS.

Die Aufgabensicht

Die Aufgabensicht bietet eine hierarchische Grundstruktur, in der alle PPS Funktionen erfasst werden können. Aus diesem übergeordneten Aufgabenmodell werden die einzelnen Prozessschritte für die Prozessarchitektur- und Prozesssicht abgeleitet. Dazu wurde eine Struktur geschaffen, die unabhängig von Organisationsform oder Ablaufstruktur eines Unternehmens die Möglichkeit bietet Aufgaben, Ziele, und Tätigkeitsinhalte zu diskutieren und zu verorten. Dazu wird im Aachener PPS-Modell zwischen Kernaufgaben, Netzwerkaufgaben, und Querschnittsaufgaben unterschieden. Diese Struktur ist in Abbildung 2 abgebildet.

| Netzwerkaufgaben | Kernaufgaben | | Querschnittsaufgaben | | |
|------------------------|-----------------------------------|---------------------------------------|----------------------|--------------------|-------------|
| Netzwerkkonfiguration | Produktionsprogrammplanung | | Auftragsmanagement | Bestandsmanagement | Controlling |
| Netzwerkabsatzplanung | Produktionsbedarfsplanung | | | | |
| Netzwerkbedarfsplanung | Fremdbezugsplanung und -steuerung | Eigenfertigungsplanung und -steuerung | | | |
| Datenverwaltung | | | | | |

Abbildung 2. Die Struktur der Aufgabenreferenzsicht des Aachener PPS-Modells (Schuh 2007, S. 21).

Kernaufgaben beziehen sich auf den Produkterstellungsprozess des Einzelunternehmens. Sie umfassen Produktionsprogrammplanung, Produktionsbedarfsplanung, Fremdbezugsplanung und -steuerung, und Eigenfertigungsplanung und -steuerung.

Durch zunehmende Verbindungen und Integration entlang der Wertschöpfungskette wird das Feld der Netzwerkaufgaben immer bedeutsamer. Netzwerkaufgaben sind eher strategischer Natur und richten das gesamte Produktionsnetzwerk auf die Zukunft hin aus. Netzwerkaufgaben umfassen die Netzwerkkonfiguration, die Netzwerkabsatzplanung und die Netzwerkbedarfsplanung.

Der Bereich der Querschnittsaufgaben dient zur Verbindung von Kern- und Netzwerkaufgaben. Das Ziel der Querschnittsaufgaben ist es durch Abstimmung der zwei anderen Aufgabengruppen die gesamte PPS zu optimieren. Querschnittsaufgaben umfassen Tätigkeiten in den Bereichen Auftragsmanagement, Bestandsmanagement und Controlling.

Alle Aufgabenbereiche greifen auf Daten zu. Deswegen ist die Datenverwaltung allen Aufgabengruppen zuzurechnen.

Die Prozessarchitektursicht

Die Prozessarchitektursicht dient zur Verbindung der zwei anderen organisatorischen Referenzsichten, der Aufgabensicht und der Prozesssicht. Dies ist notwendig, um die Schnittstellen zwischen den Aufgaben auf der Unternehmensebene und den Netzwerkaufgaben aufzuzeigen. Für unternehmensinterne Aufgaben (Kernaufgaben und Querschnittsaufgaben) können einzelne Prozessschritte der Aufgabensicht entnommen werden. Diese Prozessschritte werden dann in der Prozessreferenzsicht zeitlich und logisch geordnet. Auch für überbetriebliche Aufgaben bildet die Prozesssicht diese Ordnung ab. Damit wird aber nicht der Netzwerkcharakter dieser Aufgaben beachtet. Die dafür notwendigen Dimensionen bietet die Prozessarchitektursicht.

In dieser Referenzsicht wird die Aufteilung und Koordination von Prozessen auf der Netzwerkebene beschrieben. Es gilt dabei verschiedene Netzwerktypen zu unterscheiden und die Art der hergestellten Produkte und die Formen der Zusammenarbeit zu berücksichtigen. Im Aachener PPS-Modell gibt es fünf Netzwerktypen: Projektnetzwerk, Hierarchisch stabile Kette, Hybridfertigungsnetzwerk, Entwicklungsgeprägtes Seriennetzwerk, und Fremdbestimmtes Lieferantennetzwerk. Die Prozessarchitektursicht ist also von essenzieller Bedeutung für die Gestaltung der überbetrieblichen PPS.

Die Prozesssicht

Die Prozesssicht ist für eine detailliertere Abbildung der PPS-Prozesse und ihrer zeitlichen und logischen Abfolge nötig. In dieser Sicht werden Referenzprozesse auf Basis von DIN 66001 dokumentiert.⁸ Schuh beschreibt das wie folgt:

Die dargestellten Prozessschritte werden in der durch den Prozess dokumentierten Folge am Planungsobjekt Auftrag oder einer Menge von Aufträgen durchgeführt. Dabei werden die Prozessobjekte als Eingangsgrößen entsprechend einer definierten Vorschrift durch die Prozesssubjekte derart transformiert, dass das gewünschte Prozessergebnis erreicht wird. (Schuh 2007, S. 23)

Wie schon zuvor beschrieben findet dabei eine Unterscheidung zwischen unternehmensinternen Aufgaben und Netzwerkaufgaben statt, da letztere von unterschiedlichen Unternehmen wahrgenommen werden können. An dieser Stelle greift die Prozessarchitektursicht.

Wo überbetrieblich zwischen Netzwerktypen unterschieden wird, gibt es im Unternehmen selbst eine Unterscheidung zwischen verschiedenen Prozessmodellen. Dabei werden die vier Auftragsabwicklungsarten: Auftragsfertiger, Rahmenauftragsfertiger, Variantenfertiger, und Lagerfertiger unterschieden. Dies bietet die Möglichkeit einer verhältnismäßig einfachen Anpassung der Modelle auf die unternehmensspezifischen Besonderheiten.

Die Funktionssicht

Die Funktionssicht des Aachener PPS-Modells beschreibt Anforderungen an ein die PPS unterstützendes IT-System.⁹ Die verschiedenen Funktionen dieser IT-Systeme werden semantisch beschrieben und in einer flachen Hierarchie nach dem Schema der Aufgabensicht gegliedert um schnell die für die jeweilige Aufgabe relevanten Funktionen finden zu können. Die Art der Funktion kann dabei von Verwaltung von

⁸ In DIN 66001 werden u.a. der Aufbau und die Elemente von Programmablaufplänen (Flowcharts) beschrieben. Norm DIN 66001:1983-12.

⁹ Ein solches IT-System ist meistens ein ERP-, ein PPS-, oder auch ein PLM-System. Je nach Unternehmen sind aber auch vielfältige Kombinationen dieser und anderer Systeme möglich.

Daten und Datenstrukturen, über klar abgegrenzte Algorithmen, Oberflächenfunktionen oder Kombinationen dieser Möglichkeiten reichen.

2.1.3 Ziele von PPS

Bevor die in der PPS zu lösenden Aufgaben und die dazu genutzten Methoden näher betrachtet werden, ist es wichtig Klarheit über die Ziele der PPS zu schaffen.

Im Bereich des operativen Produktionsmanagements, zu dem, wie schon in Abschnitt 2.1.1 herausgestellt, PPS gehört, sollen normative und strategische Unternehmensziele auf messbare Ziele für die Produktion überführt werden. Dabei wird zwischen Betriebszielen und Marktzielen unterschieden. Betriebsziele sind die Maximierung der Ressourceneffizienz und die Minimierung der (Bestands- und Kapitalbindungs-) Kosten. Marktziele sind all solche Ziele, die durch den Absatzmarkt vorgegeben werden (z.B. Lieferzeit, Lieferfähigkeit, Liefertreue). Daraus resultieren vier Kernzielgrößen des operativen Produktionsmanagements:

- Auslastung (Ziel: Hohe Auslastung)
- Termintreue (Ziel: Hohe Termintreue)
- Prozesskosten (Ziel: Niedrige Prozesskosten)
- Durchlaufzeit (Ziel: Kurze Durchlaufzeit)

Da diese Ziele zumindest teilweise im Widerspruch zueinander stehen, muss unternehmensintern eine Lösung für den Zielkonflikt gefunden werden. In Abbildung 3 wird das Zielsystem dargestellt. In dem Diagramm ist der prinzipielle Verlauf der Kernzielgrößen über den Arbeitsbestand abgebildet und die Minima bzw. Maxima dieser Verläufe sind gekennzeichnet. Es ist zu sehen, dass nicht alle Zielgrößen gleichzeitig optimiert werden können und so verschiedene Zielgrößen über andere priorisiert werden müssen. Tendenziell wird dabei die Bedeutung der marktseitigen Ziele immer größer (Schuh und Schmidt 2014).

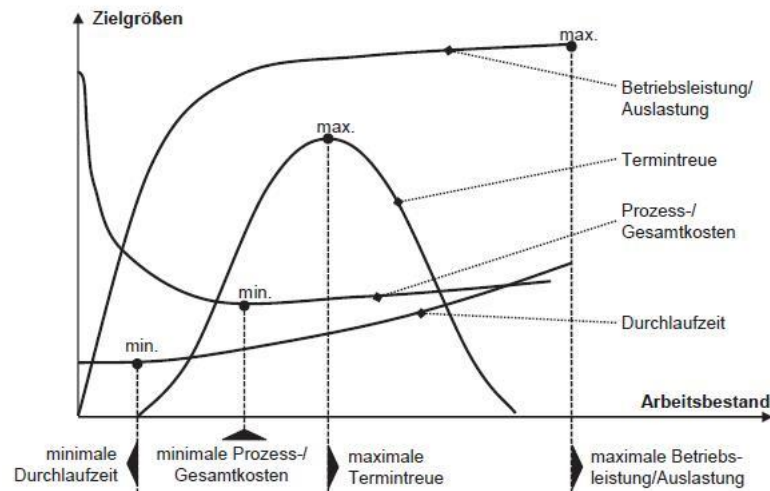


Abbildung 3. Prinzipieller Verlauf der Kernzielgrößen Auslastung, Termintreue, Kosten und Durchlaufzeit (Schuh und Schmidt 2014, S. 22; Nyhuis und Wiendahl 2012, S. 178)

Dies entspricht in großen Teilen den Zielen, die herkömmlich für die Produktion beschrieben werden: Kosten, Qualität und Zeit. Als tatsächliche Ziele formuliert ergibt das: Niedrige Herstellungskosten, hohe Produktqualität und kurze Durchlaufzeit (Erlach 2010). Immer häufiger wird zusätzlich zu diesen drei Zieldimensionen eine vierte Dimension genannt: Flexibilität¹⁰ (Jodlbauer 2008; Ovtcharova et al. 2015; Roth 2016a; Spath 2013; Schuh 2007; Vogel-Heuser et al. 2017). In verschiedenen Quellen werden diese vier Zieldimensionen unterschiedlich betitelt. Im Rahmen dieser Arbeit sollen die Begrifflichkeiten von Erlach (Erlach 2010) genutzt werden:

- Variabilität
- Qualität
- Geschwindigkeit
- Wirtschaftlichkeit

In das von diesen vier Dimensionen aufgespannte Zielsystem können alle unternehmensspezifischen Markt- und Betriebsziele eingeordnet werden. Zusätzlich zu

¹⁰ In manchen Quellen wird der Begriff Flexibilität sehr allgemein verwendet, in anderen Fällen beschreibt Flexibilität nur die Möglichkeit einer Produktion auf kurzfristige Nachfrageschwankungen zu reagieren. Vergleiche dazu Schuh 2007; Erlach 2010.

den vier genannten Kernzielgrößen – Auslastung, Termintreue, Prozesskosten, und Durchlaufzeit – gibt es noch weitere wichtige Zielgrößen. Es folgt eine alphabetische Auflistung einiger häufig genannter zusätzlicher Zielgrößen und deren zugehörige Zielrichtung: Bestände (niedrig), Flexibilität und Wandlungsfähigkeit (hoch), Lieferfähigkeit (hoch), Lieferzeit (niedrig), Nachhaltigkeit (hoch), Produktqualität (hoch), Verfügbarkeit (hoch) (Erlach 2010; Jodlbauer 2008; Schuh 2007).

2.1.4 Aufgaben der PPS

Wie schon im Zusammenhang mit dem Aachener PPS-Modell, in Abschnitt 2.1.2, beschrieben teilen sich die Aufgaben der PPS in Kernaufgaben, Netzwerkaufgaben und Querschnittsaufgaben. Im Rahmen dieser Arbeit soll das Einzelunternehmen und der eigentliche Produkterstellungsprozess im Fokus stehen und deswegen sollen in erster Linie die Kernaufgaben betrachtet werden. Die Kernaufgaben der PPS und die zugehörigen Unteraufgaben nach Schuh sind (Schuh 2007, S. 30):

- Produktionsprogrammplanung
 - Absatzplanung
 - Primärbedarfsplanung
 - Ressourcengrobplanung
- Produktionsbedarfsplanung
 - Bruttosekundärbedarfsplanung
 - Nettosekundärbedarfsplanung
 - Beschaffungsartzuordnung
 - Durchlaufterminierung
 - Kapazitätsbedarfsermittlung
 - Kapazitätsabstimmung
- Eigenfertigungsplanung und -steuerung
 - Losgrößenrechnung
 - Feinterminierung
 - Ressourcenfeinplanung
 - Reihenfolgeplanung
 - Verfügbarkeitsprüfung
 - Auftragsfreigabe

- Fremdbezugsplanung und -steuerung
 - Bestellrechnung
 - Angebotseinholung/-bewertung
 - Lieferantenauswahl
 - Bestellfreigabe

Im Folgenden wird auf die vier Kernaufgaben näher eingegangen und das Zusammenspiel der jeweiligen Unteraufgaben dargelegt. Sofern nicht anders herausgestellt bezieht sich der Rest von Abschnitt 2.1.4 auf *Produktionsplanung und Steuerung. Grundlagen, Gestaltung und Konzepte* (Schuh 2007).

Produktionsprogrammplanung

„In der Produktionsprogrammplanung werden die herzustellenden Erzeugnisse nach Art, Menge und Termin für einen definierten Planungszeitraum festgelegt.“ (Schuh 2007, S. 37) Dies erfolgt in drei Schritten. Zunächst wird ein *Absatzplan* mit mathematisch-statistischen Methoden erstellt, in dem sowohl Absatzstatistiken und -trends als auch schon vorliegende Kundenaufträge berücksichtigt werden. Ausgehend von der Absatzplanung wird dann der Primärbedarf ermittelt, indem der Bruttoprimarybedarf mit dem Lagerbestand abgeglichen wird. Aus diesem Nettoprimärbedarf wird ein *Produktionsprogrammvorschlagn* erstellt. Dieser wird in dem dritten und letzten Schritt der Produktionsprogrammplanung, der Ressourcengrobplanung, mit den verfügbaren Ressourcen abgestimmt. Die abzugleichenden Ressourcen sind Personal, Betriebsmittel, Hilfsmittel und Material. Um den Ressourcenbedarf mit dem Ressourcenangebot abzugleichen, werden häufig Materialdeckungsrechnungen und Kapazitätsdeckungsrechnungen durchgeführt. Wenn dieser Abgleich ergibt, dass nicht genug Ressourcen zur Verfügung stehen, und das Angebot auch nicht ausreichend erhöht werden kann, muss der Primärbedarf und/oder der Absatzplan angepasst werden. Als Resultat dieser drei Schritte entsteht ein *Produktionsprogramm* für die nächste Periode.

Produktionsbedarfsplanung

„Die Produktionsbedarfsplanung hat die Aufgabe, ausgehend von einem zu realisierenden Produktionsprogramm, die hierzu mittelfristig erforderlichen Ressourcen zu planen.“ (Schuh 2007, S. 42) Dazu müssen sowohl Material- als auch Kapazitätsbetrachtungen durchgeführt werden. Je nach angewandeter Methode können diese Aufgaben parallel – mit Rückkopplung – oder sequenziell durchgeführt werden. Die folgende Beschreibung ist also nicht notwendigerweise als zeitliche Gliederung der Ablaufschritte zu verstehen.

Für die Materialbetrachtung ist zunächst eine Sekundärbedarfsermittlung erforderlich. Dazu wird zunächst der Bruttosekundärbedarf bestimmt. Meistens werden unterschiedliche Verfahren der Bedarfsermittlung für unterschiedliche Teilearten¹¹ angewandt. Es wird dabei zwischen heuristischen, statistischen und deterministischen Methoden unterschieden. Durch den Abgleich des Bruttosekundärbedarfs mit aktuellen Lagerbeständen wird dann der Nettosekundärbedarf ermittelt. Danach folgt die Festlegung der Beschaffungsart für den Sekundärbedarf. Je nach Unternehmen kann diese Entscheidung entweder einmalig für jedes Teil getroffen und in den Stammdaten hinterlegt werden oder es kommt, unter Berücksichtigung der aktuellen Auftragslage, zu regelmäßigen make-or-buy-Entscheidungen. In der Praxis werden in der Materialwirtschaft außerdem häufig entweder (bestandsabhängige) Bestellpunktverfahren oder (terminbezogene) Bestellrhythmusverfahren eingesetzt.

Die zeitlichen Zusammenhänge werden in der Durchlaufterminierung näher betrachtet. Häufig findet dazu die Netzplantechnik Anwendung. Meistens werden im Rahmen der Durchlaufterminierung aber nur Durchlaufzeiten und nicht Kapazitäten betrachtet. Durch Vorwärts-, Rückwärts-, oder Mittelpunktterminierung können somit aber Ecktermine für die Kapazitätsbetrachtung ermittelt werden. In der Kapazitätsbedarfsermittlung wird der Kapazitätsbedarf für Maschinen, Personal, Werkzeuge, transportfahrzeuge etc. für die jeweilige Periode bestimmt. Häufig werden dazu vereinfachte Betrachtungsweisen gewählt und nicht auf Basis der einzelnen Arbeitsgän-

¹¹ Die Einteilung durch eine ABC-/XYZ-Analysen sind gängige Methoden zur Unterscheidung von Teilearten. Diese Vorgehensweisen sind aber eher bei der Querschnittsaufgabe des Bestandsmanagements anzusiedeln und sollen hier keine nähere Betrachtung finden.

ge exakte Berechnungen durchgeführt. Die Ergebnisse werden dann für die Periode und jede betrachtete Kapazitätseinheit im *Kapazitätsbedarfsplan* zusammengefasst. Zuletzt findet die Kapazitätsabstimmung statt, mit der die tatsächlich verfügbaren und die laut Kapazitätsbedarfsplan nötigen Kapazitäten abgeglichen werden. Es gibt prinzipiell drei Möglichkeiten diesen Abgleich zu gestalten:

- *Kapazitätsanpassung*: Die Überschreitung der Kapazitätsgrenze einer Kapazitätsgruppe in einer Periode wird durch kurzfristige Erhöhung des Kapazitätsangebots abgedeckt (z.B. Überstunden).
- *Kapazitätsabgleich*: Die Überschreitung der Kapazitätsgrenze einer Kapazitätsgruppe in einer Periode wird durch die Verlagerung von Arbeitsgängen in andere, weniger ausgelastete, Perioden abgeglichen.
- *Fremdvergabe*: Die Überschreitung der Kapazitätsgrenze einer Kapazitätsgruppe in einer Periode wird durch die Auslagerung von Arbeitsgängen an eine Fremdfirma geregelt.

Eigenfertigungsplanung und -steuerung

In der Eigenfertigungsplanung und -steuerung werden die bisher grob erstellten Pläne unter Berücksichtigung aktueller Planungsdaten umgesetzt. In diesem Planungsschritt stehen nur tatsächlich verfügbare Ressourcen im Fokus und Störungen wie Maschinen- oder Personalausfälle werden berücksichtigt. Durch Losgrößenrechnung, Arbeitsgangfeinterminierung und Reihenfolgeplanung wird so aus dem Eigenfertigungsprogramm das Werkstattprogramm entwickelt. Auf Basis der so auf die aktuelle Periode angepassten Feinplanung wird das Produktionssystem dynamisch gesteuert.

Bei der Losgrößenrechnung wird versucht die optimale Losgröße zu bestimmen. Die Festlegung von Losgrößen hat in den meisten Fällen eine unmittelbare Auswirkung auf Durchlaufzeiten und Produktionskosten. Dabei sind Skaleneffekte häufig das Argument für große Losgrößen, während kleinere Losgrößen mehr Flexibilität geben. Im Allgemeinen führen größere Lose zu mehr Beständen, während kleinere Lose höhere Rüstzeiten und -kosten mit sich bringen. Es gibt verschiedene mathematische Modelle, die für die Optimierung von Losgrößen bestimmt sind.

Ausgehend von den zuvor definierten Eckdaten werden in der Feinterminierung die genauen Start- und Endtermine der Fertigungslose bestimmt. Wie bei der Grobplanung kann dazu Vorwärts-, Rückwärts- oder Mittelpunktterminierung genutzt werden. Wenn mit diesen Verfahren allein kein zufriedenstellendes Ergebnis erreicht wird, wird versucht durch Aufsplitten oder Zusammenfassen von Losen und daraus folgenden Durchlaufzeitverkürzungen den Plan umzusetzen. Ist dies nicht möglich, muss für Anpassungen erneut bei der Produktionsbedarfsplanung angesetzt werden.

In der Ressourcenfeinplanung wird der Kapazitätsbedarf dem Kapazitätsangebot gegenübergestellt und der bisherige Plan an die aktuelle Situation angepasst. Als Ressourcen in diesem Zusammenhang gelten Betriebsmittel, Material und Personal.¹² Der Kapazitätsbedarf wurde in der Feinterminierung bestimmt. Das Kapazitätsangebot ist die noch nicht verplante Belegungszeit der Ressourcen unter Berücksichtigung der aktuellen Verfügbarkeitssituation. Bei Nichtübereinstimmung von Kapazitätsangebot und -nachfrage kommt es zu Kapazitätsabstimmungen (Kapazitätsanpassung, Kapazitätsabgleich). In vielen Unternehmen werden Termine und Kapazitäten nicht sequenziell geplant, sondern im Rahmen der *Ressourcenbelegungsplanung* simultan.

Bei der Reihenfolgeplanung wird zwischen *Selektionskriterien* und *Kumulationskriterien* unterschieden. Erstere sind solche Kriterien, die genutzt werden, um jeweils den nächsten Auftrag iterativ auswählen zu können (z.B. Prioritätszahlen). Letztere hingegen betrachten alle zu fertigenden Aufträge und bilden eine hinsichtlich des Kriteriums optimale Gesamtreihenfolge (z.B. Rüstzeitminimierung). Diese Bildung einer optimalen Abarbeitungsreihenfolge, ohne die Terminplanung zu gefährden, ist Ziel der Reihenfolgebildung. Nicht in jedem Unternehmen wird sich mit der Reihenfolgebildung explizit auseinandergesetzt.

Der so erstellte Plan mit Berücksichtigung von Terminen, Kapazitäten und Reihenfolge wird *Werkstattprogramm* genannt und ist das Resultat der planerischen Tätigkeiten. Es gibt je ein Werkstattprogramm pro Fertigungsbereich. Sobald die

¹² In manchen Unternehmen werden an dieser Stelle auch noch andere Ressourcen berücksichtigt, die für den Produktionsprozess von Bedeutung sind.

Werkstattprogramme festgelegt sind, beginnen die steuernden Tätigkeiten der Eigenfertigungsplanung und -steuerung.

Der erste Schritt der Fertigungssteuerung ist die Verfügbarkeitsprüfung. Dabei wird sowohl IT-seitig als auch physisch kontrolliert, ob alle nötigen Ressourcen für den eingeplanten Auftrag verfügbar sind. Wenn Ressourcen nicht zur Verfügung stehen, muss der bestehende Plan angepasst werden.

Erst nach der Verfügbarkeitsprüfung erfolgt die Auftragsfreigabe. Dazu können verschiedene Methoden genutzt werden. Auf einige mögliche Methoden der Auftragsfreigabe wird in Abschnitt 2.1.5 näher eingegangen. Mit der Auftragsfreigabe werden die nötigen Ressourcen zur Auftragsabarbeitung bereitgestellt und der Herstellungsprozess kann beginnen.

Die Fertigungssteuerung bildet die Schnittstelle zwischen allen planerischen Tätigkeiten der PPS und dem physischen Produktionssystem. Abbildung 4 zeigt modellhaft wie verschiedene Aufgaben der Fertigungssteuerung in Beziehung zueinander und zu wichtigen Zielgrößen der PPS stehen.

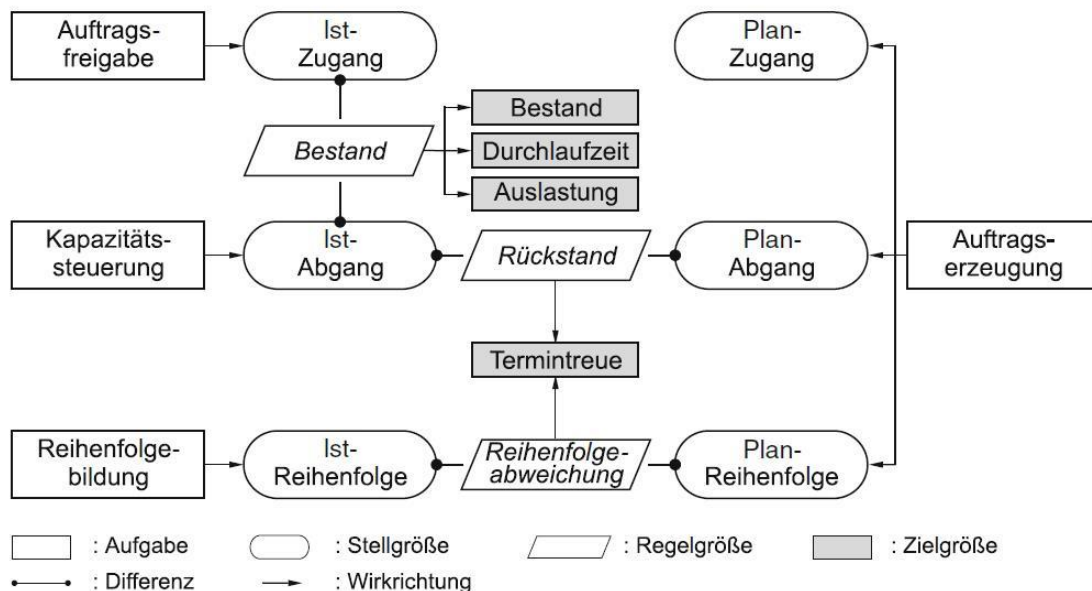


Abbildung 4. Ein Modell der Fertigungssteuerung (Lödding 2016, S. 8).

Fremdbezugsplanung und -steuerung

Der Fremdbezugsplanung und -steuerung wird, durch eine immer geringer werdende Fertigungstiefe, eine wachsende Bedeutung zugemessen. Ziel ist es dabei das

Fremdbezugsprogramm mengen- und termintreu umzusetzen. Insbesondere die Regulierung der Lagerbestände auf einem möglichst niedrigen Niveau spielt dabei eine wichtige Rolle.

Zunächst werden im Rahmen der Bestellrechnung die optimalen Bestellmengen festgestellt. Dabei werden Skaleneffekte für größere Bestellmengen und Kosten für höhere Bestände abgewogen. Zusätzliche Berücksichtigung erhalten Lagergrößen, Lagerfähigkeit der Güter, Lieferfähigkeit der Lieferanten und Liquidität des Unternehmens.

Danach werden, insbesondere für zuvor noch nie disponierte Waren, Angebote von Lieferanten eingeholt, bewertet und für die Auswahl aufbereitet.

Die Lieferantenauswahl berücksichtigt die Ergebnisse dieser Angebotsbewertung. Die wichtigsten Kriterien dabei sind Qualität, Liefertermintreue, Preise und (Liefer-) Konditionen. Je nach Art des zu disponierenden Gutes können Einmal- oder Rahmenvereinbarungen mit dem Lieferanten geschlossen werden.

Der letzte Schritt ist die Bestellfreigabe. Dabei werden die Bestellaufträge an den Lieferanten übermittelt. Das weitere Auftragsmanagement fällt in den Bereich der Querschnittsaufgaben.

2.1.5 PPS-Methoden und Verfahren

Es gibt eine Vielzahl an Methoden und Verfahren, die im Zusammenhang der PPS zum Einsatz kommen. Wie schon zuvor herausgestellt, sind viele dieser Verfahren rein mathematischer Natur. Da diese Funktionen mehr und mehr von IT-Systemen übernommen werden und im Rahmen dieser Arbeit der Nutzen der Subjekt-Orientierung¹³ für die Produktionsplanung analysiert werden soll, sind vor allem solche Methoden von Interesse, bei denen verschiedene Subjekte miteinander interagieren. Diese Art der Verfahren wird vermehrt im Bereich der Fertigungssteuerung genutzt, vor allem zur Auftragserzeugung und Auftragsfreigabe. Eine weitere sehr bedeutende Methode im Kontext der Produktionsplanung ist das Wertstromdesign.

¹³ Siehe dazu Abschnitt 2.3.

Um dem deutlich größeren Umfang der zugehörigen Überlegungen gerecht zu werden, wird diese Thematik gesondert in Abschnitt 2.1.6 behandelt.

Mit seinem Buch *Verfahren der Fertigungssteuerung* schafft Lödding einen Überblick über verbreitete Fertigungssteuerungsverfahren und ordnet diese in den Gesamtkontext der Produktionsplanung ein. Als Maßstab der Güte dieser Methoden gibt es neun Leitsätze zur Gestaltung von Fertigungssteuerungsverfahren die es zu berücksichtigen gilt (Lödding 2016, 102-104):

1. Ein Fertigungssteuerungsverfahren sollte es ermöglichen, den Bestand einer Fertigung bzw. eines Arbeitssystems auf einem definierten Niveau zu regeln.
2. Ein Fertigungssteuerungsverfahren sollte Bestandsschwankungen auf ein Minimum reduzieren.
3. Ein Fertigungssteuerungsverfahren sollte möglichst wenige blockierte Bestände verursachen.
4. Ein Fertigungssteuerungsverfahren sollte zu einem guten zeitlichen Abgleich der Belastung mit der Kapazität beitragen.
5. Ein Fertigungssteuerungsverfahren sollte möglichst wenige Reihenfolgeabweichungen verursachen.
6. Ein Fertigungssteuerungsverfahren sollte Planabweichungen im Rahmen einer Rückstandsregelung ausgleichen können.
7. Ein Fertigungssteuerungsverfahren sollte das Engpassprinzip berücksichtigen.
8. Ein Fertigungssteuerungsverfahren sollte möglichst einfach sein.
9. Verfahren der Auftragserzeugung sollten Nachfrageinformationen möglichst schnell und unverzerrt kommunizieren.

Im Folgenden werden verschiedene Fertigungsverfahren zur Auftragserzeugung in *Tabelle 1* klassifiziert und auf ausgewählte Methoden genauer eingegangen. Danach wird das gleiche Vorgehen auf Verfahren zur Auftragsfreigabe, die in *Tabelle 2* gelistet sind, angewandt.

Tabelle 1: Liste von Auftragserzeugungsverfahren (Lödding 2016, S. 176)

| Verfahren | Primäres Erzeugungskriterium | Abschnitt |
|---|--|---------------------|
| Bestellrhythmusverfahren | Bestellzeitpunkt | 2.1.5 |
| Bestellbestandsverfahren | Bestellbestand | 2.1.5 |
| Kanban | Materialentnahme | 2.1.5, 4.2.1, 5.4.2 |
| Korma | Auftragsfreigabe | - |
| Synchro MRP | Materialentnahme/ Produktionsprogramm | - |
| Hybride Kanban- CONWIP-Steuerung | Materialentnahme | - |
| Basestock | Bedarf | - |
| Fortschrittszahlen | Zu definieren | 2.1.5 |
| Production Authorization Cards (PAC) | Zu definieren | - |

Anmerkung. Die Spalte *Abschnitt* führt die Abschnitte dieser Arbeit in denen konkreter Bezug auf das genannte Fertigungssteuerungsverfahren genommen wird.

Bestellrhythmus/Bestellbestandsverfahren

Das Prinzip dieser Auftragserzeugungsverfahren ist wohl das älteste, aber auch das verbreitetste. Die zwei zentralen Parameter für dieses Verfahren sind der Bestellzeitpunkt und die Bestellmenge. Beim Bestellrhythmusverfahren ist der Bestellzeitpunkt über ein definiertes Zeitintervall zwischen Bestellungen festgelegt. Beim Bestellbestandsverfahren wird die Bestellung beim Erreichen oder Unterschreiten eines Bestellauslösebestandes veranlasst. In der ursprünglichsten Form dieser Verfahren ergibt sich die Bestellmenge aus dem maximalen Lagerbestand abzüglich des aktuellen Lagerbestands. Dabei werden Liefermengen offener Lageraufträge berücksichtigt. Eine andere, weit verbreitete Variante ist das Nutzen einer festen Bestellmenge für jeden Auftrag. Es gibt viele unterschiedliche Möglichkeiten auf dieser Grundlage auch komplexere Verfahren aufzubauen (Lödding 2016).

Kanban

Die Kanban-Steuerung ist aus dem Toyota-Produktionssystem entstanden und eine der bekanntesten und am weitesten verbreiteten Methoden der Fertigungssteuerung. Die Erzeugung eines Auftrags ist dabei in der Materialentnahme aus einem Lager

begründet. Über den Kanban¹⁴ wird die Nachproduktion beim Ausgangsarbeitsystem beauftragt. Die Kanban-Steuerung ist damit ein klassischer Vertreter eines Pull-Systems. Prinzipiell kann eine Kanban-Steuerung für Produktions- und Transportaufträge eingesetzt werden. Der Einsatz für beide Funktionen gleichzeitig ist auch weit verbreitet (Zwei-Karten-Kanban). Grundsätzlich gibt es viele verschiedene Varianten der Kanban-Steuerung, die in der Industrie zum Einsatz kommen. Ein besonderer Vorteil dieser Art der Auftragserstellung liegt in seiner Einfachheit (Lödding 2016).

Fortschrittszahlen

Fortschrittszahlen messen die Zu- bzw. Abgänge von einer Variante in bzw. aus einem so genannten Kontrollblock.¹⁵ Die Differenz von Zugangs- und Abgangsfortschrittszahl beschreibt zu jedem Zeitpunkt den Bestand im Kontrollblock. Fortschrittszahlen können mit Planwerten abgeglichen werden, um Aussagen z.B. über Rückstand oder Reichweite des Kontrollblocks treffen zu können. Fortschrittszahlen werden schon seit vielen Jahren im Automobilbau eingesetzt. Dies ist auf die gute Eignung dieser Methode zurückzuführen die Produktion bei den Zulieferern mit der Automobilmontage zu koordinieren. Bei Fortschrittszahlensteuerung handelt es sich um ein generisches Verfahren und vieles hängt von der individuellen Ausgestaltung und Kombination mit anderen Verfahren ab. Dies führt zu großer Flexibilität, erschwert aber auch die Bewertung des Verfahrens, insbesondere, weil durch das richtige Setzen der Parameter gegebenenfalls nur andere Verfahren emuliert werden (Lödding 2016).

¹⁴ Kanban kommt aus dem Japanischen und bedeutet „Karte“. Das Wort Kanban wird sowohl für das Steuerungsverfahren als auch für die Karten bzw. Behälter, die für die Umsetzung einer Kanban-Steuerung eingesetzt werden, genutzt. REFA 2020, Kanban.

¹⁵ Ein Kontrollblock kann dabei aus einem Arbeitssystem, einem Lager oder einer beliebigen Kombination aus Arbeitssystemen und Lagern bestehen.

Tabelle 2: Liste von Auftragsfreigabeverfahren (Lödding 2016, S. 354)

| Verfahren | Auftragsfreigabe Art | Abschnitt |
|---|--------------------------------|----------------------------|
| Sofortige Auftragsfreigabe | | 2.1.5 |
| Auftragsfreigabe nach Termin | | 2.1.5 |
| CONWIP | zentral, bestandsregelnd | 2.1.5, 4.2.2, 5.4.2 |
| Engpasssteuerung | zentral, bestandsregelnd | - |
| Workload Control | zentral, AS Belastungsabgleich | - |
| Belastungsorientierte Auftragsfreigabe | zentral, AS Belastungsabgleich | 2.1.5 |
| Auftragsfreigabe mit linearer Programmierung | zentral, AS Belastungsabgleich | - |
| Polca | dezentral, bestandsregelnd | 2.1.5, 4.2.3, 5.2.4, 5.4.2 |
| Dezentrale Bestandsorientierte Fertigungsregelung | dezentral, bestandsregelnd | 5.4.2 |

Anmerkungen. AS steht für Arbeitssystem. Die Spalte *Abschnitt* führt die Abschnitte dieser Arbeit in denen konkreter Bezug auf das genannte Fertigungssteuerungsverfahren genommen wird.

Sofortige Auftragsfreigabe

Die sofortige Auftragsfreigabe ist der triviale Fall, dass ein Auftrag direkt nach seiner Erzeugung für die Fertigung freigegeben wird. Dies ergibt keinerlei Steuerungsmöglichkeiten. Eine sofortige Auftragsfreigabe kommt sinnvollerweise nur bei Lagerfertigung zum Einsatz (Lödding 2016).

Auftragsfreigabe nach Termin

Die Auftragsfreigabe nach Termin ist der Standard in den meisten IT-Systemen und deswegen sehr verbreitet. Hierbei wird ein geplanter Starttermin definiert und unabhängig von der tatsächlichen Auftragslage, Rückstand, und Störungen zu dem festgelegten Zeitpunkt für die Fertigung freigegeben. Wenn der Abgang der Fertigung genau geregelt werden kann, bietet dieses Verfahren viele Vorteile. Wenn aber der Plan nicht genau umgesetzt wird, gibt es keine Möglichkeiten über dieses Verfahren den Bestand in der Fertigung zu regeln (Lödding 2016).

CONWIP

CONWIP steht für Constant Work in Process. Seit den 1990er Jahren findet das Verfahren vermehrt Anwendung, vor allem in Fertigungslinien. Im Kern steht dabei das Ziel den Bestand in der Fertigungslinie konstant zu halten. Dabei kann der der Teile-, Auftrags- oder Vorgabestundenbestand konstant gehalten werden. Weit verbreitet ist das Konstanthalten der Aufträge über CONWIP-Karten. Dabei begleitet jeden Auftrag eine CONWIP-Karte durch die gesamte Produktion. Wird der Auftrag fertig gestellt, dann wird auch die CONWIP-Karte wieder frei und kann mit einem neuen Auftrag in die Fertigung gegeben werden (Lödding 2016).

Belastungsorientierte Auftragsfreigabe

Die Belastungsorientierte Auftragsfreigabe (BoA) ist ein akademisch sehr viel diskutiertes Verfahren der Fertigungssteuerung. Es wurde 1980 erstmals vorgestellt, wird an vielen Hochschulen und Universitäten gelehrt, und hat sich in der Industrie bewährt. Für die BoA wird für jedes Arbeitssystem eine *Bestandsgrenze* definiert. Ein Auftrag wird dann nur freigegeben, wenn in keinem der Arbeitssysteme, die der Auftrag durchlaufen wird, die Bestandsgrenze überschritten ist. Freigegebene Aufträge zählen gegen die Bestandsgrenze aller noch zu durchlaufenden Arbeitssysteme. Dabei wird ein *Abzinsungsfaktor* genutzt, der in Abhängigkeit der noch zu durchlaufenden Arbeitssysteme, bis der Auftrag am betrachteten Arbeitssystem ankommt, die *Buchungsauftragszeit* reduziert. Nur wenn der Auftrag das *Bestandskonto* jedes betroffenen Arbeitssystems nicht über die Bestandsgrenze hinweg belastet (unter Beachtung der Abzinsung), wird der Auftrag freigegeben (Lödding 2016).

Polca

Polca bedeutet Paired-Cell Overlapping Loops of Cards with Authorization und bezeichnet dezentrale Regelkreise zwischen Fertigungsinseln.¹⁶ Für diese Art der Fertigungssteuerung kommen zwei Mechanismen gleichzeitig zum Einsatz. Zunächst muss der Arbeitsgangfreigabezeitpunkt für den Auftrag erreicht sein. Außerdem

¹⁶ Polca-Steuerung findet ursprünglich in einer Produktion mit Fertigungsinseln seine Anwendung, kann aber auch nach dem gleichen Prinzip für einzelne Arbeitssysteme genutzt werden.

muss eine freie Polca-Karte für die Zielfertigungsinsel vorliegen. Eine Polca-Karte nennt immer die Ursprungsfertigungsinsel und die Zielfertigungsinsel. Mit dem Bearbeitungsbeginn an der Ursprungsfertigungsinsel wird die Polca-Karte fest mit dem Auftrag verbunden und erst wieder frei, wenn der Auftrag an der Zielfertigungsinsel vollständig bearbeitet wurde. Wenn der dringlichste Auftrag durch das Fehlen einer Polca-Karte blockiert ist, wird überprüft, ob für andere Aufträge die Freigabebedingungen erfüllt sind (Lödding 2016).

2.1.6 Wertstrommethode

Die Wertstrommethode wurde 1998 erstmals von Rother und Shook vorgestellt (Rother und Shook 2011). Im Kern dieser Methode steht die Betrachtung der gesamten Wertschöpfungskette, anstatt nur deren einzelne Prozessschritte für sich zu optimieren. Die Wertstrommethode gliedert sich dabei in zwei Hauptteile: die Wertstromanalyse und das Wertstromdesign. Im ersten Teil werden die Verbesserungspotentiale herausgestellt, im zweiten die Verbesserungen konzipiert und implementiert (Erlach 2010).

Die Wertstromanalyse bildet also den Ausgangspunkt für diese Methode. Es wird dabei in vier Schritten der Wertstrom untersucht: *1. Start: Produktfamilienbildung*, *2. Vorbereitung: Kundenbedarfsanalyse*, *3. Durchführung: Wertstromaufnahme*, und *4. Auswertung: Verbesserungspotentiale*. Als Resultat entsteht eine grafische Repräsentation des Wertstroms der betrachteten Produktfamilie mit (meistens eingezeichneten) Verbesserungsmöglichkeiten (Erlach 2010, S. 36).

Die Wertstromaufnahme selbst wird für gewöhnlich von Hand mit den Werkzeugen Bleistift und Papier durchgeführt, in manchen Fällen aber z.B. auch durch ein Tabellenkalkulationsprogramm unterstützt. Dabei folgt der Methodenanwender dem Wertstrom vom Warenausgang zum Wareneingang – gegen die Flussrichtung – durch die Fabrik. Dabei werden Informationen zur Fertigung und Logistik erfasst. Mit Hilfe der gesammelten Daten wird der Wertstrom im IST-Zustand gezeichnet. So

entsteht eine grafische *Value Stream Map* (VSM¹⁷), wie sie in Abbildung 5 zu sehen ist. Obwohl die Wertstrommethode selbst die Betrachtung der gesamten Wertschöpfungskette unterstützt und empfiehlt, wird sehr häufig nur der innerbetriebliche Wertstrom berücksichtigt. Als Resultat entsteht oft eine rein linear aufgebaute VSM, die nur „von Rampe zu Rampe“ gedacht ist, dafür aber problemlos auf einem DIN A3-Blatt abgebildet werden kann (Rother und Shook 2011).

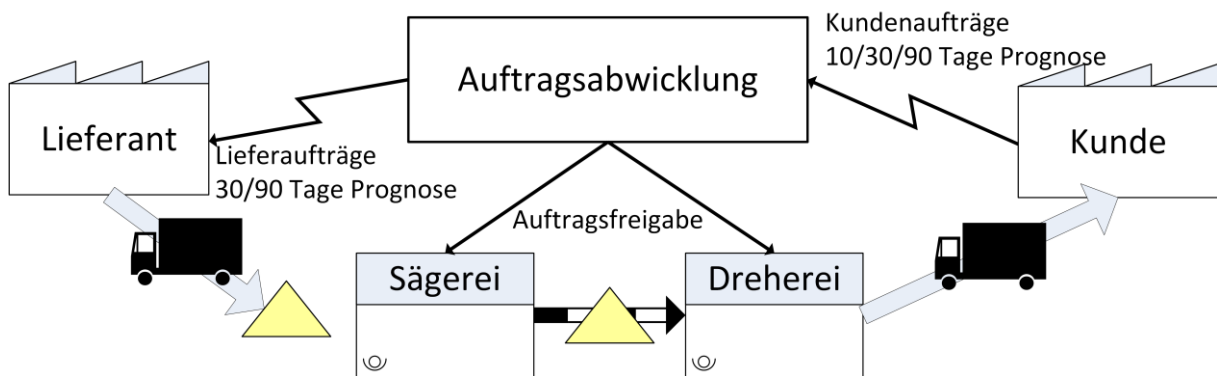


Abbildung 5. Beispiel für eine klassische VSM.

Im Kontext der Wertstrommethode wird generell zwischen dem Materialfluss in der Wertkette und dem Informationsfluss in den zugehörigen Geschäftsprozessen unterschieden. Wie im obigen Beispiel werden so oft die Geschäftsprozesse zu einer Black-Box zusammengefasst und nicht näher betrachtet. Dies ist ein zumindest fragwürdiges Vorgehen, da der zugehörige Informationsfluss einen immer weiter steigenden Einfluss auf die tatsächliche Wertschöpfung hat (Erlach 2010).

¹⁷ Im englischsprachigen Raum sind die Begriffe „value stream map“ bzw. „value stream mapping“ weit verbreitet. Da der deutsche Begriff *Wertstromaufnahme* der Fokussierung auf die grafische Repräsentation nicht gerecht wird, wird sich in dieser Arbeit dem Alphabetismus aus dem Englischen bedient.

2.2 Industrie 4.0

Dieser Abschnitt soll ein einheitliches Verständnis des viel gebrauchten Begriffes Industrie 4.0 schaffen. Dazu werden zunächst die drei ersten industriellen Revolutionen und darauf aufbauend die Ausgangslage für die vierte industrielle Revolution – Industrie 4.0 – erläutert. Anschließend werden die wichtigsten Elemente zur Erreichung von Industrie 4.0 in zugrundeliegenden Paradigmen dargestellt. Zur noch besseren Einordnung werden danach die zwei in Deutschland wohl am verbreitetsten Reifegradmodelle zu Industrie 4.0 vorgestellt. Abschließend liegt der Fokus auf der Betrachtung von Produktionsplanung im Kontext von Industrie 4.0.

2.2.1 Die vier industriellen Revolutionen

Die industrielle Geschichte beginnt vor rund 270 Jahren. Damals, um 1750, wurde durch die Erfindung der Dampfmaschine und das Entwickeln von Arbeits- und Kraftmaschinen das Betriebsumfeld stark verändert. Dies wurde durch neue Transportmöglichkeiten und höhere Produktivität gekennzeichnet. Infolge dessen wurden immer mehr Menschen nicht mehr im Handwerk oder in der Landwirtschaft, sondern in Fabriken beschäftigt. Die Industrialisierung legte die Grundlage für eine rasant wachsende Bevölkerung und trieb Menschen in die Städte. Der wirtschaftliche Gewinn verteilte sich hauptsächlich auf wenige Fabrikbesitzer, während Fabrikarbeiter in dieser Zeit großteils in Armut lebten (Bauernhansl 2017).

Um 1870 erfuhr die Welt durch die zweite industrielle Revolution eine neuerliche, enorme Veränderung. Auf technischer Seite wurde die Veränderung durch die Elektrifizierung, elektrische Antriebe und Verbrennungsmotoren getrieben. Hinzu kamen organisatorische Neuerungen durch die Arbeitsteilung und Massenproduktion. An dieser Stelle seien das von Henry Ford entwickelte Fließband und die Arbeitsorganisatorischen Ideen von Frederic W. Taylor nur kurz erwähnt. Insbesondere die Elektro-, Chemie- und Automobilindustrie trieben diese Entwicklungen weiter voran. Die zweite industrielle Revolution veränderte aber auch die Bevölkerung. Es entwickelte sich ein immer größeres Wohlstandsbedürfnis und erste Ideen vom Sozialstaat verbreiteten sich. In dieser Zeit begann der Wandel zur konsumorientierten Gesellschaft der Neuzeit (Bauernhansl 2017).

Nach den zwei Weltkriegen veränderte sich die industrielle Situation erneut durch die Ausbreitung von Elektronik und Informationstechnologie. Die dritte industrielle Revolution brachte eine weitere Automatisierung und legte die Grundlage für die Entwicklung von der Massenproduktion hin zur variantenreichen Serienproduktion. Durch eine immer größere Sättigung am Markt veränderte sich dieser vom Verkäufer- hin zum Käufermarkt. Individualität bis hin zur Mass-Customization stehen im Vordergrund. Außerdem gehen mit der dritten industriellen Revolution auch die fortschreitende Globalisierung und weltweite Arbeitsteilung einher. Mit dem Fortschreiten der dritten industriellen Revolution ging auch eine Entwicklung weg von der Industrie hin zu immer mehr Dienstleistungsgesellschaften einher. Hier bildet Deutschland jedoch eine Ausnahme in der westlichen Welt. Industrie ist und bleibt zentraler Treiber der deutschen Wirtschaft mit ca. 25% des Bruttoinlandsproduktes (Bauernhansl 2017).

Aktuell stehen wir am Anfang einer neuen industriellen Revolution. Als Basis dieser Revolution ist die Entwicklung neuer Informations- und Kommunikationstechnologie zu sehen. Abbildung 6 stellt einen Überblick über alle vier industriellen Revolutionen, deren zeitliche Einordnung, und zentrale Komponenten dar.

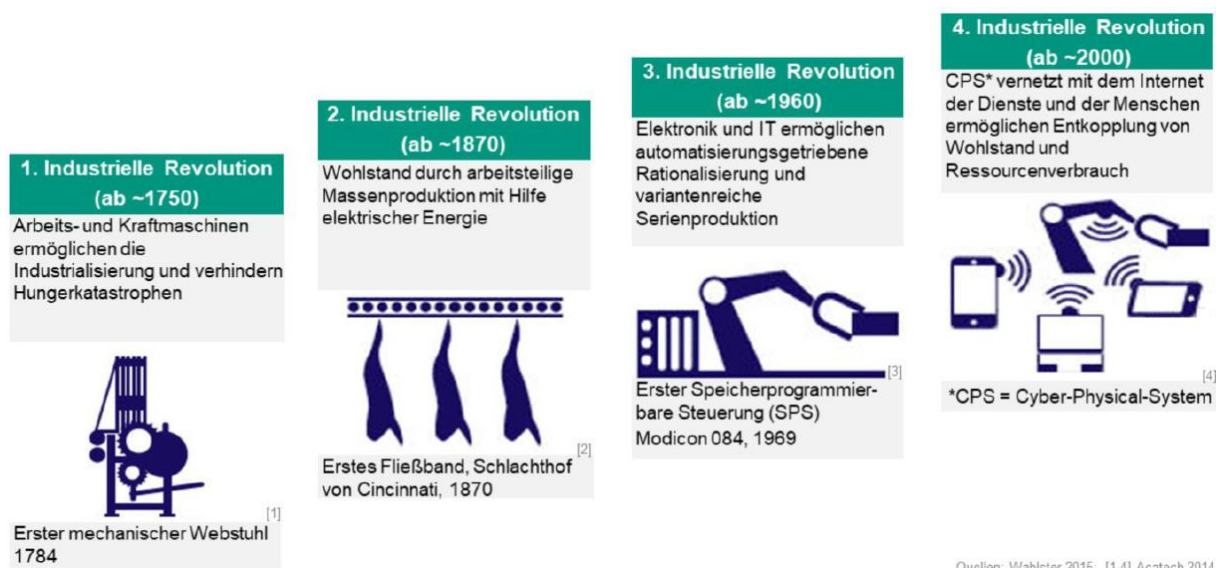


Abbildung 6. Die vier industriellen Revolutionen im Überblick (nach DFKI 2011) (wbk - Institut für Produktionstechnik 2019, S. 79)

Welche technischen, organisatorischen und gesellschaftlichen Neuerungen es genau sein werden, die für die kommende Zeit charakterisierend sein werden, steht nur teilweise fest, da der Schritt in diese Industrie 4.0 gerade erst begonnen hat, beziehungsweise erst noch bevorsteht. Nichtsdestoweniger ist diese vierte industrielle Revolution in aller Munde und stellt die Zukunft unserer industrialisierten Welt dar. Eine gute Umschreibung der Thematik Industrie 4.0 ist Schuh gelungen:

Der Begriff „Industrie 4.0“ steht seit 2011 für die massenhafte Verbindung von Informations- und Kommunikationstechnologien mit der industriellen Produktion. Die rein technologische Betrachtung beschreibt die Entwicklungen der vierten industriellen Revolution jedoch zu kurz. Vielmehr müssen sich im Zuge der Digitalisierung auch organisationale und kulturelle Bereiche eines Unternehmens transformieren. Moderne Technologien ermöglichen zwar den Aufbau einer immer breiteren Datenbasis, die Nutzung der dahinterliegenden Potenziale hängt allerdings ebenso stark von der Organisationsstruktur und der Kultur im Unternehmen ab. Das übergeordnete Ziel ist das lernende, agile Unternehmen, das sich einer wandelnden Umwelt kontinuierlich anpassen kann. (Schuh et al. 2017, S. 7)

Über einige charakteristische Merkmale dieser vierten industriellen Revolution ist man sich heute schon in der Forschung einig. Dazu gehören insbesondere die Erhöhung der Flexibilität und Steigerung der Effizienz in der Produktion, die Herstellung von spezifischeren oder individualisierten Gütern, die Verbindung von Produkt und Dienstleistung als neuer Weg der Leistungserbringung, und die noch tiefergehende Einbindung von Lieferanten, Kunden, und anderen Geschäftspartnern in den Produktentstehungsprozess (acatech 2013; Bauernhansl 2017).

Nachdem zum Ende des letzten Jahrtausends die Verlagerung der Industrie in Auslandsstandorte noch gängige Praxis war, haben mittlerweile alle Volkswirtschaften die Bedeutung der Industrie für ihren Fortbestand erkannt. Im Zuge dessen finden Rückverlagerungen der Produktion in westliche Industrienationen statt (Bauernhansl 2017). Gleichzeitig findet ein Wandel im weltweiten Konsumverhalten statt. Immer mehr Menschen haben die Möglichkeit zum weltweiten Konsum beizutragen. Besonders wichtig dafür sind die Zukunftsmärkte in Asien, aber auch in Südamerika und Afrika werden sich die Märkte bedeutend weiterentwickeln. Auch die Nachfrage in den Industrieländern ist einem Wandel unterworfen, dabei spielen insbesondere Nachhaltigkeit und der demografische Wandel eine große Rolle. Diese Entwicklun-

gen führen zu regional und individuell unterschiedlichen Produkten (Bauernhansl 2017) und bilden die Grundlage für die erwartete weitere Zunahme der Produktvielfalt, wie sie in Abbildung 7 aufgezeigt wird. Dies bringt auch bedeutende produktionswirtschaftliche Auswirkungen mit sich. Der Markt verlangt höhere Qualität zu niedrigeren Preisen. Gleichzeitig werden die Lebenszyklen neuer Technologien immer kürzer, was die tolerierte Entwicklungszeit für Produkt, aber auch Produktionsprozess erheblich verkürzt (Kellner et al. 2018).

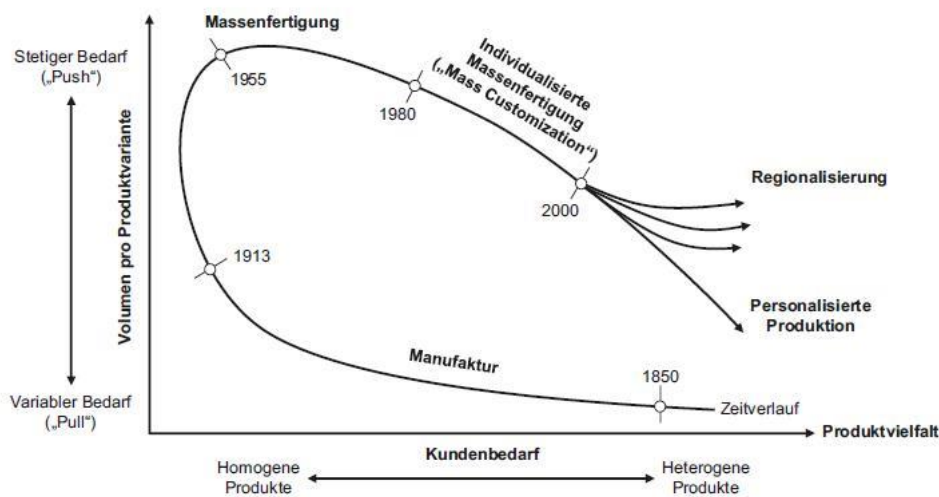


Abbildung 7. Veränderungen auf dem Absatzmarkt als Treiber für die Entwicklung neuer produktionswirtschaftlicher Konzepte (Kellner et al. 2018, S. 274).

2.2.2 Industrie 4.0 Paradigmen

Nachdem im letzten Abschnitt zunächst die historische Entwicklung und dann vor allem die Anforderungen an Industrie 4.0 erläutert wurden, soll dieser Teil dazu dienen zunächst eine im Rahmen dieser Arbeit benutzte Definition für Industrie 4.0 zu liefern und dann auf die wichtigsten organisatorischen und technologischen Kernelemente näher einzugehen.

In *Einführung und Umsetzung von Industrie 4.0* liefert Roth eine sehr klare und detaillierte Definition von Industrie 4.0. Hierbei steht nicht mehr die industrielle Revolution selbst, sondern deren Bedeutung für Industrieunternehmen im Mittelpunkt. Diese Definition soll im Rahmen dieser Arbeit genutzt werden:

Industrie 4.0 umfasst die Vernetzung aller menschlichen und maschinellen Akteure über die komplette Wertschöpfungskette sowie die Digitalisierung und Echtzeitauswertung aller hierfür relevanten Informationen, mit dem Ziel die Prozesse der Wertschöpfung transparenter und effizienter zu gestalten, um mit intelligenten Produkten und Dienstleistungen den Kundennutzen zu optimieren. (Roth 2016b, S. 6)

Die tatsächliche Neuerung besteht also nicht nur in den für Industrie 4.0 eingesetzten Technologien, sondern auch in deren Art des Zusammenspiels untereinander. Dazu gehört auch eine Neugestaltung von Geschäftsprozessen und der Unternehmenskultur. Erst durch die Verbindung all dieser Elemente können Potentiale der Industrie 4.0 voll ausgeschöpft werden (acatech 2013). So werden in der Literatur an unterschiedlichen Stellen etliche Kombinationen verschiedener zentraler Gestaltungselemente und -richtlinien der Industrie 4.0 zusammengetragen. Siepmann fasst diese, in *Einführung und Umsetzung von Industrie 4.0* (Roth 2016a), als fünf zentrale Paradigmen, deren Umsetzung notwendig ist, um von Industrie 4.0 sprechen zu können, zusammen:

Paradigma 1: Vertikale und horizontale Integration¹⁸

Traditionell ist mit vertikaler Integration, im Sinne von Industrie 4.0, eine Verbindung aller technischen Systeme über die Hierarchieebenen der Automatisierungspyramide¹⁹ hinweg gemeint. Um aber eine vollständige Integration zu erreichen, wird sich

¹⁸ Die Begriffe vertikale und horizontale Integration werden nicht nur im Kontext der Industrie 4.0 genutzt. So spricht man z.B. in den Wirtschaftswissenschaften klassischerweise von vertikaler Integration, wenn „ein Unternehmen vor- oder nachgelagerte Fertigungsstufen [...] internalisiert.“ Wikipedia, Vertikale Integration. „Unter horizontaler Integration versteht man in der Wirtschaft das Zusammenfassen von Betrieben gleicher Produktionsstufe unter einem einheitlichen Management.“ Wikipedia, Horizontale Integration. Das Gabler Wirtschaftslexikon unterscheidet zusätzlich noch zwischen horizontaler und vertikaler Integration in der Theorie der multinationalen Unternehmung. „Bei der kompletten Verlagerung der Produktion in ein anderes Land wird von horizontaler Integration gesprochen. Bei der Verlagerung von Teilen der Zwischen- und Endprodukte-Fertigung in verschiedene Länder wird von vertikaler Integration gesprochen.“ Gabler Wirtschaftslexikon, Integration.

¹⁹ Näher eingegangen auf die Automatisierungspyramide und ihre Ebenen wird z.B. in Siepmann 2016c.

die Automatisierungspyramide wandeln, die Hierarchiestufen werden abgebaut werden und ein Netz verbundener Technologien wird entstehen (Siepmann 2016c). In Abbildung 8 wird dieser Wandel hin zu einem Netz unterschiedlicher Dienste dargestellt. Für die vertikale Integration ist es notwendig herstellerunabhängige Standards für den Datenaustausch zwischen den Ebenen, aber auch innerhalb der Hierarchiestufen der Automatisierungspyramide, zu definieren. Die dafür notwendigen Schnittstellen für die Maschine-zu-Maschine-Kommunikation (M2M) müssen noch geschaffen oder zumindest vereinheitlicht werden (Siepmann 2016a).

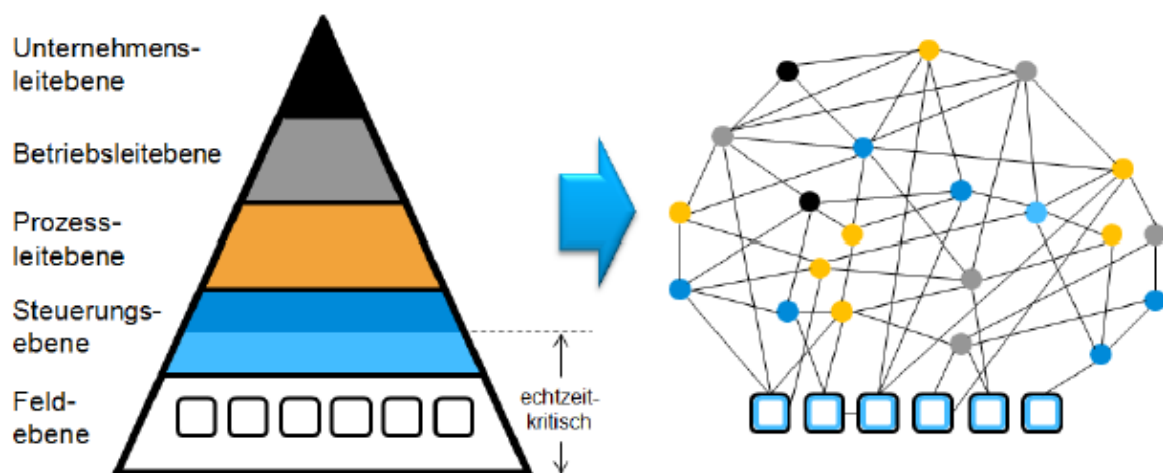


Abbildung 8. Auflösung der hierarchischen Automatisierungspyramide hin zu einem Netz von Diensten (Verein Deutscher Ingenieure e.V. 2013, S. 4).

Die horizontale Integration beschreibt eine Einbindung der Systeme entlang der Wertkette. Es werden also Lieferanten, Kunden, weitere Produktionsstandorte, Dienstleister und so weiter mit den eigenen IT-Systemen über standardisierte Schnittstellen verknüpft. Eine vollständige horizontale Integration ermöglicht es stets weitere Komponenten einzubinden (Siepmann 2016a).

Durch die Kombination von vertikaler und horizontaler Integration entsteht ein mehrdimensionales Netzwerk aus verbundenen Systemen, das einen schnellen Datenaustausch über viele Organisationsstufen hinweg ermöglicht.

Paradigma 2: Dezentrale Intelligenz

Dezentrale Intelligenz ist eine notwendige Voraussetzung für dezentrale Steuerung. Das zweite Industrie 4.0 Paradigma beschreibt, die Möglichkeit von Produktionsmitteln und -anlagen Informationen dezentral und individuell weiterzugeben. Der technischen Herausforderung der dezentralen Informationsverteilung kann auf verschiedene Weisen begegnet werden. Sehr weit verbreitet ist dabei die Nutzung von *RFID*²⁰, bzw. von *Smart Labels*. Vielfältige Informationen zur Art und Beschaffenheit eines Teils, Identifikationsnummern, Bearbeitungsanweisungen, etc. können so z.B. an einem Produktrohling, Transportbehälter oder Werkzeug angebracht werden. Über Sensoren und Aktoren können diese Informationen ausgelesen und zur Steuerung genutzt werden (Siepmann 2016a).

Paradigma 3: Dezentrale Steuerung

Dezentrale Steuerung beschreibt die Entwicklung weg von einem festen Schaltschrank mit Speicherprogrammierbaren Steuerungen (SPS) und serieller Verkabelung hin zu einer Steuerung des Produktionssystems über das *Internet der Dinge und Dienste (IoTS)*.²¹ Diese Entwicklung weg von geografisch eingeschränkter Steuerung führt zu einer weitaus größeren Flexibilität des gesamten Produktionssystems. Die durch dezentrale Intelligenz verteilt bereitgestellten Informationen können über das IoTS weitergegeben werden. So können Steuerungs- und Planungssysteme auf verteilte Echtzeitinformationen zugreifen und mit über die Cloud skalierbare Rechenleistung zu jedem Zeitpunkt auf Veränderungen (z.B. Maschinenstörungen) des Produktionssystems mit neuen Steuerungssignalen reagieren. Über IoTS-Schnittstellen ist außerdem die Möglichkeit gegeben den Menschen in das Steuerungssystem mit einzubinden, ob er vor Ort ist oder nicht (Siepmann 2016a).

²⁰ RFID – Alphabetismus aus dem Englischen: Radio-Frequency Identification.

²¹ IoTS – Alphabetismus aus dem Englischen: Internet of Things and Services. IoTS ist ein wichtiger Bestandteil von Cyberphysischen Produktionssystemen und wird im Zuge von Paradigma 5 näher erläutert.

Paradigma 4: Durchgängiges digitales Engineering

Durchgängiges digitales Engineering beschreibt die durchgängige Nutzung digitaler Werkzeuge und Methoden über den gesamten Produktlebenszyklus hinweg. Das digitale Engineering kann dabei in drei Bereiche geteilt werden. Dazu gehört zunächst die *digitale Fabrik* selbst. Sie umfasst alle virtuellen Repräsentationen von real in der Fabrik vorliegenden Komponenten. Um die Fabrik selbst, Maschinen und Anlagen, Produkte, Teile, Personalressourcen und Produktionsprozesse abzubilden, kommen technische Werkzeuge wie CAD, CAM, CAP etc. zum Einsatz. Durch eine Erweiterung der Betrachtung um die Komponente der Zeit entsteht eine dynamische Betrachtung, die als *virtuelle Fabrik* bezeichnet wird. In Kombination mit dem dritten und letzten Aspekt des durchgängigen digitalen Engineerings, dem *Datenmanagement*, kann die reale auf die virtuelle Welt projiziert werden. Dies erhöht den möglichen Nutzen von Planungswerkzeugen. Durch das einheitliche Datenmanagement entfällt eine große Menge an Mehraufwand durch Instanziierung und Pflege von Wissen an unterschiedlichen Stellen im Unternehmen. Erst in Kombination mit durchgängigem digitalem Engineering kann das volle Potential von Visualisierungstechniken, wie Augmented- oder Virtual-Reality, ausgeschöpft werden (Siepmann 2016a).

Paradigma 5: Cyberphisches Produktionssystem (CPPS)

Das fünfte Paradigma der Industrie 4.0 beschreibt mehr als die anderen Paradigmen technische Systemvoraussetzungen. Der erste Schritt hin zum CPPS ist das Phänomen des *Ubiquitous Computing*. Dieser Terminus beschreibt das allgegenwärtige Vorhandensein von Kleinstcomputern in „intelligenten Objekten“. Durch die Anbindung dieser Gegenstände an das Internet und die Ausstattung mit Kommunikationstechnologie entsteht das IoTS. Die Grundidee besteht dabei darin (Alltags-) Gegenstände mit einer IP zu versehen und darüber an das Internet anzubinden. Somit können diese Gegenstände Informationen, die sie über Sensoren aufzeichnen, weitergeben. Durch die Verarbeitung dieser Informationen können dann neue Dienstleistungen bereitgestellt werden. Außerdem gibt es über diese Vernetzung und die eindeutige IP-Zuweisung die Möglichkeit alle diese vernetzten Objekte über das Internet zu steuern. Im Sinne von Industrie 4.0 bedeutet das, dass Produkte, Produktionsmittel und Produktionsanlagen über IoTS miteinander verknüpft werden (vergleiche *Para-*

Paradigma 2: Dezentrale Intelligenz und *Paradigma 3: Dezentrale Steuerung*). Die Verbindung von physischen Objekten, Datenspeichern und Dienstsyste men (*Cloud-Computing*) über IoTS bildet ein so genanntes *Cyberphysisches System (CPS)*. Es wird erst dann von einem CPPS gesprochen, wenn ein oder mehrere CPS über Schnittstellen zur Kommunikation von *Maschine-zu-Maschine (M2M)* verfügen und mit einem *Mensch-Maschine-Interface (HMI²²)* ausgestattet sind (Siepmann 2016b). Im Bereich des HMI kommen dabei zunehmend *Augmented Reality* und *Virtual Reality* zum Einsatz (Ovtcharova et al. 2015).

Ziel ist es die gesamte Produktionsanlage als CPPS zu realisieren. In Kombination mit einer echtzeitfähigen PPS kann so das Gesamtsystem (bei gelungener vertikaler und horizontaler Integration sogar über die komplette Wertschöpfungskette hinweg) mit Echtzeitdaten gesteuert werden. Dies schafft bisher undenkbbare Möglichkeiten zur Optimierung von Produktions- und Logistikabläufen (Siepmann 2016a).

2.2.3 Industrie 4.0 Modelle

Die Bedeutung der Verständlichkeit von Modellen ist weithin anerkannt und wird in der Literatur besonders in Bezug auf die Produktentwicklung betont. Wann immer heterogene Teams zur Lösung von Aufgaben, insbesondere im Kontext der Industrie 4.0, zusammen kommen, ist eine einheitliche Sprache von großer Bedeutung (Herter und Ovtcharova 2016).

In diesem Abschnitt werden die zwei in Deutschland verbreitetsten Industrie 4.0 Modelle vorgestellt. Sowohl der *acatech Industrie 4.0 Maturity-Index* als auch das *Referenzarchitekturmodell Industrie 4.0 (RAMI 4.0)* ermöglichen es Unternehmen eine Standortbestimmung in Bezug auf Industrie 4.0 zu vollziehen. Von diesem Ausgangspunkt aus kann mit einer gezielten Methodik der Ausbau von Industrie 4.0-Gesichtspunkten in dem Unternehmen vorgenommen werden. Im Rahmen dieser Arbeit werden nur die Modelle an sich vorgestellt und nicht näher auf ihren Einsatz zur Entwicklung von Industrie 4.0 Roadmaps eingegangen.

²² HMI – Alphabetismus aus dem Englischen: Human-Machine-Interface.

Acatech Industrie 4.0 Maturity Index

Die Informationen zum acatech Industrie 4.0 Maturity Index wurden der zugehörigen acatech Studie: *Industrie 4.0 Maturity Index – Die digitale Transformation von Unternehmen gestalten* entnommen (Schuh et al. 2017).

Kernelement des Modells sind so genannte nutzenorientierte Entwicklungsstufen. Diese sechs Stufen beschreiben den Grad der Umsetzung von Industrie 4.0 und werden in Abbildung 9 dargestellt. Dabei ist es wichtig zu sehen, dass nicht jedes Unternehmen daran interessiert sein muss, die sechste und höchste Stufe zu erreichen, sondern individuell Kosten und Nutzen gegeneinander aufgewogen werden.

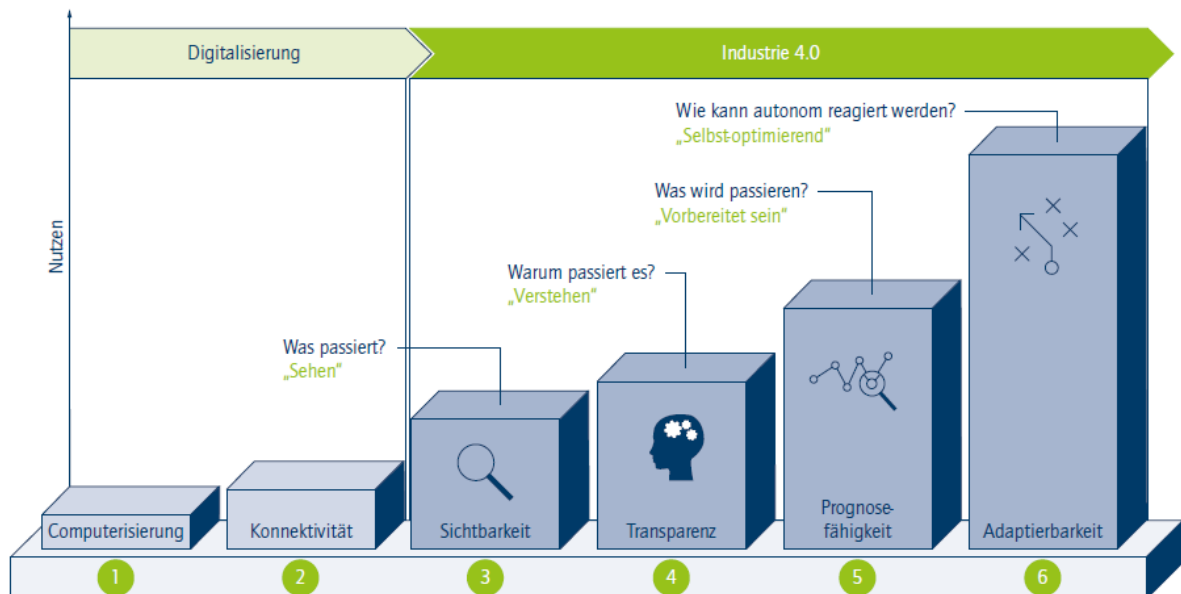


Abbildung 9. Stufen des Industrie 4.0 Entwicklungspfad (Schuh et al. 2017, S. 16).

Die Voraussetzungen, die für Industrie 4.0 geschaffen werden müssen, werden mit den ersten zwei Stufen *Computerisierung* und *Konnektivität* beschrieben. Die Stufen drei bis sechs beschreiben unterschiedliche Niveaus der Industrie 4.0-Fähigkeiten.

Computisierung: Die erste Stufe beschreibt den Einsatz von Informationstechnologie, die nicht in ein Gesamtsystem eingebunden ist. Ein Beispiel hierfür ist die CNC-Maschine, auf die händisch (z.B. USB-Stick) das Programm mit dem G-Code übertragen werden muss.

Konnektivität: Der isolierte Einsatz von Technologien wird durch vernetzte Komponenten abgelöst. Auf dieser Stufe sind sowohl der Anfang des Einsatzes von IoT als auch die digitale Integration von IT-Schnittstellen anzusiedeln. Als Beispiele sind integrierte CAD-CAM-Schnittstellen und vernetzte Werkzeugmaschinen zu nennen.

Sichtbarkeit: Diese Stufe zeichnet sich durch den großflächigen Einsatz von Sensoren aus. Dadurch können Daten im ganzen Unternehmen in Echtzeit erfasst werden und daraus ein Abbild der Realität („Digitaler Schatten“) erstellt werden. Ziel der Datenerhebung ist es nicht mehr einzelne Analysen durchführen zu können, sondern das gesamte Unternehmen abzubilden.

Transparenz: Die vierte Stufe baut auf der kompletten Datenerhebung auf. Die erhobenen Daten werden nun in Verbindung gesetzt und es werden daraus Informationen abgeleitet. Durch verschiedene Analysemethoden (Stichwort: Big Data) kann auf dieser Stufe Wissen über Wirkzusammenhänge abgeleitet werden.

Prognosefähigkeit: Wie der Name schon verrät, wird hier der Blick nach vorne gewandt. Es werden verschiedene Zukunftsszenarien entwickelt und in Bezug auf ihre Eintrittswahrscheinlichkeit bewertet. Aufgrund dieser Berechnungen können wahrscheinlich kommenden Störungen manuell vorgebeugt oder diese zumindest eingeplant werden.

Adaptierbarkeit: Aufgrund der Prognosen kann ein System selbstständig reagieren. Es gilt dabei abzuwägen, welche Prozesse und Entscheidungen autonom durchgeführt werden sollen. Dabei spielt sowohl die Komplexität im Sinne eines Kosten-Nutzen-Abgleichs als auch die Wichtigkeit der Tätigkeit eine Rolle. Ziel ist es aus den gewonnenen Daten innerhalb kürzester Zeit Handlungsweisen abzuleiten und diese ohne menschliches Eingreifen umzusetzen.

Das Reifegradmodell definiert zusätzlich vier *Gestaltungsfelder*, in denen nach je zwei *Prinzipien* eingeteilt wird, welche Entwicklungsstufe erreicht ist. Für jedes Prinzip gibt es zugehörige *Fähigkeiten*. Die Gestaltungsfelder des Maturity Index-Modells sind *Ressourcen*, *Informationssysteme*, *Organisationsstruktur*, und *Kultur*. Es gibt nun die Möglichkeit den jeweiligen Reifegrad eines Unternehmens bezüglich der verschiedenen Prinzipien zu bewerten, indem die im Unternehmen angetroffenen

Fähigkeiten eingeordnet werden. In einem nächsten Schritt können die einzelnen Reifegrade in den unterschiedlichen Gestaltungsfeldern zusammengetragen werden, um eine Gesamtbewertung anzustellen. Das Reifegradmodell wird in Abbildung 10 grafisch dargestellt.

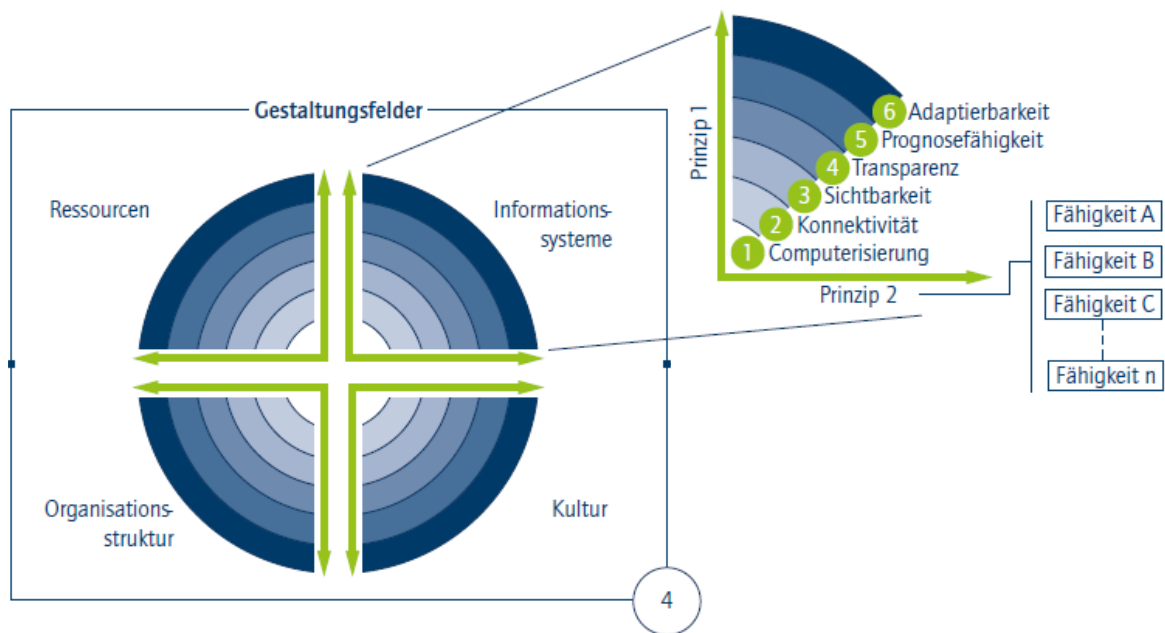


Abbildung 10. Modellaufbau des acatech Industrie 4.0 Maturity Index (Schuh et al. 2017, S. 19).²³

Ressourcen: Ressourcen im Sinne des Modells sind alle physisch greifbaren Elemente wie Mitarbeiter, Betriebsmittel und Materialien. Die zwei Prinzipien, die dieses Gestaltungsfeld aufspannen sind zum einen die *digitale Befähigung*, zum anderen die *Strukturierte Kommunikation*. Ersterem sind die Fähigkeiten *digitale Kompetenz vorhalten*, *Rückmeldedaten automatisiert erzeugen*, und *Daten dezentral (vor-)verarbeiten* zuzuordnen. Die Fähigkeiten der Strukturierten Kommunikation sind zum einen *effizient kommunizieren* und zum anderen *Schnittstellen aufgabengerecht gestalten*.

²³ Das Modell zum acatech Industrie 4.0 Maturity Index schließt in seiner Gesamtheit eine Einordnung in die Gesamtheit des Ordnungsrahmen Produktion & Management ein. Zusätzlich zu den Gestaltungsfeldern umfasst es außerdem noch Funktionsbereiche und Anwendungshinweise. Diese Teile des Modells sind aber im Rahmen dieser Arbeit nicht von Bedeutung.

Informationssysteme: Alle Elemente, die an der Daten- und Informationsverarbeitung beteiligt sind, gehören zu dem soziotechnischen Informationssystem. Daraus ergibt sich auch das erste Prinzip: *Informationsverarbeitung*. Die Fähigkeiten, die es hier zu entwickeln gilt, sind *Datenanalyse, kontextbasierte Informationsbereitstellung, anwendungsgerechte Benutzerschnittstelle, und resiliente IT-Infrastruktur*. Das zweite zugehörige Prinzip ist die *Integration*. Dazu zählen die Fähigkeiten der *horizontalen und vertikalen Integration, Data Governance, standardisierte Datenschnittstelle, und IT-Sicherheit*.

Organisationsstruktur: Unter diesem Punkt sind die Regeln eines Unternehmens zusammengefasst. Das beinhaltet die Aufbau- und Ablauforganisation innerhalb des Unternehmens, aber auch die Positionierung und Zusammenarbeit innerhalb des gesamten Wertschöpfungsnetzwerk. Diese zwei Bestandteile sind auch die zwei Prinzipien: *Interne Organisation* und *Kollaboration im Wertschöpfungsnetzwerk*. Intern werden *flexible Communities, Management von Entscheidungsrechten, Motivierende Vergütung* und *agiles Management* als Fähigkeiten gesehen. In Bezug auf das Netzwerk stehen *Ausrichtung am Kundennutzen* und *Kooperation im Netzwerk* im Vordergrund.

Kultur: Unter diesem Punkt werden die eher weichen, aber nicht weniger wichtigen Faktoren zusammengefasst. Das erste und oft vernachlässigte Prinzip in diesem Zusammenhang ist die *Bereitschaft für Veränderung*. Diese bringt *Fehler als Schätze, Offenheit für Innovation, datenbasiertes Lernen und Entscheiden, fortlaufende Qualifikation, und das Gestalten von Veränderung* mit sich. Dem gegenüber steht das zweite Prinzip: *Soziale Kollaboration*. Die hierzugehörigen Fähigkeiten sind ein *Demokratischer Führungsstil, offene Kommunikation, und Vertrauen in Prozesse und Informationssysteme*.

RAMI 4.0

Das *Referenzarchitekturmodell Industrie 4.0* (RAMI 4.0) wurde von dem Forschungsverbund *Plattform Industrie 4.0* entwickelt. Der Zweck des Modells besteht darin ein einheitliches Architekturmodell als Referenz zu schaffen, anhand dessen Zusammenhänge und Details zu einheitlichen Standards, Use Cases, Normen, etc. disku-

tiert werden können (VDI/VDE-Gesellschaft Mess- und Automatisierungstechnik (GMA) 2015, S. 6).

Das Modell, wie in Abbildung 11 dargestellt, baut auf dem Smart Grid Architecture Model (SGAM) auf und verfügt über drei Dimensionen. Vertikal wird das Modell in sechs Schichten (*Layers*) aufgeteilt. Die zweite Achse gliedert nach dem Produktlebenszyklus (*Life Cycle Value Stream*) und die dritte Achse nach Hierarchieebenen (*Hierarchy Levels*) (VDI/VDE-Gesellschaft Mess- und Automatisierungstechnik (GMA) 2015).

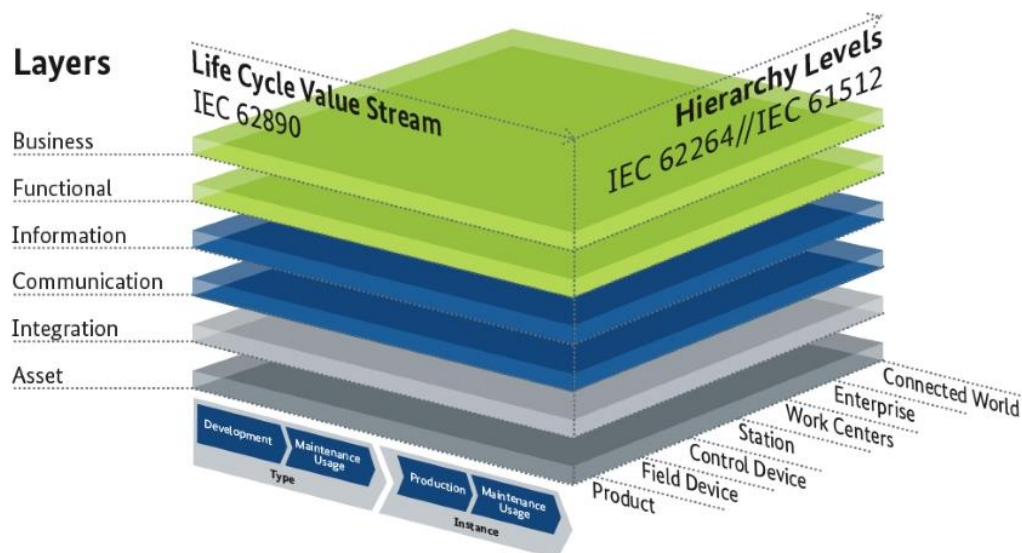


Abbildung 11. Das Referenzarchitekturmodell Industrie 4.0 (RAMI 4.0) (ZVEI - Zentralverband Elektrotechnik- und Elektronikindustrie e.V. 2015)

Die Geschäftssicht (*Business Layer*) beschreibt übergeordnete Regeln und Zusammenhänge von Prozessen. Dabei liegt der Fokus auf der Frage „Wofür wird der Kunde bezahlen?“ In der Funktionsschicht (*Functional Layer*) werden die angebotenen Funktionen formell beschrieben. Sie beantwortet die Frage „Was soll mein Produkt können?“ In der Informationsschicht (*Information Layer*) stehen Daten, Information, und Wissen im Vordergrund. „Welche Daten soll mein Produkt liefern?“, lautet die Frage, die hier gestellt werden sollte. Der Zugriff auf Informationen, also die Frage „Wie bekomme ich oder mein Kunde die Daten?“ wird in der Kommunikationsschicht (*Communication Layer*) geklärt. Die Integrationsschicht (*Integration Layer*) stellt den Übergang zwischen physischer und virtueller Welt da. Hier wird gefragt:

„Welche Anteile von meinem Produkt sind digital und im Netz verfügbar?“ Diese Schicht ist auch für die Interaktion mit dem Menschen verantwortlich. Die Basis zu allem bildet die Gegenstandsschicht (*Asset Layer*) auf der die physische Welt mit allen Dingen, aber auch Menschen anzusiedeln sind. Die Gegenstandsschicht kann über aktive Elemente (z.B. HMI) oder passive Elemente (z.B. QR-Codes) mit Hilfe der Integrationsschicht an die virtuelle Welt angebunden sein. „Wie verbinde ich mein Produkt mit dem Prozess, um es in der realen Welt bewegen zu können?“ ist die zentrale Fragestellung der Gegenstandsschicht. (VDI/VDE-Gesellschaft Mess- und Automatisierungstechnik (GMA) 2015; Plattform Industrie 4.0 2018)²⁴

Die Produktlebenszyklusachse ist an die IEC 62890 Norm zum Life-Cycle-Management angelehnt. Dabei wird zwischen Typ und Instanz eines Produktes unterschieden. Der Typ ist die Idee, das Konzept, die Konstruktion oder auch der Prototyp²⁵ eines Produktes. Die Instanz ist der tatsächliche Gegenstand aus der eigentlichen Fertigung selbst (Hankel 2015).

Die Hierarchieachse ist an die internationale Normenreihe zur Unternehmens-EDV und Leitsystemen IEC 62264 angelehnt. Die auf dieser Achse dargestellten Funktionalitäten wurden um zwei Elemente ergänzt. Auf der einen Seite das Werkstück (*Product*) und auf der anderen Seite der Zugang zum Internet bzw. zum IoTS (*Connected World*) (Hankel 2015). Die Hierarchieachse ähnelt sehr stark der Automatisierungspyramide. Aber auch im Zusammenhang mit RAMI 4.0 wird der Übergang von der strikten Hierarchie zu einem Netz von Funktionen betont. Dieses Netzwerk kann im Gegensatz zur starren Automatisierungspyramide auch Unternehmensgrenzen überspannen. In Abbildung 12 sind links die Hierarchieebenen der Industrie 3.0 (Automatisierungspyramide) und rechts die Hierarchieebenen der Industrie 4.0, auf die sich RAMI 4.0 bezieht, dargestellt. In Industrie 4.0 ist das Produkt Teil der Hierarchie, in den Produktionsprozess funktionell mit eingebunden und gegeben-

²⁴ Die wörtlichen Zitate in dem Absatz (die zentralen Fragen) entstammen alle Plattform Industrie 4.0 2018, S. 22.

²⁵ Nur wenn es um ein Produkt aus einer Serienfertigung geht wird hiermit ein Prototyp gemeint. Bei einer Auftragsfertigung in Losgröße eins ist der Prototyp das Produkt und damit auch die Instanz des Produktes.

nenfalls sogar schon vor der Fertigstellung über die Connected World vernetzt (Plattform Industrie 4.0 2018).

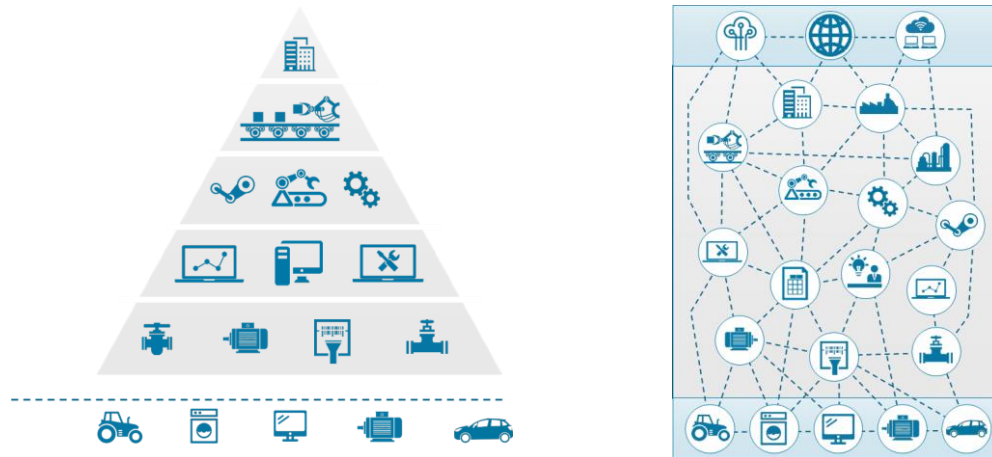


Abbildung 12. Die Hierarchien von Industrie 3.0 und Industrie 4.0 im Vergleich (Salari 2018a, 2018b).

RAMI 4.0 liefert damit eine gute Grundlage für die Diskussion der verschiedenen Elemente von Industrie 4.0. Es hilft dabei Produkte und Abläufe im Kontext der Industrie 4.0 einzuordnen und schafft einen Lösungsraum für die neuen Herausforderungen. Im Kontext von RAMI 4.0 entstehen internationale Normen und durch Abstimmungen mit anderen Nationen wird eine gemeinsame Perspektive und Sprache angestrebt (Plattform Industrie 4.0 2018).

2.2.4 Produktionsplanung im Kontext der Industrie 4.0

Der Übergang zu Industrie 4.0 hat auch Einfluss auf die PPS. So verändert sich einerseits die Aufgaben und deren Lösungsraum durch die Erweiterung des Blickpunktes über die Unternehmensgrenzen hinweg. Andererseits bieten sich auch neue Möglichkeiten in der Art der Lösung bestehender PPS-Aufgaben durch den Einsatz neuer Technologien.

Schon im vergangenen Jahrhundert ist die Arbeitsteilung immer weiter vorangeschritten und mehr und mehr Unternehmen haben sich auf einzelne Aspekte von Wertschöpfungsketten konzentriert. Diese Entwicklung wurde durch das Zerbrechen des Ostblocks und die fortschreitende Globalisierung nur noch bestärkt (Bauernhansl 2017). Eine zunehmende Bedeutung von Netzwerkaufgaben allein ist also keine

Neuerung von Industrie 4.0. Es gibt jedoch aktuelle Trends zu immer flexibleren und nur temporären Produktionsnetzwerken. Dies geht so weit, dass im Zusammenhang mit dem so genannten Cloud Manufacturing nur einzelne Aspekte des Produktlebenszyklus an sich stetig wechselnde Partner ausgelagert wird. Dies kann sowohl für Produktentwicklungs- als auch für eigentliche Herstellungsaufgaben genutzt werden. Dabei können nur Kapazitäten, aber auch z.B. spezielle Technologien, die nicht jedes Unternehmen beherrscht, als Service angeboten oder zugebucht werden. Diese hochflexiblen und wandlungsfähigen Wertschöpfungsnetzwerke bringen zum einen neue Geschäftsmodelle mit sich, verlangen andererseits aber auch eine größere Agilität von Unternehmen. Um die PPS für die Industrie 4.0 vorzubereiten, sind deswegen neue Technologien, aber auch neue Arbeitsabläufe notwendig (Ellwein und Elser 2019).

Durch organisationale und technologische Veränderungen ergeben sich auch für die Kernaufgaben der PPS enorme Verbesserungspotentiale. Insbesondere die Verkürzung der Daten-, Analyse-, Entscheidungs-, und Anwendungslatenz in Reaktion auf ein Ereignis bietet die Möglichkeit der Wertsteigerung, wie in Abbildung 13 gezeigt. Die vier Verbesserungsbereiche entsprechen dabei der Umsetzung der Reifegradstufen des acatech Maturity Indexes (Bach et al. 2019).

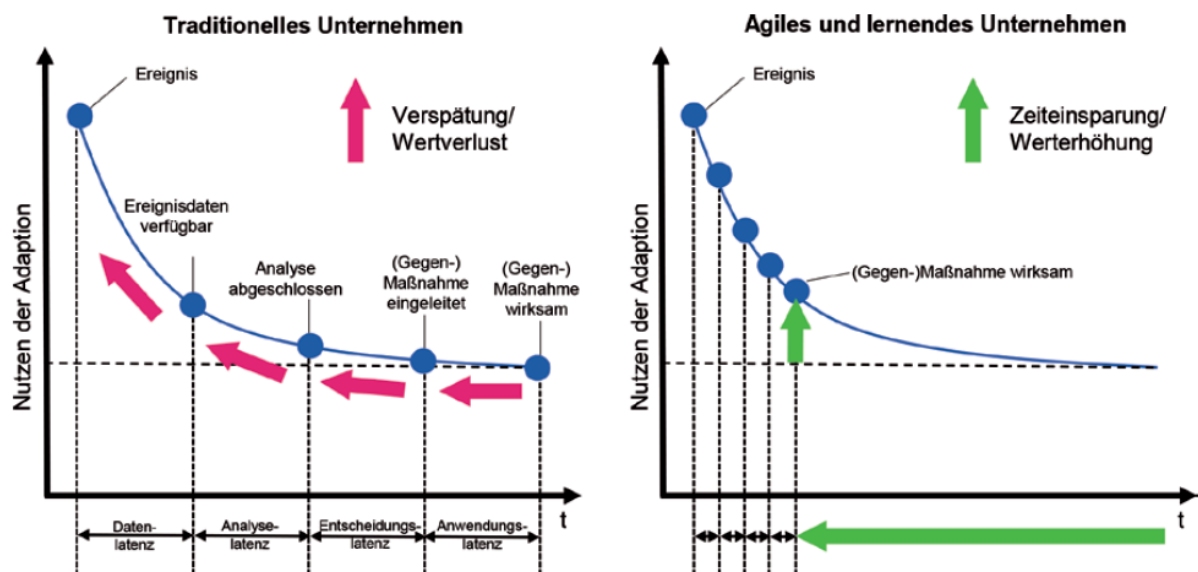


Abbildung 13. Auswirkungen von Industrie 4.0 auf Entscheidungs- und Anpassungsprozesse (Bach et al. 2019, S. 815).

Die grundlegende Veränderung in der PPS durch Industrie 4.0 ist eine viel breitere und akkuratere Datengrundlage, auf deren Basis Entscheidungen getroffen werden können. Durch die größere Menge eigener Daten kann der Nutzen von stochastischen Verfahren um ein Vielfaches gesteigert werden. Insbesondere in Kombination mit dem Themenfeld Big Data führt das zu detaillierteren Abbildungen der Realität und darauf aufbauend zu besseren Planungsergebnissen. Je nach Industrie 4.0 Reifegradstufe eines Unternehmens können diese Auswertungen sogar automatisiert ablaufen. Gegebenenfalls können sogar unterschiedliche Planungsmethoden verglichen werden. Dazu kann die Planabweichung in der Vergangenheit, die aus dem Nutzen verschiedener Verfahren resultiert hat, bewertet werden. Darüber hinaus wird die Prognose von Zukunftsszenarien unterstützt, aus denen automatisiert Handlungsalternativen abgeleitet werden können. Unter Umständen können so Entscheidungen, deren Horizont klar begrenzt ist, sogar voll automatisiert getroffen und umgesetzt werden. Dies kann sogar dazu führen, dass z.B. Make-or-Buy Entscheidungen komplett von einem IT-System übernommen werden. Diese Veränderungen führen dazu, dass der Aufgabenhorizont des Produktionsplaners sich unweigerlich verschiebt. Datenanalysen und die Berechnung von optimalen Betriebspunkten werden von Maschinen übernommen, während der Mensch sich mehr auf gestalterische Tätigkeiten fokussiert (Bach et al. 2019).

2.3 Subjektorientierung

Das Modellierungsparadigma der Subjektorientierung (SO) wurde zunächst von Albert Fleischmann im Jahr 1994 vorgestellt (Fleischmann 1994), bevor diese anfänglichen Konzepte später weiter elaboriert wurden. Insbesondere sei hier auf das Werk *Subjektorientiertes Prozessmanagement* verwiesen (Fleischmann et al. 2011). Eng verknüpft mit SO ist das Forschungsfeld von S-BPM (Subject-Oriented Business Process Management). Dieser Abschnitt dient zur Einführung in die Gedankenkonzepte und die Nomenklatur von SO und S-BPM.

2.3.1 Definition von Subjektorientierung

Auf Basis der diesbezüglichen Literatur definiert Elstermann SO wie folgt:

Subject-Oriented – a modeling or description paradigm for processes that is derived from the structure of natural languages. It requires the explicit and continuous consideration of active entities within the bounds of a process as the conceptual center of description. Active entities (subjects) and passive elements (objects) must always be distinguished and activities or task can only be described in the context of a subject. The interaction between subjects is of particular importance and must explicitly be described as exchange of information that can-not be omitted. (Elstermann 2020, S. 80)

Der Kern der SO ist also eine Anlehnung an die natürliche Sprache, das heißt Konstrukte aus Subjekt, Prädikat, und Objekt. Dabei steht das Subjekt als zentraler Akteur im Mittelpunkt dieser Beschreibungslogik. Die beschriebenen Subjekte sind aber keine Neuerfindung, sonst – also bei prozedural- oder objektorientierten Beschreibungsarten – meistens jedoch nur implizit gegeben (Fleischmann et al. 2011). Wie Schmidt et al. (Schmidt et al. 2009) aufzeigen, ist die Beachtung von Subjekten in verschiedenen Modellierungssprachen möglich. Die einzige Modellierungssprache, die aber alle elementaren Sprachelemente (Subjekt, Objekt, Prädikat) vollständig abbilden kann, ist das Parallel Activity Specification Scheme (PASS). Ein tiefergreifendes Verständnis von Modellierungssprachen ist an dieser Stelle nicht von Bedeutung. Deswegen werden der Aufbau und die Möglichkeiten von PASS in 3.2 näher beschrieben.

2.3.2 Subjekt-basierte Modellierung

In der Praxis kommt es vor, dass auch nur Teilaspekte der Subjektorientierung für die Modellierung aufgegriffen werden. Dies wird insbesondere dadurch verstärkt, dass Modellierungssprachen genutzt werden, die SO nicht vollständig unterstützen. In diesem Zusammenhang wird dann von *subjekt-basierter* Modellierung (und nicht SO) gesprochen (Elstermann 2020). Auch zu diesem Begriff soll die Definition von Elstermann genutzt werden:

Subject-Based Modeling – A definition for process models that follow the broad principles of subject-orientation, but without embracing a modeling notation that enforces the paradigm and therefore lacks the possibility of automation tool support and requires strict paradigm adherence by a modeler without the according tool support. (Elstermann 2020, S. 83)

Es kommt vor, dass in diesem Zusammenhang auch von S-BPM gesprochen wird, was dann als *Subject-Oriented Business Process Modelling* verstanden werden muss. Insbesondere der Verweis auf *S-BPM-Schaubilder* ist weit verbreitet. In vielen Fällen sind damit jedoch PASS-Modelle gemeint und der Alphabetismus S-BPM ist in dem Zusammenhang irreführend (Elstermann 2020).

2.3.3 Subjektorientiertes Geschäftsprozessmanagement

Neben der soeben beschriebenen Variante den Alphabetismus S-BPM zu deuten, gibt es noch eine weitere Möglichkeit. Da in der Literatur oft nicht scharf zwischen den zwei Begrifflichkeiten getrennt wird, kann dies leicht zu Missverständnissen oder aber zumindest zu inakkuraten Beschreibungen führen. Die häufigere Bedeutung von S-BPM ist *Subjektorientiertes Geschäftsprozessmanagement (Subject-Oriented Business Process Management)* und soll im Rahmen dieser Arbeit auch so benutzt werden. Elstermann definiert den Begriff:

Subject-Oriented Business Process Management (S-BPM) – A process management discipline that is oriented towards and heavily incorporates the Subject-Orientated modeling paradigm for the purpose of restructuring and automation of business processes with a strong emphasis on involving all active stakeholders and participants for that task. (Elstermann 2020, S. 82)

Ein S-BPM Ansatz umfasst also zwei Dimensionen. Das sind zunächst die zugrundeliegende Managementphilosophie und die damit verbundene Auseinandersetzung mit (unternehmensspezifischen) Erfolgsfaktoren. Die zweite Dimension besteht darin, dass die Geschäftsprozesse, die durch Ausrichtung auf diese Leitaufgaben modelliert wurden, mit Digitalisierungstätigkeiten automatisiert werden (Schmidt et al. 2009).

2.3.4 Subjektorientierung im industriellen Umfeld

Der größte Teil der Forschung im Bereich von SO bezieht sich auf S-BPM. Dabei liegt der Fokus zumeist auf zwei Bereichen. Diese sind einerseits die Technologie selbst und andererseits die S-BPM-Methodologie (Buchwald 2010a). So wurde in den vergangenen zehn Jahren der Nutzen von SO im Bereich der Geschäftsprozesse (Buchwald 2010b), der Produktentwicklung (Elstermann 2020), und in Bezug auf Produktionsprozesse (Neubauer und Stary 2017) betrachtet. Im Bereich der Produktionsplanung und -steuerung findet SO bisher wenig bis keine Anwendung. So gibt es Ansätze Logistikprozesse und die unternehmensinterne Auftragsabwicklung mittels SO näher zu betrachten (Fleischmann et al. 2016). Kannengiesser schlägt vor SO für das Wertstromdesign anzuwenden, argumentiert jedoch rein theoretisch und sehr praxisfern (Kannengiesser 2014). Eine weitere Anwendung in der Logistik wird von Piller und Wölfel beschrieben. Dabei wird eine konkrete Umsetzung von SO in der Produktionsplanung beschrieben, die aber nur in einem sehr beschränkten Bereich für eine kurze Zeit eingesetzt wurde. Außerdem ist unklar, ob die erreichten Verbesserungen auf dem Einsatz von SO beruhen oder auch aus dem Einsatz anderer Produktionsplanungstechniken resultiert hätten (Piller und Wölfel 2014).

Fleischmann beschreibt, dass für die Zukunft von S-BPM eine Erweiterung des Blickwinkels hin zu einem SO-Ansatz nötig ist, um Geschäfts- und Produktionsprozesse im Sinne von Industrie 4.0 zu integrieren. Er legt dar, dass dadurch viele aktuelle technologischen Trends mit SO-Charakteristika in Einklang zu bringen sind (Fleischmann 2018). Die Themen der Industrie 4.0 werden zunehmend im Zusammenhang der Subjektorientierung betrachtet. So wurde unter anderem festgestellt, dass SO ein geeigneter Ansatz für vertikale und horizontale Integration ist. In diesem Zusammenhang könnte insbesondere die *Geschäftssicht* (vergleiche RAMI 4.0)

durch einen SO-Ansatz einen gemeinsamen Standard bekommen (Kaar et al. 2018). Dezentrale Intelligenz ist eng verknüpft mit IoT. In diesem Zusammenhang wurden z.B. Konzepte zum durch SO gestützten Datenaustausch (Fleischmann und Stary 2019), und Möglichkeiten zum Modellieren geeigneter IoT-zentrierter Geschäftsprozesse (Venkatakumar und Schmidt 2019) vorgeschlagen. In einem weiteren Forschungsprojekt wird SO als geeignete Basis für dezentrale Steuerung identifiziert (Friedl 2018). Des weiteren beschreiben Lederer et al. verschiedene Anknüpfungspunkte von SO für das durchgängige digitale Engineering (Lederer et al. 2018). Die physische Umsetzung von CPS wird im Zusammenhang von SO weniger besprochen, aber es wird dargelegt, dass CPS in dem Denkmodell von SO als Subjekte betrachtet werden können (Fleischmann 2018). Es werden also alle fünf Industrie 4.0 Paradigmen im Kontext von SO diskutiert. Kannengiesser und Müller ordnen S-BPM in RAMI 4.0 ein. SO kann demnach für die oberen drei Schichten (Geschäftssicht, Funktionsschicht, und Informationsschicht) in Bezug auf die Hierarchieebenen der vernetzten Welt, des Unternehmens, und von Arbeitsplätzen über den gesamten Lebenszyklus hinweg, eingesetzt werden. Sie unterstützen, dass über die SO der Geschäftssicht sogar ein einheitlicher Standard gegeben werden kann (Kannengiesser und Müller 2018).

2.4 Zusammenfassung der Ausgangssituation

Mit dem Eintritt in das Zeitalter von Industrie 4.0 stehen deutsche Unternehmen vor neuen Herausforderungen. Dieser Paradigmenwechsel bedeutet jedoch nicht, dass dem produzierenden Gewerbe eine geringere Bedeutung zukommen wird und der ökonomische Fokus sich auf andere Bereiche verschiebt. Die Herstellung von Gütern ist nach wie vor zentral für den wirtschaftlichen Wohlstand in Deutschland (Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) 2019). Die neuen Anforderungen, aber auch die neuen Möglichkeiten, die aus der Weiterentwicklung der Industrie resultieren, wurden beschrieben. Die SO bietet für viele dieser Themenfelder Antworten oder zumindest Lösungsansätze.

Trotz des Wandels bleibt die PPS weiterhin essenzieller Erfolgsfaktor für Unternehmen. Dabei hat sich aber die Bedeutung verschiedener Teilaspekte verschoben. Die Betrachtung des gesamten Produktionsnetzwerks, Kundenorientierung, Variantenvielfalt, Flexibilität, und Nachhaltigkeit sind nur einige der zentralen Trends. Innerbetrieblich bedingt der demografische Wandel und Strategien der *Job-Rotation*, des *Job-Enlargement*, und des *Job-Enrichment*, dass Mitarbeiter immer häufiger Arbeitsabläufe und Zusammenhänge neu lernen müssen. Durch den Einsatz moderner Technologien stehen – in besonderem Maße auch in der PPS – nicht mehr Berechnungen und das Auslegen von Verfahren im Kern der Tätigkeiten. Der Fokus verschiebt sich auf das Verständnis und die Gestaltung der Produktionsprozesse, aber auch der Planungs- und Steuerungsprozesse. Durch kürzere Produktlebenszyklen und dynamische Produktionsnetzwerke kommt es zu stetiger Veränderung und der Notwendigkeit effizient zu kommunizieren.

Subjektorientierung zeichnet sich, wegen der Anlehnung an die natürliche Sprache, durch eine einfache Beschreibungsweise und ein intuitives Verständnis aus. Bisher gibt es im Bereich der PPS nur sehr begrenzte Anwendungen von S-BPM. Durch die Erweiterung des Begriffes S-BPM zu SO wird aus einer Managementtechnik ein Denkmodell, dass auf viel weitreichendere Bereiche angewendet werden kann (Fleischmann 2018). Auch der Einsatz von SO für die Beschreibung von PPS ist somit denkbar.

3. Forschungsmethode

Im Rahmen dieser Arbeit soll der Nutzen von Subjektorientierung für die Betrachtung der Produktionsplanung analysiert werden. Dabei steht die operative Produktionsplanung bzw. die PPS im Mittelpunkt dieser Betrachtung. Dieses Kapitel dient dazu die Methodik dieser Analyse darzustellen. Hierzu wird zunächst beschrieben, wie im Rahmen dieser Arbeit vorgegangen wurde. Danach werden die Fragestellung und grundlegende Hypothesen herausgestellt. Dann werden einige Aspekte genannt, um das weite Themenfeld einzugrenzen und der Untersuchung einen Gesamtrahmen zu verleihen. Zum Abschluss des Kapitels wird in die Modellierungssprache PASS eingeführt.

3.1 Methodisches Vorgehen

Die Methodik des Vorgehens im Rahmen dieser Masterarbeit ist in drei Stufen gegliedert. Der erste Schritt umfasst die Analyse des Themenfeldes und das Herausarbeiten der zu betrachtenden Fragestellung und Forschungshypothesen. Danach werden in einem zweiten Schritt subjektorientierte Prozessmodelle abgeleitet, bevor in einem dritten Schritt die aufgestellten Hypothesen anhand dieser Modelle untersucht werden.

Der erste Schritt dieser Untersuchung bildet die Basis für Kapitel 2 und 3 dieser Arbeit. Es wird dabei, ausgehend von einer Erhebung des aktuellen Standes der Forschung, die grundsätzliche Fragestellung (vergleiche Abschnitt 3.2.1) genauer ausgearbeitet und formuliert. Der später herangezogenen Bewertungsrahmen und eine Eingrenzung des Analysehorizontes werden in Abschnitt 3.2.2 dargelegt. Auf dieser Basis werden dann Hypothesen abgeleitet, die sich in Modellierungshypothesen und Analysehypothesen gliedern lassen.

Die initiale Überprüfung der Modellierungshypothesen erfolgt durch Widerlegung der Gegenhypothese, indem ein beispielhaftes subjektorientiertes Modell für den jeweiligen Sachverhalt erstellt wird. Zur Modellerstellung werden in einem iterativen Vorgehen herkömmlich beschriebene Prozesse in subjektorientierte Modelle übersetzt. Als wichtigstes Werkzeug wird dafür die formale Modellierungssprache PASS (vergleiche Abschnitt 3.3) eingesetzt. Dabei wird in der ersten Iteration versucht, das Modell möglichst direkt zu übersetzen. Das auf diese Weise erstellte sub-

jektorientierte Ausgangsmodell bildet die Basis eines darauf aufsetzenden Verbesserungsprozesses, der in Anlehnung an den *Demingkreis*²⁶ gestaltet ist. Erst wird das Modell auf Probleme, Fehler und Verbesserungspotentiale hin überprüft. Danach wird getestet, wie diesen Umständen begegnet werden kann. Die Wirksamkeit dieser Änderungen wird zunächst im Kleinen überprüft, bevor im letzten Schritt das gesamte Prozessmodell auf den neuen Standard angepasst wird. Auf diesem neuen Standard kann dann immer wieder eine neue Iteration des Vorgehens aufsetzen. In Kapitel 4 werden die jeweils neuesten Versionen der Modelle beschrieben.

Anhand dieser Modelle werden in einem dritten und letzten Schritt die zuvor aufgestellten Hypothesen weitergehend untersucht. Diese Analyse umfasst dabei Stärken, Schwächen, Chancen und Risiken des Einsatzes von Subjektorientierung im Bereich der Produktionsplanung.²⁷ Im Zusammenhang dieser Untersuchung werden die Ziele genutzt, die in Abschnitt 2.1.3 und Abschnitt 3.2.2 beschrieben werden. Die Diskussion zu dieser Auseinandersetzung ist in Kapitel 5 festgehalten.

Ausgehend von diesen Überlegungen wird in Kapitel 6 ein Fazit gezogen. In Kapitel 7 wird ein Ausblick gegeben, wie die Ergebnisse dieser Arbeit genutzt werden können und es werden darauf aufbauend weiterführende Forschungsmöglichkeiten vorgeschlagen.

²⁶ Demingkreis oder auch Deming-Rad, Shewhart Cycle, PDCA-Zyklus beschreibt einen iterativen drei- bzw. vierphasigen Prozess für Lernen und Verbesserung des US-amerikanischen Physikers Walter Andrew Shewhart. PDCA steht hierbei für das Englische Plan – Do – Check – Act, was im Deutschen auch mit ‚Planen – Tun – Überprüfen – Umsetzen‘ oder ‚Planen – Umsetzen – Überprüfen – Handeln‘ übersetzt wird. Die Ursprünge des Prozesses liegen in der Qualitätssicherung. Wikipedia, Demingkreis.

²⁷ Die SWOT-Analyse (engl. Akronym für Strengths (Stärken), Weaknesses (Schwächen), Opportunities (Chancen) und Threats (Risiken)) ist ein Instrument der strategischen Planung. Sie dient der Positionsbestimmung und der Strategieentwicklung von Unternehmen und anderen Organisationen. Wikipedia, SWOT-Analyse.

3.2 Fragestellung und Hypothesen

Dieser Abschnitt dient dazu der Arbeit einen Rahmen zu geben, indem der Betrachtungshorizont festgesetzt wird. Dies ist insbesondere nötig, da schon allein das Feld der Produktionsplanung sehr umfangreich ist und die Übergänge zu verwandten Themenkomplexen fließend sind. Zunächst wird dazu die grundlegende Fragestellung dieser Arbeit dargestellt. Danach werden Rahmenbedingungen abgesteckt. Für das so definierte Szenario werden dann auf Basis der zugrundeliegenden Fragestellung Hypothesen aufgestellt.

3.2.1 Fragestellung

Fleischmann, der Begründer der Subjektorientierung, beschreibt in seinem Beitrag zum zehnjährigen Jubiläum der *S-BPM One*²⁸, dass Subjektorientierung nicht nur für Geschäftsprozessmanagement genutzt werden sollte, sondern konsequent weitergedacht, eine Möglichkeit ist die Welt als Ganzes zu betrachten. Subjektorientierung ist demnach die Grundlage eines Denkmodells (Fleischmann 2018). Wie in Abschnitt 2.3.4 erörtert, wurde Subjektorientierung, neben der Betrachtung von Geschäftsmanagementprozessen, auch schon auf Produktionsprozesse angewandt. So ist es nur ein folgerichtiger, logischer Schritt dieses Denkmodell auch auf die Schnittstelle von Produktions- und Geschäftsmanagementprozessen – die PPS – anzuwenden. In diesem Kontext der PPS wurden drei Bereiche identifiziert, die mit Hilfe von Subjektorientierung näher betrachtet werden sollen:

Der erste Aspekt ist die Analyse der PPS-Prozesse selbst. Im Rahmen dieser Arbeit liegt der Fokus der Betrachtung dabei auf den Prozessen der Kern-PPS, wie sie von Schuh im Kontext des Aachener PPS-Modells beschrieben werden. In diesem Zusammenhang werden Referenzprozesse für verschiedene Fertigungstypen vorgestellt (Schuh 2007). Es stellt sich dabei die Frage, ob und wie diese Referenzprozesse subjektorientiert übersetzt werden können, ohne ihre Anschaulichkeit zu verlieren. Darüber hinaus soll analysiert werden, inwiefern eine Veränderung dieser

²⁸ Die S-BPM One ist die größte wissenschaftliche Konferenz zum Thema der Subjektorientierung. Sie wird im Jahr 2020 zum zwölften Mal stattfinden. Siehe dazu auch: <https://s-bpm-one.org/>

Referenzprozesse im Rahmen subjektorientierter Betrachtung notwendig ist oder sogar Verbesserungspotential bietet.

Wie in Abschnitt 2.1.5 beschrieben, kommen im Rahmen der PPS viele verschiedene Methoden zum Einsatz. Diese Verfahren bilden den zweiten Bereich der Betrachtung. Für diese Arbeit sind solche Methoden von vordergründigem Interesse, die mehr als ein Subjekt haben und Informationsaustausch zwischen diesen Akteuren beinhalten. Vor allem Fertigungssteuerungsverfahren aus der Auftragserstellung und Auftragsfreigabe erfüllen dieses Profil, da sie an der Schnittstelle von Fertigung und PPS anzusiedeln sind. Wie und ob diese Art der Methoden subjektorientiert dargestellt werden können ist eine Frage, die in dieser Arbeit behandelt werden soll.

Der dritte Aspekt entstammt der Überlegung, dass der Produktionsprozess nur optimal gesteuert werden kann, wenn er verstanden wird. In Deutschland findet dabei traditionell eine Fokussierung auf den einzelnen Produktionsprozess statt (Erlach 2010). Im Rahmen dieser Arbeit soll von der sehr technischen, arbeitsgangspezifischen Betrachtung abgesehen werden und viel mehr der Blick auf den gesamten Produktionsablauf gerichtet werden. „Eine einfache und gleichzeitig hochwirksame Methode zur Erfassung und Darstellung von Informationsflüssen und Produktionsprozessen ist die Wertstromanalyse.“ (REFA 2020, Wertstromanalyse) Wegen der weiten Verbreitung und steigenden Bedeutung im Kontext des Lean Managements stellt sich die Frage, wie eine subjektorientierte Wertstromanalyse aussehen würde. Die umfassenden Möglichkeiten der Wertstrommethode sind in dieser Grundlagenbetrachtung hinreichend für eine adäquate Beurteilung von Stärken und Schwächen der Subjektorientierung zur Untersuchung des gesamten Produktionsablaufs.

Die Zukunft des produzierenden Gewerbes in Deutschland ist, wie in Abschnitt 2.2 ausführlich dargelegt, Industrie 4.0. An dieser neuen Realität wird sich auch die PPS messen lassen müssen. Deswegen stellt sich die Frage, ob, wie, und in welchem Umfang Subjektorientierung – über eine grundsätzliche Betrachtung der drei beschriebenen Bereiche hinaus – dazu geeignet ist, Industrie 4.0-Herausforderungen für die Produktionsplanung zu begegnen. Aber nicht nur die Risiken, die durch Industrie 4.0 erwachsen, auch die Chancen durch den Einsatz neuer Technologien müssen beachtet werden. Fleischmann stellt dazu heraus: „In Industry 4.0, produc-

tion processes have to be combined with business processes.” (Fleischmann 2018, S. 3) Eine solche nötige Verbindung kann nur mit Hilfe der PPS gelingen. Es gilt nun zu ergründen, welche Rolle dabei die Subjektorientierung spielt.

3.2.2 Szenario

In Deutschland gibt es weit über 3,4 Millionen Kleinunternehmen, kleine und mittlere Unternehmen (KMU). Das entspricht mehr als 99% aller Unternehmen im Land. KMUs stellen mehr als die Hälfte aller sozialversicherungspflichtigen Beschäftigten und erzielen etwa ein Drittel des steuerbaren Umsatzes der Bundesrepublik (Institut für Mittelstandsforschung Bonn (IfM) 2020).²⁹ Die Bedeutung dieser Unternehmen für die deutsche Wirtschaft ist allein aus diesen wenigen Zahlen klar erkennbar. Überdies sind viele deutsche, mittelständische Unternehmen Weltmarktführer auf ihrem Gebiet. Aus diesen Gründen sollen die Bedürfnisse von KMUs in dieser Arbeit besonders betrachtet werden.

Im Rahmen dieser Arbeit soll aus dem industriellen Sektor das verarbeitende Gewerbe zur Betrachtung herangezogen werden. Der Fokus liegt dabei auf der diskontinuierlichen Teileproduktion (i.e. Fertigung und Montage). Die Energie- und Verfahrenstechnik werden hier nicht berücksichtigt, weil sie grundsätzlich andere Anforderungen an die Produktionsplanung stellen.

Eine noch weitergehende Unterscheidung von Unternehmen mit verschiedenen archetypischen Fertigungstypen, z.B. in Abhängigkeit des Kundenentkopplungspunktes und der Auftragsabwicklungsstruktur, wird im Aachener PPS-Modell berücksichtigt. Dabei wird zwischen Auftragsfertiger, Rahmenauftragsfertiger, Variantenfertiger und Lagerfertiger unterschieden (Schuh und Stich 2012). Die Ergebnisse dieser Arbeit sollen an allen Fertigungstypen gemessen werden.

Es ist bekannt, dass viele KMUs keine dedizierten Produktionsplanungssysteme benutzen und häufig auch keine eigene Abteilung für die Produktionsplanung haben. Dies hängt mit dem begrenzten finanziellen Spielraum zusammen, den KMUs haben. Hinzu kommt, dass vorhandene IT-Systeme oft nicht oder zumindest sehr

²⁹ Alle Zahlen zu den KMUs in Deutschland beziehen sich auf das Jahr 2018.

suboptimal genutzt werden (Piller und Wölfel 2014). Oft steht dies im Zusammenhang damit, dass neue Systeme nicht richtig auf das Unternehmen und seine Geschäftsprozesse angepasst oder zu komplex sind. In Kombination mit nicht ausreichend umgesetztem Change-Management³⁰ führt dies dazu, dass Belegschaften ein IT-System nicht verstehen und ablehnen. Das Gleiche gilt auch für die Einführung neuer Abläufe in einem Unternehmen, die nicht durch ein IT-System unterstützt werden. In Anbetracht dieser Ausgangslage ist festzustellen, dass kostengünstige und leicht verständliche PPS-Lösungen zu bevorzugen sind.

Insbesondere für KMUs gilt es sich ständig weiterzuentwickeln und sich mit aktuellen Technologien und Handlungsoptionen auseinanderzusetzen, um wettbewerbsfähig zu bleiben. Aus diesem Grund setzen sich aktuell sehr viele KMUs intensiv mit Industrie 4.0 auseinander. Insbesondere die begrenzten Personalressourcen erweisen sich als problematisch, um ein so komplexes Thema anzugehen. Es fehlt in vielen Fällen die Übersicht, wie zukünftige Standards aussehen können und welche Meilensteine erreicht werden müssen, um den Weg in die Industrie 4.0 zu beschreiten (acatech 2019). Es gibt verschiedene Möglichkeiten der Industrie 4.0-Potentialanalyse. Explizit für den Mittelstand wurde dazu das *Update-Mittelstand-4.0-Modell* entwickelt (Dücker et al. 2016). Teil dieses Modells sind Potentialfelder für Industrie 4.0 in KMUs. Alle drei PPS-spezifischen Potentialfelder stellen Flexibilität als wichtige Zielgröße für KMUs im Kontext der Industrie 4.0 dar. Diese Forderung steht in Verbindung mit fortschreitender Individualisierung, wachsender Variantenvielfalt und steigender Nachfragevolatilität.

³⁰ Unter Change Management oder Veränderungsmanagement lassen sich alle Aufgaben, Maßnahmen und Aktivitäten zusammenfassen, die eine weitreichende Veränderung in einer Organisation bewirken sollen. Die Spannbreite reicht dabei von kontinuierlichen Verbesserungen mit kleinen, fortlaufenden Anpassungen bestehender Abläufe bis zu radikalen Einschnitten, die substantielle Veränderungen der Organisationsstrategie herbeiführen. Change Management ist umso dringender, je schneller sich die Umwelten von Unternehmen ändern. Eine besondere Dynamik entsteht durch Faktoren wie Globalisierung von Absatzmärkten, technischer Fortschritt, gesetzliche Auflagen, demografischer Wandel oder Verknappung von Ressourcen. REFA 2020, Change Management.

In dieser Arbeit sollen Referenzmodelle erarbeitet werden und Anwendungsräume der Subjektorientierung im Bereich der Produktionsplanung herausgestellt werden. Der Anspruch besteht nicht darin die gesamte, komplexe Thematik in einer einzigen Abbildung zusammenzufassen, sondern Erklärungsansätze zu liefern. Die Ergebnisse dieser Arbeit sind allgemeiner Natur und zur praktischen Anwendung auf Unternehmensspezifika anzupassen. Nur solche auf individuelle Unternehmen und Abläufe angepasste Modelle können dann zur spezifischen und exakten Prozessbeschreibung dienen und als Grundlage für eine Funktionsableitung herangezogen werden.

3.2.3 Modellierungshypothesen

Als Modellierungshypothesen werden die Hypothesen bezeichnet, die darin bestehen, dass die Erstellung eines subjektorientierten Beschreibungsmodells möglich ist. Diese Modelle bilden die Grundlage für die Diskussion der Analysehypothesen, die in Abschnitt 3.2.4 aufgeführt sind. Aus der erörterten Fragestellung wurden für diese Arbeit drei zentrale Modellierungshypothesen abgeleitet.

Hypothese 1:

Es ist möglich subjektorientierte Prozessbeschreibung zu nutzen, um elementare Abläufe und Prozesse der PPS abzubilden.

Hypothese 2:

Es ist möglich subjektorientierte Prozessbeschreibung zu nutzen, um Fertigungsverfahren zu modellieren und ihre Funktionsweisen zu erörtern.

Hypothese 3:

Es ist möglich subjektorientierte Prozessbeschreibung zu nutzen, um die Produktionsabläufe eines Unternehmens im Sinne der Wertstrommethode darzustellen.

3.2.4 Analysehypothesen

Als Analysehypothesen werden die Hypothesen bezeichnet, die auf der Basis von einem oder mehreren subjektorientierten Beschreibungsmodellen nach einer Diskussion verlangen. Als Grundlage für diese Auseinandersetzung werden die im Rahmen der Modellierungshypothesen erstellten Modelle herangezogen. Aus der erörterten Fragestellung wurden für diese Arbeit vier zentrale Analysehypothesen abgeleitet.

Hypothese 4:

Subjektorientierte Prozessbeschreibung im Rahmen der Produktionsplanung ist besonders geeignet, da informell-subjektorientierte Betrachtungsweisen in der Produktionsplanung verbreitet sind und genutzt werden.

Hypothese 5:

Subjektorientierte Prozessbeschreibung im Rahmen der Produktionsplanung ist besonders geeignet, um das betriebliche Wissensmanagement zu unterstützen.

Hypothese 6:

Subjektorientierte Prozessbeschreibung im Rahmen der Produktionsplanung ist besonders geeignet, um die Gestaltung von Funktionen der innerbetrieblichen IT-Systeme zu unterstützen.

Hypothese 7:

Subjektorientierte Prozessbeschreibung im Rahmen der Produktionsplanung ist besonders geeignet, um mit Chancen und Risiken von Industrie 4.0 umzugehen.

3.3 PASS – Das Parallel Activities Specification Scheme

Zur Umsetzung von subjektorientierter Prozessbeschreibung wird in dieser Arbeit das „Parallel Activities Specification Scheme“ (PASS) genutzt, das von Albert Fleischmann 1994 vorgestellt (Fleischmann 1994) und 2011 weitergehend beschrieben wurde (Fleischmann et al. 2011). In seinem Ursprung ist PASS eine Prozessmodellierungssprache, die zunächst dem Themenkomplex der verteilten Systeme und der verteilten (Informations-) Verarbeitung³¹ entstammt. PASS ist bis heute die einzige in vollem Umfang auf Subjektorientierung ausgerichtete, vollständig ausführbare, und turingmächtige Modellierungssprache. Zur graphischen Repräsentation und einfacheren Modellierung wurden angepasste MS Visio Shapes zur Nutzung von PASS entwickelt (Fleischmann et al. 2017), auf die im Weiteren zurückgegriffen wird. Anhand dieser soll nun auch synchron der Aufbau von PASS erläutert werden. Inhaltlich baut Abschnitt 3.3 auf den Arbeiten von Fleischmann und Elstermann auf und orientiert sich vom Aufbau und der Beschreibung vor allem an letzterem (Fleischmann 1994; Fleischmann et al. 2011; Elstermann 2020).

In PASS wird prinzipiell zwischen zwei unterschiedlichen Diagrammtypen unterschieden: Dem Subjekt-Interaktions-Diagramm (SID) und dem Subjekt-Verhaltens-Diagramm (SBD)³². Im SID wird dabei die Beziehung zwischen aktiven Entitäten – den Subjekten – abgebildet. In zugehörigen SBDs wird dann das jeweilige Verhalten der Subjekte des SIDs modelliert. Das Gesamtmodell des beschriebenen Prozesses setzt sich also aus einem SID und mehreren SBDs zusammen. Die Basis für PASS bilden nur fünf Elemente: *Subjekte* und *Nachrichten* in den SIDs, und *Sende-*, *Empfangs-*, und *Funktionszustände* mit ihren zugehörigen Transitionen in den SBDs.

3.3.1 SID – Das Subjekt-Interaktions-Diagramm





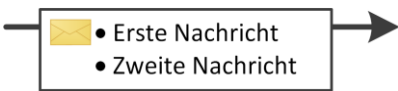
Wie aus dem Namen schon deutlich wird, enthält ein SID die Informationen über jegliche Subjekt-zu-Subjekt-Kommunikation in dem zu beschreibenden Prozess. Jedes SID wird aus zwei Arten von Bausteinen aufgebaut, nämlich den Subjekten und

³¹ Auf Englisch: *Distributed Systems* und *Distributed Computing*.

³² Alphabetismus aus dem Englischen: Subject-Behavior-Diagram.

Nachrichten. Eine nähere Erläuterung und die graphische Repräsentation dieser Elemente als MS Visio Shapes können *Tabelle 3* entnommen werden.

Tabelle 3: *Elemente eines SIDs*

| | |
|--|--|
|  <p>Standard Subjekt</p> | <p>Subjekte definieren die aktiven Einheiten und Rollen innerhalb eines Prozesses. Jedes (vollkommen beschriebene) Subjekt besitzt ein individuelles Subjekt-Verhaltens-Diagramm (SBD), welches die subjektinternen Abläufe während des Prozesses wiedergibt.</p> |
|  <p>Interface Subjekt</p> | <p>Interface-Subjekte sind Subjekte, deren Verhalten nicht beschrieben ist (Black Box). Das kann durch Unwissen über das Verhalten bedingt sein, aber auch damit zusammenhängen, dass dem Verhalten eine zu geringe Bedeutung zukommt, als dass es modelliert würde. Alternativ kann ein Interface-Subjekt auch als Platzhalter für einen, in einem anderen Modell beschriebenen, Prozess dienen.</p> |
|  <p>Multi- Subjekt</p>  <p>Interface Multi- Subjekt</p> | <p>Multi-Subjekte sind solche Subjekte, die während eines Prozesses mehrfach instanziiert werden können. Dies verweist darauf, dass verschiedene Akteure in dem Prozess das gleiche Verhalten ausführen.</p> |
|  <ul style="list-style-type: none"> • Erste Nachricht • Zweite Nachricht | <p>Nachrichten, die zwischen Subjekten ausgetauscht werden, definieren die Möglichkeiten, die ein (sendendes) Subjekt hat einem anderen (empfangenden) Subjekt Informationen (Informationsobjekte) zukommen zu lassen.</p> |

Anmerkungen. Frei übersetzt aus (Elsternann 2020, S. 85).

Die Art und Anzahl der Subjekte eines SIDs ergeben sich in erster Linie aus der IST-Situation, werden aber nach der SOLL-Situation angepasst. Bei der Frage nach dem Subjektzuschnitt³³ ist zu beachten, wie die Arbeitsteilung in dem betrachteten Prozess aussehen soll. Zu hohe Granularität führt zu vielen, spezialisierten Subjekten und Nachrichten. Dies birgt die Gefahr der Unübersichtlichkeit und kann zu Missverständnissen und/oder Verzögerungen führen. Zu wenige Subjekte bedingen, dass Subjektträger ein sehr breites Spektrum an Tätigkeiten abdecken müssen, das gegebenenfalls ihre Fähigkeiten oder Befugnisse übersteigt (Fleischmann et al. 2011).

3.3.2 SBD – Das Subjekt-Verhaltens-Diagramm

Die zweite Art von Diagrammen in PASS sind die Subjekt-Verhaltens-Diagramme (SBD). Für jedes vollkommen beschriebene Subjekt im SID eines Prozesses existiert ein SBD. Darin wird der mögliche Ablauf der Handlungen eines Subjektes – das Verhalten – abgebildet. Durch das Subjektverhalten wird der kausale und/oder temporale Verlauf des beschriebenen Prozesses ersichtlich. Grundsätzlich wird dabei zwischen *Aktionsverhalten* und *Kommunikationsverhalten* unterschieden. Ersteres beschreibt interne Funktionen, die unabhängig von anderen Subjekten in beliebiger Reihenfolge und Anzahl durchlaufen werden können. Aktionsverhalten wird durch *Funktionszustände* und *Funktionstransitionen* in PASS abgebildet. Das Kommunikationsverhalten umfasst alles Verhalten, das mit dem Austausch von Nachrichten zusammenhängt. Namentlich sind das in PASS die *Sendezustände*, *Sendetransitionen*, *Empfangszustände*, und *Empfangstransitionen*.

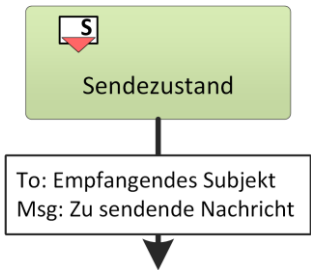
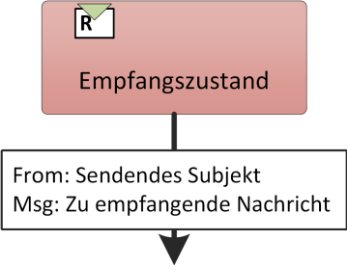
Wie schon angedeutet, wird Verhalten so beschrieben, dass ein Subjekt sich zu jeder Zeit in einem *Zustand* befindet. Das bedeutet, dass das Subjekt die mit diesem Zustand assoziierten Aufgaben ausführt. Beim Erreichen der Ausgangsbedingungen eines Zustandes – und auch nur dann – kann der entsprechenden Transition zum nächsten Zustand für das Subjekt gefolgt werden. Dieser Logik Folge leistend

³³ Der Subjektzuschnitt beantwortet „die Frage, welche Subjekte es gibt und welche Aufgaben sie grob erfüllen“ Fleischmann et al. 2011, S. 94.

besitzt jedes SBD einen einzigen, definierten *Startzustand*, an dem das Verhalten seinen Anfang nimmt. Es ist möglich, dass Empfangs- und Funktionszustände mehr als eine Ausgangsbedingung haben (XOR-Verbindung). Um diesen Verzweigungen Rechnung zu tragen, kann es mehr als einen *Endzustand* geben.

PASS unterstützt auch nutzer- oder zeitabhängige Ausgangstransitionen für Kommunikations- und Funktionszustände. Die *Nutzer-Abbruchstransition* beschreibt den Fall, dass aus einem nicht weiter spezifizierten Grund der aktuelle Zustand verlassen wird, obwohl die eigentlich gesetzte Ausgangsbedingung nicht erreicht wurde. Es werden zwei Arten von *Zeit-Transitionen* unterschieden. Zunächst solche, die eine Verweildauer in einem Zustand definieren (vergleichbar mit einer Eieruhr) und solche, die in definierten Zeitintervallen ausgelöst werden (vergleichbar mit einer Erinnerung). In *Tabelle 4* sind die Elemente eines SBDs und deren zugehörigen MS Visio Shapes zusammenfassend dargestellt.

Tabelle 4: *Elemente eines SBDs*

| | |
|---|--|
|  | <p>Der Sendezustand beschreibt denjenigen Zustand, in dem Informationen (bzw. Informationsobjekte) an ein anderes Subjekt gesandt werden. Die Sendetransition beinhaltet das empfangende Subjekt und die zu sendende Nachricht. Der Zustand wird als beendet betrachtet, wenn die Nachricht versandt wurde. Im Gegensatz zu anderen Zuständen hat ein Sendezustand immer nur eine mögliche Sendetransition (einen Ausgang).</p> |
|  | <p>Empfangszustand bedeutet, dass, um mit dem weiteren Verhalten fortfahren zu können, Input von einem anderen Subjekt nötig ist. Die Empfangstransition beinhaltet das sendende Subjekt und die empfangene Nachricht. Der Zustand wird nach Empfang einer Nachricht als beendet betrachtet. Empfangszustände können über mehrere (alternative) Empfangstransitionen verfügen.</p> |

| | |
|--|--|
| | <p>Der Funktionszustand ist der Zustand, der beschreibt, dass ein Subjekt unabhängig von anderen Subjekten eine Aufgabe bearbeitet. Die Funktionstransitionen betiteln mögliche Ergebnisse der Tätigkeit, die nötig sind, um den Zustand zu verlassen.</p> <p>Funktionszustände können über mehrere (alternative) Funktionstransitionen verfügen.</p> |
| | <p>Jede Art von Zustand kann der alleinige Startzustand des Verhaltens sein. Es können aber nur Empfangs- oder Funktionszustände einer von (gegebenenfalls) mehreren Endzuständen sein.</p> |
| | <p>Eine Nutzer-Abbruchtransition markiert, dass ein Zustand (betrifft vor allem Empfangszustände) auf diesem Weg durch eine nicht zuvor definierte, arbiträre Nutzerentscheidung ohne Erreichen einer anderen Ausgangsbedingung verlassen wird.</p> |
| | <p>Zustände können durch eine Zeit-Transition auf Basis eines zeitlichen Ereignisses verlassen werden. Dies entspricht dem Empfangen einer Nachricht von einem nur implizit gegebenen Wecker- bzw. Kalendersubjekt. Es werden dabei zwei unterschiedliche Arten von Zeit-Transitionen unterschieden: Erstens Transitionen, die ein Zeitintervall definieren, die in dem Zustand verweilt wird (Eieruhr), und zweitens Transitionen, die mit einer definierten Frequenz ausgelöst werden (Erinnerung).</p> |

Anmerkungen. Frei übersetzt aus (Elstermann 2020, S. 88).

Je nach Granularitätsstufe kann ein Vorgang in sehr viele Zustände aufgebrochen werden. Für eine vereinfachte und übersichtlichere Darstellung können mehrere Zustände zusammengefasst werden. Für die anderen Subjekte eines SIDs ist vor

allem das Kommunikationsverhalten und nicht das Aktionsverhalten von vordergründigem Interesse. Folgen von Funktionszuständen können somit zu einem übergreifenden Funktionszustand zusammengefasst werden. Nach dieser Logik kann das Kommunikations- und Funktionsverhalten sehr unterschiedlich beschrieben werden. Um eine eindeutige Zuordnung von Aufgaben und Subjekten zu ermöglichen, muss dafür eine geeignete Granularitätsstufe gewählt werden. Aus dem Subjektzuschnitt ergibt sich, welche Aufgabe durch das jeweilige SBD beschrieben werden muss (Fleischmann et al. 2011).

3.3.3 Ausführungslogik von PASS

Im Rahmen dieser Arbeit sollen keine direkt zu implementierenden Modelle entwickelt werden. Vielmehr liegt der Fokus auf dem Einsatz von Referenzmodellen, die die Prozessbeschreibung für den Leser unterstützen sollen. Deswegen soll hier nicht weiter auf die technische Umsetzung eingegangen werden.³⁴ Nichtsdestoweniger wird an dieser Stelle auf einige wenige Konzepte der Ausführungslogik eingegangen, um das spätere Verständnis der Modellierung und der Diskussion zu erleichtern.

Nachrichtenaustausch

Grundsätzlich können der synchrone und asynchrone Nachrichtenaustausch unterschieden werden. Synchron bedeutet hierbei, dass ein Subjekt nur eine Nachricht schicken kann, wenn das Empfängersubjekt zum gleichen Zeitpunkt auf diese Nachricht wartet. Diese Kopplung von Sender und Empfänger kann bei der Gestaltung von Geschäftsprozessen zu vielen Problemen führen, da die verschiedenen Subjekte gegebenenfalls sehr lange auf einander warten müssen. Bei asynchronem Datenaustausch wird diese Kopplung aufgehoben und der Sender kann jederzeit eine Nachricht abschicken. Diese liegt dann in einem Nachrichtenpuffer bereit, bis der Empfänger sie abholt. Probleme des asynchronen Datenaustauschs sind zum einen die physikalische Größe des Nachrichtenpuffers und zum anderen dessen Verwal-

³⁴ Für weitergehende Lektüre zum Thema seien die folgenden Quellen empfohlen: Fleischmann 1994; Börger 2011.

tung – also ob immer die älteste Nachricht im Puffer abgerufen wird, oder ob alle Nachrichten abgerufen und dann zunächst sortiert werden. Aus dieser Problematik wurde das Konzept des *Input-Pools*³⁵ entwickelt (Fleischmann et al. 2011).

In PASS verfügt jedes Subjekt in einem Prozess über einen eigenen, zugehörigen Input-Pool. In diesem Nachrichtenpuffer können alle erhaltenen Nachrichten abgelegt werden. Er fungiert quasi als Postkasten. Standardmäßig ist ein Input-Pool in seiner Größe unbegrenzt und alle Nachrichten in diesem Puffer sind für das Subjekt sichtbar. So können alle Nachrichten – asynchron – versandt und angenommen werden. Die Verarbeitung einer Nachricht geschieht aber nur, wenn das im Subjektverhalten durch eine Empfangstransition spezifiziert wird. Für komplexere PASS-Modelle ist es auch möglich, Konfigurationsparameter des Input-Pools eines jeden Subjektes festzulegen (Elstermann 2020; Fleischmann et al. 2011).

Subjektträger

Bei der Betrachtung von PASS-Modellen muss dringend zwischen Subjekten und Subjektträgern³⁶ unterschieden werden. Eine umfassende Definition des Begriffs Subjektträger wird von Elstermann gegeben:

Subject Carrier – A subject carrier is the arbitrary entity or processor responsible for decisions regarding an individual subject during the execution of a PASS process model. The subject carrier may be a human being exerting its will via the GUI of the workflow system. Alternatively, the subject carrier may be an automated processing system acting upon an algorithm or executing instructions autonomously and reporting the results back into the process engine to advance the execution of the instance. The same subject carrier may be responsible for the execution of several subject instances even within the same process instance. Equally, it may be possible for several changing subject carriers to be responsible for the execution of a single subject instance. (Elstermann 2020, S. 90–91)

Das Subjektverhalten beschreibt also nur, wie Aufgaben erledigt werden sollten und welche Möglichkeiten es gibt. Während der Ausführung des jeweiligen Pro-

³⁵ Auf Englisch: *Message Inbox*.

³⁶ Auf Englisch: *Subject Carrier*.

zesses obliegt es dem Subjekträger, über das tatsächliche Verhalten eines Subjektes zu entscheiden. Durch das Konzept des Subjekträgers erhält ein Prozess eine Flexibilität über das eigentliche PASS-Modell hinaus (Elstermann 2020).

3.3.4 SiSi – Simple Simulation

Zusätzlich zu den schon erwähnten und abgebildeten grafischen Elementen verfügt der von Elstermann entwickelte MS Visio Werkzeugkasten auch über eine Simulationsfunktion. Hinter dem Namen SiSi – Simple Simulation – verbirgt sich ein Werkzeug, das formal richtig abgebildete, lineare Prozesse simulieren kann, um deren Laufzeiten zu berechnen. Darüber hinaus verfügt SiSi über einige weitere Funktionen zur Analyse von Prozessmodellen, auf die an dieser Stelle nicht näher eingegangen werden soll (Elstermann und Ovtcharova 2018).

4. Subjektorientierte Modelle der Produktionsplanung

Die in diesem Kapitel erläuterten PASS-Modelle bilden in der PPS genutzte Prozesse ab. Die zugrundeliegenden Referenzprozesse, Methoden und Verfahren zu bewerten ist dabei nicht das Ziel der Beschreibung dieser Modelle. Es ist vielmehr die Darstellungsweise von Wissen aus dem Themenbereich der Produktionsplanung von größerer Relevanz. So kann auch aus den zitierten Quellen das gleiche Wissen über die beschriebene Thematik entnommen werden. Diese herkömmlichen Ausführungen sind aber zumeist nicht formal und in keinem Fall formal subjektorientierte Darstellungsweisen. Im Folgenden werden, im Gegensatz dazu, PASS-Modelle eingesetzt, um verschiedene Produktionsplanungsprozesse näher zu beschreiben.

Als Erstes werden dazu die Abläufe der PPS selbst näher betrachtet. In Abschnitt 4.2 werden dann einige im Rahmen der Fertigungssteuerung genutzten Methoden beschrieben. Und abschließend wird aufgezeigt, wie der Produktionsprozess subjektorientiert abgebildet werden kann. Diese Aufteilung entspricht den Modellierungshypothesen aus Abschnitt 3.2.3.

4.1 PPS-Prozesse

In diesem Abschnitt werden Prozessmodelle mit Bezug auf Hypothese 1 vorgestellt.

Hypothese 1:

Es ist möglich subjektorientierte Prozessbeschreibung zu nutzen, um elementare Abläufe und Prozesse der PPS abzubilden.

Bei den vorgestellten PASS-Modellen handelt es sich um subjektorientierte Darstellungen der Referenzprozessmodelle des Aachener PPS-Modells. Zweck dieser Referenzprozesse ist es, einem Unternehmen ein Schema und eine Reihe von Anhaltspunkten zu geben, wie die betriebsinterne PPS gestaltet werden sollte. Ausgehend davon können unternehmenseigene PPS-Prozesse entwickelt und modelliert werden, um sie dann in der Praxis zu implementieren.

Wegen der immer weitreichenderen Verflechtung von Unternehmen in Produktionsnetzwerken ist die lokale PPS um eine Netzwerkebene ergänzt. Die Einbindung dieser Netzwerk-PPS in die lokalen Abläufe ist deswegen ebenfalls dargestellt. Die

Unterscheidung der verschiedenen Netzwerktypen ist für die Betrachtung der Kern-PPS-Prozesse aber von untergeordneter Bedeutung. Im Aachener PPS-Modell werden zusätzlich noch die Querschnittsaufgaben des Auftrags- und Bestandsmanagements näher beschrieben, worauf im Rahmen dieser Arbeit verzichtet wird.

Die inhaltlichen Aspekte dieses Abschnitts 4.1 beziehen sich auf *Produktionsplanung und -steuerung. Grundlagen, Gestaltung und Konzepte* (Schuh 2007).

4.1.1 Auftragsabwicklungstypen

Das Aachener PPS-Modell beinhaltet verschiedene Referenzprozessmodelle für Unternehmen unterschiedlichen Auftragsabwicklungstyps. Schuh unterscheidet vier Auftragsabwicklungstypen: *Auftragsfertiger*, *Rahmenauftragsfertiger*, *Variantenfertiger*, und *Lagerfertiger*. Diese Typen unterscheiden sich dabei bezüglich der erzeugten Produkte selbst sowie durch die betriebsinterne Aufbau- und Ablauforganisation.³⁷ Viele Unternehmen sind nicht klar einem Typen zuzuordnen, weswegen diese Auftragsabwicklungstypen viel mehr als Archetypen zu verstehen sind. Sie geben eine Orientierungshilfe und einen Referenzprozess, der als Ausgangspunkt für unternehmensspezifisch gestaltete Prozessmodelle genutzt werden kann.

Auftragsfertiger sind solche Unternehmen, die vornehmlich kundenspezifische Einzelaufträge bearbeiten. Klassische Vertreter dieses Typs sind Unternehmen aus dem (Sonder-) Maschinen- und Anlagenbau. Die Vertreter dieses Typs verstärken zunehmend ihre Bemühungen, statt einzelner Erzeugnisse mehr Kleinserien zu produzieren.

Der Rahmenauftragsfertiger zeichnet sich durch das Abschließen von Rahmenvereinbarungen und -aufträgen mit seinen Kunden aus, die den Auftragseingang über eine längere Zeit hinweg sichern. Der Kunde kann, über die Laufzeit dieses Rahmenauftrags hinweg, mit einzelnen Lieferabrufen den Erzeugniseingang in seinem Werk steuern. Der Rahmenauftragsfertiger erhält durch die längerfristigen Vereinbarungen mit den Kunden eine fundiertere Datenbasis für die Absatzplanung.

³⁷ Ein Merkmalsschema für jeden der idealisierten Auftragsabwicklungstypen ist dem Anhang zu entnehmen. Eine ausführliche Beschreibung der einzelnen Merkmale und ihrer möglichen Ausprägungen ist bei Schuh zu finden. Schuh 2007, S. 120–136.

Charakteristisch für einen Variantenfertiger ist eine kundenanonyme Vorproduktion, die mit einer auftragspezifischen Endproduktion kombiniert wird. Abhängig vom Kundenentkopplungspunkt kann die Endproduktion nur Endmontagevorgänge oder auch andere Fertigungsschritte umfassen. Grundsätzlich ist aber die Trennung von kundenanonymen und auftragspezifischen Produktionsabläufen durch ein Zwischenlager für kundenanonyme (Teil-) Erzeugnisse notwendig.

Beim Lagerfertiger werden Kundenaufträge aus einem Endlager bedient, das alle Erzeugnisse vorrätig hält. Die Befüllung des Lagers ist unabhängig von individuellen Kunden geregelt. Die Produktionsaufträge gehen dabei klassischerweise aus einem auftragsanonymen Absatzplan hervor. Wegen der steigenden Nachfrage nach individualisierten Produkten entwickeln sich viele Unternehmen vom Lager- zum Variantenfertiger.

Wie in Abschnitt 3.1 beschrieben, wurden die Referenzprozessmodelle aller Auftragsabwicklungstypen zunächst subjektorientiert übersetzt. Dabei wurde festgestellt, dass das Subjektverhalten der meisten in den PPS-Prozess involvierten Subjekte vom Auftragsabwicklungstyp unabhängig darstellbar ist. Fast alle Unterschiede im Subjektverhalten spielen sich im Bereich der Produktionsprogrammplanung ab. Durch die subjektorientierte Betrachtungsweise konnten die ursprünglich vier Referenzprozessmodelle iterativ zu einem einzigen Modell zusammengefasst werden. Es werden jedoch noch unterschiedliche Subjektverhalten, je nach Auftragsabwicklungstyp, für das Subjekt der Produktionsprogrammplanung unterschieden.³⁸

4.1.2 SID des PPS-Referenzprozessmodells

In diesem Abschnitt wird, mithilfe von Abbildung 14, ein allgemeingültiges SID für alle Auftragsabwicklungstypen beschrieben. Zur Übersichtlichkeit ist der Nachrichtenaustausch mit Interface-Subjekten vereinfacht dargestellt

³⁸ Da jedes Subjekt per Definition nur ein SBD besitzt, müssen formal getrennte Modelle für jede SBD-Variante erstellt werden. Um keine Repetitivität der Beschreibung identischer SIDs und SBDs zu erzeugen, findet dieser Umstand nur bei der Betrachtung der Produktionsprogrammplanungs-SBDs weitere Beachtung.

. Das SID kann in zwei Bereiche aufgeteilt werden. Zum einen, oben in grün, die PPS-Netzwerksubjekte und zum anderen, in blau, die Subjekte der lokalen Kern-PPS. Die Querschnittsaufgaben Auftragsmanagement und Bestandsmanagement werden als Interface-Subjekte repräsentiert. Diese sind dabei auch als Instanzen der lokalen Aufgabenbereiche zu verstehen. Durch die im Zuge von Industrie 3.0 fortgeschrittene Computisierung und Konnektivität wurde die Interaktion von Kern-PPS und Querschnittsaufgaben erheblich verändert. Die gewählte abstrakte Darstellung der Kommunikation repräsentiert die diversen Anbindungsmöglichkeiten der Aufgabenbereiche. In vielen Fällen kann dieser Austausch auch nur als Nutzung der innerbetrieblichen IT-Systeme verstanden werden. Die Interface-Subjekte Fertigung, Lieferant (Multi-Subjekt) und Markt sind kleiner dargestellt. Diese etwas abstrakteren Bereiche bilden Ziel- und Ausgangspunkte des abgebildeten PPS-Prozesses.

Im Folgenden wird zuerst das Subjektverhalten der drei Netzwerksubjekte beschrieben. Diese Subjekte sind die *Netzwerkkonfigurationsplanung*, die *Netzwerkabsatzplanung*, und die *Netzwerkbedarfsplanung*. Die drei zugehörigen Aufgabenbereiche bilden die Grundlage der standort- und/oder unternehmensübergreifenden Produktionsplanung und haben deswegen Anknüpfungspunkte an verschiedene Bereiche der lokalen PPS-Aufgaben.

Nachdem die Netzwerkebene des Modells dargelegt wurde, wird das Subjektverhalten der Subjekte der Kern-PPS im Einzelnen vorgestellt. Diese Subjekte sind die *Produktionsprogrammplanung*, die *Produktionsbedarfsplanung*, die *Eigenfertigungsplanung und -steuerung*, und die *Fremdbezugsplanung und -steuerung*.

4.1.3 Netzwerkkonfiguration

„Ziel der Netzwerkkonfiguration ist die Gestaltung eines inter- und intraorganisationalen Partnernetzwerks, welches der strategischen Positionierung des betrachteten Einzelunternehmens gerecht wird.“ (Schuh 2007, S. 112) Es ist dabei aber nicht zwingend erforderlich, dass diese Konfiguration von einer zentralen Instanz übernommen wird. So ist auch die Kollaboration mehrerer gleichwertiger Partner zur Konfiguration des Netzwerkes denkbar. Der Fokus liegt also auf dem Ablauf der verschiedenen Tätigkeiten. Das SBD des betrachteten Netzwerkkonfigurationsplanungsreferenzprozesses ist Abbildung 15 zu entnehmen.

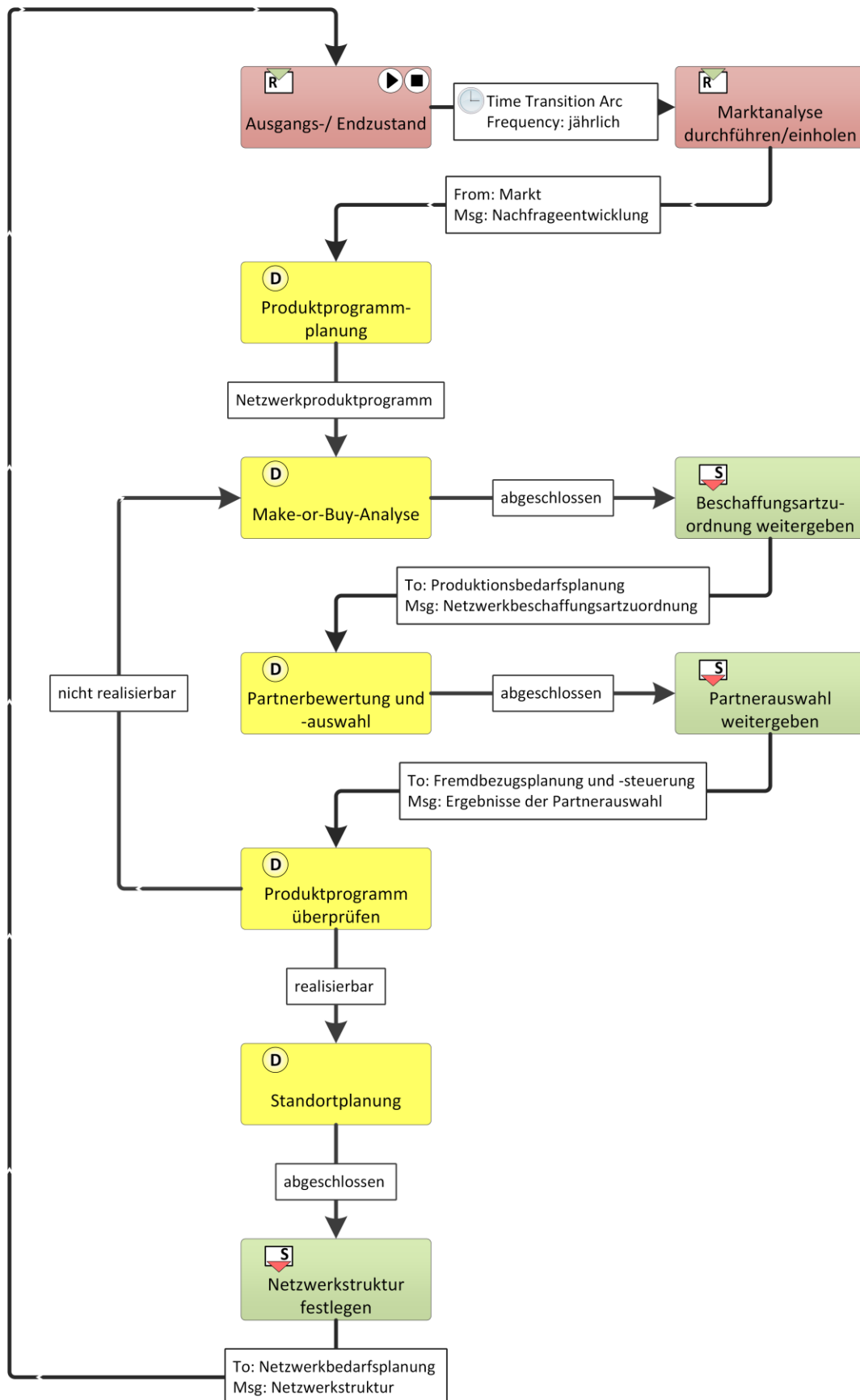


Abbildung 15. SBD – Netzwerkkonfigurationsplanung.

Da es üblich ist, dass sich im Laufe der Zeit die Netzwerkstruktur verändert, ist ein zirkuläres Verhalten dargestellt. So wird in einem definierten Intervall, z.B. jährlich, die Neuauslegung des Netzwerkes angestoßen. Dazu wird als erstes das Netzwerkproduktprogramm auf Basis von Nachfrageentwicklungen am Markt analysiert und im Rahmen der strategischen Produktprogrammplanung gestaltet. Das resultierende Netzwerkproduktprogramm bildet die Grundlage für die auf die Produktplanung folgende Netzwerkauslegung.

Erster Schritt der Netzwerkauslegung ist eine Make-or-Buy-Analyse. Dadurch wird festgelegt, welche Güter und Dienstleistungen aus dem Netzwerkproduktprogramm netzwerkintern bzw. -extern erbracht werden. Die so getroffene Entscheidung über die Netzwerktiefe spielt eine wichtige Rolle für die lokale Produktionsbedarfsplanung im Rahmen der lokalen Beschaffungsartzuordnung. Auf dieser Basis werden dann Anforderungsprofile für Kooperationspartner erstellt, welche sodann mit Leistungsprofilen potenzieller Partner abgeglichen werden. Die so erfolgte Auswahl an Partnern wird der lokalen Fremdbezugsplanung und -steuerung vermittelt. Wenn mit den ausgewählten Partnern das Produktprogramm jedoch nicht umgesetzt werden kann, muss die zugrundeliegende Make-or-Buy-Entscheidung überarbeitet und in erneute Verhandlungen mit potenziellen Kooperationspartnern getreten werden. Alle so erlangten Informationen werden in der Standortplanung zusammengetragen, um die Veränderung von Produktions-, Lager- und Distributionsstandorte strategisch neu zu bewerten. Als Resultat entsteht eine umfassende Beschreibung der Netzwerkstruktur, die zum Beispiel im Rahmen der Netzwerkbedarfsplanung aufgegriffen wird.

4.1.4 Netzwerkabsatzplanung

Die Netzwerkabsatzplanung setzt sich mit der Frage nach der Menge der über das Netzwerk abzusetzenden Erzeugnisse auseinander. Dabei sollen hier grundsätzlich die zwei unterschiedlichen Ansätze der dezentralen und der zentralen Netzwerkabsatzplanung unterschieden werden. Je ein SBD beider Varianten ist in Abbildung 16 dargestellt.

Der Koordinationsansatz der dezentralen Netzwerkabsatzplanung basiert darauf, dass alle lokal ermittelten Absatzpläne zu einem Gesamtabsatzplan für das

Netzwerk konsolidiert werden. Der so generierte Netzwerkabsatzplan wird an die Netzwerkbedarfsplanung weitergegeben und stößt die netzwerkübergreifende Budget- und Umsatzplanung an. Dieser Ansatz eignet sich insbesondere für Netzwerkpartner mit heterogener Erzeugnisstruktur.

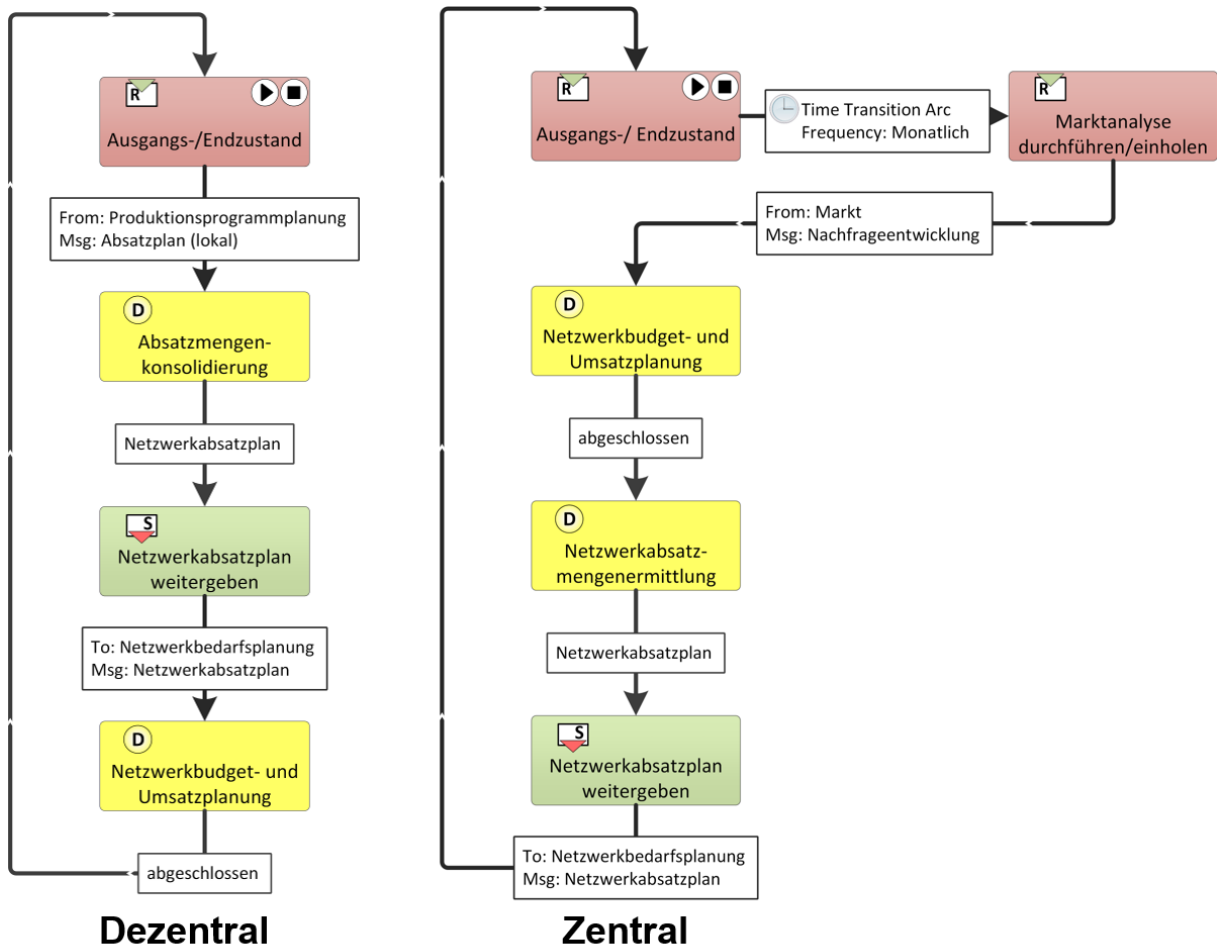


Abbildung 16. SBD – Netzwerkabsatzplanung, dezentral und zentral.

Der andere Ansatz baut auf einer zentral durchgeführten Budget- und Umsatzplanung auf. In diesem Rahmen wird zunächst die Marktentwicklung netzwerkübergreifend analysiert und auf dieser Basis ein Netzwerkabsatzplan abgeleitet, der die einzelnen Primärbedarfe auflistet. Dieser Absatzplan wird dann an die Netzwerkbedarfsplanung weitergegeben. Der zentrale Ansatz findet z.B. in konzernartigen Produktionsnetzwerken oder allgemein bei homogenen Erzeugnisstrukturen Anwendung.

4.1.5 Netzwerkbedarfsplanung

Die Netzwerkbedarfsplanung umfasst die drei Teilgebiete der *Netzwerkkapazitätsplanung*, der *Netzwerkbedarfsallokation*, und der *Netzwerkbeschaffungsplanung*. Das in Abbildung 17 dargestellte SBD zeigt den Bezug dieser Teilprozesse zueinander und die Anbindung an die anderen PPS-Aufgaben.

Die Grundlage für die Netzwerkkapazitätsplanung bildet der Netzwerkabsatzplan. Zunächst wird daraus ein Bruttoprimarybedarf ermittelt, der nach Abgleich mit Lagerbeständen auf einen Nettoprimarybedarf heruntergerechnet wird. Das Ergebnis dieser Berechnungen wird im Netzwerkproduktionsprogramm vorschlag festgehalten. Die Realisierbarkeit dieses Vorschlages wird sodann durch die Netzwerkkapazitätsdeckungsrechnung überprüft. Dabei wird darüber hinaus darauf geachtet, dass alle Netzwerkkapazitäten möglichst gleichmäßig genutzt werden.

Unter Berücksichtigung der Netzwerkstruktur werden im Rahmen der Bedarfsallokation die Primärbedarfe des Netzwerkproduktionsprogramm vorschlages auf alle Netzwerkpartner aufgeteilt. Dabei werden auch Kompetenzunterschiede im Netzwerk, regionale Begebenheiten oder andere Kriterien wie der Transportaufwand beachtet. Stellt sich der Netzwerkproduktionsprogramm vorschlag unter diesen Restriktionen als realisierbar heraus, wird der Vorschlag als Netzwerkproduktionsprogramm freigegeben. Wenn die Freigabe so nicht erfolgen kann, wird überprüft, ob die Bedarfe umverteilt werden können. Stellt sich auch dies als innerhalb des gesetzten Zielrahmens als nicht möglich heraus, muss das Netzwerkabsatzprogramm angepasst werden.³⁹ Das freigegebene Produktionsprogramm ist nicht nur Eingangsgröße für die lokale Produktionsprogrammplanung, sondern auch für die folgende Netzwerkbeschaffungsplanung.

³⁹ Im Fall einer zentralen Absatzplanung muss diese Nachricht an die Netzwerkabsatzplanung verschickt werden, im Fall einer dezentralen Planung an die jeweils betroffene lokale Produktionsprogrammplanung. In Abbildung 17 ist der dezentrale Fall abgebildet.

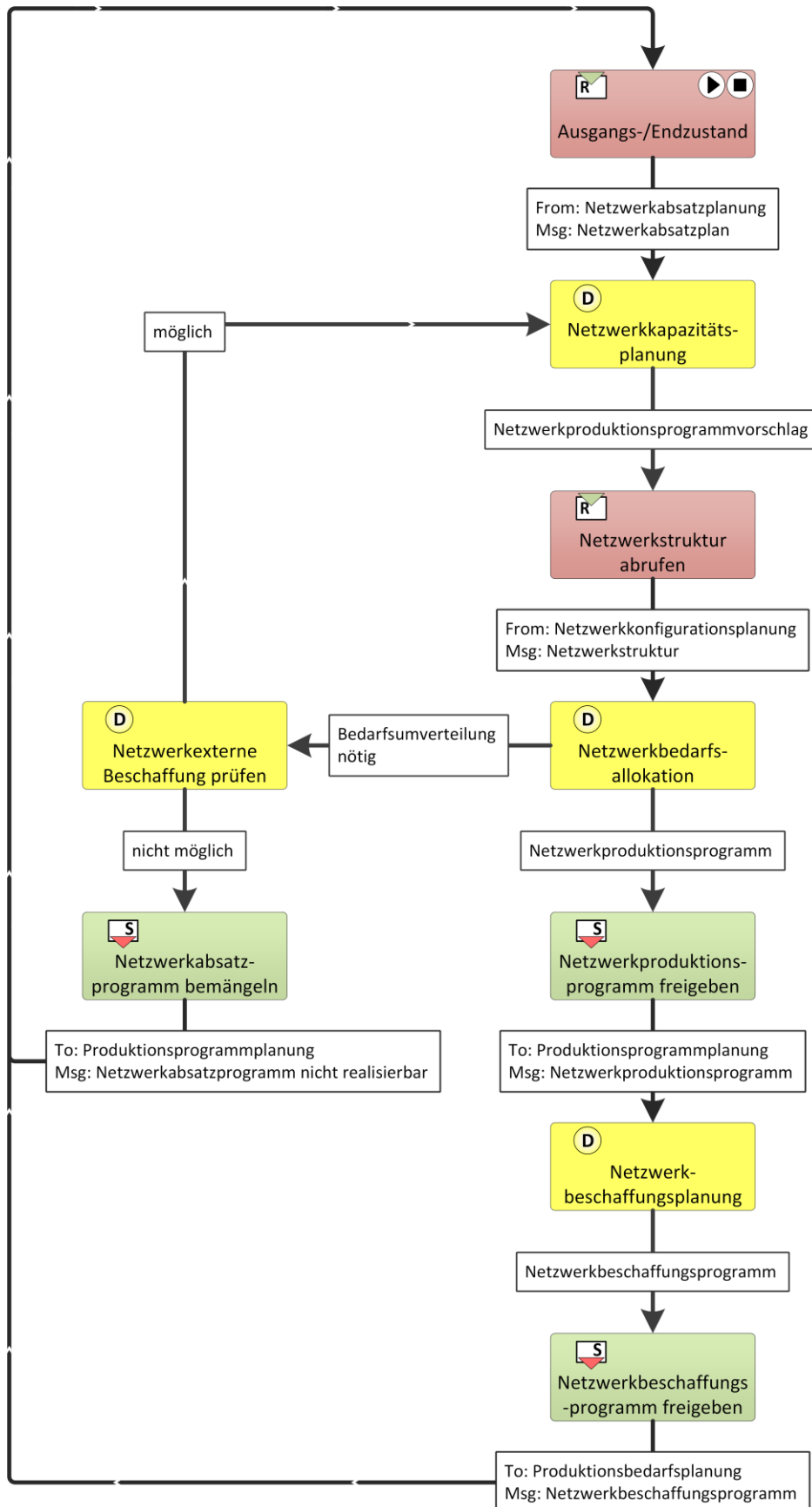


Abbildung 17. SBD – Netzwerkbedarfsplanung.

Erster Schritt der Netzwerkbeschaffungsplanung ist die Ermittlung der Sekundärbedarfe. Ziel ist es dabei netzwerkübergreifend gleiche Sekundärbedarfe zu kombinieren, um Skaleneffekte bei der Beschaffung nutzen zu können. In diesem Zusammenhang verwaltet die Bestandsplanung alle dispositionsrelevanten Daten. Am Ende der Netzwerkbeschaffungsplanung wird das Netzwerkbeschaffungsprogramm freigegeben, das wiederum von der lokalen Produktionsbedarfsplanung aufgegriffen wird.

4.1.6 Produktionsprogrammplanung

Wie schon eingangs beschrieben, sind die größten Unterschiede der verschiedenen Auftragsabwicklungstypen im Rahmen der Produktionsprogrammplanung zu verorten. Aus diesem Grund werden im Folgenden drei alternative SBDs beschrieben. Das erste stellt den Produktionsprogrammplanungsprozess des Auftragsfertigers, das zweite den des Rahmenauftragsfertigers, und das dritte gleichermaßen den des Variantenfertigers und des Lagerfertigers dar.

Auftragsfertiger

Wegen der großen Individualität der meist spezialisierten Aufträge kommt der Produktionsprogrammplanung beim Auftragsfertiger eine geringere Bedeutung als bei anderen Auftragsabwicklungstypen zu. Das Subjektverhalten der Produktionsprogrammplanung des Auftragsfertigers ist in Abbildung 18 dargestellt. Das Produktionsprogramm wird bei diesem Auftragsabwicklungstypen aus (Teil-) Projektfreigaben von vorhandenen Aufträgen und einem nur auf Produktgruppenebene heruntergebrochenem prognostizierten Komponentenbedarf zusammengestellt.

Der rechte Teil der Abbildung stellt dabei dar, wie dieser Komponentenbedarf ermittelt wird. Es wird dabei davon ausgegangen, dass die Absatzplanung in einem zeitlich bestimmten Intervall, hier jährlich, angestoßen wird. Dazu werden zunächst Nachfrageinformationen durch eine Marktanalyse eingeholt. Falls das betrachtete Unternehmen in ein Netzwerk eingebunden ist, wird an dieser Stelle auch das Netzwerkproduktionsprogramm berücksichtigt. Falls es bei der Erstellung des Netzwerkproduktionsprogramms zu Abstimmungsfehlern im Rahmen der Netzwerkbedarfsplanung gekommen ist, muss die Absatzplanung erneut unter Berücksichtigung dieser

gramms und dient dazu sicherzustellen, dass zukünftig ausreichend Ressourcen zur Produktion der eingeplanten Erzeugnisse zur Verfügung stehen.

Der linke Teil des SBDs beschreibt, wie der auftragsanonyme Teil des Produktprogramms und die (Teil-) Projektfreigaben zum Produktionsprogramm konsolidiert werden und dieses dann freigegeben wird.

Rahmenauftragsfertiger

Die Abläufe zur Produktionsprogrammplanung des idealtypischen Rahmenauftragsfertigers sind dem SBD in Abbildung 19 zu entnehmen. Im Gegensatz zu den anderen Auftragsabwicklungstypen muss sich der Rahmenfertiger weniger auf eine Marktanalyse verlassen, da mit dem beschränkteren Kundenstamm Rahmenvereinbarungen über geplante Absätze in der betrachteten Periode getroffen werden. Auf dieser Grundlage kann der mittel- und längerfristige Erzeugnisabsatz als gut projiziert werden. In der Absatzplanung wird, wie beim Auftragsfertiger, ebenfalls die Netzwerkabsatz und -bedarfsplanung eingebunden. So werden Bemängelungen am Netzwerkabsatzprogramm und das Netzwerkproduktionsprogramm berücksichtigt und der lokale Absatzplan an das Netzwerk weitergegeben.

Beim Rahmenauftragsfertiger wird häufig allein auf Basis des auftragsanonymen Absatzprogramms eine erste Ressourcengrobplanung durchgeführt. Es werden so die vorhandenen Ressourcen mit denen für die Produktion aller Erzeugnisse aus den Rahmenvereinbarungen benötigten Ressourcen abgeglichen. Es ist üblich dabei auf einem höheren Abstraktionslevel zu bleiben.

Anschließend werden die eingehenden tatsächlichen Rahmenaufträge betrachtet. Im Gegensatz zum Absatzprogramm und den Rahmenvereinbarungen sind hier jetzt alle Primärbedarfe eindeutig gelistet und können zum Bruttoprimärbedarf zusammengefasst werden. Unter Abgleich mit den aktuellen Beständen kann daraus dann wiederum der Nettoprimärbedarf ermittelt werden. An dieser Stelle müssen auch die Auftragsauslösungszeitpunkte mit beachtet werden, um so einen Produktionsprogrammorschlag zu erstellen. Dieser spezifischere Programmorschlag wird anschließend im Rahmen einer zweiten Ressourcengrobplanung genutzt. Die zweite Ressourcengrobplanung betrachtet meist einen kürzeren Zeitraum als die erste und ist durch die exaktere Datengrundlage aus den Rahmenaufträgen meist detaillierter.

Variantenfertiger und Lagerfertiger

Die Produktionsprogrammplanung bei den Auftragsabwicklungstypen Variantenfertiger und Lagerfertiger kann mit dem gleichen SBD dargestellt werden. Dies ist möglich, weil die kundenanonyme Vorproduktion von Komponenten beim Variantenfertiger und die Produktion von Erzeugnissen auf Lager nach den gleichen Prinzipien ablaufen. Das Hauptunterscheidungsmerkmal besteht darin, dass beim Variantenfertiger eine kundenspezifische Endproduktion angeschlossen wird. Abbildung 20 zeigt das zugehörige SBD.

In einem vordefinierten Zeitintervall wird die Nachfrageentwicklung am Markt betrachtet und auf dieser Basis die Absatzplanung angestoßen. Auch bei diesen Auftragsabwicklungstypen wird das Netzwerkproduktionsprogramm berücksichtigt. Dabei wird die Erstellung des Absatzplans häufig auf der Stufe von Erzeugnisgruppen durchgeführt, kann aber auch spezifisch für einzelne Produkte bzw. Varianten durchgeführt werden. Das Ergebnis der Absatzplanung ist das Absatzprogramm. Beim Lagerfertiger entspricht das Absatzprogramm der Aggregation der verkauften Erzeugnisse und wird deswegen häufig auch als Verkaufsprogramm bezeichnet. Der lokale Absatzplan wird dann an die Netzwerkabsatzplanung weitergegeben.

Aus dem so erstellten Absatzprogramm wird im Rahmen der Primärbedarfsermittlung zunächst der Bruttoprimarybedarf ermittelt. Dieser kann dann mit den aktuellen Beständen abgeglichen werden, um den Nettobedarf zu errechnen. Beim Variantenfertiger werden hier zwei unterschiedliche Arten der Primärbedarfsermittlung unterschieden. Wenn sich das Absatzprogramm auf definierte Varianten bezieht, kann die Primärbedarfsplanung ohne Umwege durchgeführt werden. Wenn das Absatzprogramm aber nur Produktgruppen beinhaltet und die tatsächliche Variante nicht genauer spezifiziert ist, muss über Ausgleichsrechnungen der Bruttoprimarybedarf ermittelt werden. Insbesondere beim Lagerfertiger werden häufig schon in der Bedarfsermittlung Mindestbestände und Lagerreichweiten für die verbrauchsgesteuert disponierten Produkte definiert. Unabhängig von diesen unterschiedlichen Möglichkeiten wird auf Basis des Nettobedarfs dann der Produktionsprogrammorschlag erstellt. Die folgende auftragsanonyme Ressourcengrobplanung stützt sich damit auf eine meist deutlich solidere Datengrundlage als beim Auftragsfertiger. Abschließend

wird der erstellte Produktionsprogrammorschlag noch einmal überprüft und dann das Produktionsprogramm freigegeben.

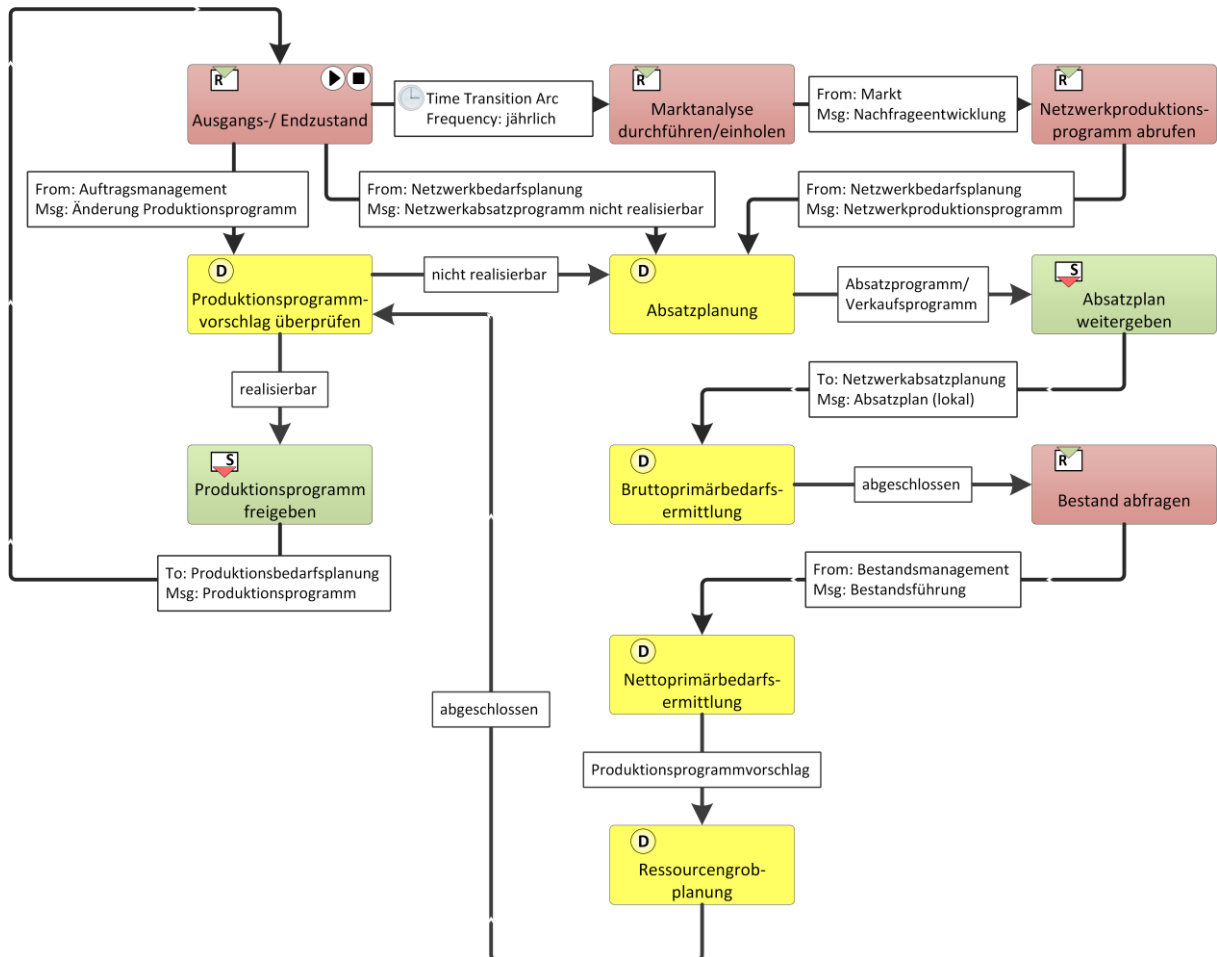


Abbildung 20. SBD – Variantenfertiger-/Lagerfertiger-Produktionsprogrammplanung.

Wenn wegen Störungen, Fehleinschätzungen oder Ähnlichem eine Änderung des Produktionsprogramms nötig wird, dann wird überprüft, ob der geänderte Produktionsprogrammorschlag so umsetzbar ist. Wenn nicht, muss die Planung, beginnend bei der Absatzplanung, erneut durchlaufen werden. Dies ist auch der Fall, wenn Änderungen am Netzwerkabsatzprogramm nötig sind.

4.1.7 Produktionsbedarfsplanung

Die Produktionsbedarfsplanung folgt, unabhängig vom Auftragsabwicklungstyp, den gleichen Schritten. Lediglich der Arbeitsinhalt dieser Planungsaufgaben kann variieren. Dieses einheitliche Subjektverhalten wird in Abbildung 21 dargestellt.

Ausgangspunkt der Bedarfsplanung ist das Produktionsprogramm. Ausgehend davon werden die Bruttosekundärbedarfe ermittelt. Dies kann für den Auftragsfertiger eine größere Herausforderung darstellen, da oftmals zu diesem Zeitpunkt die Konstruktion noch nicht abgeschlossen ist, beziehungsweise noch keine Arbeitspläne oder NC-Programme erstellt wurden. Bei den anderen Auftragsabwicklungstypen sind zu diesem Zeitpunkt in aller Regel die jeweiligen Stücklisten bekannt, was zu einer höheren Planungsgenauigkeit führt. Anschließend an die Ermittlung des Bruttobedarfs wird dieser mit den Beständen abgeglichen, um den Nettosekundärbedarf zu erhalten. Der Nettobedarf des Auftragsfertigers entspricht oft in weiten Teilen dem Bruttobedarf, da viele individualisierte Produkte hergestellt werden. Insbesondere Varianten- und Lagerfertiger können aber oft auf Bestände aus vorangegangenen Perioden zurückgreifen, was zu niedrigeren Nettobedarfen führt.

Unter Berücksichtigung der Netzwerk-Make-or-Buy-Entscheidungen wird daraufhin die Beschaffungsart zugewiesen. Insbesondere beim Lagerfertiger ist eine neuerliche Zuordnung für viele Erzeugnisse nicht notwendig, da die Beschaffungsart schon in den Stammdaten der Komponenten hinterlegt ist. Durch den Abgleich mit dem und die Anpassung an das Netzwerkbeschaffungsprogramm wird so ein Beschaffungsprogramm-vorschlag erstellt.

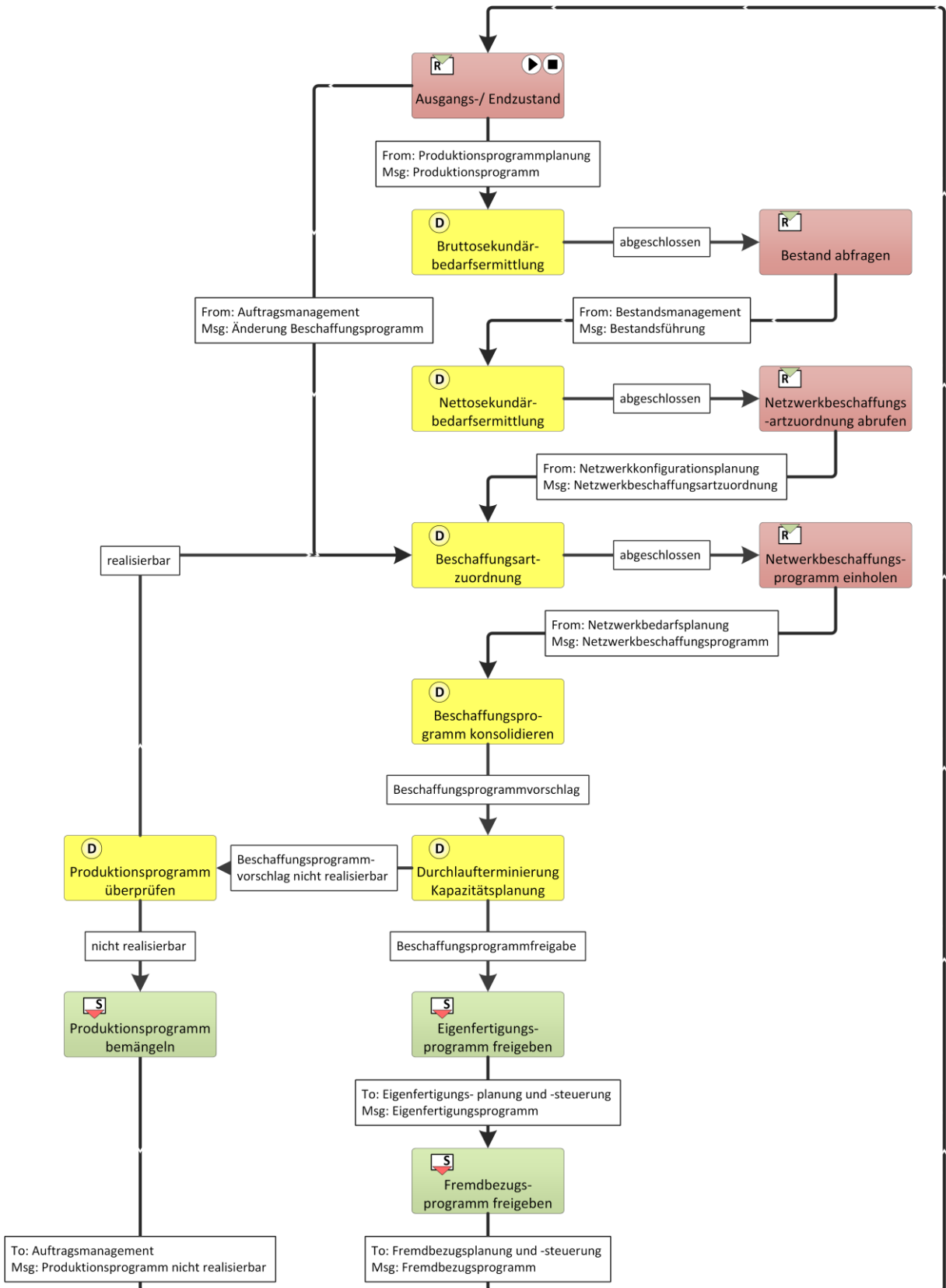


Abbildung 21. SBD – Produktionsbedarfsplanung.

Für den so ermittelten Beschaffungsprogramm-vorschlag erfolgt eine Durchlaufterminierung und Kapazitätsplanung, an deren Ende entschieden wird, ob dieser Plan realisierbar ist. Während die Durchlaufterminierung beim Lagerfertiger höchste Exaktheit besitzen und damit eine später folgende Feinterminierung gänzlich überflüssig machen kann, wird beim Auftragsfertiger meistens nur gröber terminiert, da die Datengrundlage nicht die gleiche Belastbarkeit besitzt. Oft wird hier die Methode des Vergleichens und Schätzens genutzt oder sich lediglich auf Erfahrungswerte verlassen. Ist der Vorschlag grundsätzlich realisierbar, wird das Beschaffungsprogramm – bestehend aus Eigenfertigungsprogramm und Fremdbezugsprogramm – freigegeben. Wenn eine weitere Überprüfung ergibt, dass das Produktionsprogramm so nicht umsetzbar ist, wird dieser Befund an das Auftragsmanagement zurückgemeldet. Wenn durch eine Änderung des Beschaffungsprogramm-vorschlages die Realisierung des Produktionsprogramms ermöglicht werden kann, dann wird der Planungsvorgang, ausgehend von der Beschaffungszuordnung, erneut durchlaufen. Dies ermöglicht die Einplanung eines größeren (oder kleineren) Anteils an Fremdvergabe von Aufträgen.

Der Übergang zwischen Produktionsbedarfsplanung und Eigenfertigungsplanung ist, wie schon beschrieben, oft fließend, da viele Aufgaben, die klassischerweise in der Eigenfertigungsplanung durchgeführt werden, bei guter Datengrundlage auch schon in der Bedarfsplanung erfolgen können. Damit können gröbere Vorplanungsschritte eliminiert werden. Des Weiteren ist zu bemerken, dass je nach Dispositionsstrategie weiterer Bedarf auch direkt durch das Beschaffungsmanagement angemeldet werden kann und die für die Deckung davon benötigten Ressourcen dementsprechend berücksichtigt werden müssen.

4.1.8 Eigenfertigungsplanung und -steuerung

Auch die Eigenfertigungsplanung und -steuerung kann mit einem einheitlichen SBD beschrieben werden, das in Abbildung 22 dargestellt ist. Die Unterscheidung zwischen den verschiedenen Auftragsabwicklungstypen liegt dann vor allem darin, welchen Arbeitsinhalt der Zustand *Werkstattprogramm erstellen* umfasst. Die verschiedenen Planungsschritte, die bei Schuh einzeln abgebildet werden, sind in dem SBD zu diesem einen Zustand aggregiert. Das ist vor allem darauf zurückzuführen, dass

die Festlegung dieser Arbeitsinhalte sehr unternehmensspezifisch und nicht nur vom Auftragsabwicklungstyp abhängig ist. Die Aufteilung der Inhalte ergibt sich zu einem großen Teil daraus, welche Daten schon in den Stammdaten hinterlegt sind und nicht erneut ermittelt werden müssen (z.B. Losgrößen), und wie detailliert die Ergebnisse der Produktionsbedarfsplanung ausgestaltet sind.

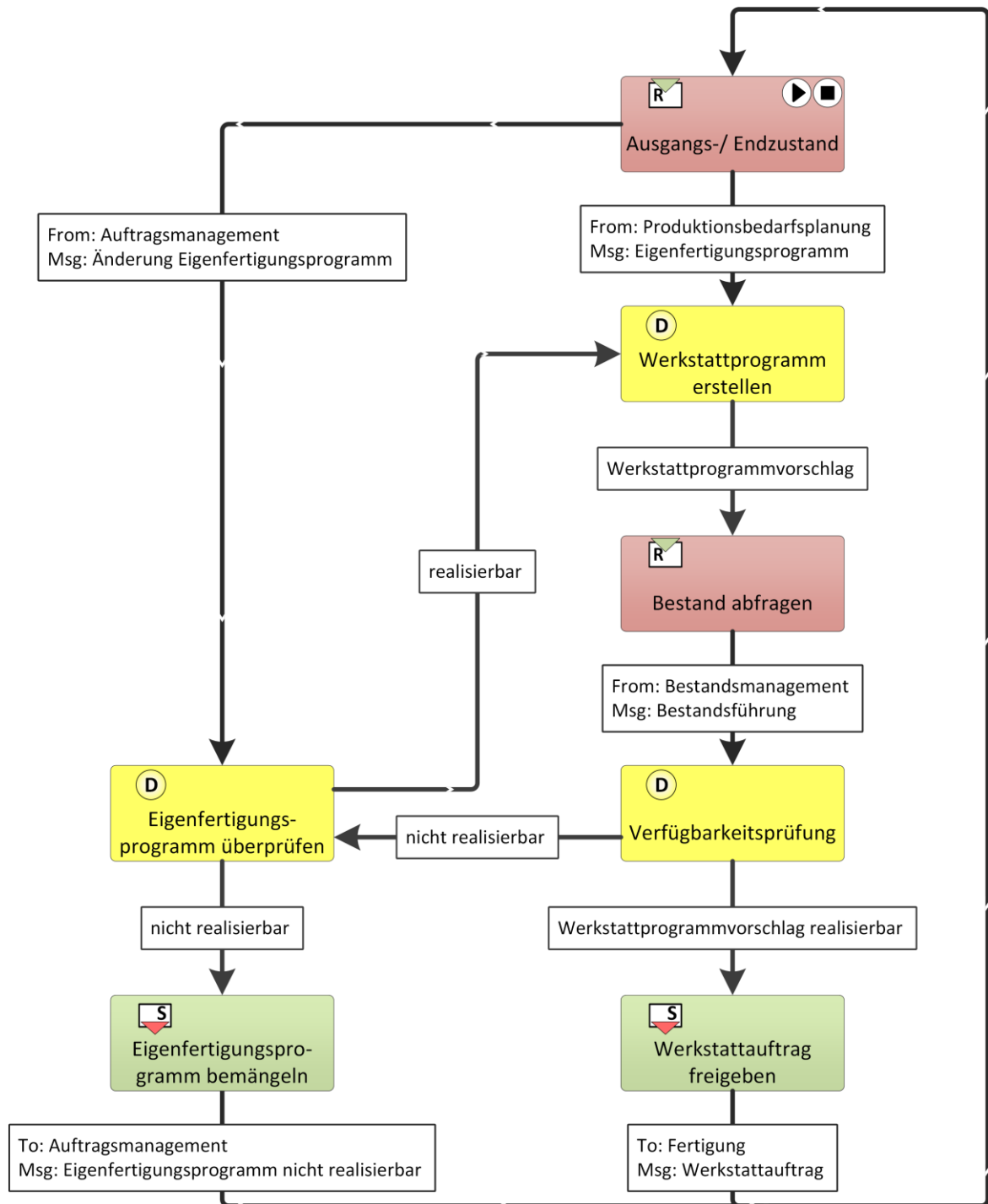


Abbildung 22. SBD – Eigenfertigungsplanung und -steuerung.

Im Regelfall werden in der Eigenfertigungsplanung und -steuerung beim Auftragsfertiger die meisten Planungsschritte zur Erstellung des Werkstattprogrammvorschlages durchlaufen. Hier ist zunächst eine Losgrößenrechnung notwendig. Anschließend findet die Feinterminierung statt, bei der einzelnen Aufträgen die spezifischen Kapazitäten zugewiesen werden. Außerdem werden Starttermine für alle Aufträge festgelegt. In der Ressourcenfeinplanung werden dann der Arbeitsinhalt der einzelnen Ressourcen geplant und ihre Kapazitäten gegebenenfalls angepasst (z.B. Überstunden an einem Montagearbeitsplatz). Danach wird abschließend eine Reihenfolgeplanung der Fertigungsaufträge durchgeführt. Ein vergleichbares Vorgehen ist bei der Einplanung der Endproduktionsaufträge des Variantenfertigers üblich.

Im Gegensatz dazu steht die Erstellung des Werkstattprogramms beim Lagerfertiger, Rahmenauftragsfertiger und der kundenanonymen Vorproduktion des Variantenfertigers. Hier wird oft direkt eine Ressourcenbelegungsplanung, also eine deterministische Feinplanung im Rahmen der Eigenfertigungsplanung und -steuerung, vollzogen. Das liegt vor allem daran, dass viele Arbeitsschritte bei diesen Auftragsabwicklungstypen in die Produktionsbedarfsplanung vorverlagert werden können. Bei komplexeren Planungsvorgängen kann aber auch bei diesen Planungstypen eine Feinplanung von Engpassressourcen, wie z.B. Fachkräften oder Transportmitteln, von Nöten sein.

Der so erstellte Werkstattprogrammvorschlagn wird anschließend auf seine Realisierbarkeit, also die Verfügbarkeit aller nötigen Ressourcen überprüft. Insbesondere bei Neukonstruktionen gehört dazu auch die Überprüfung der Arbeitsunterlagen (z.B. Montageanweisungen). Ist der Werkstattprogrammvorschlagn realisierbar, werden die einzelnen Werkstattaufträge freigegeben. Stellt sich der Werkstattprogrammvorschlagn als nicht realisierbar heraus oder werden dem Auftragsmanagement Störungen gemeldet, wird das Eigenfertigungsprogramm überprüft. Wenn dieses sich als immer noch realisierbar erweist, werden die nötigen Planungsschritte zur Erstellung eines neuen Werkstattprogrammvorschlages erneut durchlaufen. Ist das Eigenfertigungsprogramm so nicht umsetzbar, muss das Beschaffungsprogramm angepasst werden.

4.1.9 Fremdbezugsplanung und -steuerung

Im Kontext der Fremdbezugsplanung und -steuerung ist das Subjektverhalten von Auftrags- und Variantenfertiger, so wie das von Rahmenauftrags- und Lagerfertiger, sehr ähnlich zueinander. Der Hauptunterschied besteht dabei darin, dass Auftrags- und Variantenfertiger häufiger neue Lieferanten anfragen und auswählen müssen, während die anderen beiden Auftragsabwicklungstypen wegen ihres konsistenteren Produktspektrums längerfristige Verträge mit ihren Lieferanten schließen können. Unabhängig von dieser Unterscheidung konnte das Subjektverhalten der Fremdbezugsplanung und -steuerung im allgemein gültigen SBD in Abbildung 23 zusammengefasst werden.

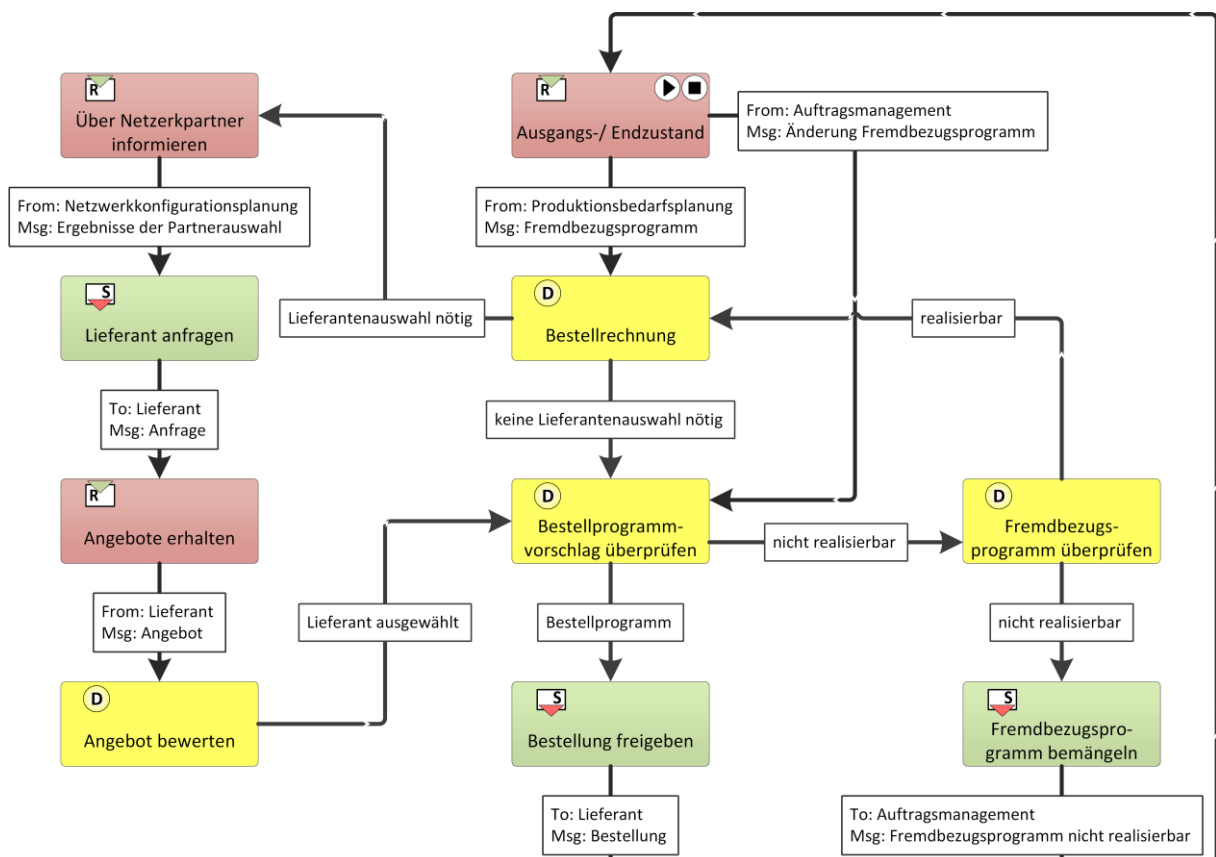


Abbildung 23. SBD – Fremdbezugsplanung und -steuerung.

Zunächst wird hierbei auf Grundlage des Fremdbezugsprogramms die Bestellrechnung durchgeführt. Ziel ist es dabei, kostenoptimale Bestellmengen zu finden. Ein wichtiger Schritt, um Skaleneffekte besser nutzen zu können, ist die Zusammen-

fassung unterschiedlicher Bedarfe nach dem gleichen Teil zu einem Gesamtbedarf für die betrachtete Periode. Dieser Schritt hat gerade für den Variantenfertiger eine besonders große Bedeutung. Nach abgeschlossener Bestellrechnung wird für jedes Fremdbezugsteil überprüft, ob eine Lieferantenauswahl nötig ist. Wie zuvor beschrieben, ist dies vor allem bei Auftrags- und Variantenfertigern häufig der Fall.

Im Rahmen der Lieferantenauswahl werden zuerst die Ergebnisse der Partnerauswahl auf Netzwerkebene betrachtet, um festzustellen, ob Netzwerkpartner für die Beschaffung in Frage kommen oder anderweitige Synergieeffekte erzielt werden können. Anschließend werden an mehrere potenzielle Lieferanten Anfragen geschickt. Die so eingeholten Angebote werden anschließend nach unternehmensspezifischen Kriterien bewertet und ein Lieferant wird auf dieser Basis ausgewählt.

Nach abgeschlossener Lieferantenauswahl, wenn diese gar nicht erst nötig war, oder Änderungen zum aktuellen Fremdbezugsprogramm eingehen, wird der Bestellprogrammorschlag nochmals überprüft. Dabei wird auch die aktuelle Situation, also z.B. die Lieferbereitschaft von standardmäßig genutzten Lieferanten, berücksichtigt. Ist der Bestellprogrammorschlag realisierbar, werden die Bestellungen aus dem Bestellprogramm freigegeben und an die Lieferanten übermittelt. Ist der Vorschlag so nicht realisierbar, muss überprüft werden, ob durch eine andere Verteilung der Bestellungen auf Lieferanten das Fremdbezugsprogramm doch noch durchsetzbar ist. Ist dies möglich, wird zum Prozessschritt der Bestellrechnung zurückgekehrt. Wenn das aktuell gegebene Fremdbezugsprogramm so nicht umgesetzt werden kann, wird die Änderung des Beschaffungsprogramms veranlasst.

4.2 Fertigungssteuerungsverfahren

In diesem Abschnitt werden Prozessmodelle mit Bezug auf Hypothese 2 vorgestellt.

Hypothese 2:

Es ist möglich subjektorientierte Prozessbeschreibung zu nutzen, um Fertigungssteuerungsverfahren zu modellieren und ihre Funktionsweisen zu erörtern.

Im Folgenden werden die drei Fertigungssteuerungsverfahren Kanban, CONWIP und Polca, die schon in Abschnitt 2.1.5, beschrieben wurden, näher betrachtet.

4.2.1 Kanban

Die Kanban-Steuerung ist eine klassische Art der Umsetzung des Holprinzips zur Auftragerstellung. Es wurden im Laufe der Zeit etliche Verfahrensvarianten entwickelt und viele davon auch mit Erfolg umgesetzt. Der Ausgangspunkt für die Anwendung der Kanban-Steuerung liegt im Toyota-Produktionssystem. Aus diesem Grund wird oft davon ausgegangen, dass die Fertigung nach dem One-Piece-Flow-Prinzip⁴⁰ organisiert ist. Dementsprechend wird im Folgenden auch von Fertigungsinseln gesprochen. Die Kanban-Steuerung kann aber auch bei einer anderen Organisation der Fertigung erfolgreich eingesetzt werden.

Grundsätzlich kann zwischen Produktionskanbans und Transportkanbans unterschieden werden. Ein Produktionskanban veranlasst Nachproduktion, während ein Transportkanban die Materialversorgung auslöst. Die Kanbans, die im Rahmen dieses Fertigungsverfahrens eingesetzt werden, können verschiedenster Form sein (Karten, Behälter, digital, etc.). Auch die Informationen, die ein Kanban trägt, können stark variieren, aber es gibt einige wichtige Informationen, die gegeben sein müssen.

⁴⁰ One-Piece-Flow – „Hierunter versteht man logistische Fließfertigungen, bei denen die Mitarbeiter jedoch das Werkstück durch die verschiedenen Bearbeitungsgänge und unter Umständen bis zu seiner Fertigstellung begleiten. Dazu werden sie in Gruppen organisiert oder rotierend eingesetzt. Die Mitarbeiter müssen dabei alle anfallenden Arbeitsgänge beherrschen.“ REFA 2020, One Piece Flow.

Ein Produktionskanban verweist notwendigerweise auf das erzeugende Arbeitssystem, die zu erzeugende Variante, die Losgröße bzw. den Behälterinhalt, und eine fortlaufende Identifikationsnummer des Kanbans. Ein Transportkanban trägt Informationen zum Lagerort, der Variante und dem nachfragenden Bereich. Es ist weit verbreitet, dass Kanbans noch mehr Informationen, wie die Wiederbeschaffungszeit oder die Anzahl der Kanbans diesen Typs enthalten (Lödding 2016).

Beim zwei-Karten-Kanban kommen diese beiden Varianten gleichzeitig zum Einsatz. Abbildung 24 zeigt das SID eines solchen zwei-Karten-Kanbans. Durch die Darstellung dieser komplexeren Form der Kanban-Steuerung wird die Beschreibung noch simplerer Varianten obsolet.

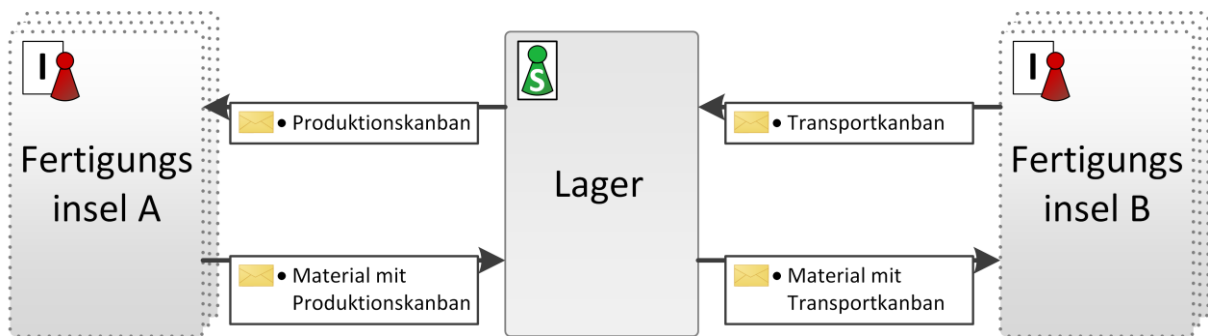


Abbildung 24. Kanban-Steuerung – SID.

Das SID besteht aus drei Subjekten. Im Zentrum steht dabei das Lager-subjekt, das die *Fertigungsinsel A* mit der *Fertigungsinsel B* verknüpft. Die beiden Fertigungsinseln sind dabei als Interface-Multi-Subjekte dargestellt, weil ein Lager Materialien aus unterschiedlichen Quellen bezieht und verschiedene Fertigungsinseln beliefert. Es ergeben sich zwei Regelkreise, nämlich ein Materialversorgungsregelkreis, der über Transportkanbans gesteuert wird und ein Nachproduktionsregelkreis, der durch Produktionskanbans gesteuert wird.

Zunächst wird die Materialversorgung einer Fertigungsinsel (*B*) betrachtet. Diese kann verschiedenen Prinzipien folgen. So kann für jeden Auftrag einzeln ein Transportkanban für jedes benötigte Teil verschickt werden oder Material für mehrere Aufträge zugleich bereitgestellt werden. Für die Kanban-Steuerung ist nur wichtig, dass Materialbedarf durch Verschicken des Transportkanbans an das *Lager* ange-

meldet wird. Dort wird das gewünschte Material ausgelagert und zusammen mit dem Transportkanban zur *Fertigungsinsel B* transportiert.

Produktionskanbans werden genutzt, um bei einer Fertigungsinsel (*A*) einen Produktionsauftrag auszulösen. Die *Fertigungsinsel A* startet den Produktionsvorgang (sofern keine weiteren Auftragsfreigabeverfahren genutzt werden), wenn ein Produktionskanban vorliegt und alles nötige Material vorhanden ist. Standardmäßig werden die Aufträge nach dem zeitlichen Eintreffen der jeweiligen Produktionskanbans priorisiert, es können aber auch andere Reihenfolgebildungsverfahren eingesetzt werden. Nachdem die Produktion abgeschlossen ist, wird das produzierte Los zu seinem Bestimmungsort (hier dem *Lager*) transportiert.

Das Subjektverhalten des *Lagers* beschreibt, wie bei einem zwei-Karten-Kanban diese beiden Regelkreise miteinander verbunden werden können. Das zugehörige SBD ist in Abbildung 25 dargestellt. Im Ausgangszustand wartet das Lager-Subjekt auf das Eintreffen eines Kanbans. Wenn ein Produktionskanban mit dem zugehörigen Material eintrifft, wird das Material in das Lager einsortiert.⁴¹ Danach wird zum Ausgangszustand zurückgekehrt. Trifft ein Transportkanban ein, wird überprüft, ob ausreichend Material im Lager vorhanden ist.⁴² Wenn nicht ausreichend Material im Lager vorhanden ist, muss auf das Eintreffen von Material mit einem schon zuvor verschickten Produktionskanban gewartet werden. Sobald ausreichend Material vorhanden ist, kann dieses ausgelagert und damit die Nachfrage durch das Transportkanban bedient werden. Nach jedem Auslagerungsvorgang wird überprüft, ob die Nachbestellmenge unterschritten wurde. Wenn ja, wird das zugehörige Produktionskanban verschickt. Wenn so die Nachproduktion veranlasst wurde, kann die nächste durch ein Kanban ausgelöste Anfrage bearbeitet werden.

⁴¹ Das Kanban verbleibt ebenfalls im Lager, entweder in Verbindung mit dem Material, an einer Kanban-Tafel (Sammlung) oder auch digital.

⁴² In den meisten Fällen sollte das Material im Lager vorrätig sein. Wenn es zu häufigen Fehlanfragen kommt, sollte über die Abstimmung der Verfahrensparameter (Anzahl der Kanbans), Prioritätsregeln, oder die Anwendung eines besser geeigneten Fertigungsverfahrens nachgedacht werden.

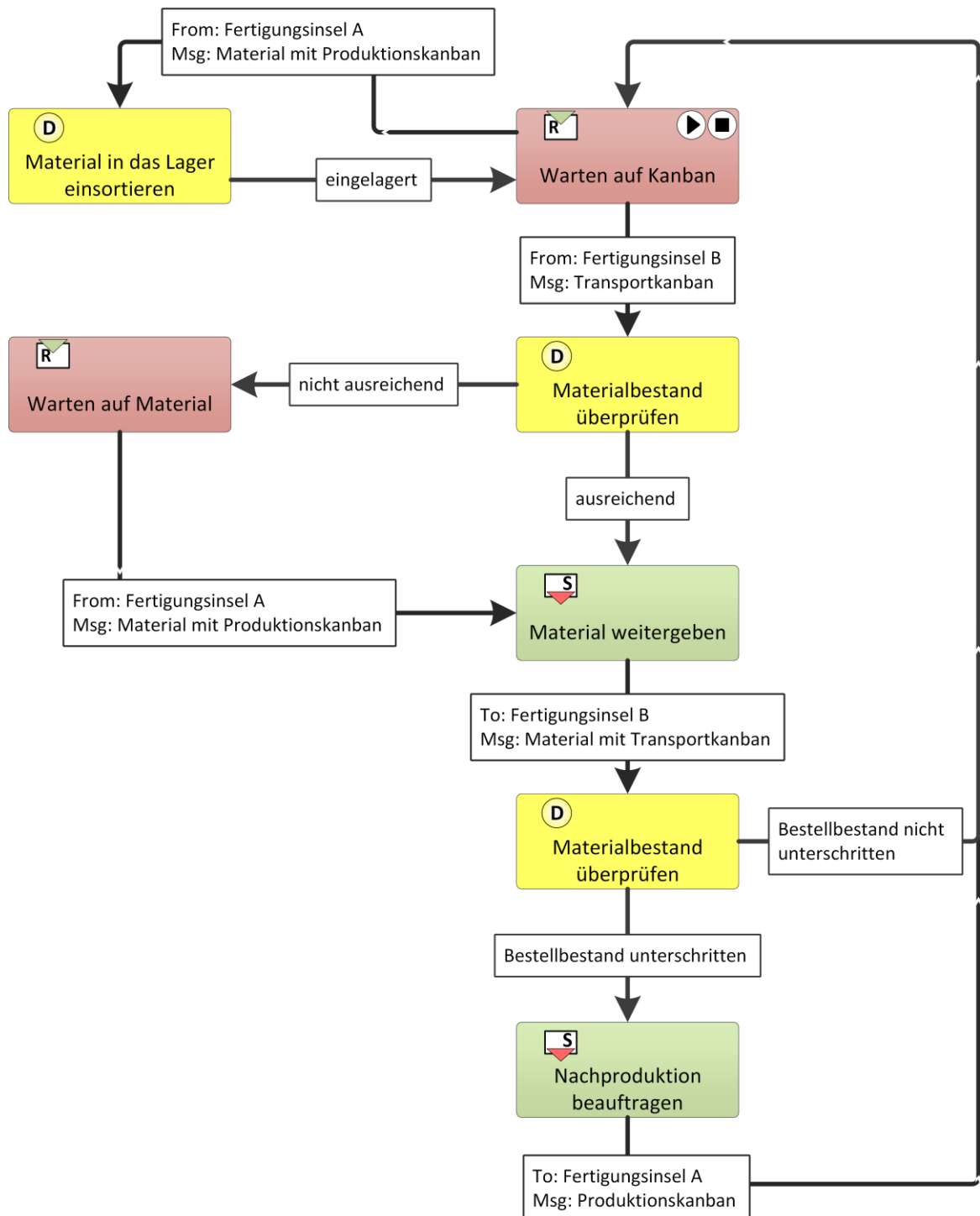


Abbildung 25. Kanban-Steuerung – SBD.

Die zweite Überprüfung des Materialbestandes ist darauf zurückzuführen, dass sich Transportlosgrößen und Produktionslosgrößen unterscheiden können. Es gibt unterschiedliche Möglichkeiten den Bestellbestand zu definieren. So kann der

Anbruch eines neuen Produktionsloses, der Verbrauch eines Produktionsloses oder ein arbiträrer Punkt dazwischen den Bestellbestand bestimmen.

Im Rahmen der Kanban-Steuerung kommt es der PPS zu drei zentrale Verfahrensparameter zu definieren und gegebenenfalls anzupassen. Es gilt für jede Variante Losgröße, Behälterinhalt und Anzahl der Kanbans zu optimieren. Die Produktionslosgröße wird unter Berücksichtigung von Größen wie Auslastung, Wiederbeschaffungszeit und Rüstzeit optimiert. Die Transportlosgröße entspricht immer dem Behälterinhalt und ist von Faktoren wie Bauteildimensionen, Gewicht und Durchsatz abhängig. Oft wird die Produktionslosgröße auf ein Vielfaches des Behälterinhaltes festgelegt. Traditionell wird der Losgröße, insbesondere der Produktionslosgröße, wenig Bedeutung zugemessen und die Reduzierung der Rüstzeiten im Gesamtkontext des Toyota-Produktionssystems steht im Fokus. Die Anzahl der Kanbans definiert den Maximalbestand einer Variante. Dieser Bestand gliedert sich in Umlaufbestand und Sicherheitsbestand. Der Umlaufbestand entspricht dem Bestand, der nötig ist, um den Einsatz der Kanban-Steuerung zu ermöglichen und kann variantenneutral berechnet werden. Der Sicherheitsbestand ermöglicht es Bestandsschwankungen abzudecken und ist variantenabhängig. Die zentralen Berechnungsparameter für die Anzahl der Kanbans sind Wiederbeschaffungszeit, Behälterinhalt, Bedarfsrate, und ein Sicherheitsfaktor (Lödding 2016). Die PPS greift bei einer reinen Kanban-Steuerung nur über die Kontrolle dieser Parameter in die Auftragserstellung ein.

Die Kanbansteuerung eignet sich insbesondere für eine variantenarme Fertigung mit verhältnismäßig hohen Bedarfsraten und niedriger Bedarfsschwankung. Dies ermöglicht einen niedrigen Sicherheitsbestand und wenig ungenutzte Bestände. Die Kanban-Steuerung kommt in vielen Betrieben, insbesondere aus dem Bereich der Automobilindustrie, zum Einsatz. Auch eine überbetriebliche Anwendung der Kanban-Prinzipien ist umsetzbar und wird in längerfristigen Produktionsnetzwerken genutzt (Lödding 2016).

4.2.2 CONWIP

Die CONWIP-Steuerung stellt eine der einfachsten Möglichkeiten dar über die Auftragsfreigabe den Bestand in der Fertigung zu kontrollieren. In Abbildung 26 werden die Prinzipien der CONWIP-Steuerung subjektorientiert dargestellt.

Das SID umfasst fünf Subjekte. Die Subjekte, die zur PPS zugehörig sind, sind blau hinterlegt. Das Interface-Subjekt *PPS* repräsentiert alle Planungsaufgaben, die in Abschnitt 2.1.4 aufgelistet und mit dem Referenzprozessmodell in Abschnitt 4.1 erläutert wurden. Nur die letzte Unteraufgabe der Eigenfertigungsplanung und -steuerung, die *Auftragsfreigabe*, ist als eigenständiges Subjekt separat herausgegriffen. Für das CONWIP-Verfahren reicht es aus, die gesamte *Fertigung* als Black Box – also ein Interface-Subjekt – zu betrachten. Das Interface-Subjekt *Versand* repräsentiert den Endpunkt der Produktion. Statt des direkten Versands zum Kunden kann an dieser Stelle z.B. auch ein Fertigteilelager eingesetzt werden. Der *Kunde* ist ultimativer Endpunkt der Produktion und wird durch ein Interface-Multi-Subjekt repräsentiert.

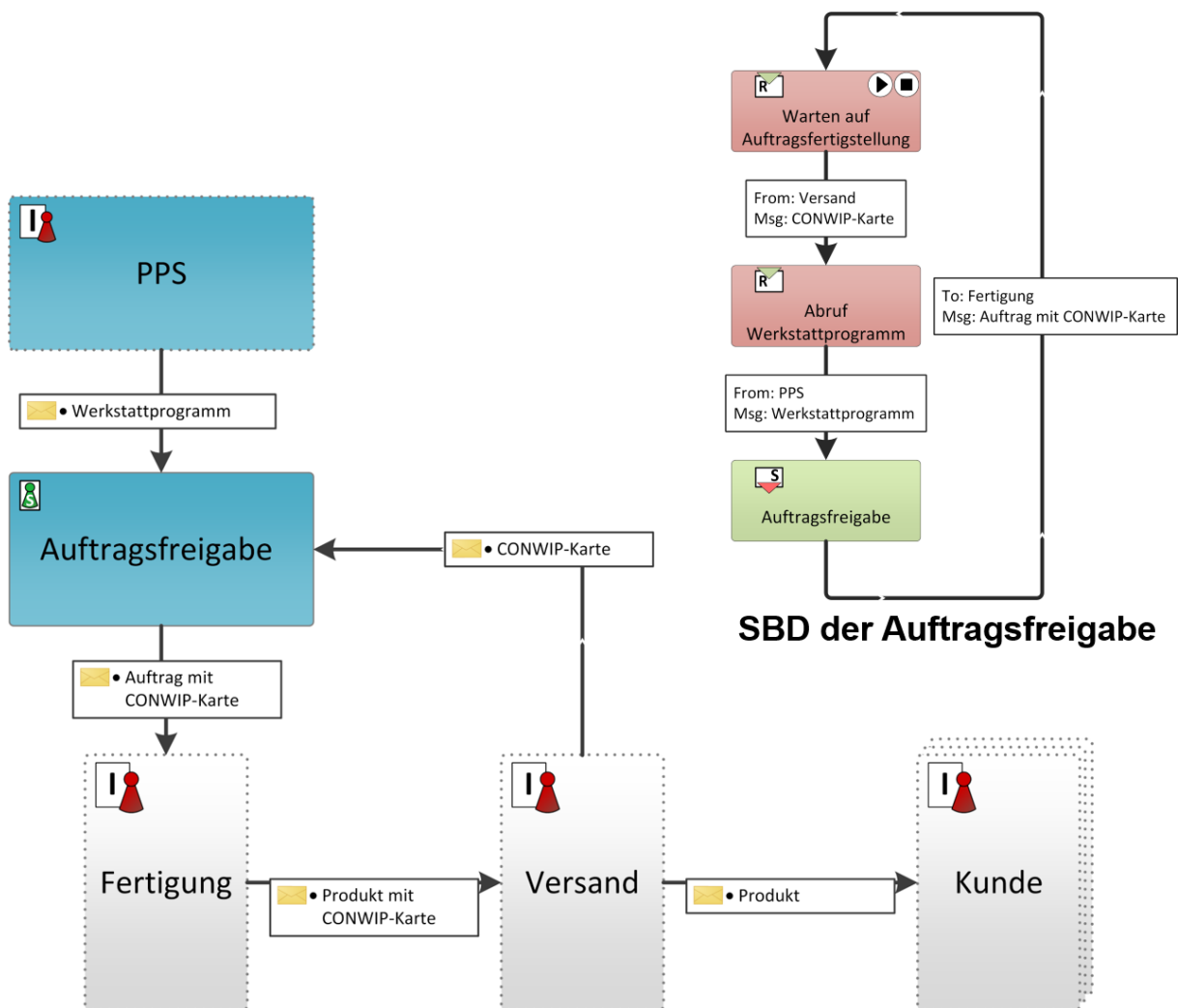


Abbildung 26. CONWIP-Steuerung subjektorientiert gedacht.

Eine häufige Umsetzung der CONWIP-Steuerung ist der Einsatz von CONWIP-Karten. Nur ein Auftrag mit einer solchen Karte darf bearbeitet werden. Mit der Auftragsfreigabe wird der Auftrag fest mit einer CONWIP-Karte verbunden. Beim Durchlauf der gesamten Fertigung werden der Auftrag und die CONWIP-Karte immer gemeinsam von Arbeitssystem zu Arbeitssystem weitergegeben. Erst nach der Fertigstellung des Auftrags wird die CONWIP-Karte vom Produkt getrennt und an die Auftragsfreigabe zurückgegeben. Wenn bei der Auftragsfreigabe eine CONWIP-Karte ankommt, ruft sie das aktuelle Werkstattprogramm ab und gibt den nächsten Auftrag auf der Auftragsliste frei.⁴³ Dies geschieht, indem der Auftrag in Verbindung mit der CONWIP-Karte in die Fertigung gegeben wird.

Bestandsschwankungen in der Fertigung bei Einsatz des CONWIP-Verfahrens sind auf die Informationslatenz zurückzuführen. Außerdem kommt die CONWIP-Steuerung an ihre Grenzen, wenn beim Freiwerden einer CONWIP-Karte kein Auftrag auf der Auftragsliste vorhanden ist (Lödding 2016).

Es gibt viele unterschiedliche Abwandlungen dieses Fertigungsverfahrens. Zum einen gibt es etliche Möglichkeiten das gleiche Prinzip ohne physische CONWIP-Karten – z.B. elektronisch – umzusetzen. Zum anderen muss nicht notwendigerweise der Auftragsbestand geregelt werden. Eine andere Möglichkeit ist z.B. das Bestimmen von Vorgabezeiten für Aufträge (in Bezug auf das Gesamt- oder Engpasssystem) und die Regelung des Bestandes an Vorgabearbeitszeit in der Fertigung. Außerdem ist es auch möglich einzelne Fertigungsbereiche mit eigenen CONWIP-Karten auszustatten und damit den Bestand in verschiedenen Produktionsbereichen unabhängig zu regeln.

Die CONWIP-Steuerung hat ein breites Anwendungsgebiet. Die Vorteile liegen in der Möglichkeit den Bestand zu regeln, ohne den Aufwand oder die Komplexität in die Höhe zu treiben. Mit dieser Art der Steuerung kann aber nicht der Bestand einzelner Arbeitssysteme beeinflusst werden. Bei sehr heterogener Belastung unterschiedlicher Arbeitssysteme sind also oft andere Verfahren von Vorteil. Bei einer zu

⁴³ Es werden alle Aufträge, deren Freigabezeitpunkt in einem definierten Vorgriffshorizont liegen, berücksichtigt. Dies führt dazu, dass auch Aufträge freigegeben werden können, deren geplanter Startzeitpunkt noch nicht erreicht ist. Lödding 2016.

geringen Auftragsauslastung des Gesamtsystems kann eine CONWIP-Steuerung auch den Bestand erhöhen und somit negative Auswirkungen haben.

4.2.3 Polca

Das Polca-Verfahren wurde für den Einsatz in einer Produktion mit Fertigungsinseln entwickelt. Es kann aber auch, anstatt für Fertigungsinseln auf einzelne Arbeitssysteme angewendet werden. Idealerweise nutzen die Fertigungsinseln selbst dabei das One-Piece-Flow-Prinzip. Die Umsetzung der Polca-Steuerung beruht auf einem doppelten Freigabeverfahren. Es gibt ein zentral organisiertes, zeitliches Kriterium und dezentrale Bestandsregelkreise. Die PPS erstellt eine Liste von dringlichen Aufträgen und berechnet (meist durch konservative Rückwärtsterminierung) einen Freigabezeitpunkt für jeden Arbeitsgang, den der Auftrag durchlaufen muss. Wenn dieser Freigabezeitpunkt erreicht ist, wird der Auftrag für die betreffende Fertigungsinsel freigegeben. Die dezentralen Bestandsregelkreise wirken zwischen je zwei aufeinanderfolgenden Fertigungsinseln. Jedem möglichen Paar solcher Fertigungsinseln werden Polca-Karten zugeordnet. Auf jeder Polca-Karte ist sowohl die Ursprungsfertigungsinsel als auch die Zielfertigungsinsel festgehalten. Die Polca-Karte autorisiert die Bearbeitung des Auftrages an der Ursprungsfertigungsinsel. Eine Polca-Karte bleibt fest mit einem Auftrag verbunden, bis die Bearbeitung an der Zielfertigungsinsel abgeschlossen ist. Dies führt dazu, dass zur Bearbeitung immer zwei Polca-Karten mit einem Auftrag verbunden sein müssen (Lödding 2016).

In Abbildung 27 ist ein reduziertes SID zur Polca-Steuerung abgebildet. Das Interaktionsdiagramm beschreibt die Kommunikation der *PPS*, *Fertigungsinsel A*, *Fertigungsinsel B*, und *Fertigungsinsel C*. Alle diese Subjekte sind als Interface-Subjekt realisiert und das PPS-Subjekt ist blau hinterlegt. Der abgebildete Ausschnitt zeigt drei beliebige, nach der Arbeitsgangreihenfolge aufeinanderfolgende Fertigungsinseln (*Fertigungsinseln A, B, C*). Ein Auftrag wird immer nur mit einer Polca-Karte zwischen Fertigungsinseln weitergegeben, die sowohl die Ursprungs- als auch die Zielfertigungsinsel nennt. Nach der Bearbeitung an der Zielfertigungsinsel wird die, dann wieder freie, Polca-Karte zur Ursprungsfertigungsinsel zurückgegeben.

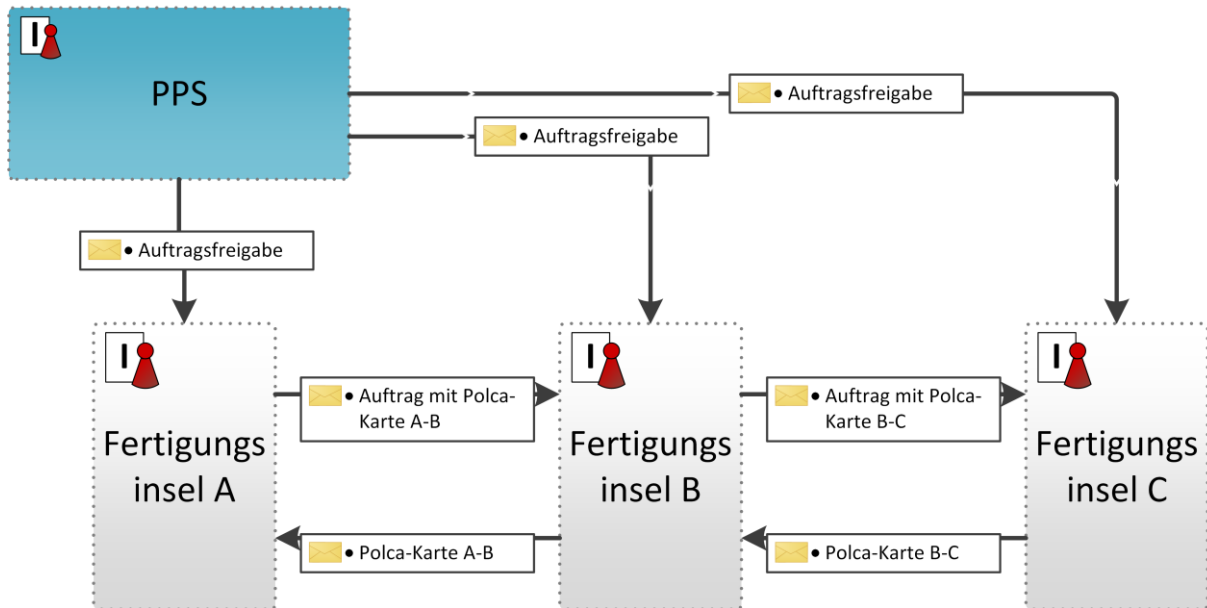


Abbildung 27. Polca-Steuerung – Reduziertes SID.

Auf die Abbildung eines PPS-SBDs wird verzichtet, da die Bestandsregelung dezentral – und somit nicht im Aufgabenbereich der PPS – erfolgt. Die PPS kann die Fertigungssteuerung also nur über die Bestimmung der Auftragsfreigabezeitpunkte und der Anzahl von Polca-Karten im Umlauf beeinflussen. Die Verfahrensregeln der Polca-Steuerung sind für jede der Fertigungsinseln identisch,⁴⁴ weswegen nur das Subjektverhalten einer Fertigungsinsel (*Fertigungsinsel B*) näher beschrieben wird. Um die Verfahrensregeln der Polca-Steuerung formal abbilden zu können, muss diese Fertigungsinsel als zwei getrennte Bereiche betrachtet werden.⁴⁵ Daraus ergeben sich zum einen das Subjekt *Organisation Fertigungsinsel B* und zum anderen das Subjekt *Ausführung Fertigungsinsel B*. Ersteres Subjekt hat die Aufgabe die Auftragsfreigabe nach den Verfahrensregeln umzusetzen, während letzteres mit der Durchführung der eigentlichen Arbeitsgänge betraut ist. Außerdem gibt es Sinn, die vorangehende Fertigungsinsel (A) und die nachfolgende Fertigungsinsel (C) als Mul-

⁴⁴ Die Ausnahme bilden die erste und letzte Fertigungsinsel eines Auftrags. Die erste Fertigungsinsel nutzt nur den Auftragsfreigabezeitpunkt und Polca-Karten, auf denen sie als Ursprungsfertigungsinsel genannt ist. Die letzte Fertigungsinsel benötigt keine Polca-Karte, auf der sie als Ursprungsfertigungsinsel genannt ist, und richtet sich allein nach dem Freigabezeitpunkt. Lödding 2016.

⁴⁵ Auf diese Modellierungsproblematik wird in Abschnitt 5.2.4 näher eingegangen.

ti-Subjekte darzustellen, da je nach Auftrag unterschiedliche Arbeitsgangreihenfolgen entstehen oder auch mehrere Fertigungsinseln für den gleichen Arbeitsinhalt zur Verfügung stehen können. Jede Polca-Karte ist aber weiterhin nur einer spezifischen Ausgangs- und Zielfertigungsinsel zuzuordnen, was durch einen Asterisk als Index der unterschiedlichen vorangehenden und nachfolgenden Fertigungsinseln dargestellt ist. Das so veränderte, vollständige SID ist Abbildung 28 zu entnehmen.

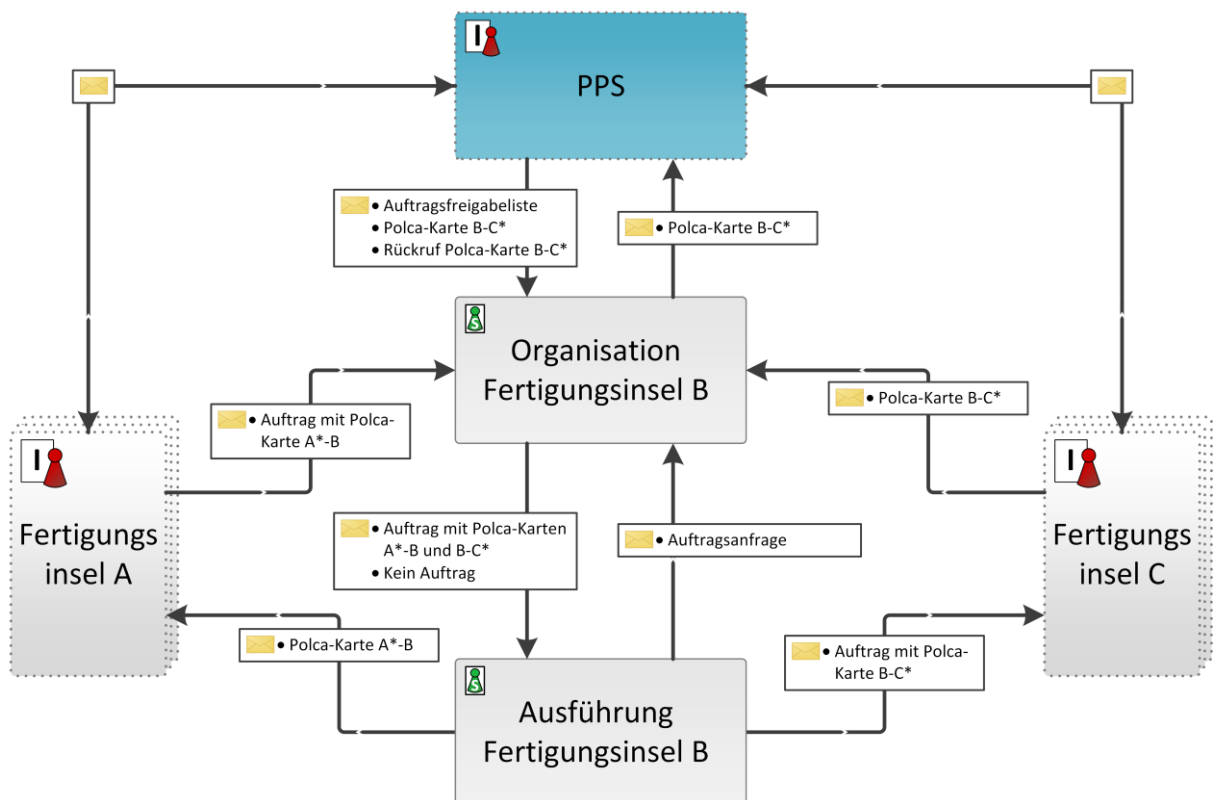


Abbildung 28. Polca-Steuerung – Vollständiges SID.

Das Subjektverhalten der Ausführungseinheit einer Fertigungsinsel ist in Abbildung 29 aufgezeigt. Ausgangspunkt ist das Anfragen eines neuen Auftrages bei der Organisationseinheit. Wenn die Verfahrensregeln die Bearbeitung eines Auftrages nicht zulassen, muss das Ausführungssubjekt eine Pause einlegen. Nach einem definierten Zeitintervall (hier eine Stunde) oder aus einem arbiträren Grund schickt das Ausführungssubjekt erneut eine Auftragsanfrage. Dies geschieht so lange, bis alle Kriterien zur Bearbeitung eines Auftrages erfüllt sind und die Ausführungseinheit von der Organisationseinheit einen Auftrag mit beiden benötigten Polca-Karten (A*-B

und $B-C^*$) übermittelt bekommt. Es werden sodann alle Arbeitsgänge des Auftrages, die an der betrachteten *Fertigungsinsel B* zu erledigen sind, ausgeführt. Nach Beendigung des letzten Arbeitsgangs wird die *Polca-Karte A*-B* an die Ursprungsfertigungsinsel (*Fertigungsinsel A**) zurückgegeben und der Auftrag mit *Polca-Karte B-C** zur Zielfertigungsinsel (*Fertigungsinsel C**) transportiert. Nach Abschluss eines Auftrages wird eine neue Auftragsanfrage an das Organisationssubjekt verschickt.

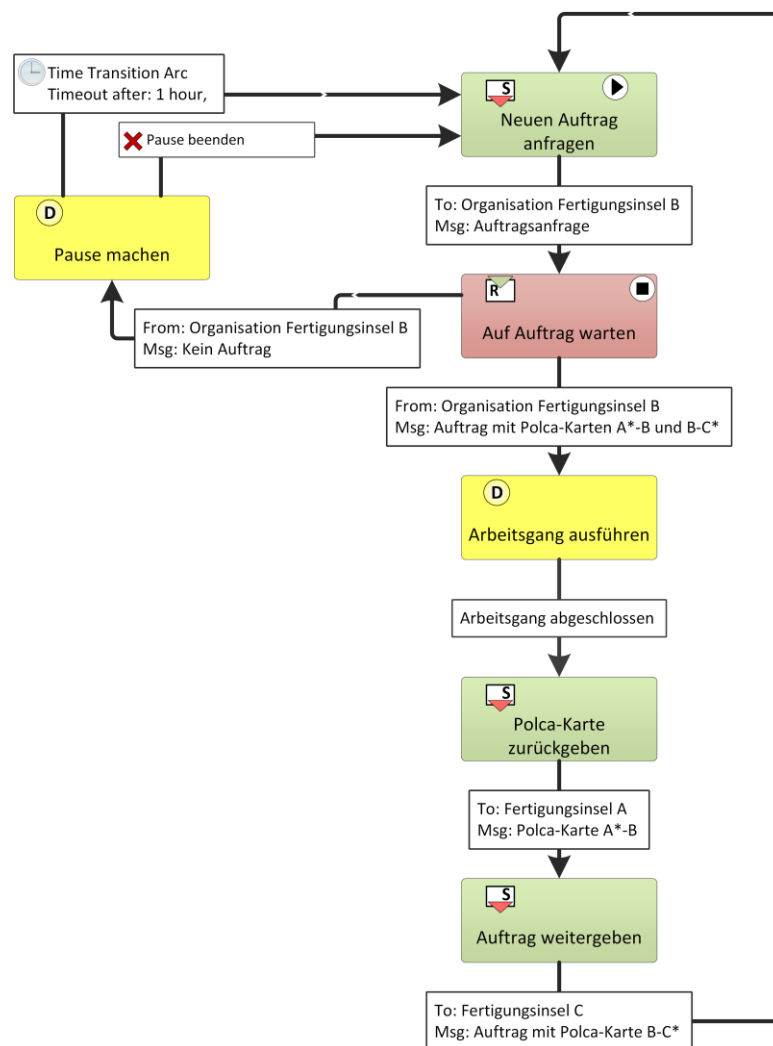


Abbildung 29. Polca-Steuerung – SBD – Ausführungseinheit der Fertigungsinsel.

Die Umsetzung der Verfahrensregeln der Polca-Steuerung findet sich im SBD der Organisationseinheit einer Fertigungsinsel in Abbildung 30. Ausgangspunkt des SBDs ist ein Empfangszustand. Wenn das Organisationssubjekt eine Auftragsanfrage erhält, wird die aktuelle Version der Auftragsfreigabeliste überprüft und mit den

vorhandenen Aufträgen und freien Polca-Karten an der Polca-Tafel⁴⁶ abgeglichen. Wenn für einen freigegebenen Auftrag, für den eine passende freie Polca-Karte (*Polca-Karte B-C**) vorliegt, wird dieser ausgewählt. Die bis dahin freie Polca-Karte wird mit dem Auftrag verbunden und der Auftrag wird mit beiden Polca-Karten (*A*-B* und *B-C**) zur Bearbeitung an die Ausführungseinheit übergeben. Erfüllt kein Auftrag alle nötigen Kriterien zur Freigabe, wird an der betrachteten Fertigungsinsel (*Fertigungsinsel B*) eine Pause eingelegt.

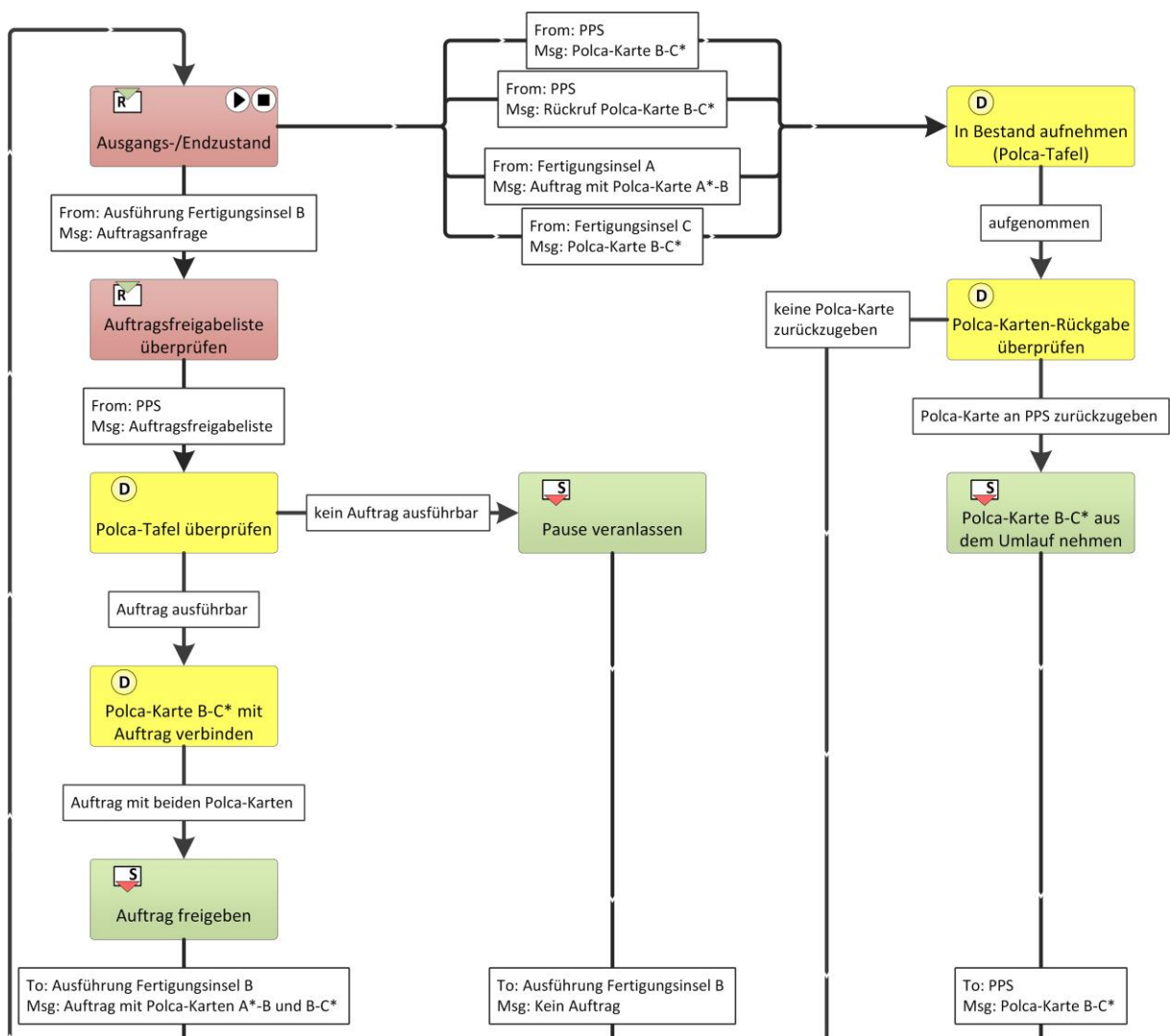


Abbildung 30. Polca-Steuerung – SBD – Organisationseinheit der Fertigungsinsel.

⁴⁶ Die Polca-Tafel ist die Sammelstelle aller Aufträge mit Polca-Karten und freier Polca-Karten im Bestand einer Fertigungsinsel. Sie kann sowohl physisch als auch nur digital umgesetzt sein.

Der Startzustand bildet auch den Ausgangspunkt zur Aufnahme von Aufträgen und Polca-Karten in den Bestand der Fertigungsinsel. Alle eintreffenden Aufträge mit Polca-Karten von einer beliebigen Ursprungsfertigungsinsel (*Fertigungsinsel A*) und alle freien Polca-Karten für die Zielfertigungsinseln (*Fertigungsinsel C*) werden an der Polca-Tafel gesammelt. Die *PPS* kann zur Fertigungssteuerung neue Polca-Karten ausgeben, diese werden dann ebenfalls an der Polca-Tafel gesammelt. Wenn die Anzahl der Polca-Karten reduziert werden soll, wird dies ebenfalls an der Polca-Tafel vermerkt. Sobald dann die Polca-Karte vorliegt, die aus dem Umlauf genommen werden soll, wird diese an die *PPS* zurückgegeben.

Wenn mehrere Aufträge gleichzeitig allen Kriterien zur Freigabe genügen, obliegt es dem Subjekträger den Auftrag auszuwählen, der nach unternehmensspezifischen Prioritätsregeln als nächstes bearbeitet werden soll. So sind z.B. die Bearbeitung nach Freigabezeitpunkt oder die Priorisierung unterschiedlicher Ziellarbeitssysteme denkbar. Mit der Polca-Steuerung kann also von der vorgegebenen Auftragsreihenfolge abgewichen werden, um blockierte Aufträge auszulassen und den Bestand der einzelnen Fertigungsinseln dezentral zu kontrollieren. Im Regelfall ist der Subjekträger des Ausführungsobjektes auch der Subjekträger des Organisationsobjektes (One-Piece-Flow), wodurch eine Durchgängigkeit des Informationsflusses zwischen den beiden zugehörigen Fertigungsinsel-Subjekten besteht.

Wie beschrieben, kann durch den Einsatz der Polca-Steuerung der Bestand der gesamten Fertigung auf einem niedrigen Niveau geregelt werden. Gerade bei komplexen Materialflüssen und Engpasssystemen kann das aber zu vielen blockierten Beständen führen. Ein weiteres Problem der Polca-Steuerung kann daher rühren, dass der Belastungsausgleich nur für ein Paar von Fertigungsinseln stattfindet und nicht die gesamte Auftragslast der Zielfertigungsinsel in Betracht gezogen wird. Insbesondere der Fall, dass eine Fertigungsinsel über viele mögliche, unabhängige Ursprungsfertigungsinseln verfügt, ist dabei kritisch (Lödding 2016).

Für den erfolgreichen Einsatz des Polca-Verfahrens ist die Festlegung der Verfahrensparameter von großer Bedeutung. Dabei ist nicht nur die Anzahl der Polca-Karten für jedes mögliche Paar an Fertigungsinseln relevant, sondern auch die Berechnung der Freigabezeitpunkte. Für die Festlegung der Anzahl der Polca-Karten muss der Direkt- und der Indirektbestand jeder Fertigungsinsel betrachtet werden.

Eine zu geringe Anzahl an Polca-Karten führt zu blockierten Beständen und schwankender Auslastung, während zu viele Polca-Karten Bestandsschwankungen und infolge dessen Bestandsaufbau verursachen. Die Berechnung der Freigabezeitpunkte bestimmt den Spielraum für den Belastungsabgleich. In manchen Fällen (insbesondere bei geringen Gesamtdurchlaufzeiten) wird nur ein Freigabezeitpunkt für die erste Fertigungsinsel des Auftrages bestimmt, um in den nachfolgenden Arbeitsschritten maximale Flexibilität zu erreichen. Die Erhöhung des Bestandes des Gesamtsystems wird dafür in Kauf genommen (Lödding 2016).

Bei der Polca-Steuerung handelt es sich um ein vergleichsweise einfaches und intuitives Verfahren. Insbesondere das unmittelbare Feedback durch die physisch verfügbaren, beziehungsweise auch nicht verfügbaren, Polca-Karten führt zu einer großen Akzeptanz. Sie ist leicht verständlich und hat einen weiten Anwendungsbereich. Durch den Einsatz der Polca-Steuerung konnten sowohl in Simulationen als auch in realen Unternehmen Verringerungen von Durchlaufzeiten, Reduzierung von Beständen und erhöhte Liefertreue festgestellt werden (Lödding 2016).

4.3 Produktionsprozess

In diesem Abschnitt werden Prozessmodelle mit Bezug auf Hypothese 3 vorgestellt.

Hypothese 3:

Es ist möglich subjektorientierte Prozessbeschreibung zu nutzen, um die Produktionsabläufe eines Unternehmens im Sinne der Wertstrommethode darzustellen.

Die Wertstrommethode ist bereits auf die Anwendbarkeit des Beschreibungsparadigmas der Subjektorientierung hin untersucht worden. So hat Kannengiesser ein Vorgehen zur Nutzung von Subjektorientierung für die Erstellung von VSMs vorgestellt (Kannengiesser 2014). In diesem Abschnitt wird ein mögliches Verfahren vorgestellt, um mit PASS formale Prozessmodelle für Wertstromaufnahmen zu erstellen. Dabei werden die Grundprinzipien der Wertstrommethode berücksichtigt.

4.3.1 Grundelemente und SID

Der erste Schritt der Modellierung mit PASS das Erstellen eines SIDs. Für jedes Element einer VSM muss entschieden werden, wie es – als Subjekt oder als Nachricht – im SID repräsentiert wird. Eine VSM besteht aus sechs Grundelementen: *Produktionsprozesse*, *Geschäftsprozesse*, *Materialfluss*, *Informationsfluss*, *Kunde*, und *Lieferant* (Erlach 2010). In weiten Teilen wird diese Darstellung der von Kannengiesser (Kannengiesser 2014) entsprechen, weil die Funktion der PASS- und VSM-Elemente aufeinander abgestimmt sein müssen. Ziel ist es so ein Prozessmodell zu erstellen, das visuell einer klassischen VSM nahekommt. Dadurch soll eine höhere Akzeptanz für dieses Vorgehen geschaffen werden. Als Resultat entsteht eine formale PASS-VSM, die mit SiSi sogar über eine nutzbare Ausführungslogik verfügt.⁴⁷

⁴⁷ Parallel zu dieser Arbeit wurde ein Vorgehen entwickelt, wie SiSi in der Wertstromanalyse eingesetzt werden kann. Im Rahmen der zugehörigen Veröffentlichung wird dargelegt, wie die SBDs zu gestalten sind, um die Simulationsmöglichkeiten möglichst vollumfänglich auszuschöpfen. Außerdem wurden einige Erweiterungen zu dem MS-Visio Werkzeugkasten hinzugefügt, die den Einsatz einer subjektorientierten Wertstromanalyse unterstützen. Vergleiche für weiterführende Informationen Elstermann et al. 2020.

Die folgende Beschreibung der VSM-Grundelemente basiert auf den Ausführungen von Erlach (Erlach 2010).

Produktionsprozess

Als Produktionsprozesse gelten alle wertschöpfende Tätigkeiten. Das sind sowohl technische Prozesse wie Fertigen, Montieren und Beschichten, aber auch logistische Prozesse wie Qualitätskontrolle, Kommissionieren, und Verpacken. So werden die meisten Betriebsmittel oder Arbeitsbereiche, die in einer Fabrikhalle vorhanden sind, als Produktionsprozesse abgebildet. In PASS sind Produktionsprozesse Standard-Subjekte mit SBDs. Falls Produktionsprozesse an Subunternehmer ausgelagert werden, gibt es Sinn diese als Interface-Subjekt in PASS abzubilden.

Geschäftsprozess

Im Zusammenhang der Wertstrommethode sind Geschäftsprozesse vor allem solche im Rahmen des Auftragsmanagements. Die meisten dieser Auftragsverarbeitungsschritte werden durch IT-Systeme (ERP) unterstützt oder vollständig von diesen übernommen. Je nach gewünschtem Detaillierungsgrad können Geschäftsprozesse entweder als Standard- oder Interface-Subjekte abgebildet werden.

Im Rahmen einer Wertstromaufnahme wird Geschäftsprozessen häufig wenig Aufmerksamkeit geschenkt. Auch wenn PASS die Möglichkeit bietet komplexe Zusammenhänge in Geschäftsprozessen abzubilden, ist das im Rahmen des Erstellens einer VSM keine gängige Praxis und überschreitet den Analysehorizont einer klassischen Wertstromaufnahme.

Kunde und Lieferant

Der Ausgangspunkt und Endpunkt jeder Wertstromaufnahme in einem Werk ist der Warenausgang und der Wareneingang. In der VSM werden an dieser Stelle das Kunden- bzw. Lieferantensymbol eingezeichnet. Da es sich bei beiden um externe Parteien handelt, über deren Abläufe nicht viel bekannt ist, werden Kunden und Lieferanten als Interface-Subjekte umgesetzt. Weder der Kunde noch der Lieferant muss eine einzelne Entität darstellen, weswegen auch Multi-Subjekte genutzt werden können. Das Kundensymbol stellt lediglich den Absatz der betrachteten Produktfami-

lie dar, während das Lieferantensymbol den Zustrom von Material für die Produktion abbildet.

Materialfluss

Materialfluss fasst die drei Teilaspekte Transportieren, Lagern und Handhaben zusammen. Jede dieser Teilfunktionen hat aber unterschiedliche Eigenschaften und muss deswegen auch auf verschiedene Weisen in PASS dargestellt werden.

Transportieren ist das Bewegen von Material. Damit kann sowohl inner- als auch außerbetrieblicher Transport gemeint sein. Transport findet zwischen Produktionsprozessen, Lagerstätten, Kunden, und Lieferanten statt. In PASS wird Transportieren mit Nachrichten modelliert.

Lagern ist das Liegen von Materialien, Teilen oder Erzeugnissen an einem dafür zugewiesenen Ort. Diese Lagerstätten und ihre Funktion werden in PASS mit Subjekten dargestellt. In VSMs wird nicht zwischen Lagerbestand und reservierten Beständen/WIP unterschieden, weswegen Lagern im Zusammenhang von Wertstromaufnahmen auch immer das Liegen in der Produktion bedeuten kann.

Handhaben ist das Bewegen von Gütern, insbesondere für das Ein- und Auslagern in Lagerstätten. In den meisten Fällen kann das Handhaben allenfalls in dem SBD eines Produktionsprozess- oder Lager-Subjektes eingetragen werden. In klassischen VSMs wird es sogar meist komplett vernachlässigt. Wenn Handhaben in einem solchen Umfang auftritt, dass es von eindeutiger Relevanz für die Wertstromaufnahme ist, muss es als eigenständiger logistischer Produktionsprozess modelliert werden.

Informationsfluss

Durch Informationsfluss werden Informationen zur Materialbereitstellung oder Auftragsabwicklung übermittelt. Dieser Austausch findet zwischen Subjekten statt, weswegen Informationsfluss in PASS als Nachricht abgebildet wird. Durch den Informationsfluss wird der gesamte Produktionsprozess gesteuert und kontrolliert. In Anlehnung an Kannengiesser (Kannengiesser 2014) soll im Folgenden, zum klareren Verständnis, zwischen *Transportnachrichten* und *Kontrollnachrichten* sprachlich unterschieden werden.

4.3.2 Subjektorientierte Wertstromdarstellung

Wie beschrieben können die meisten klassischerweise als *Prozess* beschriebenen Elemente einer VSM direkt als *Subjekt* übernommen werden. Auf Basis dieser Beobachtung sollen die herkömmlich in der Literatur als *Geschäfts-, Lager-, oder Produktionsprozesse* beschriebenen Elemente der VSM im Sinne der Subjektorientierung als *Geschäftssubjekt, Lagersubjekt* und *Produktionssubjekt* betitelt werden.⁴⁸

Abbildung 31 zeigt die gleiche VSM – subjektorientiert –, die schon in Abschnitt 2.1.6 – klassisch – als Abbildung 5 dargestellt wurde. Alle sechs Grundelemente sind in dieser VSM enthalten.

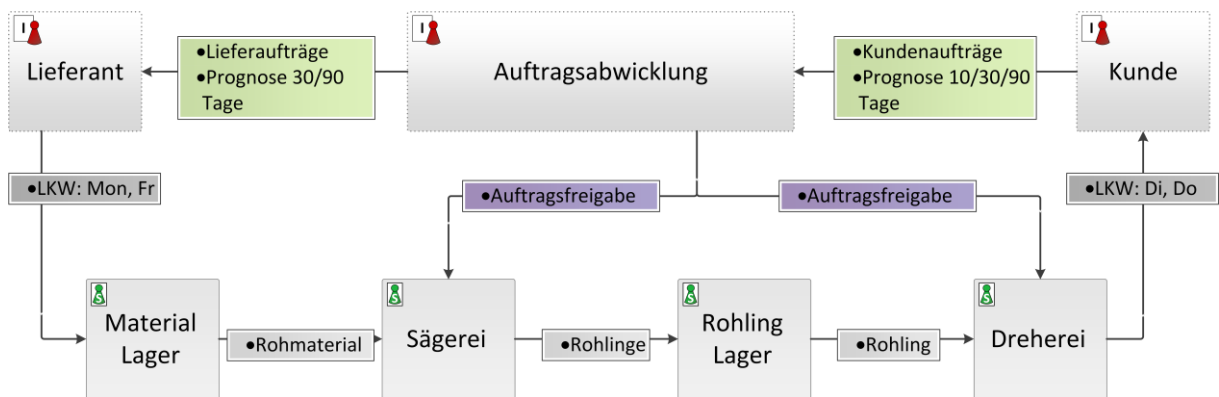


Abbildung 31. Subjektorientierte VSM – SID.

Auf diese Weise wird ein arbiträrer Rampe-zu-Rampe Wertstrom beschrieben. Der *Kunde* und der *Lieferant* sind respektive Ziel- und Ausgangspunkt der Betrachtung. Die Zulieferung erfolgt zweimal wöchentlich zum Lagersubjekt *Materiallager*. Alle nötigen Arbeitsgänge werden von den Produktionssubjekten *Sägerei* und *Dreherei* übernommen. Das *Rohlinglager* dient dabei als Zwischenlager. Das Geschäftssubjekt der *Auftragsabwicklung* ist als Interface-Subjekt eine Black Box. Innerbetrieblicher Transport findet zwischen den Lagersubjekten und den Produktionssubjekten statt. Außerbetrieblicher Transport zwischen dem *Lieferanten* und dem *Materiallager* sowie zwischen der *Dreherei* und dem *Kunden*. Alle Kontrollnachrichten in diesem

⁴⁸ Für eine tieferegreifende Diskussion dieser Thematik vergleiche Abschnitt 5.4.1 und Elstermann et al. 2020

Modell haben als Ausgang oder als Ziel die *Auftragsabwicklung*. Externe Kontrollnachrichten werden mit dem *Kunden* und dem *Lieferanten* ausgetauscht, während die *Auftragsfreigaben* als interne Kontrollnachrichten an die Produktionssubjekte geschickt werden. Durch das Aktivieren der VSM-Funktion der MS-Visio Shapes werden Transportnachrichten grau und Kontrollnachrichten farbig hinterlegt. Diese Farben dienen zur besseren Übersicht und sind innerhalb der zugehörigen Funktionen der VSM-Shapes aufeinander abgestimmt.

4.3.3 Datengrafiken und Shape-Erweiterungen

Es ist gängige Praxis, dass zusätzlich zur Darstellung des Wertstroms auch noch ergänzend Parameter zu den einzelnen Subjekten in einer VSM angegeben werden. Eine umfangreiche Sammlung häufig genutzter Kennzahlen und ihrer Berechnungsvorschriften wurde von Erlach zusammengetragen (Erlach 2010). Es ist dabei üblich, dass diese Werte als Datenkästen unter die graphische Repräsentation der Elemente geheftet werden. In Abbildung 32 ist zu sehen, wie diese Datenkästen beim Einsatz der PASS-VSM-Erweiterung aussehen.

Es gibt drei Arten von Werten, die in den Datenkästen ausgegeben werden. Einige Parameter werden händisch eingepflegt, andere statisch berechnet und wieder andere durch den Einsatz von SiSi ermittelt. Es ist dabei möglich die Auswahl der Kennzahlen und ihre Berechnungsmethoden auf unternehmensspezifische Bedürfnisse anzupassen.

Der Mehrwert von SiSi für VSM ergibt sich zusätzlich daraus, dass die berechneten Zeiten sowohl subjektspezifisch als auch als Summe angegeben werden. Darüber hinaus werden nicht nur Gesamtdurchlaufzeiten angegeben, sondern die Zeiten in einzelne Zeitarten aufgeteilt und getrennt angegeben. Neben der Ausgabe in den Datenkästen für jedes Subjekt (und der Übertragungszeit in den Nachrichten selbst) kann eine *Summary-Shape* erzeugt werden, in der alle durch die Simulation ermittelten Werte aggregiert und farbkodiert dargestellt werden. Abbildung 33 zeigt die Summary-Shape für obige VSM mit arbiträren Zeitvorgaben.

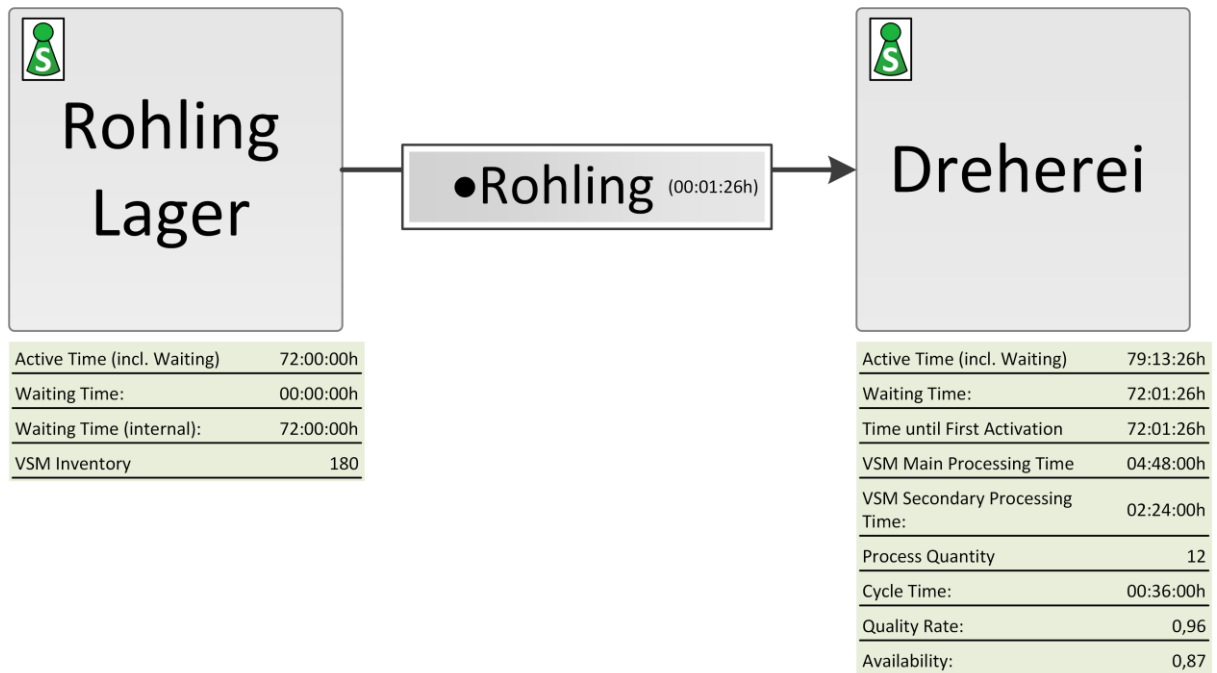


Abbildung 32. Subjektorientierte VSM – Datengrafiken.

| | |
|--------------------------------------|------------|
| VSM – Total Times: | |
| VSM Main Processing Time Mean: | 05:02:24h |
| VSM Secondary Processing Time Mean: | 04:04:48h |
| VSM Cycle Times Mean: | 09:07:12h |
| VSM Internal Waiting Time Mean: | 240:00:00h |
| Message Transmission Time (Overall): | 144:04:36h |
| - Conveyance Time (internal) | 00:04:19h |
| - Conveyance Time (external) | 144:00:00h |
| - Information Flow Time (internal) | 00:00:17h |

Abbildung 33. Subjektorientierte VSM – Summary-Shape.

5. Diskussion der Hypothesen

Dieses Kapitel dient zur Diskussion der in Abschnitt 3.2.3 und 3.2.4 aufgestellten Hypothesen. Zunächst werden dazu in den Abschnitten 5.1, 5.2, und 5.3 die Modellierungshypothesen geprüft und es wird auf die im Zusammenhang damit erstellten Modelle näher eingegangen. Für jede der Modellierungshypothesen gibt es je einen Unterabschnitt, der die respektiven Stärken und Schwächen der zugehörigen Modelle beleuchtet. Anschließend werden auf dieser Basis in den Abschnitten 5.4, 5.5, 5.6, und 5.7 die Analysehypothesen betrachtet. Abschließend werden die Kernelemente dieser Auseinandersetzung in Abschnitt 5.7.6 zusammenfassend dargestellt. Hierzu wird die subjektorientierte Produktionsplanung im Kontext von Industrie 4.0 als SWOT-Matrix dargestellt.

5.1 Hypothese 1: PPS-Prozess

Auf Basis der in Abschnitt 4.1 vorgestellten Ergebnisse kann die Gegenhypothese zu Hypothese 1 als widerlegt betrachtet werden. Aus diesem Grund wird diese Arbeitshypothese vorläufig als bestätigt angesehen und soll im Weiteren beibehalten werden.

Hypothese 1:

Es ist möglich subjektorientierte Prozessbeschreibung zu nutzen, um elementare Abläufe und Prozesse der PPS abzubilden.

In diesem Abschnitt wird zunächst näher auf das SID des subjektorientierten PPS-Referenzprozessmodells und dabei insbesondere auf den Subjektzuschnitt eingegangen. Danach werden die Entwicklung und die Veränderungen der zugehörigen SBDs beschrieben, bevor anschließend dann die Stärken und Schwächen des Einsatzes der Subjektorientierung im Rahmen der Betrachtung von PPS-Prozessmodellen diskutiert werden.

5.1.1 Aufbau des SID

Die in dieser Arbeit vorgestellte subjektorientierte Darstellung der Abläufe der PPS baut direkt auf der Prozessreferenzsicht des Aachener PPS-Modells auf. Dabei wur-

den die unterschiedlichen Aufgabenbereiche eins zu eins in Subjekte übersetzt. Der im Sinne dieser Arbeit als zentral angesehene Bereich des schon in Abbildung 14 dargestellten SIDs sind die Kern-PPS-Aufgaben. Alle anderen abgebildeten Subjekte in dem SID dienen nur dazu die Einbindung der PPS in die Unternehmensumwelt, beziehungsweise das gesamte Produktionsnetzwerk, zu vermitteln. Ein aus dem vollständigen SID abgeleitetes, reduziertes SID des PPS-Referenzprozessmodells wird in Abbildung 34 dargestellt. Es zeigt, wie die Aufgabenbereich-Subjekte der Kern-PPS als Regelkreise miteinander verknüpft sind. Das Modell beschreibt die Abläufe und Zusammenhänge, wie z.B. die Entwicklungen und Trends am Absatzmarkt, in konkrete und tagesspezifische Bestellungen und Werkstattaufträge übersetzt werden können. Um diesen Gesamtprozess zu realisieren, müssen drei unterschiedliche Planungsstufen betrachtet werden. Die Vorgänge, die den einzelnen Stufen zugeordnet sind, unterscheiden sich sowohl in ihrer Art als auch in ihrer zeitlichen Domäne.

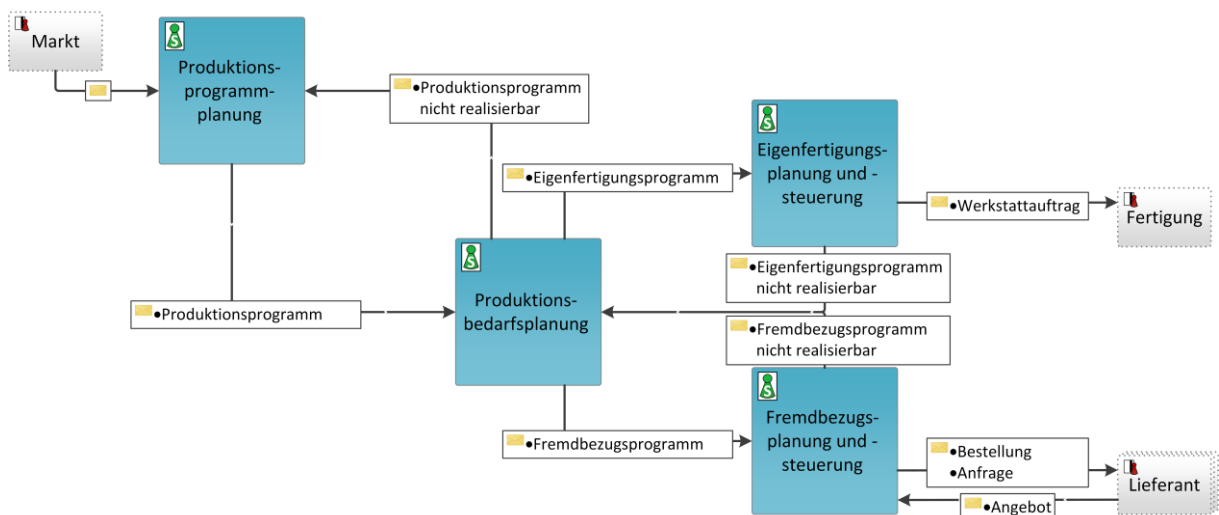


Abbildung 34. Reduziertes SID des PPS-Referenzprozessmodells.

Auf der ersten Stufe ist das Subjekt der *Produktionsprogrammplanung* anzusiedeln. Dieses Subjekt arbeitet mit dem längsten zeitlichen Horizont. In diesen Aufgabenbereich fällt die Interpretation aktueller Begebenheiten am Absatzmarkt und der grobe Abgleich mit den betrieblichen Möglichkeiten. Daraus resultiert die neue Zielvorgabe des Unternehmens. Dieses Subjekt hat die geringste Planungssicherheit, da sowohl der zu betrachtende Zeitraum am längsten ist als auch die Aus-

gangsdaten am unsichersten sind. Als Resultat dieser Planungsstufe wird das Produktionsprogramm erstellt. Damit wird eine neue Grundlage definiert, die die Basis für die folgenden Arbeitsschritte vorgibt.

Das *Produktionsbedarfsplanungs*-Subjekt füllt die zweite Stufe aus. Diese mittlere Planungsebene erhält keine direkten Umgebungsdaten und ist somit quasi von der Realität losgelöst. Das zuvor entwickelte Absatz- bzw. Verkaufsprogramm wird als wahrer Absatz betrachtet. Die tatsächliche Situation in der Fertigung oder bei Lieferanten wird allenfalls durch Abschlagswerte für die durchschnittliche Verfügbarkeit und Qualitätsrate bzw. mit Sicherheitsfaktoren berücksichtigt. Auf dieser Planungsebene wird aus dem Produktionsprogramm das Beschaffungsprogramm entwickelt, welches sich wiederum in Eigenfertigungsprogramm und Fremdbezugsprogramm gliedert.

Auf der dritten Stufe sind die kurzfristige Planung und Steuerung angesiedelt. Im SID ist diese auf die zwei Subjekte der *Eigenfertigungsplanung und -steuerung* und *Fremdbezugsplanung und -steuerung* aufgeteilt. Diese Aufteilung ist nicht auf eine andere Art der Aufgaben zurückzuführen, sondern darauf, dass das jeweilige Bezugssubjekt ein anderes ist. Die Subjekte dieser Stufe gleichen in kurzen Intervallen das ideale Beschaffungsprogramm mit der aktuell vorliegenden Situation ab und regeln die Umsetzung von Einzelaufträgen zur bestmöglichen Erfüllung des zuvor festgelegten Produktionsprogramms. Auf dieser Stufe wird entschieden, welche Tätigkeiten zur Erreichung der Ziele zu priorisieren sind.

Im Kontext der subjektorientierten Herangehensweise kann mittels der Abgrenzung dieser drei Stufen also klar unterscheiden werden, welche Einzelaufgaben von welchem Subjekt ausgeführt werden. Selbst wenn – wie bei KMUs wahrscheinlich – die gleiche Person oder Personengruppe auf verschiedenen Stufen als Subjektträger fungiert, ist durch diese Aufteilung beschrieben, wie und mit welchem Ziel Einzelaufgaben zu erledigen sind.

Das Interface-Subjekt *Markt* ist in diesem Modell als Schnittstelle zu einem Marktanalyseprozess zu verstehen. Dabei ist grundsätzlich klar, dass an dieser Stelle nicht der Markt selbst als Subjekt in Erscheinung tritt, sondern Informationen über die Marktsituation und -entwicklung gesammelt werden, weil der Betrachtung von

Technologieentwicklung, Absatzzahlen, Konkurrenzprodukten, etc. eine große Bedeutung für die Erstellung des Produktionsprogramms zukommt. In KMUs ist es jedoch unwahrscheinlich eine eigene Abteilung für Marktforschung zu haben. Zur Abbildung des Umstandes, dass an dieser Stelle Informationen in die Absatzplanung mit einfließen, die nicht aus dem Unternehmen selbst stammen, wurde diese Darstellungsform gewählt. Für eine Prozessbeschreibung, die mehr auf große Konzerne ausgerichtet ist, wäre hier ein (ggfs. Interface-) Subjekt *Marktforschung* ebenso denkbar.

Auch die Subjekte *Fertigung* und *Lieferant* sind als Interface-Subjekte umgesetzt. Dies liegt daran, dass sowohl die eigentlichen Fertigungsprozesse als auch die Abläufe beim Lieferanten für die Betrachtung der PPS ohne Belang sind. Hinzu kommt insbesondere beim Lieferanten, dass dies ein klar außerhalb der Grenzen des eigenen Unternehmens liegendes Subjekt ist, dessen interne Prozessstrukturen, selbst wenn man sie modellieren wollte, oft nicht bekannt sind. Die Darstellung als Multi-Subjekt ist darauf zurückzuführen, dass die meisten Unternehmen mehr als einen Lieferanten haben.

Zusätzlich zur Kern-PPS umfasst das in Abschnitt 4.1.2 vorgestellte SID außerdem Netzwerkaufgaben und zwei zusätzliche Interface-Subjekte, nämlich zum einen das *Auftragsmanagement* und zum anderen das *Bestandsmanagement*. Beide Subjekte sind als lokale Instanzen zu verstehen und stellen Querschnittsaufgaben dar, die außerhalb des Betrachtungshorizonts dieser Arbeit liegen. In den beschriebenen Modellen dient das Bestandsmanagement nur als Schnittstelle zum Abruf von Beständen und ist deshalb nicht aussagekräftiger als die Bestandsführungsfunktion eines innerbetrieblichen IT-Systems. Dem Auftragsmanagement kommen im Rahmen des Referenzprozessmodells alle Funktionen der Auftragsabwicklung zu. Außerdem sind die Regelkreise zur Änderung des Produktions-, Beschaffungs-, Werkstatt- und Bestellprogramms im in Abschnitt 4.1.2 beschriebenen Referenzprozessmodell über das Interface-Subjekt des Auftragsmanagements realisiert. Eine Rückkopplung der Fertigungs- und Lieferantensubjekte an die vorgelagerten Planungseinheiten ist in dem Modell nicht abgebildet, weil die Aufgaben der Auftrags-, Bestell-

und Ressourcenüberwachung auch im Handlungsfeld dieser zwei Interface-Subjekte liegen soll.

Die Netzwerk-Subjekte *Netzwerkconfiguration*, *Netzwerkabsatzplanung*, und *Netzwerkbedarfsplanung* sind der Vollständigkeit halber und wegen der wachsenden Bedeutung von Produktionsnetzwerken in das Modell eingeschlossen. Wenn bei der Gestaltung unternehmensspezifischer PPS-Prozessmodelle keine Netzwerkaspekte berücksichtigt werden sollen, können diese aber auch ohne Weiteres vernachlässigt werden.

5.1.2 Veränderungen der SBDs

Im Rahmen der iterativen Gestaltung der SBDs wurden einige Veränderungen zu den im Aachener PPS-Modell beschriebenen Referenzprozessen durchgeführt. In diesem Abschnitt soll auf die größten Veränderungen eingegangen werden. Die meisten dieser Änderungen sind darauf zurückzuführen, dass die Referenzprozessmodelle der verschiedenen Auftragsabwicklungstypen grundsätzlich sehr ähnlich aufgebaut sind, weil die meisten Aufgaben der PPS unabhängig vom Auftragsabwicklungstyp durchgeführt werden müssen. Außerdem sind zur besseren Verständlichkeit und größeren Übersichtlichkeit oft mehrere, aufeinanderfolgende Funktionszustände zu einem mehrere Aufgaben miteinschließenden Funktionszustand zusammengefasst.

Die größten Unterschiede in den ausgangs erstellten SBDs sind in denen zur Produktionsprogrammplanung bei verschiedenen Auftragsabwicklungstypen festzustellen. Aus diesem Grund sind in Abschnitt 4.1.6 auch drei unterschiedliche SBDs abgebildet. Es ist jedoch unschwer zu erkennen, dass auch in diesem Bereich die unterschiedlichen Auftragsabwicklungstypen ein sich ähnelndes Subjektverhalten an den Tag legen. Die größte Vereinfachung in diesen SBDs war das Zusammenfassen von Variantenfertiger und Lagerfertiger in einem Modell. Ursprünglich wurden im Variantenfertiger-SBD zwei Verhaltensmöglichkeiten unterschieden, je nachdem ob in dem Absatzprogramm die Variante genauer spezifiziert ist. Die folgenden Funktionszustände zur Primärbedarfsermittlung haben sich aber entlang beider Pfade entsprochen und nur der Arbeitsinhalt war ein anderer. Nach Elimination dieser Gabelung hat sich ein SBD ergeben, dass in all seinen Funktionszuständen dem des Lagerfertigers entspricht.

Im Subjektverhalten der Produktionsbedarfsplanung war der einzige anfängliche Unterschied der Auftragsabwicklungstypen, dass beim Varianten- und beim Lagerfertiger die Verfügbarkeitsprüfung im Rahmen dieses Subjektes und nicht in der Eigenfertigungsplanung und -steuerung angesiedelt wurde. Diese Unterscheidung wurde aus zwei Gründen bewusst aufgehoben. Einerseits ist dies eine sehr unternehmensspezifische Zuordnung, die auf dem Detaillierungsgrad der Beschaffungsprogrammplanung beruht und deswegen auch z.B. einerseits für einen Auftrags- oder Rahmenauftragsfertiger Sinn jedoch andererseits für einige Varianten- und Lagerfertiger keinen Sinn geben könnte. Der zweite und wichtigere Grund ist jedoch, dass im Rahmen des Subjektzuschnitts jeglicher Echtzeitabgleich in die dritte Stufe, also die Eigenfertigungsplanung und -steuerung eingeordnet wurde. Um dieser Aufteilung gerecht zu werden, kann die Verfügbarkeitsprüfung nicht auf der von der aktuellen Situation entkoppelten, zweiten Stufe angesiedelt werden.

Bei der initialen Betrachtung haben die ursprünglichen SBDs der verschiedenen Auftragsabwicklungstypen für die Eigenfertigungsplanung und -steuerungs-Subjekte viele Unterschiede aufgewiesen. Dies ist insbesondere auf den Umstand zurückzuführen, dass die Bandbreite der beschriebenen Funktionszustände sehr groß war. Bei näherer Betrachtung konnte dann aber festgestellt werden, dass nur die unterschiedlichen Teilaufgaben zur Erstellung des Werkstattprogrammvorschlages einzeln gelistet waren und diese sich für die verschiedenen Auftragsabwicklungstypen etwas unterscheiden können.⁴⁹ Da die Bestimmung, welche Schritte nötig sind, wieder ein unternehmensspezifisches Problem darstellt, wurden alle diese Funktionszustände zu dem einen übergreifenden Zustand *Werkstattprogramm erstellen* zusammengefasst. Der einzige weitere Unterschied lag darin, dass nicht alle Auftragsabwicklungstypen eine Verfügbarkeitsprüfung im Rahmen der Eigenfertigungsplanung

⁴⁹ So ist es wahrscheinlich, dass ein Auftragsfertiger alle Planungsschritte für die meisten Aufträge einzeln und für jedes Erzeugnis aufs Neue durchlaufen muss, während beim Lagerfertiger z.B. die Losgrößen ggfs. schon in der Produktentwicklung im Rahmen einer Technologiekettenplanung festgelegt wurde. Außerdem war beim Rahmenauftrags- und Lagerfertiger davon ausgegangen worden, dass anstatt eines sukzessiven Vorgehens eine Ressourcenbelegungsplanung wahrscheinlicher sei.

und -steuerung verortet hatten. Dies wurde aus den im vorangehenden Absatz angeführten Gründen geändert.

Für das Subjekt Fremdbezugsplanung und -steuerung lagen initial zwei unterschiedliche SBDs vor. Das sind einerseits eines für Auftrags- und Variantenfertiger, das eine Lieferantenauswahl vorsah, und andererseits eines für Rahmenauftrags- und Lagerfertiger, das die Lieferantenauswahl vernachlässigte. Durch die eingefügte Verzweigung konnten beide Varianten in einem SBD zusammengefasst werden. Gleichzeitig wurde die Beschreibung der Subjektverhalten bei Rahmenauftrags- und Lagerfertiger umfassender, da auch bei diesen Auftragsabwicklungstypen von Zeit zu Zeit eine Lieferantenauswahl nötig ist.

Es bestand auch die Möglichkeit die Abläufe der Produktionsprogrammplanung so zusammenzufassen, dass ein einziges SBD entsteht. Davon wurde einerseits abgesehen, um den Vorteil der Nähe zur unternehmerischen Realität des Aachener PPS-Modells beizubehalten. Andererseits ist es nicht Ziel dieser Arbeit gewesen das Aachener PPS-Modell vollständig zu überarbeiten, sondern nur zu überprüfen, ob eine formal subjektorientierte Darstellung von PPS-Abläufen möglich ist.

In den Referenzprozessmodellen des Aachener PPS-Modells wird an vielen Stellen überprüft, ob die bisherige Planung so noch umsetzbar ist und von da aus entschieden, ob zu einem vorherigen Planungsschritt zurückgekehrt werden muss. Manche dieser Regelkreise sind dabei zwischen verschiedenen Subjekten anzusiedeln, andere hingegen spielen sich innerhalb des Subjektverhaltens eines Subjektes ab. Bei der Übertragung der Referenzprozessmodelle in ihr subjektorientiertes Pendant wurden einige Unstimmigkeiten festgestellt. Ein Beispiel dafür ist Abbildung 35 zu entnehmen. Dort wird links, ein Ausschnitt aus dem Prozessmodell für die Produktionsprogrammplanung des Auftragsfertigers aus dem Aachener PPS-Modell und rechts der äquivalente Ausschnitt in PASS dargestellt.

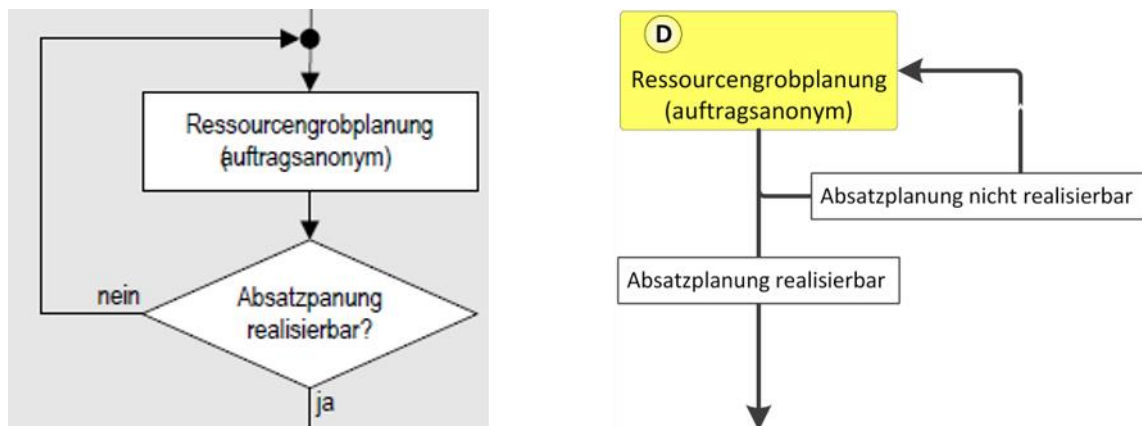


Abbildung 35. Ausschnitt des Aachener PPS-Modells (Schuh 2007, S. 146) und das subjektorientierte Pendant in PASS.

Durch die subjektorientierte Modellierung allein konnte hier ein zumindest fraglicher Inhalt identifiziert werden. Es wird ausgedrückt, dass, wenn der Absatzplan nach der Ressourcengrobplanung nicht realisierbar ist, diese so oft ausgeführt wird, bis die Absatzplanung realisierbar wird. Wenn davon ausgegangen wird, dass das vorhandene Ressourcenangebot durch die Ressourcengrobplanung nicht erhöht wird, ist dies eine irreführende Art der Modellierung. Es könnte zwar auch gemeint sein, dass in einem gegebenen Fall ein größerer Teil des Bedarfs durch Fremdbezug gedeckt werden muss, aber eine solche Erkenntnis setzt nicht die Beendigung der Ressourcengrobplanung voraus, um dann erneut zu ihr zurückzukehren. Um also diesen und weitere zumindest verwirrende, wenn nicht sogar falsche, Kreisläufe zu umgehen, wurden sie in den subjektorientierten Modellen herausgenommen.⁵⁰

⁵⁰ Es ist trotzdem denkbar einen solchen Regelkreis als Teil des Arbeitsinhaltes eines Planungsschrittes zu betrachten. Das heißt, dass in dem abgebildeten Fall durch das Herausnehmen des Kreislaufs aus dem SID eine Überprüfung der Realisierbarkeit der Absatzplanung zu einem Teil des Zustands der Ressourcengrobplanung wird.

5.1.3 Stärken subjektorientierter PPS-Prozessmodelle

Durch die bewusste Entscheidung die PPS-Prozesse subjektorientiert abzubilden ist es gelungen jene Kriterien herauszustellen, nach denen die verschiedenen Stufen der PPS zu trennen sind. Die drei beschriebenen Stufen – 1. Produktionsprogrammplanung; 2. Produktionsbedarfsplanung; 3. Eigenfertigungsplanung und -steuerung und Fremdbezugsplanung und -steuerung – können auch der Aufgabensicht des Aachener PPS-Modells entnommen werden.⁵¹ Durch die subjektorientierte Betrachtung konnten die Gründe für diese Aufteilung explizit herausgestellt werden, anstatt die Aufteilung als implizit gegeben anzuerkennen. Des Weiteren ist es dadurch möglich Einzelaufgaben jeweils einer dieser Stufen, und damit dem richtigen Subjekt, zielgerichtet zuzuordnen.

Im Zusammenhang damit steht auch, dass durch die Aufgliederung in Subjekte die unterschiedlichen inhaltlichen und zeitlichen Umfänge⁵² der Tätigkeiten korrekt abgebildet werden können. In einer herkömmlichen Beschreibung ist dies bestenfalls durch die Darstellung mithilfe einer Schleife möglich, wird aber meistens komplett vernachlässigt.

Des Weiteren eignet sich die Subjektorientierung sehr gut dazu einen engeren Betrachtungsraum abzustecken. So kann die Interaktion mit Subjekten dargestellt werden, ohne dass ihr Verhalten beschrieben werden muss. Wenn zu einem späteren Zeitpunkt dieses Subjektverhalten auch beschrieben werden soll, dann kann das nachträglich getan werden, ohne die restliche Prozessbeschreibung vollständig erneuern zu müssen. Dies gilt auch, wenn sich nur das Subjektverhalten eines Subjektes ändert.

Durch die Modellierung in PASS konnte zudem die Unterscheidung der verschiedenen Auftragsabwicklungstypen besser einsortiert werden. So war es möglich die Anzahl der Referenzmodelle zu reduzieren und damit die Komplexität zu vermin-

⁵¹ Die Aufgabensicht ist Abbildung 2 zu entnehmen. Die Kernaufgaben sind darin auf drei Stufen (drei Zeilen) entsprechend der hier beschriebenen Gliederung aufgeteilt.

⁵² Das Absatzprogramm wird für eine deutlich längere Zeit im Voraus festgelegt als das Werkstattprogramm. Somit folgt auch aus einem Absatzprogramm mehr als ein Werkstattprogramm/-auftrag.

dern. Dies bietet insbesondere für solche Unternehmen Vorteile, die nicht eindeutig einem Auftragsabwicklungstyp zuzuordnen sind. Hinzu kommt, dass Flexibilität in allen Bereichen einen steigenden Stellenwert einnimmt und deswegen eine einfachere Anpassung der PPS-Abläufe, über die Grenzen der Auftragsabwicklungstypen hinweg, ein neues Potential birgt.

Des Weiteren konnte, allein durch die Anwendung der Subjektorientierung, eine ungeschickte Modellierung aufgedeckt werden. Es ist deswegen zu erwarten, dass durch die Nutzung von PASS bei der Ableitung von unternehmensspezifischen Prozessmodellen eine höhere Modellgüte zu erreichen ist. Dies wird zusätzlich noch dadurch unterstützt, dass PASS als formal definierte Modellierungssprache über einen automatischen Modell-Check verfügt und dadurch auf fehlerhafte Ausdrucksweise aufmerksam machen kann.

Zuletzt ist zu erwähnen, dass die Eintrittsschwelle für die Subjektorientierung niedrig ist, da sie sich an der natürlichen Sprache orientiert und somit oft intuitiv verstanden wird. Dies wird auch dadurch unterstützt, dass nur eine sehr geringe Anzahl an Symbolen, selbst für hochkomplexe Prozessmodellierung, verstanden und genutzt werden muss. Für den Einsatz dieser kostengünstigen Möglichkeit die PPS-Prozesse formal abzubilden muss deswegen eine nur vergleichsweise niedrige Hürde genommen werden. Dies wird darüber hinaus noch dadurch verstärkt, dass PASS eine Modellierungssprache ist, die universell einsetzbar und nicht auf den Bereich der Produktionsplanung beschränkt ist.

5.1.4 Schwächen subjektorientierter PPS-Prozessmodelle

Als nachteilig kann betrachtet werden, dass es durch die Darstellung mit PASS nicht mehr möglich ist, mit nur einem Diagramm den Ablauf abzubilden. Dies liegt an der Struktur von PASS selbst, weil in SIDs und SBDs aufgeteilt wird. Diese Schwäche geht auch damit einher, dass formal subjektorientierte Beschreibung bislang keine große Verbreitung gefunden hat, und deswegen auch das Risiko birgt in manchen Unternehmenskontexten nicht unmittelbar akzeptiert zu werden. Das liegt in erster Linie nicht an einer geringeren Übersichtlichkeit, sondern an einer geringeren Vertrautheit und Gewohnheit beim Anwender. So gibt es zwar schematische Darstellungen, in denen ein gesamtes Referenzprozessmodell herkömmlich abgebildet wird, im Zuge der näheren Beschreibung werden aber auch hier mit SBDs vergleichbare Ausschnitte höher aufgelöst betrachtet.⁵³

Die im Rahmen dieser Arbeit vorgestellten Referenzprozessmodelle der PPS-Abläufe selbst können nur insofern bemängelt werden, als dass sie in einigen Bereichen eine etwas geringere Spezifität als die ursprünglichen Vorlagen aus dem Aachener PPS-Modell aufweisen. Dieser Nachteil ist aber auf die Entscheidung des Autors zurückzuführen die verschiedenen SBDs zu vereinheitlichen und ist keine direkte Folge des Einsatzes von PASS oder der subjektorientierten Herangehensweise im Allgemeinen.

⁵³ Eine solche schematische Darstellung des Referenzprozessmodells des Lagerfertigers wird in Abbildung 40 gezeigt.

5.2 Hypothese 2: Fertigungssteuerungsverfahren

Auf Basis der in Abschnitt 4.2 vorgestellten Ergebnisse kann die Gegenhypothese zu Hypothese 2 als widerlegt betrachtet werden. Aus diesem Grund wird diese Arbeitshypothese vorläufig als bestätigt angesehen und soll im Weiteren beibehalten werden.

Hypothese 2:

Es ist möglich subjektorientierte Prozessbeschreibung zu nutzen, um Fertigungssteuerungsverfahren zu modellieren und ihre Funktionsweisen zu erörtern.

Zunächst wird in diesem Abschnitt der Kontext der Modellierung von Fertigungssteuerungsverfahren dargelegt. Darauf aufbauend werden im Folgenden die Stärken und Schwächen des Einsatzes der Subjektorientierung im Rahmen der Betrachtung von Fertigungssteuerungsverfahren diskutiert. Abschließend wird kurz auf die Modellierungsproblematik bei der subjektorientierten Beschreibung einer Auftragsfreigabe mittels Polca-Steuerung näher eingegangen.

5.2.1 Gründe für die Modellierung von Fertigungssteuerungsverfahren

Die Fertigungssteuerung ist elementar in ihrer Bedeutung für die gesamte PPS. Um die Potentiale in diesem Bereich optimal zu nutzen, können verschiedenste Verfahren zum Einsatz kommen. Dabei gibt es kein insgesamt bestes Verfahren, sondern nur das für einen bestimmten Betrieb, in einer bestimmten Situation, am besten geeignete. Um die Fertigungssteuerung eines Unternehmens optimal zu gestalten, ist es hilfreich die grundlegenden Prinzipien unterschiedlicher Verfahrensmöglichkeiten zu verstehen und miteinander zu vergleichen. Für die Betrachtung und das Verständnis unterschiedlicher Fertigungssteuerungsverfahren sind Modelle ihrer Funktionsweise vorteilhaft.

Für den Einsatz von Fertigungssteuerungsverfahren im Kontext des eigenen Unternehmens ist ihre Modellierung jedoch im Allgemeinen nicht erforderlich. Aus diesem Grund ist es für Betriebe meist nicht nötig eine genaue Prozessbeschreibung der eingesetzten Methoden zu erstellen. Insbesondere bei KMUs ist die Fertigungssteuerung häufig sehr informell ausgeprägt und folgt oft sogar keinen vorgeschriebe-

nen Regeln. Viele Entscheidungen werden von Fall zu Fall neu getroffen und sind nicht standardisiert.

Im Zuge der steigenden Verbreitung von Qualitätsnormen, wie der ISO 9000 Normenreihe, steigt aber die Bedeutung der Beschreibung innerbetrieblicher Abläufe. Die Entwicklung geht dahin, dass auch immer mehr KMUs eine Zertifizierung nach diesen Normen anstreben, bzw. diese Zertifizierung von ihren Kunden eingefordert wird. Kernelement dieser Zertifizierung ist die genaue Definition und Beschreibung innerbetrieblicher Abläufe, also auch der Fertigungssteuerung.

Somit können zwei Hauptanwendungen von Modellen der Fertigungssteuerungsverfahren identifiziert werden. Das sind einerseits die initiale Beschreibung der allgemein gültigen Verfahrensregeln zur Verdeutlichung einer Methode und andererseits die Beschreibung von unternehmensspezifischen Prozessabläufen der Fertigungssteuerung.

5.2.2 Stärken subjektorientierter Fertigungssteuerungsmodelle

Als zentrale Stärke ist die große Ausdrucksmächtigkeit der Subjektorientierung zu betrachten. Häufig werden Fertigungssteuerungsverfahren nur in Textform, anhand eines Beispiels, oder mit Hilfe eines Übersichtsmodells dargestellt. Die eigentlichen Verfahrensregeln werden in dem Modell selbst nur selten beschrieben. Die in diesem Rahmen genutzten Übersichtsmodelle beinhalten lediglich die Informationen, die in PASS das SID wiedergibt. Das Subjektverhalten wird dann rein textlich und nicht in dem Modell selbst abgebildet. Durch die Nutzung dieser zweiten Beschreibungsebene der SBDs kann im Gegensatz zur herkömmlichen Beschreibung ein Modell für sich allein stehen. Außerdem erweisen sich die Funktionen der Multi-Subjekte und Interface-Subjekte bei der Gestaltung der Prozessmodelle von Fertigungsverfahren als besonders hilfreich. Multi-Subjekte geben die Möglichkeit gleichartige Arbeitsgänge nur einmalig abzubilden. Interface-Subjekte helfen dabei den Betrachtungsraum sinnvoll abzugrenzen. Ein zusätzlicher Bonus ist, dass mit PASS erstellte Modelle eine formale Abbildung der Fertigungssteuerungsverfahren sind und dadurch nicht nur zur Erklärung der Prinzipien genutzt werden, sondern gegebenenfalls auch Funktionen darüber implementiert werden können (vergleiche Abschnitt 5.6. und Abschnitt 5.7.4).

Als weiterer Vorteil ist zu begreifen, dass die subjektorientierte Herangehensweise als alleinige Modellierungsart für alle relevanten Fertigungssteuerungsverfahren genutzt werden kann. Dadurch ist es nicht nötig sich mit immer neuer Symbolik auseinanderzusetzen oder einen großen Aufwand zu betreiben unterschiedliche informelle Beschreibungsweisen aneinander anzugleichen. Dieser Vorteil wird gerade dann noch größer, wenn das subjektorientierte Modellierungsparadigma auch in weiteren Unternehmensbereichen Anwendung findet und als (Quasi-) Standard für die Prozessbeschreibung des gesamten Unternehmens genutzt wird. Dies ist vor allem dann möglich, wenn eine groß angelegte Aufnahme aller Betriebsabläufe des Unternehmens geplant wird, wie das zum Beispiel bei einer Neuzertifizierung nach den Vorgaben einer Qualitätsnorm der Fall ist.

5.2.3 Schwächen subjektorientierter Fertigungssteuerungsmodelle

Eine Schwäche jedes formalen Modellierungsansatzes im Kontext der Fertigungssteuerungsverfahren ist die Tatsache, dass die detaillierte Modellierung von Beginn an häufig gar nicht erst nötig ist. Dies liegt auch daran, dass viele Verfahren ganz ohne IT-Unterstützung auskommen und darauf ausgelegt sind, dass ihre Funktionsweise direkt am physischen Ort des Geschehens, oft durch die Verwendung von Visualisierungshilfen, wie Karten (Kanban, Polca, etc.), ersichtlich ist. Eine im Vergleich zu PASS simplere, beziehungsweise für den Anwender auf den ersten Blick simpler erscheinende Beschreibung, reicht zur Implementierung in aller Regel aus.⁵⁴ Wenn doch die Möglichkeiten der IT-Unterstützung genutzt werden sollen, wird oft auf schon vorprogrammierte und gegebenenfalls sogar in die eigene IT-Systemlandschaft eingebundene Funktionen zurückgegriffen.

Die Entscheidung dennoch die unternehmenseigenen Fertigungssteuerungsabläufe zu modellieren, wird dann oft im Rahmen einer größer angelegten Qualitätsmanagementmaßnahme getroffen. Zumeist wird der Zertifizierungsprozess in einem

⁵⁴ Viele einfache, aber weit verbreitete Fertigungssteuerungsverfahren können ohne Probleme mit prozeduraler Prozessbeschreibung nach Input-Task-Output-Prinzip abgebildet werden. Erst mit steigender Komplexität des Verfahrens werden elaboriertere Modellierungstechniken vorteilhaft. Vergleiche dazu Abschnitt 5.4.2.

KMU von einem externen Berater oder einer Beratergruppe begleitet. In diesen Kreisen ist das Modellierungsparadigma der Subjektorientierung nicht sehr weit verbreitet und es ist davon auszugehen, dass es deswegen nicht standardmäßig zum Einsatz kommt.

Die größte Herausforderung von Subjektorientierung und PASS selbst, im Kontext der Modellierung von Fertigungssteuerungsverfahren, ist, dass eine formal richtige Darstellung zum Teil einige Modellierungserfahrung erfordert. Die Schwierigkeit liegt dabei sowohl im Subjektzuschnitt als auch in der Ausgestaltung der SBDs. So sind einige intuitiv als linear angesehene Prozesse tatsächlich komplexer zu modellieren. Auf ein Beispiel dafür wird im folgenden Abschnitt näher eingegangen.

5.2.4 Exkurs: Polca-Modellierungsproblematik

Ursprünglich wurde für die Beschreibung des Fertigungssteuerungsverfahrens der Polca-Steuerung ein linearer Ansatz gewählt. Die so entstandenen Modelle sind Abbildung 36 zu entnehmen. Erst nachdem festgestellt wurde, dass auf diese Weise die Verfahrensregeln nicht formal richtig zu beschreiben sind wurde der Subjektzuschnitt angepasst und das in Abschnitt 4.2.3 vorgestellte Modell entwickelt.

Das SID des ursprünglichen Modells entspricht dem reduzierten SID aus Abbildung 27. Das abgebildete SBD folgt, wie erwähnt, einem linearen Ansatz für jeden Auftrag. Zur Verdeutlichung des Umstandes, dass nach Beendigung eines Auftrages der nächste Auftragsfreigabeprozess gestartet wird, folgt auf die Beendigung der letzten Aufgabe (das Weitergeben des Auftrages an die Zielfertigungsinsel) dieses linearen Ablaufs, eine Transition zum Startzustand. Das Subjekt *Fertigungsinsel B* wird immer, wenn ein Auftrag blockiert ist (weil der Freigabezeitpunkt noch nicht erreicht ist oder keine freie Polca-Karte vorliegt), neu instanziiert. Das erste Problem liegt nun darin, dass die Priorisierungsregeln für die Reihenfolgebildung nicht im Beschreibungsrahmen dieses Modells liegen. Allein der Subjekttträger entscheidet über die Reihenfolge der Abarbeitung der vorhandenen Aufträge.

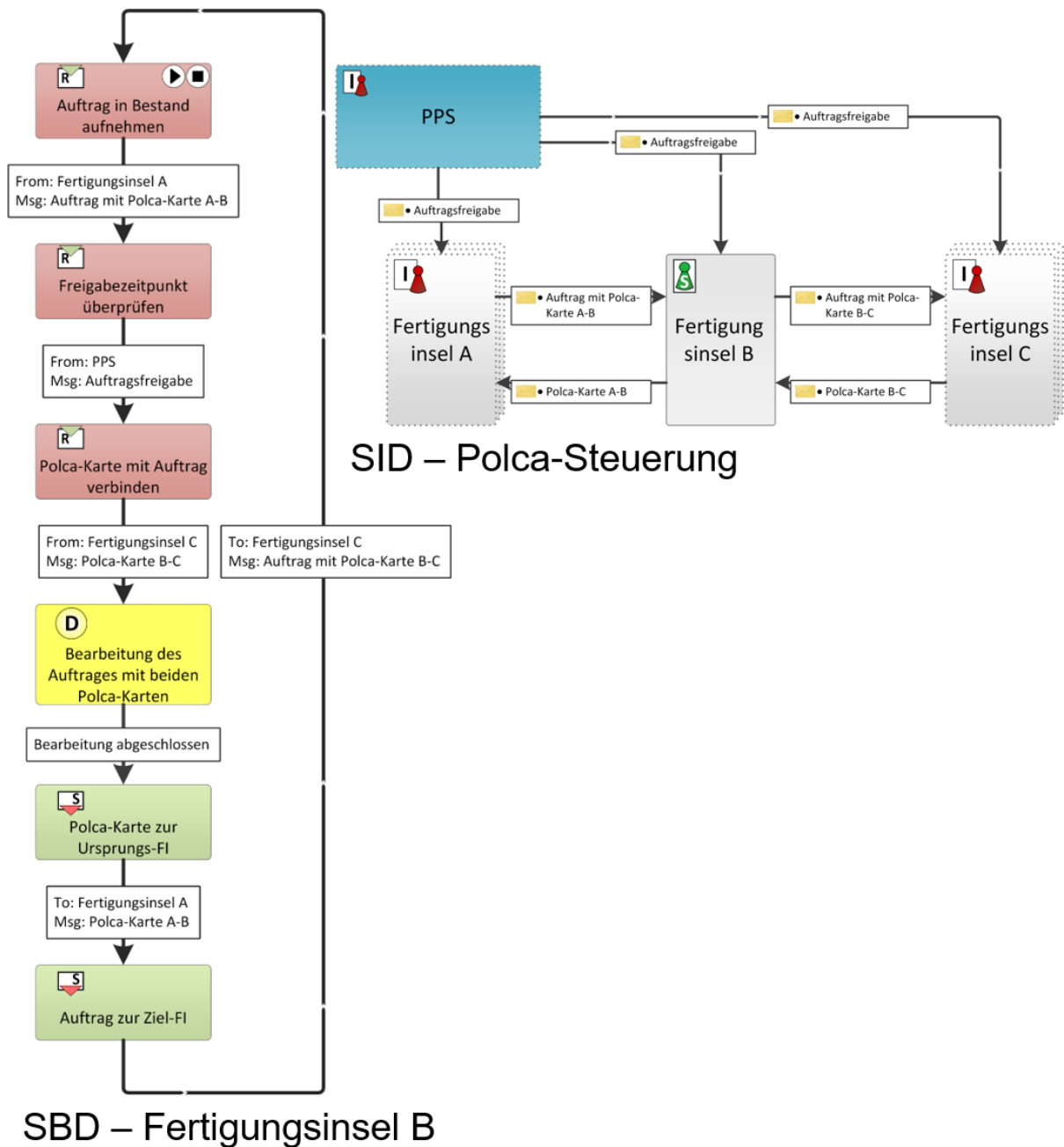


Abbildung 36. Linearer Ansatz zur Beschreibung der Polca-Steuerung.
 Anmerkung. FI steht für Fertigungsinsel.

Das größere Problem dieser Art der Modellierung hängt aber mit der Limitierung der Polca-Karten selbst zusammen. Einerseits ist zu beachten, dass jede Polca-Karte einer definierten Instanz eines Multi-Subjektes zuzuordnen ist und nicht universelle Gültigkeit für alle Instanzen eines Fertigungsinsel-Subjektes besitzt. Außerdem werden durch die mehrfache Instanziierung des Subjektes *Fertigungsinsel B* auch mehrere getrennte Input-Pools erstellt. Eine Polca-Karte kann aber nicht von einer

Instanziierung von *Fertigungsinsel C* an mehrere Input-Pools verschickt werden, da das die bestandsregelnde Funktion der Polca-Karten aushebeln würde. Es wäre denkbar dieses Problem in einem nur einstufigen Prozess, durch die Modellierung eines eigenen Subjektpaares für jede Polca-Karte, zu umgehen. Eine, diesen Fertigungsinselpaaren vorgelagerte, Fertigungsinsel kann dann aber nicht zuordnen, an welches Polca-Karten-Subjekt ein Auftrag weitergegeben werden soll (wenn es, wie üblich, mehr als eine Polca-Karte für das gleiche Paar an Fertigungsinseln gibt). Es wird also eine Zuordnungseinheit benötigt, die festlegt, welcher Auftrag mit welcher Polca-Karte freigegeben wird.

In dem in Abschnitt 4.2.3 vorgestellten Modell stellt das Subjekt *Organisation Fertigungsinsel B* dieses Routing-Subjekt dar. Durch die Trennung des Ausführungssubjekts und des Organisationssubjekts können alle Aufträge und Polca-Karten bei einer Subjektinstanz gesammelt werden. Das Routing-Subjekt besitzt also alle Informationen darüber, welcher Auftrag als nächstes auszuführen ist und trifft auf dieser Basis die Entscheidung. Erst im Zuge der Zuordnung von einer freien Polca-Karte zu einem Auftrag wird dann die Reihenfolge der Bearbeitung und die Zielfertigungsinsel festgelegt.

Es sind zu der vorgestellten Möglichkeit der Umgehung der Polca-Modellierungsproblematik auch noch andere Variationen der Realisierung eines Routing-Subjektes denkbar. In PASS ist jedoch eine Limitierung von Nachrichten grundsätzlich zunächst nicht vorgesehen. Eine Auseinandersetzung mit daraus resultierenden Modellierungsherausforderungen bietet Grund für zukünftige Forschung.

5.3 Hypothese 3: Wertstrommethode

Auf Basis der in Abschnitt 4.3 vorgestellten Ergebnisse kann die Gegenhypothese zu Hypothese 3 als widerlegt betrachtet werden. Aus diesem Grund wird diese Arbeitshypothese vorläufig als bestätigt angesehen und soll im Weiteren beibehalten werden.

Hypothese 3:

Es ist möglich subjektorientierte Prozessbeschreibung zu nutzen, um die Produktionsabläufe eines Unternehmens im Sinne der Wertstrommethode darzustellen.

Im Folgenden werden die Stärken und Schwächen des Einsatzes der Subjektorientierung im Rahmen der Wertstrommethode diskutiert.

5.3.1 Stärken subjektorientierter Wertstromanalyse

Die vorgestellte Möglichkeit der Wertstromanalyse bietet einige Vorteile gegenüber der herkömmlichen Papier-und-Bleistift-Version. Manche dieser Vorteile ergeben sich dabei aus der Nutzung des subjektorientierten Modellierungsparadigmas und einige weitere aus der konkreten Nutzung von PASS und den MS-Visio-Shapes.

Zunächst ist festzuhalten, dass der Einsatz von PASS Vorteile mit sich bringt, die auch jedes andere digitale VSM-Modellierungswerkzeug bieten würde. So bietet dieses Werkzeug eine einfache Möglichkeit der digitalen, grafischen Aufbereitung der gesammelten Wertstrominformationen. Die Flexibilität von Visio unterstützt dabei die Erstellung und Veränderung von VSMs. Zusätzlich ermöglicht der Einsatz von Software eine einfachere Versionierung und Variantenableitung zur Planung zukünftiger Wertströme. Insbesondere bei der Betrachtung von KMUs ist dies ein starkes Argument für den Einsatz des MS-Visio-PASS-Werkzeugkastens, da dies eine vergleichsweise sehr kostengünstige Lösung, mit diversen weiteren Anwendungsmöglichkeiten über die Wertstromanalyse hinaus, darstellt.

Darüber hinaus bieten die PASS-Visio-Shapes auch im Kontext der Wertstrommethodik weitere Möglichkeiten, die nicht jedes andere Software-Werkzeug bietet. So ist es möglich automatisiert die Syntax eines erstellten Modells zu überprüfen und damit Fehler feststellen und beseitigen zu können. Der Einsatz von SiSi und

den Shape-Erweiterungen ermöglicht die Unterscheidung verschiedener Zeittypen. Auf diese Weise ist es möglich den Gesamtproduktionsprozess genauer als bei den meisten herkömmlichen Wertstromanalysen zu untersuchen. Dadurch können sowohl der Auftretungsort als auch die Art von Verschwendung im Produktionsprozess besser benannt werden.⁵⁵ Zusätzlich wird durch SiSi z.B. mittels Konfidenzintervallen eine statistische Verteilung abgebildet, was die Realität besser beschreibt als eine Rechnung rein auf Basis von Mittelwerten. Ein weiterer Vorteil liegt dabei darin, dass diese Werte im Folgenden sowohl einzeln einsehbar sind als auch automatisch aggregiert werden. Unterstützt wird die Betrachtung der Ergebnisse durch eine durchgängige Farbcodierung.

Ergänzend zu all dem steht in PASS mit dem SBD eine komplette zweite Beschreibungsebene zur Verfügung, die es dem Anwender ermöglicht noch zusätzliche Informationen aus der Wertstromanalyse festzuhalten und das Subjektverhalten näher zu beschreiben. So ist es zum Beispiel möglich Ein- und Auslagerungsvorgänge für Lagersubjekte zu modellieren. Dies kann einerseits das Prozessverständnis erhöhen, andererseits ist es so auch möglich die Handhabungszeiten in der Simulation zu berücksichtigen.

Eine subjektorientierte Herangehensweise an die Wertstromanalyse ermöglicht zudem den Betrachtungswinkel zu jedem Zeitpunkt zu erweitern. So können sowohl komplexe, verzweigte Materialflüsse untersucht als auch Geschäftsprozesse und der zugehörige Informationsfluss näher betrachtet werden, ohne ein anderes Werkzeug nutzen zu müssen. Es gibt Bestrebungen auch im Rahmen nicht subjektorientierter Wertstromanalysen das Blickfeld so zu erweitern und insbesondere Geschäftsprozesse mehr in den Betrachtungsfokus zu ziehen (Erlach 2010). Solche Erweiterungen bedürfen bei informeller Beschreibung aber immer neuer Symbolik

⁵⁵ „Unter Verschwendung versteht man die unsachgemäße bzw. unwirtschaftliche Verwendung von Ressourcen (Kapazität, Arbeitszeit, Qualifikation). Wird sie nicht beseitigt, kann sie den Unternehmenserfolg vermindern und die Mitarbeitenden demotivieren. In der klassischen Lean-Production-Lehre nach Taiichi Ohno, dem Erfinder des Toyota-Produktionssystems, wird zwischen insgesamt sieben Verschwendungsarten (japanisch: Muda - „sinnlose Tätigkeit“) unterschieden, die sich gegenseitig beeinflussen.“ REFA 2020, 7 Verschwendungsarten.

und/oder Darstellungsformen. Dies erhöht die Komplexität der Modelle und verlangt nach immer ausführlicheren Legenden und Erklärungen zum Modell selbst. Dieser Overhead ist bei der Nutzung von PASS nicht notwendig, da diese Modellierungssprache vollumfängliche Ausdrucksfähigkeit (Turing-Vollständigkeit) besitzt. Die subjektorientierte Wertstromanalyse bildet damit einen guten Ausgangspunkt, um festzustellen, in welchem Bereich das größte Verbesserungspotential liegt, und diesen dann ausgehend von der subjektorientierten VSM näher zu betrachten. Es kann somit davon ausgegangen werden, dass eine solche Wertstromanalyse oftmals nur der initiale Ansatz ist und darauf aufbauend eine tiefergreifende Prozessanalyse, insbesondere der Auftragsabwicklungsorganisation, nötig ist.⁵⁶ Eine solche Ausweitung wird durch den Einsatz eines universellen Prozessmodellierungswerkzeuges, das sowohl für die Wertstromanalyse als auch das Geschäftsprozessmanagement eingesetzt werden kann, deutlich erleichtert. Die Subjektorientierung passt sehr gut auf dieses Anforderungsprofil, insbesondere, weil sie im Bereich des S-BPM sehr weit entwickelt ist.

5.3.2 Schwächen subjektorientierter Wertstromanalyse

Es ist nicht grundsätzlich sinnvoll die Wertstrommethode mit einer Softwarelösung zu unterstützen. Insbesondere bei ad-hoc-Aufnahmen, die nur dazu dienen eine Übersicht über den Wertstrom zu erlangen, kann eine händische Wertstromaufnahme mit Bleistift und Papier die bessere Wahl sein. Die herkömmliche Methode VSMs zu gestalten hat außerdem den Vorteil beliebig gestaltbar zu sein. Es gibt zwar einige konventionelle Darstellungsformen, aber keinen durchgängig festgeschriebenen Formalismus. So ist es verbreitete Praxis die standardmäßige VSM mit unterschiedlichsten Zusatzinformationen und extra Bedeutungsebenen zu ergänzen. In dieser Informalität kann eine große Ausdrucksmächtigkeit liegen. Gleichzeitig birgt diese Freiform-

⁵⁶ Für eine Beschreibung dieser Feststellung an einem Praxisbeispiel sei an dieser Stelle auf Fleischmann et al. 2016 verwiesen. Eine weitergehende Beschreibung der Ausweitung eines Wertstromanalyseansatzes zu einer tiefergreifenden Prozessanalyse ist den Ausführungen von Elstermann et al. 2020 zu entnehmen.

darstellung auch das Risiko zu Unübersichtlichkeit oder Missverständnissen zu führen.

Darüber hinaus ist PASS, auch mit dem erweiterten MS-Visio-Werkzeugkasten, keine dedizierte Wertstromanalyse-Softwarelösung. Wenn also von Anfang an klar ist, dass das einzige Anwendungsszenario klassische, womöglich sogar rein lineare und nur innerbetriebliche, Wertstromanalysen sind, dann können explizit dafür gestaltete Programme vorteilhaft sein. Insbesondere die Unterstützung des Nutzers durch GUIs und die zum Teil sogar mögliche Verwendung von Echtzeitdaten sind hier als Vorteile zu sehen. Durch Anleitung des Nutzers und die simple Handhabung ist auch weniger Methodenwissen Voraussetzung, um die Wertstrommethode auf diese Art einzusetzen. Gerade für KMUs birgt dies aber wieder einerseits höhere Investitionskosten und andererseits geringere Flexibilität. Es wird in den meisten Fällen nicht möglich sein solche Werkzeuge an unter Umständen sehr spezielle Szenarien anzupassen, die mit PASS ohne Weiteres beschreibbar sind.

Eine weitere Schwierigkeit birgt die Festlegung des richtigen Abstraktionslevels des Modells. Auch wenn dies eine klassische Herausforderung aller Modellbildung ist, wird sie im Kontext der Nutzung von PASS noch bedeutsamer. Dies beruht darauf, dass eine klassische Wertstromanalyse nicht weiter als bis zur Ebene einzelner Arbeitsgänge heruntergebrochen werden kann. PASS bietet hingegen, insbesondere durch die SBDs, die Möglichkeit alle Vorgänge bis hin zu einzelnen Grundoperationen, wie z.B. das Handhaben oder Fügen, detailliert zu beschreiben. Auch wenn dadurch eine sehr hohe Modellgüte und eine ungemeine Genauigkeit der Beschreibung erreicht werden kann, geht dies in den allermeisten Fällen weit über die Betrachtung im Sinne der Wertstrommethode hinaus. Das Extrem in die andere Richtung kann sein, dass komplette Arbeitsbereiche als ein einziges Subjekt abgebildet werden und es dadurch nicht mehr möglich ist die Ursache von Verschwendung im Produktionsprozess zu ermitteln.

Zusätzlich zu diesen übergeordneten möglichen Schwachpunkten einer subjektorientierten Wertstromanalyse bringt auch der Einsatz von SiSi weitere Limitierungen mit sich. Um die Berechnung der Zeiten und Kennwerte zu ermöglichen, muss ein linearer Prozess ohne Verzweigungen oder zyklischen Elementen modelliert werden. Dies begrenzt zwar nur bedingt das Einsatzgebiet, da der kritische Pfad

im Vorhinein bestimmt oder auch alle Pfade einzeln modelliert werden können. Das Erstellen linearer (und nicht zyklischer) SBDs kann aber eine Herausforderung, z.B. bei der Abbildung des Informationsflusses im Rahmen der Auftragsabwicklungsorganisation, darstellen. Aus diesem Grund muss abgewogen werden, ob und in wie weit es sich lohnt seine VSMs auf die Unterstützung durch SiSi auszulegen, oder ob eine (subjektorientierte) Wertstromaufnahme ohne Simulation in einem gegebenen Fall eine größere Aussagekraft besitzt.

Zuletzt ist zu erwähnen, dass die Wertstrommethode heute sehr weite Bekanntheit erreicht hat. Diese klassische Betrachtungsweise gehört schon seit vielen Jahren zum Curriculum vieler Hochschulen und Universitäten in Deutschland, aber auch weltweit. Damit verbunden ist der Bekanntheitsgrad der ikonischen Symbole einer herkömmlichen VSM sehr groß. Allein auf Basis der Abänderung der grafischen Repräsentation kann es zur Ablehnung von PASS als Werkzeug für die Gestaltung von VSMs kommen. Das gleiche gilt für die Umgewöhnung in der sprachlichen Verwendung der Begriffe Prozess und Subjekt, auf die im folgenden Abschnitt näher eingegangen wird.

5.4 Hypothese 4: Subjektorientiertes Denken

Hypothese 4:

Subjektorientierte Prozessbeschreibung im Rahmen der Produktionsplanung ist besonders geeignet, da informell-subjektorientierte Betrachtungsweisen in der Produktionsplanung verbreitet sind und genutzt werden.

In diesem Abschnitt wird diskutiert, in wie weit es Anzeichen dafür gibt, dass subjektorientiertes Denken in der Produktionsplanung verbreitet ist. Hypothese 4 steht dabei in engem Zusammenhang mit einer von Elstermann, in Bezug auf die Ersteller von Prozessmodellen, aufgestellten Hypothese:

The concepts in the minds of the original models' creators already were subject-oriented and they lacked the expressive means to bring their concept into a formal model. Instead, they tried to fit their ideas into a description framework that was not as suitable for that task, making compromises along the way. (Elstermann 2020, S. 165)

Um diese Thesen bewerten zu können, ist es wichtig zunächst noch einmal herauszustellen, wodurch sich eine subjektorientierte Betrachtungsweise auszeichnet. Dazu wird die Unterscheidung vom Verständnis des Begriffs *Prozess* in einem prozeduralen Ansatz mit einem subjektorientierten Verständnis beschrieben und diskutiert. Anschließend werden die Wertstrommethode und Fertigungssteuerungsverfahren auf subjektorientierte Denkansätze hin untersucht, bevor vorgestellt wird, in welchem Rahmen das Aachener PPS-Modell subjektorientiert gedacht ist. Abschließend werden die Befunde noch einmal zusammenfassend dargestellt.

5.4.1 Prozedurales und subjektorientiertes Prozessverständnis

Im Kern der Subjektorientierung steht die Unterscheidung von Akteur, Aktivität und Prozess, wobei ein Prozess als der Ablauf eines Geschehens, bestehend aus einzelnen Aktivitäten von einem oder mehreren Akteuren, verstanden wird. Im Sinne der subjektorientierten Modellierung werden alle Akteure durch Subjekte abgebildet und alle Einzelaktivitäten und ihre Abfolge werden zu den zugehörigen Subjektverhalten zusammengefasst (Fleischmann et al. 2011). Dieses Verständnis der Begrifflichkeiten unterscheidet sich vom klassischen, weit verbreiteten Input-Task-Output-Denken

in Bezug auf Prozesse. Dieser Denkansatz beschreibt einen Prozess als die Umwandlung von Input in Output durch eine oder mehrere zielgerichtete Tätigkeiten. Die Art des Inputs und des Outputs ist dabei nicht näher spezifiziert und kann physischer und/oder digitaler Natur sein. Zusätzlich können Attribute eines Prozesses beschrieben werden, die nicht einen Input bilden, der umgewandelt wird, aber dennoch für die Ausführung des Prozesses nötig sind. Ein so beschriebener Input-Task-Output-Prozess ist als linear und unidirektional zu verstehen. Das bedeutet zum einen, dass ein Prozess mit diesem Prozessverständnis nicht als ergebnisoffen zu betrachten ist, und zum anderen, dass die Umwandlung des Inputs zum Output irreversibel sein kann, das heißt der Output eines Prozesses ist nicht notwendigerweise durch einen anderen Prozess in den ursprünglichen Input rückführbar. Es ist möglich mehrere solcher Input-Task-Output-Prozesse zu verbinden, indem der Output eines Prozesses den Input des nächsten Prozesses darstellt. Dadurch werden die einzelnen Prozesse zu sogenannten Prozessketten zusammengeschlossen. Jeder Prozess ist des Weiteren in eine Reihe von Teilprozessen aufteilbar (die jeweils wieder in Teilprozesse aufgelöst werden können). Außerdem ist es möglich für einen Prozess unterschiedliche Inputalternativen zu definieren, die zu verschiedenen Outputs führen können. Dieses Verständnis von Prozessen bildet die Grundlage für die prozedurale Prozessbeschreibung.⁵⁷ Beide Denkmodelle, die Fülle ihrer Unterschiede, und insbesondere auch die Limitierung des Input-Task-Output-Konzepts werden von Elstermann ausführlich dargelegt (Elstermann 2020).

Es ist jedoch feststellbar, dass sich oft ohne eine bewusste Änderung des Modellierungsparadigmas die Art der Nutzung des Prozessbegriffes verschiebt. Anstatt einer linear ablaufenden Tätigkeit oder Tätigkeitsfolge wird häufig ein Tätigkeitsgebiet als Prozess bezeichnet. Diese Verschiebung hin zur Betrachtung von Tätigkeitsgebieten ermöglicht die Modellierung multidirektionaler Input-Output-Ströme und somit komplexer Prozessnetzwerke. Dadurch entspricht aber ein solcher Tätigkeitsbereich viel mehr dem Konzept des Subjekts in der Subjektorientierung. Diese Veränderung geht jedoch zumeist nicht mit der bewussten Änderung des Modellierungspara-

⁵⁷ Prozedurale Prozessbeschreibung ist auch als Prädikat- bzw. Verborientierung zu verstehen. Die Tätigkeit steht im Mittelpunkt des Input-Task-Output-Prozesses.

radigmas einher. Es entstehen dadurch also informell subjektorientierte Prozessmodelle, die nicht auf die Ausdrucksmöglichkeiten einer dediziert subjektorientierten Modellierungssprache zurückgreifen können. Dies führt zu einer Diskrepanz zwischen Modellierungskonzept und Ausdrucksweise, die zu Missverständnissen führen kann.⁵⁸

Ein gutes Beispiel für diese Beobachtung bilden die Modelle der Wertstromanalyse. Die unterschiedlichen Tätigkeitsbereiche werden in ihrer herkömmlichen Beschreibung als *Produktionsprozesse* oder *Geschäftsprozesse* betitelt. Im Zuge einer subjektorientierten Modellierung können diese aber eins zu eins in Subjekte übersetzt werden. Insbesondere in verzweigten Modellen ist direkt ersichtlich, dass es sich bei einer VSM nicht nur um eine Verkettung von mehreren Input-Task-Output-Prozessen handeln kann, da die Tätigkeiten in mehreren dieser Tätigkeitsbereiche, beziehungsweise von den zugehörigen Subjekten, parallel ausgeführt werden. Das bedeutet, dass die Gestaltung von Wertstromaufnahmen zumindest unterbewusst einem subjektorientierten Denkmodell und nicht einer reinen Input-Task-Output-Struktur folgt. Diese Beobachtung erklärt auch, warum die Erstellung von subjektorientierten PASS-VSMs direkt und ohne Umwege möglich ist: Eine herkömmliche VSM stellt also schon ein informell-subjektorientiertes Modell dar.

5.4.2 Subjektorientiertes Denken bei Fertigungssteuerungsverfahren

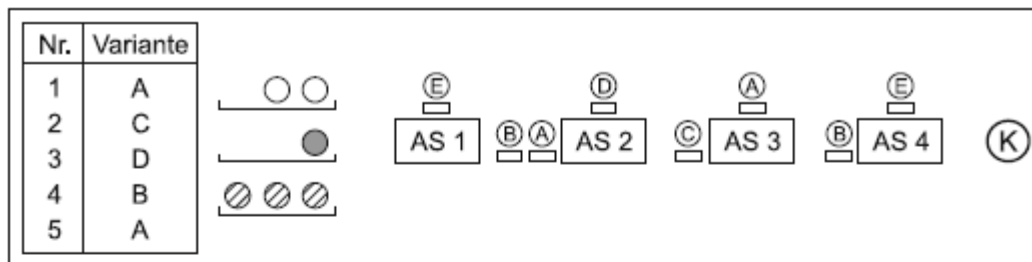
Auch die Modelle, die genutzt werden, um die Verfahrensregeln von Fertigungssteuerungsverfahren zu beschreiben, zeichnen ein ähnliches Bild und nutzen subjektorientierte Ansätze. Dabei ist es unerheblich, ob diese Modelle verbaler oder graphischer Natur sind. So ist es noch ohne weiteres möglich sehr einfache Fertigungssteuerungsverfahren, wie z.B. die CONWIP-Steuerung, prozedural zu beschreiben. In diesem Fall folgt auf jede Auftragsfertigstellung (Input) eine neue Auftragsfreigabe (Output). In diesem Beispiel wird mit dem Prozess dann beschrieben, nach welchen

⁵⁸ Die in diesem Absatz beschriebene Beobachtung stützt sich auf die Analyse der, im Rahmen dieser Arbeit erstellten, subjektorientierten Modelle und ihrer herkömmlich beschriebenen Gegenstücke. Eine vergleichbare Beobachtung wird aber auch von Elstermann bei der Analyse von Modellen im Kontext der strategischen Produktentwicklung gemacht. Elstermann 2020.

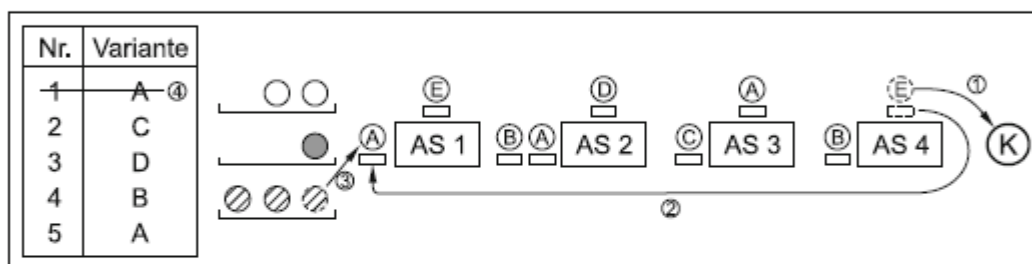
Kriterien der nächste Auftrag zur Freigabe ausgewählt wird. Oft weist aber auch schon die Beschreibung eines solchen einfachen Prozesses subjektorientierte Denkmuster auf. Dies ist zum Beispiel dann gegeben, wenn bei der Beschreibung einer CONWIP-Steuerung mehrere Arbeitssysteme im Regelkreis der CONWIP-Steuerung betrachtet werden. Dadurch wird der Fokus weg von der Tätigkeit der Auftragsfreigabe selbst auf die Betrachtung der Auftragsabwicklung in mehreren Tätigkeitsbereichen verschoben. Abbildung 37 zeigt ein Beispiel zur Beschreibung der CONWIP-Steuerung, an dem diese subjektorientierte Denkweise aufgezeigt werden kann. Der Ausgangszustand (a) stellt dabei dar, wie vier Arbeitssysteme parallel je einen Auftrag bearbeiten. Der Titel von (b) nennt schon zwei unterschiedliche Prozesse, während graphisch vier unabhängige Abläufe markiert sind. Zunächst wird in *Arbeitssystem 4* ein *Auftrag für Variante E* fertig gestellt und an den Kunden übermittelt. Der zweite Output dieses Prozesses ist die nun freie CONWIP-Karte (Prozess 1). Dieser Output bildet den Input für den Freigabeprozess. Der nächste Auftrag auf der dargestellten Freigabeliste ist ein *Auftrag der Variante A*. Dieser wird mit der CONWIP-Karte freigegeben (Prozess 2). Der freigegebene Auftrag mit CONWIP-Karte veranlasst im *Lager* die Auslagerung des richtigen *Rohmaterials* für diese Variante (Prozess 3). Der letzte eingezeichnete Prozess ist die Aktualisierung der Auftragsliste durch die Streichung des *Auftrags der Variante A* (und wie in Zustand (c) zu sehen durch die Ergänzung der Auftragsliste um einen *Auftrag der Variante E*) (Prozess 4). Diese vier Prozesse bilden also eine Prozesskette nach typischer Input-Task-Output-Logik. Parallel dazu, aber unabhängig davon, läuft die Bearbeitung der Aufträge in den anderen Arbeitssystemen. So ist richtigerweise auch nicht in (b) dargestellt, dass *Arbeitssystem 1,2, und 3* die Bearbeitung ihrer Aufträge notwendigerweise abschließen müssen, bevor *Arbeitssystem 4* einen Auftrag abschließt und wieder die Prozesskette zur Auftragsfreigabe anstößt. So wäre es also auch denkbar, dass *Arbeitssystem 2* in der Zeit, in der *Arbeitssystem 4* den *Auftrag der Variante B* fertigt, sowohl den *Auftrag der Variante D* als auch den *Auftrag der Variante A* fertigstellt. Dies würde, wenn der Ablauf in den anderen Tätigkeitsbereichen als unverändert angenommen wird, dazu führen, dass zum Zeitpunkt der Fertigstellung des *Auftrags der Variante B* in *Arbeitssystem 4* (c) in *Arbeitssystem 2* nicht der *Auftrag der Variante A* sondern der *Auftrag der Variante B* bearbeitet werden würde. Gleich-

zeitig wäre dann nur ein *Auftrag der Variante E* im Puffer von *Arbeitssystem 2*. Im Puffer von *Arbeitssystem 3* befänden sich aber statt nur des einen *Auftrags der Variante D* auch ein *Auftrag der Variante A*.

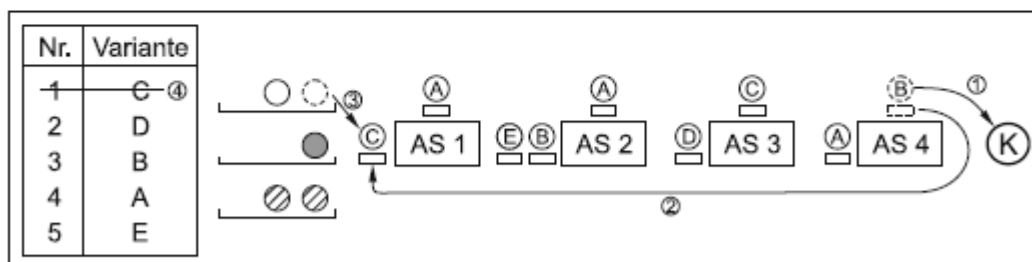
a) Ausgangszustand



b) Fertigstellung und Freigabe eines Auftrags



c) Fertigstellung und Freigabe eines weiteren Auftrags



- AS : Arbeitssystem
- Ⓚ : Kunde
- : Conwip-Karte
- _____ : Lager
- , ⊘, ● : Rohmaterial
- Ⓐ : Auftrag für Variante A

IFA 10.925

Abbildung 37. Beispiel für die Funktionsweise der CONWIP-Steuerung (Lödding 2016, S. 377).

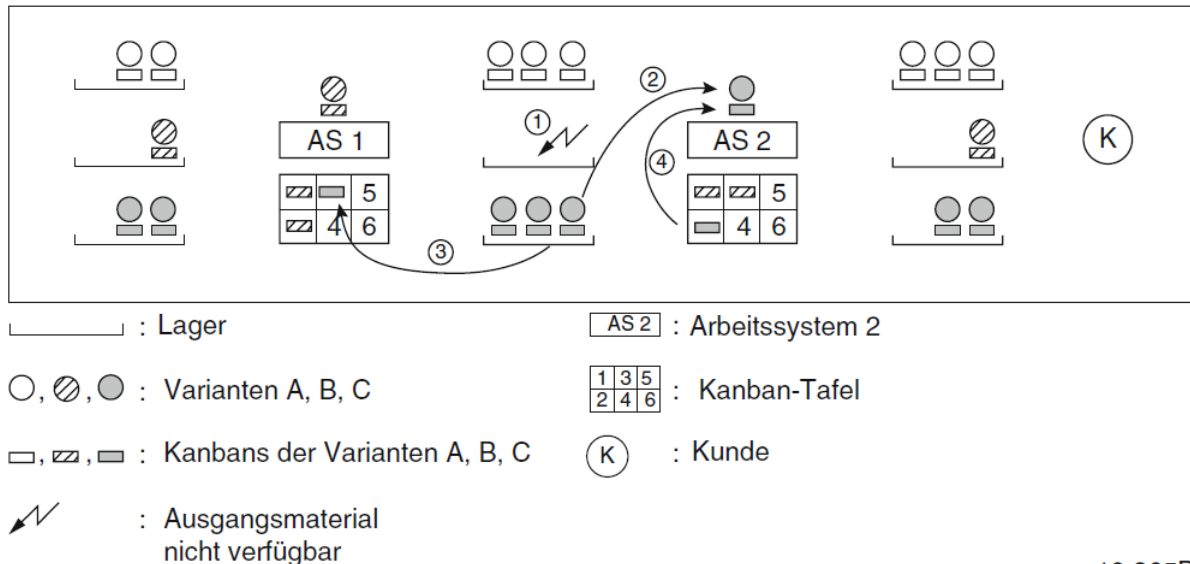
Dies verdeutlicht, dass, wie auch bei einer VSM, die Betrachtung von Arbeitssystemen oft mit einer – zumindest unbewussten – subjektorientierten Denkweise einhergeht. Diese Feststellung lässt sich noch stärker ausgeprägt bei der Betrachtung von Fertigungssteuerungsverfahren treffen, die auf Regelkreisen zwischen ein-

zelen Arbeitssystemen, beziehungsweise einzelnen Fertigungsinseln, beruhen. Ein Vertreter dieses Verfahrenstyps ist die Kanban-Steuerung. Im Gegensatz zur CON-WIP-Steuerung handelt es sich hierbei um ein Verfahren zur Auftragserzeugung und nicht zur Auftragsfreigabe. In reinem Input-Task-Output-Denken beschreibt Kanban nur das Prinzip eines Pull-Systems. Die Entnahme von Material aus dem Supermarktlager, das zwei Fertigungsinseln miteinander verbindet, erzeugt einen Fertigungsauftrag zur Nachproduktion bei der bereitstellenden Fertigungsinsel. Infolgedessen entnimmt diese Fertigungsinsel Material aus dem ihr vorgeschalteten Lager und erzeugt dadurch wiederum einen neuen Fertigungsauftrag. Diese Prozesskette läuft so lange weiter, bis das Wareneingangslager erreicht ist, und von dort aus ein Bestellprozess angestoßen wird. Diese Input-Task-Output-Betrachtungsweise der Auftragerstellung mittels Kanban berücksichtigt aber in keiner Weise den Produktionsprozess an einer Fertigungsinsel. Eine übliche Beschreibungsweise der Kanban-Steuerung anhand von Beispielzuständen, wie sie in Abbildung 38 dargestellt ist, schließt diesen aber mit ein. Dies bedeutet aber wiederum, dass zumindest die Arbeitssysteme, wenn nicht sogar die Arbeitssysteme und die Lager, als Subjekte verstanden werden müssen.⁵⁹

In dem Beispiel versucht *Arbeitssystem 2*, wegen des *Kanbans der Variante B* auf dem ersten Feld seiner Kanban-Tafel, *Variante B* aus dem Zwischenlager zu entnehmen. Da *Variante B* aber nicht im Zwischenlager verfügbar ist, entnimmt *Arbeitssystem 2* stattdessen *Variante C*, aufgrund des *Kanbans der Variante C* auf dem zweiten Feld der zugehörigen Kanban-Tafel. Diese Entnahme stößt wiederum zwei neue Prozesse an. Einerseits wird das *Kanban der Variante C* an *Arbeitssystem 1* übermittelt und löst damit einen neuen Fertigungsauftrag aus, andererseits startet *Arbeitssystem 2* den mit dem *Kanban der Variante C* verbundenen Fertigungsauftrag. Parallel zu diesen Vorgängen wird in *Arbeitssystem 1* ein Fertigungsauftrag der

⁵⁹ Im Rahmen des in Abschnitt 4.2.1 vorgestellten Modells der Kanban-Steuerung sind sowohl das Lager als auch die Fertigungsinseln als Subjekte dargestellt. Es ist aber auch möglich das Lager nur als Objekt zu betrachten und die Auftragserzeugung als Teil des Subjektverhaltens der Fertigungsinseln zu beschreiben.

Variante B bearbeitet. Es ist also deutlich erkennbar, dass dem abgebildeten Beispielprozess ein subjektorientiertes Prozessverständnis zugrunde liegen muss.



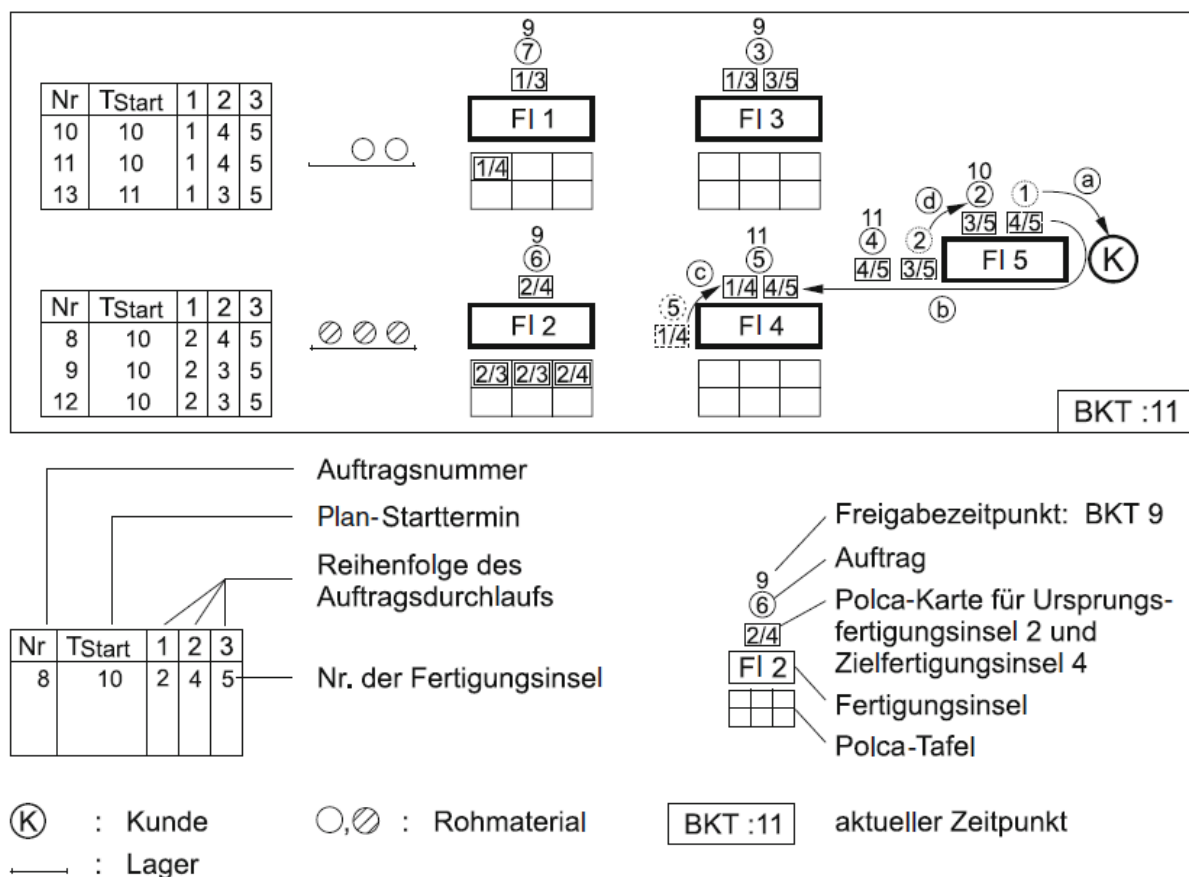
10.865B

Abbildung 38. Beispiel für die Funktionsweise der Kanban-Steuerung (Lödding 2016, S. 218).

Bei einer Auftragsfreigabe nach den Prinzipien der Polca-Steuerung geht es sogar so weit, dass die Betrachtung eines Polca-Prozesses nach reiner Input-Task-Output-Logik nicht die Vorteile dieses Verfahrens direkt beschreiben kann. Diese Darstellungsschwierigkeiten sind eng damit verknüpft, dass nach den Verfahrensregeln der Polca-Steuerung jeder Auftrag die verschiedenen Fertigungsinseln linear durchläuft, während die Polca-Karten nur in ihrem eigenen Regelkreis weitergegeben werden und damit einem zyklischen Prozessablauf unterliegen. In einer prozeduralen Denkweise bilden alle bearbeitbaren Aufträge mit Polca-Karte im Puffer und alle freien Polca-Karten die möglichen Inputs. Der Task selbst ist die Auftragsfreigabe nach den Verfahrensregeln, also die Auswahl zueinander passender Inputs unter Berücksichtigung des Auftragsfreigabezeitpunktes. Der Output ist der Auftrag mit beiden Polca-Karten, der sodann bearbeitet werden kann. Dies ist auch der Input des darauffolgenden Fertigungsprozesses. Der Output sind die nun wieder freie Polca-Karte der vorgelagerten Fertigungsinsel und der Auftrag mit Polca-Karte, der an die nachgelagerte Fertigungsinsel weitergegeben wird. Damit können jeweils neue Auftragsfreigabeprozesse an den benachbarten Fertigungsinseln ausgelöst werden.

Diese Beschreibung stellt den Prozess der Polca-Steuerung zwar fehlerfrei dar, kann aber nicht vermitteln, dass der Vorteil der Anwendung dieses Vorgehens darin begründet liegt, dass mehrere dieser Freigabeprozesse unabhängig voneinander in unterschiedlichen Tätigkeitsbereichen ablaufen. Erst durch das Bewusstsein, dass mindestens eine andere Fertigungsinsel der gleichen Zielfertigungsinsel vorgelagert ist und die Auftragsfreigaben an diesen zwei parallelen Fertigungsinseln sich indirekt beeinflussen, wird das Potential der Polca-Steuerung verdeutlicht.

Diese Information wird z.B. durch eine Betrachtung wie in Abbildung 39 vermittelt. Hieraus wird ersichtlich, dass in unterschiedlichen Tätigkeitsbereichen parallel und unabhängig voneinander solche Auftragsfreigabeprozesse ablaufen.



IFA 10.798B

Abbildung 39. Beispiel für die Funktionsweise der Polca-Steuerung (Lödding 2016, S. 471).

In diesem Beispiel konnte an *Fertigungsinsel 4* bis zur Fertigstellung von *Auftrag 1* an *Fertigungsinsel 5* nicht mit der Bearbeitung von *Auftrag 5* begonnen wer-

den, weil keine freie Polca-Karte zur Verfügung stand. Vorausgesetzt, dass die Bearbeitung von *Auftrag 2* und *Auftrag 4* an *Fertigungsinsel 5* zusammen länger dauert als die Bearbeitung von *Auftrag 5* an *Fertigungsinsel 4*, wird es wieder zu einem Leerlauf von *Fertigungsinsel 4* nach Ende der Bearbeitung von *Auftrag 5* kommen. Dass dieser Leerlauf an *Fertigungsinsel 4* durch die vorherige Auftragsfreigabe von *Auftrag 2* an *Fertigungsinsel 3* bedingt wurde, wird in einer Input-Task-Output-Betrachtung aber nicht dargestellt. Die Entwicklung eines Fertigungssteuerungsverfahrens wie der Polca-Steuerung setzt also ein subjektorientiertes Prozessverständnis heraus.⁶⁰

5.4.3 Subjektorientierung im Aachener PPS-Modell

Ein etwas anderes Bild ergibt sich bei der Untersuchung des Aachener PPS-Modells auf eine subjektorientierte Art der Prozessbeschreibung. Die verschiedenen PPS-Aktivitäten der Aufgabensicht werden beim Aachener PPS-Modell zu idealtypischen Referenzprozessmodellen verknüpft und in der Prozesssicht abgebildet. Die Beschreibung dieser Prozesse wird bei Schuh wie folgt dargestellt:

Die dargestellten Prozessschritte werden in der durch den Prozess dokumentierten Folge am Planungsobjekt Auftrag oder einer Menge von Aufträgen durchgeführt. Dabei werden die Prozessobjekte als Eingangsgrößen entsprechend einer definierten Vorschrift durch die Prozesssubjekte derart transformiert, dass das gewünschte Prozessergebnis erreicht wird. Neben der zeitlich-logischen Reihenfolge werden die Schnittstellen zu den vor- und

⁶⁰ Das Verfahren der *Dezentralen Bestandsorientierten Fertigungsregelung (DBF)* ist ein weiteres Beispiel für ein Verfahren, für dessen Entwicklung ein subjektorientiertes Prozessverständnis nötig war. Der Unterschied zur Polca-Steuerung ist, dass bei der DBF die Kommunikation mit der nachfolgenden Fertigungsinsel (Arbeitssystem) nicht über Karten-Regelkreise implementiert ist und alle Aufträge im Bestand der Zielfertigungsinsel für die Auftragsfreigabe berücksichtigt werden. Dadurch ist es möglich, dass eine Fertigungsinsel komplett blockiert ist, ohne dass an der ihr nachfolgenden Fertigungsinsel auch nur ein Auftrag im Bestand ist, der von der nun blockierten Fertigungsinsel ausgegangen ist. Nach reiner Input-Task-Output-Logik müsste aufgrund dieser Beobachtung die Auftragsfreigabe nach DBF-Verfahrensregeln als ungeeignet für die blockierte Fertigungsinsel betrachtet werden. Aus subjektorientierter Anschauung kann eine solche Art der Fertigungssteuerung aber sehr sinnvoll sein. Die Verfahrensregeln und weitere Informationen zu DBF finden sich in Lödning 2016.

nachgelagerten Prozessen bzw. zu unternehmensexternen Partnern definiert. Die Referenzprozesse werden auf der Basis von DIN 66001 dokumentiert. (Schuh 2007, S. 23)

Im ersten Satz folgt der Gedankengang noch einer klaren Input-Task-Output-Logik. So werden Einzelaufgaben zu einer Prozesskette verbunden. Der zweite Satz differenziert aber schon deutlich zwischen der Aktivität, dem Prozessobjekt, und dem Prozesssubjekt. Die Passivformulierung stellt dabei aber das Prozessobjekt in den Mittelpunkt der Betrachtung. Nichtsdestotrotz werden im Aachener PPS-Modell also bewusst die ausführenden Subjekte von Prozessen beschrieben. Das bedeutet, dass die so erstellten Modelle explizit subjektorientiert sind.⁶¹ Der nächste Satz beschreibt einen Aufbau, der sehr gut durch PASS abgebildet werden kann. Die hier als *Prozess* bezeichneten Arbeitsbereiche stellen dabei die Subjekte dar. In dem SID werden die Schnittstellen zwischen diesen Subjekten definiert. Der Ablauf der Einzelaktivitäten wird in den zugehörigen SBDs festgehalten. Der Verweis auf unternehmensexterne Partner ruft eine sofortige Assoziation mit Interface-Subjekten hervor. Zuletzt wird in dem obigen Zitat aber herausgestellt, dass diese Prozesse mit Programmablaufplänen nach DIN 66001 modelliert werden sollen. Es wird jedoch nie (auch an keiner anderen Stelle in dem Buch) dargelegt, welche Gründe für die Verwendung dieser Modellierungsweise sprechen.

Es kann somit davon ausgegangen werden, dass der Auswahl der Prozessbeschreibungssprache wenig Bedeutung beigemessen wurde und eine arbiträre Entscheidung zur Auswahl dieser Modellierungsform geführt hat. Wenn man jedoch auf Basis der Konzeption der Prozessmodelle die Anforderungen an die Art der Prozessbeschreibung sorgfältig analysieren würde, könnte sicherlich festgestellt werden, dass viele Gründe für die Nutzung einer subjektorientierten Sprache, also PASS, sprechen würden. Beispiele dafür sind die Kombination aus sequenziell und parallel durchzuführenden Aktionen, das Vorhandensein linearer und zyklischer Vorgänge im

⁶¹ Es bedeutet jedoch nicht, dass sie *vollständig* dem Modellierungsparadigma der Subjektorientierung unterliegen.

selben Modell, und die Beschäftigung mit dem Konzept des Subjektträgers im Rahmen der Prozessarchitektursicht.⁶²

Auch in der Umsetzung der Modelle als Flowcharts kann der subjektorientierte Ansatz erkannt werden. Ein Beispiel dafür ist die schematische Darstellung in Abbildung 40. Diese schematische Darstellung verweist explizit auf alle Subjekte des beschriebenen Prozesses. Dabei ist das Subjektverhalten aber nicht getrennt von der Subjektinteraktion dargestellt, wie das bei PASS der Fall ist. Die abgebildeten Subjekte sind die *Produktionsprogrammplanung*, die *Produktionsbedarfsplanung*, die *Eigenfertigungsplanung und -steuerung*, die *Fremdbezugsplanung und -steuerung*, das *Bestandsmanagement (6x)*, und das *Auftragsmanagement (2x)*. Alle diese Subjekte sind mit einem grauen Kasten hinterlegt, in dem das zugehörige Subjektverhalten dargestellt wird.⁶³ Die Sechsecke in dem Schaubild stellen Platzhalter, vergleichbar mit Interface-Subjekten, für die Übergänge zu den Netzwerksubjekten dar. Auch die Grenzstellen⁶⁴ in dem Programmablaufplan entsprechen in PASS Interface-Subjekten. Diese Grenzstellen in dem Diagramm stehen für *Markt*, *Fertigung*, und *Lieferant*. Alle Verbindungslinien zwischen den grauen Kästen (Subjekten), den Sechsecken (Netzwerk-/Interface-Subjekte), und den Grenzstellen (Interface-Subjekte) entsprechen Nachrichten in einem SID. Es ist somit unschwer zu erkennen, dass eine direkte Übersetzung des abgebildeten Beispielreferenzprozesses in ein formal subjektorientiertes PASS-Modell problemlos möglich ist.

Demnach wird klar, dass die subjektorientierte Modellierung im Sinne der ursprünglichen Ersteller des Aachener PPS-Modells ist. Im folgenden Abschnitt 5.5 werden Aspekte angesprochen, die auch in Bezug auf die Ableitung eines unternehmensspezifischen PPS-Prozessmodells aus den Referenzprozessen Bedeutung ha-

⁶² In der Prozessarchitektursicht wird festgehalten, welches Unternehmen die Ausführung (Subjektträger) von welchen Tätigkeitsbereichen (Subjekten) im Kontext der Netzwerkaufgaben übernimmt.

⁶³ Abbildung 40 ist das Subjektverhalten nur schematisch zu entnehmen. In der ausführlichen Beschreibung bei Schuh sind einzelne, höheraufgelöste Abbildungen für alle Subjekte der PPS-Kernaufgaben beigefügt. In diesen Abbildungen wird das Subjektverhalten vergleichbar mit den SBDs in Abschnitt 4.1 dargestellt.

⁶⁴ Das Symbol für eine Grenzstelle in einem Programmablaufplan ist das Rechteck mit den aufgesetzten Halbkreisen an den beiden kurzen Seiten.

ben. In Abschnitt 5.6 wird in Bezug auf die Funktionssicht des Aachener PPS-Modells auch dargestellt, welchen Vorteil eine formal subjektorientierte Beschreibung für die Gestaltung von IT-Systemen hätte.

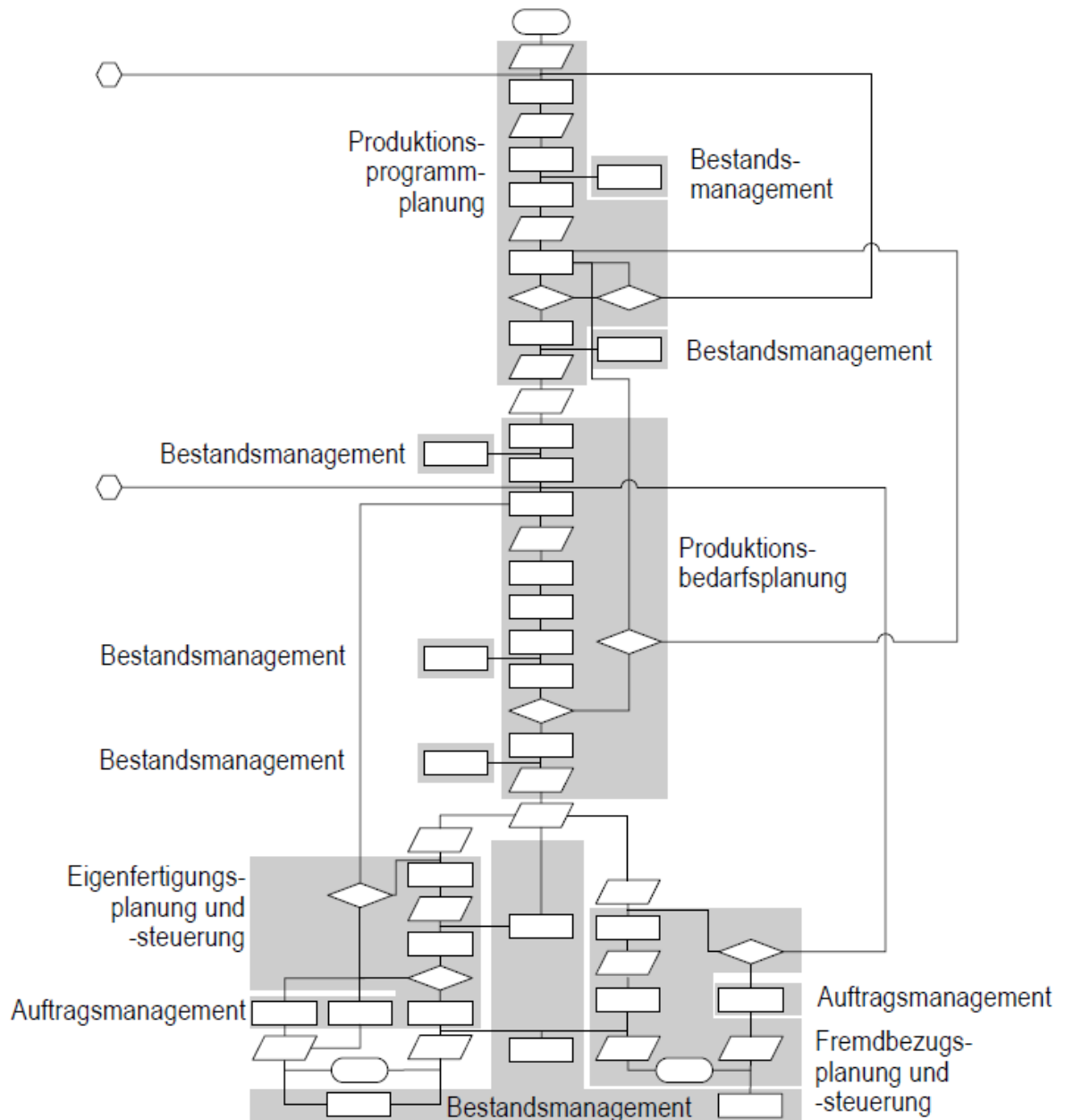


Abbildung 40. Schematischer Programmablaufplan der PPS-Prozesse des Lagerfertigers (Schuh 2007, S. 183).

5.4.4 Synthese subjektorientierten Denkens in der Produktionsplanung

Es ist zusammenfassend festzuhalten, dass im Kontext der Wertstrommethode und der Beschreibung von Fertigungssteuerungsverfahren oft unbewusst informell subjektorientierte Darstellungs- und Modellierungsformen genutzt werden. Es gibt überdies Fertigungssteuerungsverfahren, wie z.B. die Polca-Steuerung, die nur mithilfe eines subjektorientierten Prozessverständnisses entwickelt werden konnten. Das Aachener PPS-Modell ist sogar bewusst subjektorientiert gestaltet worden. Aus irgendeinem, vermutlich arbiträren, Grund wurde aber die Entscheidung getroffen keine formale Modellierungsmethode zu nutzen, sondern die Referenzprozesse nur informell subjektorientiert darzustellen.

Die gedanklichen Konzepte im Bereich der Produktionsplanung sind also schon oft von vornherein subjektorientiert. Deswegen ist davon auszugehen, dass durch eine bewusste Entscheidung für das Modellierungsparadigma der Subjektorientierung bessere Prozessmodelle erstellt werden können. Dabei können die strukturellen Anforderungen der subjektorientierten Prozessbeschreibungssprache PASS helfen diese gedanklichen Konzepte auszudrücken und dadurch formal ausführbare Prozessmodelle zu erstellen. Auch dann, wenn sich gegen PASS entschieden wird, ist es sinnvoll sich der subjektorientierten Struktur der eigenen Modelle im Klaren zu sein.

Die in diesem Abschnitt vorgestellten Ergebnisse unterstützen die eingangs zitierte Hypothese von Elstermann. Des Weiteren wird Hypothese 4 auf dieser Basis als vorläufig bestätigt angesehen.

5.5 Hypothese 5: Wissensmanagement

Hypothese 5:

Subjektorientierte Prozessbeschreibung im Rahmen der Produktionsplanung ist besonders geeignet, um das betriebliche Wissensmanagement zu unterstützen.

Um diese These bewerten zu können, muss als erstes betrachtet werden, was Wissensmanagement eigentlich bedeutet. Das Gabler Wirtschaftslexikon bietet dazu folgende Definition: „Wissensmanagement beschäftigt sich mit dem Erwerb, der Entwicklung, dem Transfer, der Speicherung sowie der Nutzung von Wissen.“ (Gabler Wirtschaftslexikon) Diese Managementfunktion beinhaltet also an erster Stelle die Erhebung von Wissen, geht aber auch noch weit darüber hinaus. Stary et al. beschreiben das wie folgt:

Durch eine Wissenserhebung wird vorhandenes, aber implizites Wissen auf organisationaler Ebene wirksam gemacht. Wissen, das oft schwer artikulierbar ist, wird erhoben (expliziert). [...] Erhobenes bzw. explizites Wissen sollte in Organisationen unmittelbar und effektiv für alle Mitarbeiter dargestellt werden (können), damit dieses in der Organisation klar erfasst und weitergegeben werden kann und aufbauend darauf weitere Handlungen gesetzt werden können. (Stary et al. 2013, S. 2–3)

Das Wissensmanagement umfasst also zwei Kernelemente. Das sind einerseits die Wissensaufnahme und Speicherung des explizierten Wissens und andererseits die Nutzung und Weitergabe des zuvor nutzbar gemachten Wissens. Die Betrachtung der diesem Abschnitt zugrundeliegenden Hypothese gliedert sich deswegen auch gleichermaßen in diese zwei Bereiche.⁶⁵

⁶⁵ Das Wissensmanagement an sich geht weit über die reine Dokumentation von Daten und Informationen hinaus, trotzdem ist auch dies Bestandteil der Gesamtaufgabe. In den folgenden Abschnitten soll aber nur das Wissen einer Organisation über die Abläufe von Prozessen im Mittelpunkt stehen, wie es im Kontext von S-BPM üblich ist. Fleischmann et al. 2011

Es ist auch denkbar, dass durch subjektorientierte Prozessbeschreibung der Wissensmanagementprozesse selbst Vorteile für die Durchführung dieser Funktion erreicht werden können. Dies ist aber ein Ansatz, für den eine deutliche weitreichendere Betrachtung notwendig ist, als im Rahmen dieses Abschnitts möglich wäre.

5.5.1 Wissensaufnahme

Im Kontext der Wissensaufnahme können zwei Anwendungsgebiete für subjektorientierte Prozessbeschreibung unterschieden werden. Einerseits ist das die Erhebung von schon vorhandenem explizitem Wissen in einer anderen (subjektorientierten) Dokumentationsform. Und andererseits bildet die Neugewinnung von nur implizit vorhandenem Wissen, beziehungsweise die erstmalige Verknüpfung von Informationen zu neuartigem Wissen das zweite Anwendungsgebiet (Fleischmann et al. 2011).

Es sind unterschiedliche Gründe dafür denkbar, dass eine Neuerfassung von schon explizit vorhandenem Wissen durchgeführt wird. Unabhängig von diesen Beweggründen der Dokumentation bietet Subjektorientierung, und dabei in erster Linie PASS, gute Argumente dafür eingesetzt zu werden. Zunächst ist PASS turingvollständig und kann deswegen für die Beschreibung eines jeden Prozesses eingesetzt werden. Das Ergebnis ist eine einheitliche Beschreibung aller Abläufe mit nur einer einzigen Modellierungsmethode. Des Weiteren ist es mit PASS möglich Prozesse formal abzubilden, so dass diese Beschreibung auch maschinenlesbar ist. Außerdem kann mit PASS eine graphische Repräsentation des Wissens erzeugt werden, die gegebenenfalls einer rein textlichen Beschreibung vorzuziehen ist.

Die bis hierhin beschriebenen Aspekte spielen natürlich auch für die zweite Art der Wissensaufnahme, das Explizieren von zuvor implizitem Wissen, eine Rolle. In diesem Zusammenhang können aber noch weitere Argumente für eine subjektorientierte Prozessbeschreibung gesammelt werden. Grundsätzlich ist dabei zunächst die Möglichkeit zu nennen, dass der Gesamtprozess verteilt beschrieben wird. Dies wird dadurch unterstützt, dass, wenn der Subjektzuschnitt initial festgelegt wurde, stets das Verhalten der Subjekte unabhängig modelliert werden kann. Dies ist besonders hilfreich, wenn viele verschiedene Stakeholder an einem Prozess teilhaben. So ist es nicht nötig, wie sonst üblich, alle Beteiligten an einem Prozess zu versammeln, um diesen aufzunehmen. Elstermann stellt in diesem Zusammenhang die Hypothese auf, dass der Einsatz von Subjektorientierung in Bezug auf Ressourcennutzung und Zeiteffizienz vorteilhaft ist, wenn diese Methode der *process exploration* eingesetzt wird (Elstermann 2020).

5.5.2 Wissensweitergabe

Der bedeutendste Grund, der dafür spricht Wissen über subjektorientierte Prozessmodelle zu vermitteln, ist, dass diese oft intuitiv verständlich sind. Dies hängt eng damit zusammen, dass der Aufbau subjektorientierter Modelle dem gängigen Aufbau natürlicher Sprachen folgt. Darüber hinaus werden auch die fünf W-Fragen in ihrer klassischen Reihenfolge beantwortet (Elstermann 2020). Das alles wird noch dadurch unterstützt, dass PASS prinzipiell nur aus fünf Elementen besteht und dadurch keine langwierige Einarbeitung in die Semantik notwendig ist. Trotzdem ist es möglich alle Prozessmodelle subjektorientiert zu gestalten und dadurch nur mit einer Darstellungsform zu arbeiten.

Des Weiteren wird durch subjektorientierte Modellierung die Kommunikation zwischen Subjekten übersichtlich (im SID) dargestellt. Dadurch ist die Interaktion verschiedener Tätigkeitsbereiche explizit und auf den ersten Blick verständlich gegeben. Infolgedessen, dass die SBDs in PASS einzeln dargestellt werden, ist es für das Erlernen der eigenen Aufgaben nicht nötig den kompletten Prozessablauf zu betrachten. Es reicht aus sich auf die eigenen Aufgaben zu fokussieren und je nach Anforderung oder Interesse nach und nach die restlichen Aspekte kennenzulernen.

5.5.3 Wissensmanagement in der Produktionsplanung

Im Kontext der Produktionsplanung wird auf Grund von aktuellen Trends das Wissensmanagement an Bedeutung gewinnen. Zum einen fließt durch den demografischen Wandel mit dem Ausscheiden der älteren Mitarbeiter aus dem Unternehmen viel, vor allem implizites, Wissen ab. Zum anderen ist im Kontext von Job-Rotation, Job-Enrichment und Job-Enlargement eine fortlaufende Wissensweitergabe für die neuen Aufgabenbereiche auch nach einer ersten Einarbeitungsphase nötig. Hinzu kommt, dass komplexere Produkte und höhere Anforderungen an Qualität und Individualisierungsgrad auch komplexere Prozesse im Unternehmen selbst verursachen.

Bei der Betrachtung von Produktionsplanungsprozessen wird schnell deutlich, dass viele unterschiedliche Stakeholder daran beteiligt sind. So sind neben der ei-

gentlichen Produktionsplanungsabteilung selbst zumindest auch Fertigung, Konstruktion und Vertrieb in die Prozesse mit einzubinden.⁶⁶

Gerade diese komplexe Ausgangslage mit vielen unterschiedlichen Beteiligten spricht für eine subjektorientierte Prozessbeschreibung. Dies hängt damit zusammen, dass viele Schwächen der Subjektorientierung damit verbunden sind, dass unabhängig von der Komplexität des Gesamtmodells sowohl das SID als auch die zugehörigen SBDs zu modellieren sind. Bei sehr einfachen Prozessen erfordert das, verglichen z.B. mit einer prozeduralen Beschreibung, deutlich mehr Aufwand (sowohl beim Erstellen als auch beim Lesen). Bei komplexen und vernetzten Prozessen mit potenziell vielen Subjekten hingegen können die Vorteile der Subjektorientierung voll ausgenutzt werden. Insbesondere die Gliederung in einzelne Bestandteile durch die Aufteilung der Abläufe auf einzelne Subjekte begünstigt dabei die Verständlichkeit.

Insbesondere bei KMUs sind die Bestrebungen im Kontext des Wissensmanagements oft nicht sehr weit fortgeschritten. Das Wissen um viele Abläufe ist nur impliziter Natur und stark von einigen Schlüsselfiguren in der Belegschaft abhängig. Gerade bei dieser Ausgangslage bieten Tätigkeiten des Wissensmanagements großes Potential. Mit der subjektorientierten Prozessbeschreibung steht dafür kostengünstig ein sehr mächtiges und vielfältig einsetzbares Werkzeug zur Verfügung. Durch ein konsequentes Wissensmanagement können aber auch Probleme in aktuellen Strukturen und Abläufen aufgedeckt werden und damit direkt darin Verbesserungen für die gesamtunternehmerische Tätigkeit erwachsen. Ein subjektorientiertes Wissensmanagement ist damit guter Ausgangspunkt für den Übergang zu einem noch weiterführenden S-BPM-Ansatz.

Auf Basis der Ausführungen in diesem Abschnitt wird Hypothese 5 als vorläufig bestätigt angesehen.

⁶⁶ Durch eine zunehmende Kundenorientierung und eine steigende Vernetzung entlang der Wertschöpfungskette müssen auch immer häufiger Lieferanten und Kunden in die Produktionsprozesse mit eingebunden werden. Zudem steigt aber auch der Grad der Integration der indirekten Bereiche des Unternehmens in diese Prozesse an.

5.6 Hypothese 6: Funktionsableitung

Hypothese 6:

Subjektorientierte Prozessbeschreibung im Rahmen der Produktionsplanung ist besonders geeignet, um die Gestaltung von Funktionen der innerbetrieblichen IT-Systeme zu unterstützen.

Zunächst kann festgestellt werden, dass nur explizites Wissen auch in Funktionen eines IT-Systems übersetzt werden kann. Aus diesem Grund sprechen die in Abschnitt 5.5 angefügten Gründe auch für die Bestätigung von Hypothese 6. In diesem Abschnitt wird nun aber diskutiert, in welcher Weise subjektorientierte Prozessbeschreibung über die Unterstützung des Wissensmanagements hinaus die Gestaltung von IT-Funktionen befördern kann.

Grundlegend ist hierbei zunächst auf die Vorteile von PASS zu verweisen. In diesem Kontext ist dabei an erster Stelle die Formalität zu nennen. Dieser Umstand allein ermöglicht die Nutzung eines Workflow Engines und automatisiert dadurch einen großen Teil des sonst nötigen Programmieraufwands. Darüber hinaus besitzt PASS eine große Ausdrucksmächtigkeit, die unter anderem in den unterschiedlichen Abstraktionsmechanismen liegt. Außerdem ist es gut möglich mit PASS parallel und dezentralisiert Prozessmodelle zu gestalten, weil diese nur über definierten Nachrichtenaustausch miteinander verbunden sind. Dies sind nur einige der vorrangigen Gründe, warum PASS und damit Subjektorientierung eine besondere Eignung für die Gestaltung von Funktionen für IT-Systemen besitzt.

Neben dieser allgemeinen Eignung der Subjektorientierung zur Unterstützung der Funktionsableitung gibt es auch für die Produktionsplanung spezifische Gründe. Diese sollen hier in Anlehnung an die Funktionssicht des Aachener PPS-Modells erläutert werden. In der Funktionsreferenzsicht werden die verschiedenen Funktionen von IT-Systemen beschrieben, die mit den PPS-Aktivitäten in Verbindung stehen. Diese Funktionen können dabei in unterschiedlichen IT-Systemen realisiert sein. Je nach Unternehmen können diese verschiedene Funktionen zum Beispiel von CAD-, CAM-, CAP-, PDM-, MES-, PPS-, ERP-, SCM-, oder CRM-Systemen bereitgestellt

werden.⁶⁷ Allein aus dieser Fülle unterschiedlicher Systeme und der vielfältigen PPS-Aufgaben ergibt sich ein komplexes Netzwerk an Funktionen, die im Rahmen der Unterstützung des PPS-Prozesses zum Einsatz kommen. Einige dieser IT-Funktionen können dabei Teilaufgaben der PPS vollständig übernehmen. Eine formelle Beschreibung der betriebsinternen PPS-Prozesse kann verdeutlichen, an welcher Stelle welche Funktionen aus welchen Systemen eingesetzt werden. Darüber hinaus ermöglicht die Formalität die Unterstützung des Anwenders durch einen ausführbaren Workflow. Durch eine subjektorientierte Beschreibung von Funktionen selbst, können die Anforderungen an diese und die Verknüpfung mit der restlichen IT-Infrastruktur dargestellt werden. Das ermöglicht die Anpassung der IT-Systemlandschaft und der darin bereitgestellten Standardfunktionen auf das eigene Unternehmen. Dies könnte beispielsweise dafür eingesetzt werden eine Funktion zu gestalten, die Bestelldaten aus dem ERP-System abrufen und automatisch mit Stücklisten aus dem CAD-System abgleicht, um einen Beschaffungsprogrammorschlag zu erstellen. Gerade im Kontext von KMUs ist dies sinnvoll, da eine vollständige Integration der historisch gewachsenen IT-Infrastruktur hier nur selten gegeben ist. Ein korrektes formelles Verständnis der gewünschten Funktionalität ist notwendiger Ausgangspunkt für die Gestaltung einer tatsächlich nützlichen Funktion.

Abschließend kann noch ein weiterer Gedanke angeführt werden, der potenziell für den Einsatz der Subjektorientierung bei der Gestaltung von IT-Systemen im Kontext der Produktionsplanung spricht. Wie im vorangehenden Absatz beschrieben, bildet die IT-Infrastruktur der PPS ein komplexes System an miteinander verbundenen Prozessen. Ein aktuelles Forschungsfeld im Themenfeld der Subjektorientierung ist die Erweiterung von standardmäßigem PASS zu *Abstract Layered PASS (ALPS)*. Elstermann und Fleischmann haben in 2019 vorgestellt, wie diese Weiterentwicklung dazu genutzt werden kann komplexe Prozesssysteme auf unterschiedlichen Hierarchieebenen subjektorientiert zu beschreiben (Elstermann und Fleischmann 2019). Es

⁶⁷ **C**omputer **A**ided **D**esign, **C**omputer **A**ided **M**anufacturing, **C**omputer **A**ided **P**roduction Planning, **P**roduct **D**ata **M**anagement, **M**anufacturing **E**xecution **S**ystem, **P**roduktionsplanung und -steuerung, **E**nterprise **R**esource **P**lanning, **S**upply **C**hain **M**anagement, **C**ustomer **R**elationship **M**anagement.

ist denkbar diesen Ansatz der Nutzung von ALPS auf das komplexe Zusammenspiel der IT-Systeme und Funktionen im Kontext der PPS zu übertragen.

Auf Basis der Ausführungen in diesem Abschnitt wird Hypothese 6 als vorläufig bestätigt angesehen.

5.7 Hypothese 7: Industrie 4.0

Hypothese 7:

Subjektorientierte Prozessbeschreibung im Rahmen der Produktionsplanung ist besonders geeignet, um mit Chancen und Risiken von Industrie 4.0 umzugehen.

In diesem Abschnitt wird die Subjektorientierung im Kontext von Industrie 4.0 betrachtet. Dazu werden zunächst, entlang der in den theoretischen Grundlagen vorgestellten zentralen Paradigmen von Industrie 4.0 (vergleiche Abschnitt 2.2.2), die möglichen Einsatzgebiete des subjektorientierten Modellierungsparadigmas erörtert. Im Zuge dessen werden einige der im Kontext der anderen Hypothesen betrachteten Thematiken auch bezüglich der Industrie 4.0 eingeordnet. Die zuerst recht allgemeine Betrachtung wird dann jeweils für den Bereich der Produktionsplanung konkretisiert. Anschließend werden in Abschnitt 5.7.5 Bezugspunkte der vorgestellten Industrie 4.0-Modelle mit der Subjektorientierung betrachtet. Zum Abschluss wird die Eignung von Subjektorientierung für Industrie 4.0 festgestellt.

5.7.1 Vollständige Integration

Die vollständige Integration im Kontext der Industrie 4.0 umfasst drei Dimensionen. Die zwei Dimensionen, die klassischerweise als erstes Paradigma betrachtet werden, sind die horizontale und die vertikale Integration. Als dritte Dimension kann die vollständige Integration über den gesamten Produktlebenszyklus hinweg angesehen werden, was einer Art zeitlichen Komponente entspricht.⁶⁸

Der beschriebene Ansatz zum subjektorientierten Wertstromdesign kann eine Möglichkeit sein die horizontale Integration zu unterstützen. Darüber hinaus ist aber die Einbindung des gesamten Produktionsnetzwerks in unternehmensinterne PPS-Prozesse eine Voraussetzung der vollständigen horizontalen Integration.

Im Zuge der vertikalen Integration kann die Subjektorientierung dazu genutzt werden die Schnittstellen der verschiedenen Geschäftsbereiche und der unternehmenseigenen IT-Systeme zu modellieren. Dadurch wird begreifbar gemacht, an wel-

⁶⁸ Die vollständige Integration des Produktlebenszyklus wird zum Beispiel im RAMI 4.0 betrachtet.

cher Stelle welche Funktion des neuen Netzwerks an Diensten ansetzt und wie diese ineinandergreifen. Für eine vollständige Integration müssen in diesem Kontext aber auch zumindest die Schnittstellen von IT-Systemlandschaften in horizontaler Richtung, also zu Lieferanten und Kunden, definiert werden.

Die vollständige Integration über den Produktlebenszyklus bedeutet, dass diese Integration in horizontaler und vertikaler Richtung aber nicht auf die Produktion von Gütern beschränkt ist. Schon ab der ersten Idee für ein Produkt bis hin zum Recycling werden verschiedene innerbetriebliche Geschäftsbereiche, aber auch Kunden und Lieferanten, miteinbezogen. So können beispielsweise von der Fertigung Daten zu den produzierten Gütern an die Entwicklungsabteilung zurückgemeldet werden. Auch denkbar ist zum Beispiel teilespezifische Qualitätsinformationen an den Kunden weiterzuleiten. Eine weitere Möglichkeit ist, dass Laufzeitinformationen der eingesetzten Maschinen und Anlagen an ihre Hersteller gemeldet werden, um diesen wiederum Optimierungspotentiale aufzuzeigen.

Zur Unterstützung dieser multidimensionalen Verbindungen unterschiedlicher Stakeholder gibt es den Vorschlag die Geschäftssicht von RAMI 4.0 über einen subjektorientierten Standard zu gestalten. Dies bietet großes Potential, da wie beschrieben in Industrie 4.0-Zusammenhängen viele unterschiedliche Subjekte interagieren und noch keine Norm für diesen Bereich in Aussicht ist. Ein besonderer Vorteil besteht dabei auch darin, dass durch den Aufbau von PASS nicht jedem Stakeholder eines Prozesses alle Informationen und Abläufe zugänglich gemacht werden müssen. Es ist lediglich nötig die Interaktion im SID festzuschreiben. Einzelne SBDs müssen nicht offengelegt werden. Sie können so zur einfacheren Wahrung von unternehmerischen Interessen oder Betriebsgeheimnissen nur intern entwickelt werden.

5.7.2 Dezentralität

Die Paradigmen der dezentralen Intelligenz und dezentralen Steuerung werden hier gemeinsam diskutiert. Grundsätzlich passt das Grundkonzept der Dezentralität sehr gut mit dem Modellierungsparadigma der Subjektorientierung zusammen. So kann auf Basis von IoTS die Ausführung jedes Subjektes einzeln auf einem eigenen Prozessor, verteilt über das gesamte Produktionssystem, stattfinden. Dies ermöglicht

damit die parallele Ausführung verschiedener Teile eines Gesamtprozesses, ohne dass dies durch eine darauf fokussierte Programmierung oder eine Verteilung der Prozessschritte durch eine zentrale Instanz nötig ist. Außerdem können in diesem Zusammenhang viele der verteilten Instanzen eines Prozesses als Multi-Subjekt beschrieben werden und so Programmieraufwand eingespart werden.

Im Rahmen der Produktionsplanung kann dies in verschiedenen Bereichen genutzt werden. So ist es z.B. denkbar viele Planungsvorgänge, insbesondere Durchlaufterminierung, Feinterminierung und Kapazitätsplanung, durch dezentral gesammelte Informationen zu unterstützen oder sogar komplett dezentral verteilt durchzuführen. Zudem bietet Dezentralität ein großes Potential für eine echtzeitfähige Steuerung von Produktionsprozessen. Beispielsweise können Bestellprozesse von verbrauchsorientiert bezogenen Teilen in den Lagern selbst automatisch ausgelöst werden. Eine weitere Anwendungsmöglichkeit ist eine dezentrale Reihenfolgebildung, die zur Zusammenfassung von Losen oder Reduktion von Rüstzeiten genutzt werden kann.

5.7.3 Durchgängiges digitales Engineering

Eine PASS-Prozessbeschreibung der digitalen Fabrik ist der erste Schritt hin zum durchgängigen digitalen und subjektorientierten Engineering. Insbesondere durch die klare Definition von Schnittstellen der verschiedenen IT-Systeme und der auszutauschenden Geschäftsobjekte wird dieses Bestreben vorangetrieben. Im Kontext der virtuellen Fabrik kann dann die automatische Ausführbarkeit subjektorientierter Modelle genutzt werden. Im Zuge des durchgängigen Datenmanagements ist es möglich subjektorientierte Modelle zur Definition der Prozesse zur Speicherung und Pflege von Daten zu nutzen.

Ein exemplarischer Einsatz dieser Technologie für die Produktionsplanung ist die direkte Ermittlung von Sekundärbedarfen aus dem Primärbedarf mittels der in CAD-Dateien hinterlegten Stücklisten. Eine andere Möglichkeit ist die Unterstützung der Durchlaufterminierung durch Zeitvorgaben, die mittels CAM-Systemen erstellt wurden, und direkt in ein MES- oder PPS-System überspielt werden.

5.7.4 Cyberphisches Produktionssystem

Subjektorientierung hat keinen direkten Beitrag zur Erstellung von CPS. Es ist aber gut denkbar, dass ein CPPS dadurch erstellt wird, dass es subjektorientiert beschrieben wird und die einzelnen Subjekte dann durch CPS instanziiert werden. Das IoTS ist eine der grundlegenden Technologie für CPPS. Diese Technologie von IoTS allein bietet schon die Möglichkeit subjektorientiert beschriebene Systeme zu implementieren (Fleischmann 2018). Es ist somit denkbar mit Hilfe dieser Technologie und subjektorientierter Prozessbeschreibung eine echtzeitfähige PPS umzusetzen.

Die Einsatzmöglichkeiten dieser echtzeitfähigen PPS für die Produktionsplanung sind sehr weitreichend. Ein sehr eindrückliches Beispiel einer Einsatzmöglichkeit ist das automatische Routing von Fertigungsaufträgen in einer agilen Fabrik.⁶⁹ Fahrerlose Transportsysteme bestimmen in Abhängigkeit von der aktuellen Auslastung, Störungen und zukünftigen Aufträgen den optimalen Arbeitsablauf für jeden Auftrag neu. Die Umsetzung reicht dabei von der Auswahl des richtigen Arbeitssystems des gleichen Typs über die Auswahl aus einer Reihe von Arbeitssystemen, die für den Auftrag als gleichwertig angesehen werden können, bis hin zur Anpassung der Arbeitsgänge und/oder des Arbeitsinhalts eines Auftrags an die aktuelle Situation.

5.7.5 Subjektorientierung im Kontext von Industrie 4.0-Modellen

Mit dem acatech Industrie 4.0 Maturity-Index und RAMI 4.0 gibt es zwei, zumindest in Deutschland, mittlerweile weit verbreitete Betrachtungsweisen für Industrie 4.0. Ziel dieser beiden Modelle ist es Unternehmen dabei zu unterstützen den Übergang in dieses neue industrielle Zeitalter sinnvoll zu gestalten. Das macht die Modelle aber keinesfalls austauschbar oder eines sogar vollständig obsolet, weil sie trotzdem Antworten auf unterschiedliche Fragen liefern. Mit dem acatech Industrie 4.0 Maturity-Index kann der Reifegrad eines Unternehmens in Belangen von Industrie 4.0 festgestellt werden. Es kann also ermittelt werden, wie weit fortgeschritten der aktuelle oder

⁶⁹ Letztes Jahr wurde ein Ansatz zur Implementierung dieser Technologie mittels Subjektorientierung vorgestellt. Moser und Kannengiesser 2019.

ein möglicher zukünftiger Zustand eines Unternehmens in Industrie 4.0-Belangen ist. Im Gegensatz dazu wird mit RAMI 4.0 angestrebt eine gemeinsame Sprache für Industrie 4.0 zu definieren. Durch die Einordnung verschiedener Industrienormen und Konzepte in dieses eine Modell ist es möglich auf einer gemeinsamen Basis Themen aus dem Bereich Industrie 4.0 zu diskutieren. Während es also mit Hilfe von RAMI 4.0 möglich ist Technologien in dem Themenkomplex zu verordnen und ihre Anknüpfungspunkte zu anderen Elementen in diesem Gesamtkontext zu beschreiben, kann mit Hilfe des acatech Maturity-Indexes festgestellt werden, welche Stufe auf dem Weg zu einer vollständigen Umsetzung von Industrie 4.0 durch eine Technologie in Bezug auf die verschiedenen Gestaltungsfelder erreicht werden kann.

Für das gesamte Forschungsgebiet der Subjektorientierung ist Industrie 4.0 aktuell ein wichtiges Thema. So wird von vielen Wissenschaftlern untersucht, welche Anwendungsmöglichkeiten dieses Denkmodell in dem Kontext der neuen Welt haben kann. Im Zuge dessen wurde schon in unterschiedlicher Weise auf RAMI 4.0 Bezug genommen und Subjektorientierung in dem Modell verortet. Um die Bedeutung der Subjektorientierung auszubauen, ist dies eine wichtige Tätigkeit, weil Industrie 4.0 die Zukunft der Technologieentwicklung in Deutschland darstellt und RAMI 4.0 als Quasi-Standard in diesem Bereich gilt. RAMI 4.0 und die darin beinhalteten Standards sind aber noch immer Forschungssache und nicht völlig statischer Natur. So müssen in einigen Bereichen des Modells noch Industriestandards definiert oder bestehende Normen als Standard übernommen werden. In diesem Zuge besteht die Möglichkeit die Bedeutung des Wissenschaftsgebiet der Subjektorientierung deutlich zu erweitern, wenn es gelingt, dass diese Modellierungsmethode als Standard in einem Bereich von RAMI 4.0 festgeschrieben wird. Insbesondere im Bereich der Geschäftssicht sind dafür Potentiale zu erkennen.

In der bisherigen Forschung zu Subjektorientierung und Industrie 4.0 wird aber nur Bezug auf RAMI 4.0 und nicht auf den acatech Maturity-Index genommen. Um das volle Potential von Subjektorientierung zu beschreiben, sollte aber auch dieser andere Blickwinkel genutzt werden. Im Kontext des Reifegradmodells kann fundiert beschrieben werden, welchen Nutzen ein subjektorientierter Ansatz gegenüber herkömmlicher Input-Task-Output-Logik hat. Dafür kann entweder beschrieben werden, welcher Aufwand nötig ist, um eine definierte Reifegradstufe zu erreichen, oder fest-

gestellt werden, welche Reifegradstufe durch einen definierten Aufwand erreicht werden kann. Insbesondere durch Einbeziehung von S-BPM-Ansätzen können Reifegradstufen nicht nur in Bezug auf einzelne Technologien, sondern im Kontext aller Gestaltungsfelder ermittelt werden. Eine Einordnung der Subjektorientierung in den acatech Industrie 4.0 Maturity-Index kann neue Argumente für die Verbreitung dieses Denkmodells liefern. Außerdem sollte untersucht werden, ob mit Hilfe des Reifegradmodells auch eine Industrie 4.0-Roadmap zur Weiterentwicklung der subjektorientierten Methodik erstellt werden kann.

5.7.6 Eignung der Subjektorientierung für Industrie 4.0

Insbesondere auf der Ebene, die in RAMI 4.0 als Geschäftssicht beschrieben wird, bestehen große Chancen für die Verbreitung der Subjektorientierung. In diesem Abschnitt ist zusätzlich dargelegt worden, dass die Subjektorientierung in allen Bereichen der zentralen Paradigmen von Industrie 4.0 eine Rolle spielen kann. Vorteile liegen dabei insbesondere in der Struktur subjektorientierter Beschreibungen, die großen Wert auf die explizite Darstellung der Interaktion der Subjekte legt und in der Formalität der Modellierungssprache PASS, die damit Ausführbarkeit und Echtzeitfähigkeit unterstützt. Dadurch kann sowohl Chancen, die durch eine weitaus größere und genauere Datenbasis aufgetan werden, als auch Risiken, die aus einer damit verbundenen Steigerung der Komplexität resultieren, begegnet werden.

Auf Basis der Ausführungen in diesem Abschnitt wird Hypothese 7 als vorläufig bestätigt angesehen.

5.8 Zusammenfassung der Diskussion

Es ist keine der in den Abschnitten 3.2.3 und 3.2.4 aufgestellten Hypothesen widerlegt worden. Auf Basis der vorgestellten Ergebnisse werden alle sieben Hypothesen vorläufig als bestätigt angesehen. Es ist somit davon auszugehen, dass die subjektorientierte Prozessbeschreibung vorteilhafte Anwendung im Bereich der Produktionsplanung finden kann.

In diesem Abschnitt werden die wichtigsten der in diesem Kapitel ausführlich diskutierten Gedanken noch einmal aufgegriffen und in eine SWOT-Matrix einsortiert. Dabei beziehen sich die Stärken und Schwächen auf interne Faktoren der Subjektorientierung, beziehungsweise der explizit subjektorientiert gestalteten Produktionsplanung. Die Chancen und Risiken stellen die externen Faktoren dar, die im Kontext des Zeitalters der Industrie 4.0 eine Rolle für diese Betrachtung spielen. Die Ergebnisse dieser Gegenüberstellung sind in *Tabelle 5* aggregiert. Die einzelnen Elemente werden anschließend kurz beschrieben und es werden Strategieansätze für jeden Bereich gegeben, um subjektorientierte Produktionsplanung weiter zu etablieren.

Tabelle 5: SWOT-Matrix subjektorientierter Produktionsplanung in Industrie 4.0.

| | | Subjektorientierte Produktionsplanung | |
|----------------------|----------------|---|--|
| | | Stärken | Schwächen |
| <i>Industrie 4.0</i> | Chancen | <ul style="list-style-type: none"> • S-BPM • CPPS • echtzeitfähige PPS | <ul style="list-style-type: none"> • neue Industrie-Standards |
| | Risiken | <ul style="list-style-type: none"> • Prozesskomplexität • Wissensmanagement | <ul style="list-style-type: none"> • Missverständlichkeit |

5.8.1 Risiken-Schwächen

Das größte Risiko stellt die Missverständlichkeit dar. Hier spielen zwei verschiedene Teilaspekte eine Rolle. Einerseits ist eine grundsätzliche Schwäche von subjektorientierten Modellen, dass sie oft falsch interpretiert werden. Dies hängt stark mit der geringen Verbreitung des zugrundeliegenden Modellierungsparadigmas zusammen. Der zweite Aspekt besteht darin, dass nicht das Modell selbst sondern sein Zweck falsch interpretiert wird. Es ist deshalb immer wichtig zu vermitteln, ob ein Referenzprozessmodell oder ein Implementationsmodell erstellt wird. Dessen Bedeutung wird dadurch verstärkt, dass für Unternehmen, allen voran KMUs, oft unklar ist, was Industrie 4.0 bedeutet. Insbesondere fehlt es hierbei häufig an einer realistischen Einschätzung des tatsächlichen IST-Zustandes und einer konkreten Vision des SOLL-Zustandes. Das heißt, selbst wenn die subjektorientierten Konzepte richtig verstanden werden, kann nicht erkannt werden, ob sie einen Beitrag zur Umsetzung von Industrie 4.0 haben.

Die Vermeidung dieser Missverständnisse ist von größter Bedeutung für einen erfolgreichen Einsatz der Subjektorientierung im Rahmen der modernen Produktionsplanung. Deswegen ist es wichtig stets darzulegen, wie ein Modell zu lesen ist, welchen Anspruch das Modell hat, und wo das Modell im Kontext der Industrie 4.0 zu verorten ist.

5.8.2 Risiken-Stärken

Aktuelle Megatrends wie zunehmende Individualisierung und Bestrebungen zur Nachhaltigkeit steigern die Komplexität von Produktionsplanungsaufgaben. Im Zuge von Industrie 4.0 wird dies durch die Bestrebungen zur vollständigen horizontalen und vertikalen Integration über den gesamten Produktlebenszyklus noch verstärkt. Eine hohe Prozesskomplexität erfordert ausdrucks mächtige Modellierungsmethoden und genau diese Ausdrucksmächtigkeit ist eine der Stärken der Subjektorientierung. Gleichzeitig ist eine Schwäche von PASS der, im Vergleich zu nicht subjektorientierter Prozessbeschreibung, größere Aufwand bei der Modellierung sehr einfacher Prozesse. Diese einfachen Prozesse werden aber nicht mehr, oder nur noch sehr selten, für sich alleinstehend betrachtet. Damit verbunden ist auch eine steigende Anzahl an Stakeholdern und mehr parallellaufende Aktivitäten. Zur Modellierung solcher weit-

aus komplexeren Gesamtabläufe kann PASS wesentlich effizienter eingesetzt werden.

Eine weitere Anforderung an die Prozessmodellierung für die PPS ist die gleichzeitige Abbildbarkeit unterschiedlicher zeitlicher und inhaltlicher Domänen. Anhand des vorgestellten subjektorientierten PPS-Modells, das diese Problematik auf drei Stufen gliedert und durch getrennte Subjekte abbildet, ist gezeigt worden, dass PASS sich gut für die Darstellung dieser Art von Prozessen eignet.

Aber auch der demografische Wandel und die unter anderem damit verbundene die Fluktuation in der Belegschaft stellt ein Risiko für viele Unternehmen, insbesondere auch wegen des Abflusses von Wissen, dar. Schon allein wegen dieser externen Gründe steigt die Bedeutung von innerbetrieblichem Wissensmanagement. Aber auch interne Entwicklungen, wie Veränderungen in der Ablauforganisation und Bestrebungen im Kontext des Qualitätsmanagements, verlangen nach einem Ausbau dieser Führungsaufgabe. Um den vielen unterschiedlichen Anforderungen an die Produktionsplanung im Zeitalter der Industrie 4.0 gerecht zu werden, kommen in diesem Bereich oftmals viele unterschiedliche Modellierungsmethodiken zum Einsatz. So ist es nicht ungewöhnlich, dass innerhalb eines Unternehmens und oftmals sogar innerhalb einer Abteilung diverse Darstellungsformen eingesetzt werden. Dies birgt für jede Abbildungsart aufs Neue das Potential für Missverständnisse. Selbst wenn es nicht dazu kommt, dann erfordert dies zumindest eine größere Einarbeitungszeit. Die Subjektorientierung bietet unterschiedliche Möglichkeiten das Wissensmanagement bedeutend zu unterstützen. Dadurch, dass PASS turingvollständig ist, kann mit diesem einen Modellierungswerkzeug jeder Prozess abgebildet werden und somit die Pluralität der unterschiedlichen Ablaufbeschreibungsarten reduziert werden. Außerdem werden die Wissensaufnahme und Wissensweitergabe durch die Möglichkeit der einfachen Aufgliederung der Aktivitäten nach Akteuren in den SBDs unterstützt.

Um sich gegen die geschilderten Risiken abzusichern, sollten die beschriebenen Stärken genutzt werden. Dafür kann daran gearbeitet werden, die Möglichkeiten von PASS effizienter einsetzen zu können. Im Kontext des Wissensmanagement besteht zwar ein großes Potential, aber es fehlt an zielgerichteten Strategien und Vorgehensmethoden, um dieses optimal nutzen zu können.

5.8.3 Chancen-Schwächen

Eine große Chance, um die Subjektorientierung im Rahmen der Produktionsplanung zu etablieren, ist, dass aktuell in verschiedenen Forschungsprojekten die zukünftigen Industrie-Standards festgeschrieben werden. Wenn es gelingt, PASS in diesem Kontext zu positionieren, besteht damit die Möglichkeit, das Einsatzgebiet des bewusst subjektorientierten Denkmodells um ein Vielfaches zu erweitern. Aber genau darin liegt auch eine große Schwäche der Subjektorientierung begründet. Diese Methode ist nicht sehr weit verbreitet und die konsequente Anwendung findet nur in einem vergleichsweise kleinen Rahmen statt. Diese Problematik wird auch noch dadurch verstärkt, dass es bislang keine einheitliche technische Norm für die Subjektorientierung oder PASS gibt. Diese Schwäche gilt schon für die Subjektorientierung im Allgemeinen, ist aber im Bereich der Produktionsplanung noch ausgeprägter.

Die aktuelle Chance kann dazu genutzt werden, um an Verbreitung aufzuholen und diese Schwäche in eine Stärke zu verwandeln. Dafür ist es nötig, die Vorteile von subjektorientierter Produktionsplanung konsequent in Forschung und Wirtschaft zu bewerben. Zusätzlich muss eine Norm für diese Prozessmodellierungsmethode festgeschrieben werden. Auf dieser Basis können Technologien dann qualitativ im Themenfeld der Industrie 4.0 (z.B. in RAMI 4.0) verortet werden. Darüber hinaus ist aber auch eine in irgendeiner Form quantitative Analyse der Potentiale durchzuführen. Eine Möglichkeit hierfür bietet der Einsatz des acatech Industrie 4.0 Maturity-Indexes.

5.8.4 Chancen-Stärken

Nicht ohne Grund macht S-BPM einen bedeutenden Teil der Forschung zur Subjektorientierung aus. So gibt es auch im Kontext der Produktionsplanung in Industrie 4.0 viele Geschäftsprozesse, die es zu gestalten gilt. Dafür bietet S-BPM ein sehr großes Potential, weil ein subjektorientiertes Denkmodell im Rahmen der Produktionsplanung ohnehin, wenn auch oft unbewusst, weit verbreitet ist. Überdies ist auch das Einbeziehen aller Stakeholder ein hier schon länger bekanntes Konzept. Die somit fortschreitende Automatisierung von Prozessen ermöglicht den Hauptarbeitsinhalt der Mitarbeiter auf gestalterische Tätigkeiten zu verschieben. Dabei ist nicht zu un-

terschätzen, wie wertvoll es für die Verbreitung einer Methodik sein kann, dass sie prinzipiell kostenlos verfügbar ist.

Industrie 4.0 bietet durch den Einsatz neuer Technologien, wie zum Beispiel IoT und CPS, viele Möglichkeiten für eine moderne Produktionsplanung. Die Subjektorientierung kann die damit verbundenen Potentiale auf vielfältige Weise nutzbar machen. So ist es möglich ein CPPS subjektorientiert zu implementieren. Dadurch kann eine deutlich größere Menge an Daten erfasst und nutzbar gemacht werden als es in Industrie 3.0 üblich war. Außerdem kann die Verarbeitung der Informationen aus der Produktion ebenfalls wieder über subjektorientierte Modellierung unterstützt werden. Dabei ist vor allem die Formalität dieser Beschreibungsform hilfreich.

Das volle Potential von CPPS kann dann genutzt werden, wenn es über eine echtzeitfähige PPS gesteuert wird. Auch diese kann auf Basis der Subjektorientierung gestaltet werden. Dabei spielt die Möglichkeit der verteilten Ausführung und der Einsatz unterschiedlicher Abstraktionsmöglichkeiten eine zentrale Rolle.

Zur Sicherung dieser Potentiale ist es wichtig, die zugrundeliegenden Stärken auszubauen. Dafür muss die Subjektorientierung stetig weiterentwickelt werden. Einerseits bedeutet das S-BPM noch mehr im Bereich der Produktionsplanung zum Einsatz zu bringen und so ein Best Practice als Ausgangspunkt speziell für dieses Anwendungsgebiet zu entwickeln. Andererseits ist es auch nötig, nicht nur theoretisch, sondern auch in praktischen Anwendungsszenarien, CPPS und echtzeitfähige PPS subjektorientiert zu implementieren. Die dabei gewonnen Erkenntnisse können dann genutzt werden, um die Modellierungsmethodik und/oder PASS noch besser an reale Anforderungen anzupassen.

6. Fazit

Ziel dieser Arbeit ist es zu analysieren, wie das Denkmodell der Subjektorientierung im Kontext der Produktionsplanung, allen voran der PPS, von Industrieunternehmen genutzt werden kann. Dabei gilt es, zwei unterschiedliche Einsatzgebiete zu unterscheiden. Einerseits kann die Subjektorientierung als Beschreibungsparadigma zur Betrachtung der PPS selbst dienen, andererseits als Werkzeug, das im Rahmen von PPS-Tätigkeiten eingesetzt wird.

Ausgangspunkt für die Beschreibung der PPS-Abläufe selbst bildet das sehr bekannte und weit verbreitete Aachener PPS-Modell. Die Umsetzung eines subjektorientierten Ansatzes ist durch die Erstellung formaler PASS-Referenzprozessmodelle für vier prototypische Auftragsabwicklungstypen gelungen. Dabei wurde festgestellt, dass der Prozesssicht des Aachener PPS-Modells ohnehin ein subjektorientiertes Prozessverständnis zugrunde liegt. Im Gegensatz zu den für dieses Modell herkömmlich genutzten Flowcharts unterstützt PASS aber eine vollständig subjektorientierte Art der Modellierung. Mit Hilfe dieser subjektorientierten Betrachtungsweise ist es gelungen die unterschiedlichen zeitlichen und inhaltlichen Domänen der PPS in drei Stufen zu gliedern. Dadurch können die resultierenden subjektorientierten Modelle sowohl komplett formal als auch übersichtlicher und leichter verständlich als die klassischen Prozessablaufpläne gestaltet werden.

Aber auch für den Einsatz als Werkzeug in der PPS ist Subjektorientierung geeignet. Im Rahmen dieser Arbeit wurden so mehrere Fertigungssteuerungsverfahren formal subjektorientiert beschrieben. Außerdem ist es gelungen, die Subjektorientierung im Kontext der Wertstrommethode einzusetzen. PASS wurde in diesem Zuge so weiterentwickelt, dass ein dediziertes Werkzeug zur Unterstützung von subjektorientierten Wertstromanalysen entstanden ist. Dieses Werkzeug kann dabei auch die Simulationsmöglichkeiten von SiSi nutzen.⁷⁰ Durch den Abgleich der erstellten subjektorientierten Fertigungssteuerungs- und Wertstrommodelle mit herkömmlichen Formen der Darstellung wurde festgestellt, dass auch die klassischen Be-

⁷⁰ Die Entwicklung der explizit subjektorientierten Wertstromanalyse mit PASS und SiSi hat zu einer eigenständigen Veröffentlichung geführt. Die ausführliche Beschreibung der Methodik und der PASS-Erweiterung findet sich in Elstermann et al. 2020.

schreibungen ein, vermutlich unbewusstes, subjektorientiertes Prozessverständnis prägt.

Sowohl bei der Betrachtung der PPS-Prozesse selbst als auch im Rahmen einiger PPS-Methoden laufen lineare und zyklische Abläufe parallel ab. Dies stellt für herkömmliche Prozessmodellierung eine große Herausforderung dar. Mit Hilfe des gewählten subjektorientierten Ansatzes und PASS ist dies hingegen problemlos formal beschreibbar.

Mit dem Eintritt in das Zeitalter der Industrie 4.0 wird die Gestaltung der Produktionsplanung wichtiger als jemals zuvor. Eine moderne PPS ist die notwendige Voraussetzung, um die Potentiale dieses Paradigmenwechsels voll auszuschöpfen. In dieser Arbeit wurde aufgezeigt, dass die im Zuge dieser Revolution steigende Prozesskomplexität durch subjektorientierte Ansätze beherrschbar gemacht werden kann. Daraus ergeben sich auch vielfältige Vorteile für das innerbetriebliche Wissensmanagement. Ein weiteres Potential für die Subjektorientierte Produktionsplanung ergibt sich daraus, dass für die unterschiedlichen Aspekte von Industrie 4.0 neue Standards festgeschrieben werden. So ist es denkbar, dass für die Geschäfts-sicht von RAMI 4.0 eine subjektorientierte Norm definiert wird.

Der Trend des Ubiquitous Computing und das Vorhandensein immer kostengünstigerer *smarter* Hardware verändern die Ansprüche an die moderne Produktionsanlage. Auch hier kann die Subjektorientierung genutzt werden, um das CPPS über IoT zu implementieren. Darüber hinaus verlangt Industrie 4.0 aber auch nach einer Neugestaltung von Geschäftsprozessen. S-BPM-Maßnahmen bieten in diesem Zusammenhang viele Möglichkeiten alle Stakeholder, die aus einer vollständigen Integration hervorgehen, in die Abläufe mit einzubinden. Die PPS bildet sodann das Bindeglied zwischen dem (Cyberphysischen) Produktionssystem und den Geschäftsprozessen. Die vollständige Integration dieser Bereiche setzt in der Beschreibung und Gestaltung von PPS-Abläufen an. Durch seine formalen und turingvollständigen Beschreibungsmöglichkeiten bietet PASS eine starke Grundlage für eine (teil-) automatisierte, (verteilt) ausführbare und echtzeitfähige PPS.

Subjektorientierung ist schon jetzt Teil der Produktionsplanung. Ein großer Teil der Ausdrucksmächtigkeit dieses Beschreibungsparadigmas geht aber verloren, wenn versucht wird subjektorientierte Konzepte prozedural auszudrücken. Es ist notwendig, ein Bewusstsein für diesen Umstand zu schaffen und sich aktiv für subjektorientierte Modellierung zu entscheiden, um die damit verbundenen Potentiale in vollem Umfang nutzen zu können. Durch die aktive Aneignung eines subjektorientierten Denkmodells kann die PPS im Zeitalter der Industrie 4.0 befördert werden.

7. Ausblick

Diese Arbeit ist eine erste Analyse der Einsatzmöglichkeiten von Subjektorientierung im großen Gebiet der Produktionsplanung. Dabei wurde der Fokus auf die PPS, also die operative Produktionsplanung, gelegt. Zu dieser Arbeit vergleichbare Untersuchungen im Bereich der mittel- und längerfristigen Produktionsplanung können dabei das Gesamtbild vervollständigen.

Aber auch im Kontext der PPS ist hiermit nur der Grundstein für weitere Forschung gelegt worden. So umfasst das Aachener PPS-Modell neben den Kernaufgaben der PPS auch Netzwerkaufgaben und Querschnittsaufgaben. Neben der Analyse der Kernaufgaben umfasst diese Arbeit auch eine prinzipielle Betrachtung der Netzwerkaufgaben. Insbesondere im Kontext von Industrie 4.0 ist aber dieser Netzwerkaspekt noch tiefgreifender zu betrachten, da die Bedeutung der Planung und Steuerung des gesamten Produktionsnetzwerks und nicht nur einzelner Elemente daraus stetig zunimmt. So sind Organisationsmöglichkeiten von Produktionsnetzwerken ausführlich in der Prozessarchitekturreferenzsicht des Aachener PPS-Modells beschrieben. Dies kann als Grundlage für eine weiterführende Analyse von subjektorientierter PPS dienen, die Produktionsnetzwerke in den Mittelpunkt der Betrachtung stellt. In diesem Kontext ist auch die Untersuchung der Möglichkeiten des Einsatzes von Fertigungssteuerungsverfahren über die Grenzen einzelner Betriebe hinaus vorstellbar.

Zur Beherrschung der Komplexität ist in dieser Arbeit die Betrachtung von Querschnittsaufgaben der PPS komplett ausgeklammert. In einer folgenden Untersuchung könnte das Subjektverhalten des Auftrags- und/oder Bestandsmanagements – die hier nur als Interface-Subjekte betrachtet sind – im Rahmen der PPS ausgearbeitet und in das vorgestellte Modell eingebunden werden. Zukünftige Forschung im Bereich der Querschnittsaufgaben ist nötig, um ein vollständiges subjektorientiertes Modell der PPS zu schaffen.

Das vorgestellte Verfahren zur Durchführung subjektorientierter Wertstromanalysen ist in vielen Fällen nur als Ausgangspunkt für einen tiefer greifenden S-BPM-Ansatz zu verstehen.⁷¹ Die vorgestellte Methodik kann aber auch ohne Änderung des Betrachtungsbereiches noch weiterentwickelt werden. So gibt es z.B. auch die Möglichkeit, die Werkzeuge zur Erstellung von subjektorientierten VSMS so zu erweitern, dass diese echtzeitfähig gestaltet werden können. Das heißt, dass sowohl die gemittelten Leistungsindikatoren stetig neu aus aktuellen Daten berechnet werden als auch der aktuelle Zustand des Produktionssystems in Form einer VSM abgebildet werden kann. Dazu ist selbstverständlich eine stetige Aufnahme der nötigen Daten mittels Sensoren in der Produktionsanlage notwendig.

Diese Arbeit liefert viele wertvolle Erkenntnisse. Es ist jedoch kritisch anzumerken, dass alle diese Ergebnisse auf rein theoretischen Überlegungen beruhen und noch nicht in der Praxis Anwendung gefunden haben. Erst durch eine erfolgreiche Implementierung subjektorientierter Modelle im realen Unternehmenskontext kann der tatsächliche Nutzen von subjektorientierter PPS validiert werden.

Es sollen zuletzt noch einige Möglichkeiten für zukünftige Entwicklungsrichtungen aufgezeigt werden. Wie in der Arbeit bereits angeklungen ist, werden auch im Bereich der PPS neue Technologien Anwendung finden. Ohne Frage werden *Blockchain*, *Big Data*, und *Künstliche Intelligenz* in der Produktionsplanung zum Einsatz kommen und diese damit verändern. Hinzu kommen aber sicherlich auch weitere Technologien, die heute noch (weitgehend) unbekannt sind. Es ist davon auszugehen, dass Sichtbarkeit, Transparenz, Prognosefähigkeit und Adaptierbarkeit in noch ungeahntem Maße die Produktionsplanung im Kontext der Industrie 4.0 beeinflussen werden.

In der Industrie 4.0 ergeben sich durch die technologische Entwicklung aber auch völlig neue Möglichkeiten. Diese gehen weit über die klassischerweise als Industrie 4.0 beschriebenen Konzepte der *papierlosen Fabrik*, des *predictive*

⁷¹ Vergleiche dazu auch Elstermann et al. 2020.

maintanance, oder auch einer *echtzeitfähigen PPS* hinaus. So stellen die Möglichkeiten von Industrie 4.0 insbesondere auch die Grundlage für neuartige Geschäftsmodelle dar. Ein Ansatz dieser Entwicklungen ist das Cloud Manufacturing. Dadurch eröffnen sich gänzlich neue Möglichkeiten des Kapazitätsabgleichs. Insbesondere ein variabler Preis für die Anmietung von Kapazitäten bringt dabei völlig neue Planungsdimensionen mit sich. Um den daraus resultierenden Herausforderungen zu begegnen, müssen die betrieblichen PPS-Abläufe wesentlich agiler als bisher gestaltet werden. Die Subjektorientierung bietet das Potential solche agilen Abläufe aus den Referenzprozessen des Aachener PPS-Modells abzuleiten. Außerdem kann Subjektorientierung auch bei der Gestaltung der Austauschplattform, die die Basis für das Cloud Manufacturing bietet, Anwendung finden.

Ein weiteres Beispiel für die Veränderung von Geschäftsmodellen wird anhand eines Werkzeugmaschinenherstellers dargelegt. Anstatt, wie bislang üblich, die Betriebsmittel zu verkaufen, werden die Maschinen vermietet. Dabei bezahlt der Kunde nicht für die Maschine, sondern nur für die Bereitstellung der Kapazität. Der Hersteller bleibt damit in Besitz aller Maschinen und kann aufgrund seines hohen Knowhows z.B. die Wartung der Maschinen wesentlich vorteilhafter gestalten, als der Kunde dies könnte. Abgesehen von der vorteilhaften Nivellierung des Cash-Flows liegt der große Vorteil eines solchen Systems aber in einer neu gewonnenen Flexibilität. Der Kunde muss seine Produkte nicht mehr so auslegen, dass diese gut mit dem aktuellen Maschinenbestand produziert werden können, sondern kann nach der Festlegung des Produktprogramms auch zusammen mit dem Maschinenhersteller die passenden Betriebsmittel auswählen, ohne dass dies mit einer enormen Neuinvestition verbunden ist. Der Arbeitsinhalt des Maschinenherstellers verschiebt sich dadurch weg von der reinen Neuproduktion von Betriebsmitteln und Ersatzteilen hin zu einem Ansatz der Kreislaufwirtschaft. Die Maschinen müssen dafür modular gestaltet sein, sodass ihre noch brauchbaren Teile nach Ablauf ihres Lebenszyklus leicht weiterverwendet werden können. Dafür finden hier neue technologische Möglichkeiten Anwendung: Jeder Motor, jede Welle und sogar jede Zahnradstufe kann als Industrie 4.0-Komponente betrachtet werden. Es werden dadurch die Nutzungsdaten jedes Einzelteils und nicht nur der gesamten Maschine aufgezeichnet. Nach vorgeplanten Nutzungsintervallen können die verschiedenen Komponenten vorsorg-

lich ausgetauscht werden, um einem Maschinenausfall vorzubeugen. Die Notwendigkeit für Industrie 4.0-Technologien besteht hierbei darin, dass keine gleichwertigen Neuprodukte gewartet werden müssen. In jeder Maschine werden schon gebrauchte Teile verbaut. Als Industrie 4.0-Komponenten behalten diese aber ihren vorherigen Einsatz im Gedächtnis. Die Auswirkungen eines solchen Geschäftsmodells für die PPS sind enorm. Die prädiktive Herstellung von Ersatzteilen gibt eine größere Planungssicherheit für diesen Geschäftsbereich, erfordert aber auch dafür geeignete Strukturen. In der Herstellung der Betriebsmittel gibt es völlig neue Herausforderungen im Bereich der (Sekundär-) Bedarfsermittlung, da jede Maschine einen für sie einzigartigen Input besitzt. Um diesem Problem begegnen zu können, muss in der PPS eng mit der Konstruktionsabteilung zusammengearbeitet werden. Genau diese Art von gesteigerter Komplexität der PPS-Aufgaben ist der Grund für die Verwendung der Subjektorientierung, der im Kontext der PPS im Zuge dieser Arbeit beschrieben wurde.

Abschließend sei auf ALPS verwiesen, eine Entwicklung im Rahmen der Forschung zur subjektorientierten Modellierung, die auch im Kontext der PPS Anwendung finden könnte. Vergleichbar der Vererbungs- und Erweiterungsmöglichkeiten objektorientierter Programmiersprachen stellt ALPS einen Abstraktionsmechanismus für die Subjekte in PASS dar (Elstermann und Fleischmann 2019; Elstermann 2020). Die Entwicklung von ALPS steht aber noch an ihrem Anfang und eine vollständige Umsetzung ist nicht in Sicht. Wie von Elstermann herausgestellt, würde dies aber viel Potential für die Implementierung von Referenzprozessmodellen und die Vernetzung von Geschäftsprozessen über das gesamte Unternehmen hinweg mit sich bringen. Vor allem wenn die Industrie 4.0-Reifegradstufe der Adaptierbarkeit erreicht werden soll, ist ein Abstraktionsmechanismus notwendig, der eine Modellierung ermöglicht, die über die statische Struktur von Standard-PASS hinaus geht.

Literaturverzeichnis

- acatech (2013): Recommendations for implementing the strategic initiative INDUSTRIE 4.0. Securing the future of German manufacturing industry. Final report of the Industrie 4.0 Working Group. acatech. Online verfügbar unter <https://en.acatech.de/publication/recommendations-for-implementing-the-strategic-initiative-industrie-4-0-final-report-of-the-industrie-4-0-working-group/>, zuletzt geprüft am 26.03.2020.
- acatech (Hg.) (2019): Vorstudie zur Entwicklung einer bedarfs- und nutzergerechten Unterstützung von KMU bei der Einführung und Anwendung von Industrie 4.0. Online verfügbar unter <https://www.acatech.de/publikation/unterstuetzung-von-kmu-auf-dem-weg-zur-industrie-4-0/>, zuletzt geprüft am 18.04.2020.
- Bach, Thies; Schuh, Günther; Reschke, Jan (2019): Produktionsplanung und -steuerung im Kontext von Industrie 4.0. In: *ZWF* 114 (12), S. 815–818. DOI: 10.3139/104.112222.
- Bauernhansl, Thomas (2017): Die Vierte Industrielle Revolution – Der Weg in ein wertschaffendes Produktionsparadigma. In: Birgit Vogel-Heuser, Thomas Bauernhansl und Michael ten Hompel (Hg.): *Handbuch Industrie 4.0. Bd. 4: Allgemeine Grundlagen. 2. Auflage.* Berlin: Springer Vieweg (Springer Reference Technik), S. 1–31.
- Börger, Egon (2011): A Subject-Oriented Interpreter Model for S-BPM. Online verfügbar unter <http://pages.di.unipi.it/boerger/Papers/Bpmn/SbpmBookAppendix.pdf>, zuletzt aktualisiert am 10.09.2011, zuletzt geprüft am 16.04.2020.
- Buchwald, Hagen (2010a): Potential Building Blocks of S-BPM. In: Hagen Buchwald (Hg.): *Setting the stage for subject-oriented business process management. First international workshop ; revised selected papers.* Berlin: Springer (Communications in computer and information science, 85), S. 123–135.
- Buchwald, Hagen (2010b): The Power of "As-Is" Processes. In: Hagen Buchwald (Hg.): *Setting the stage for subject-oriented business process management. First international workshop ; revised selected papers.* Berlin: Springer (Communications in computer and information science, 85), S. 13–23.
- Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) (Hg.) (2019): *Industriestrategie 2030. Leitlinien für eine deutsche und europäische Industriepolitik.* Berlin. Online verfügbar unter <https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Publikationen/Industrie/industriestrategie-2030.html>, zuletzt geprüft am 10.03.2020.
- Dangelmaier, Wilhelm (2009): *Theorie der Produktionsplanung und -steuerung. Im Sommer keine Kirschpralinen?* Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag Berlin Heidelberg (VDI-Buch).
- Norm DIN 66001:1983-12, 01.12.1983: DIN 66001:1983-12.

- Drucker, Peter (1963): Managing for Business Effectiveness. In: *Harvard Business Review*. Online verfügbar unter <https://hbr.org/1963/05/managing-for-business-effectiveness>, zuletzt geprüft am 23.05.2020.
- Dücker, Jana; Gödel, Celina; Ovtcharova, Jivka (2016): Update 4.0 für den Mittelstand. Ein Konzept zur unternehmensbezogenen Potenzialanalyse hinsichtlich Industrie 4.0 für den Mittelstand. In: *Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb* 111, S. 560–564.
- Ellwein, Carsten; Elser, Anja (2019): Vernetzte Produktionsplanung. In: *ZWF* 114 (12), S. 807–810. DOI: 10.3139/104.112195.
- Elstermann, Matthes (2020): Executing Strategic Product Planning. A Subject Oriented Analysis and New Referential Process Model for IT-Tool Support and Agile Execution of Strategic Production Planning. Karlsruhe, Baden: KIT Scientific Publishing (Reihe Informationsmanagement im Engineering Karlsruhe, 2019).
- Elstermann, Matthes; Bönsch, Jakob; Ovtcharova, Jivka (2020): Subject-Oriented Value-Stream Mapping with SiSi. TBR 2020. Im Peer Review Verfahren angenommen.
- Elstermann, Matthes; Fleischmann, Albert (2019): Modeling Complex Process Systems with Subject Oriented Means. In: Stephanie Betz, Matthes Elstermann und Matthias Lederer (Hg.): *S-BPM ONE 2019. Proceedings of the 11th International Conference on Subject-oriented Business Process Management : S-BPM ONE 2019, Seville, Spain, June 26th-28th, 2019*. New York, New York: The Association for Computing Machinery (ICPS), S. 123–132.
- Elstermann, Matthes; Ovtcharova, Jivka (2018): Sisi in the ALPS. In: Christian Stary und Florian Krenn (Hg.): *S-BPM ONE 2018, 10 years. Proceedings of the 10th International Conference on Subject-oriented Business Process Management : S-BPM ONE 2018, Linz, Austria, April 5-6, 2018*. New York, New York: The Association for Computing Machinery (ICPS), S. 1–9.
- Erlach, Klaus (2010): *Wertstromdesign. Der Weg zur schlanken Fabrik*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.
- Fleischmann, Albert (1994): *Distributed systems. Software design and implementation : with 250 figures*. Berlin: Springer.
- Fleischmann, Albert (2018): Ten Years After - "Quo Vadis, S-BPM?". In: Christian Stary und Florian Krenn (Hg.): *S-BPM ONE 2018, 10 years. Proceedings of the 10th International Conference on Subject-oriented Business Process Management : S-BPM ONE 2018, Linz, Austria, April 5-6, 2018*. New York, New York: The Association for Computing Machinery (ICPS).
- Fleischmann, Albert; Borgert, Stephan; Elstermann, Matthes; Krenn, Florian; Singer, Robert (2017): *An overview to S-BPM oriented Tool Suites*.

- Fleischmann, Albert; Schmidt, Werner; Stary, Christian; Obermeier, Stefan; Börger, Egon (2011): Subjektorientiertes Prozessmanagement. Mitarbeiter einbinden, Motivation und Prozessakzeptanz steigern; einfach und intuitiv umzusetzen. München: Hanser Verlag. Online verfügbar unter <http://www.hanser-elibrary.com/action/showBook?doi=10.3139/9783446429697>.
- Fleischmann, Albert; Stary, Christian (2019): Dependable Data Sharing in Dynamic IoT-Systems. Subject-oriented Process Design, Complex Event Processing, and Blockchains. In: Stephanie Betz, Matthes Elstermann und Matthias Lederer (Hg.): S-BPM ONE 2019. Proceedings of the 11th International Conference on Subject-oriented Business Process Management : S-BPM ONE 2019, Seville, Spain, June 26th-28th, 2019. New York, New York: The Association for Computing Machinery (ICPS), S. 17–27.
- Fleischmann, Christoph; Říha, Karel; Stangl, Gerhard (2016): Logistics Processes Modelled in S-BPM and implemented in SAP to reduce Production Lead Times. In: Jorge L. Sanz (Hg.): S-BPM ONE 2016. Proceedings of the 8th international conference on subject-oriented business process management : S-BPM ONE 2016, Erlangen, Germany, April 7-8, 2016, S. 1–4.
- Friedl, Anton (2018): Meeting Industrie 4.0 Challenges with S-BPM. In: Christian Stary und Florian Krenn (Hg.): S-BPM ONE 2018, 10 years. Proceedings of the 10th International Conference on Subject-oriented Business Process Management : S-BPM ONE 2018, Linz, Austria, April 5-6, 2018. New York, New York: The Association for Computing Machinery (ICPS).
- Gabler Wirtschaftslexikon: Integration. Online verfügbar unter <https://wirtschaftslexikon.gabler.de/definition/integration-38922>, zuletzt geprüft am 26.03.2020.
- Gabler Wirtschaftslexikon: Wissensmanagement. Online verfügbar unter <https://wirtschaftslexikon.gabler.de/definition/wissensmanagement-47468>, zuletzt geprüft am 12.05.2020.
- Günther, Hans-Otto; Tempelmeier, Horst (2012): Produktion und Logistik. Berlin/Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.
- Hackstein, Rolf (1989): Produktionsplanung und -steuerung (PPS). Ein Handbuch für die Betriebspraxis. 2., überarb. Aufl. Düsseldorf: VDI-Verl.
- Hankel, Martin (2015): Das Referenzarchitekturmodell Industrie 4.0 (RAMI 4.0). ZVEI Faktenblatt Industrie 4.0. ZVEI - Zentralverband Elektrotechnik- und Elektronikindustrie e.V. Online verfügbar unter <https://www.zvei.org/themen/industrie-40/das-referenzarchitekturmodell-rami-40-und-die-industrie-40-komponente/>, zuletzt geprüft am 01.04.2020.
- Herter, Johannes; Ovtcharova, Jivka (2016): A Model based Visualization Framework for Cross Discipline Collaboration in Industry 4.0 Scenarios. In: *Procedia CIRP* 57, S. 398–403. DOI: 10.1016/j.procir.2016.11.069.

- Institut für Mittelstandsforschung Bonn (IfM) (Hg.) (2020): KMU in Deutschland. gemäß der KMU-Definition der EU-Kommission. Online verfügbar unter https://www.ifm-bonn.org/fileadmin/data/redaktion/statistik/unternehmensbestand/dokumente/KMU-D_2014-2018_EU-Def.pdf, zuletzt geprüft am 18.04.2020.
- Jodlbauer, Herbert (2008): Produktionsoptimierung. Wertschaffende sowie kundenorientierte Planung und Steuerung. Zweite, erweiterte Auflage. Vienna: Springer-Verlag/Wien (Springers Kurzlehrbücher der Wirtschaftswissenschaften).
- Kaar, Claudia; Frysak, Josef; Sary, Christian; Kannengiesser, Udo; Müller, Harald (2018): Resilient Ontology Support Facilitating Multi-Perspective Process Integration in Industry 4.0. In: Christian Sary und Florian Krenn (Hg.): S-BPM ONE 2018, 10 years. Proceedings of the 10th International Conference on Subject-oriented Business Process Management : S-BPM ONE 2018, Linz, Austria, April 5-6, 2018. New York, New York: The Association for Computing Machinery (ICPS).
- Kannengiesser, Udo (2014): Supporting Value Stream Design Using S-BPM. In: Alexandros Nanopoulos und Werner Schmidt (Hg.): S-BPM ONE - Scientific Research. 6th International Conference, S-BPM ONE 2014, Eichstätt, Germany, April 22-23, 2014. Proceedings. Cham: Springer International Publishing, S. 151–160.
- Kannengiesser, Udo; Müller, Harald (2018): Industry 4.0 Standardisation: Where Does S-BPM Fit? In: Christian Sary und Florian Krenn (Hg.): S-BPM ONE 2018, 10 years. Proceedings of the 10th International Conference on Subject-oriented Business Process Management : S-BPM ONE 2018, Linz, Austria, April 5-6, 2018. New York, New York: The Association for Computing Machinery (ICPS).
- Kellner, Florian; Lienland, Bernhard; Lukesch, Maximilian (2018): Produktionswirtschaft. Planung, Steuerung und Industrie 4.0. Berlin: Springer Gabler. Online verfügbar unter <http://dx.doi.org/10.1007/978-3-662-54341-2>.
- Lederer, Matthias; Betz, Stefanie; Schmidt, Werner (2018): Digital Transformation, Smart Factories, and Virtual Design – Contributions of Subject Orientation. In: Christian Sary und Florian Krenn (Hg.): S-BPM ONE 2018, 10 years. Proceedings of the 10th International Conference on Subject-oriented Business Process Management : S-BPM ONE 2018, Linz, Austria, April 5-6, 2018. New York, New York: The Association for Computing Machinery (ICPS).
- Lödding, Hermann (2016): Verfahren der Fertigungssteuerung. Grundlagen, Beschreibung, Konfiguration. 3. Auflage. Berlin, Heidelberg: Springer Vieweg (VDI-Buch).

- Moser, Christoph; Kannengiesser, Udo (2019): Incremental Implementation of Automated Guided Vehicle-Based Logistics Using S-BPM. Experience Report of a Digitalization Project at ENGEL Austria. In: Stephanie Betz, Matthes Elstermann und Matthias Lederer (Hg.): S-BPM ONE 2019. Proceedings of the 11th International Conference on Subject-oriented Business Process Management : S-BPM ONE 2019, Seville, Spain, June 26th-28th, 2019. New York, New York: The Association for Computing Machinery (ICPS), S. 41–46.
- Neubauer, Matthias; Stary, Christian (2017): S-BPM in the Production Industry: A Stakeholder Approach. s.l.: Springer.
- Nyhuis, Peter; Wiendahl, Hans-Peter (2012): Logistische Kennlinien. Grundlagen, Werkzeuge und Anwendungen. 3. Aufl. 2012. Berlin, Heidelberg: Springer (VDI-Buch).
- Ovtcharova, Jivka; Häfner, Polina; Häfner, Victor; Katicic, Jurica; Vinke, Christina (2015): Innovation braucht Resourceful Humans Aufbruch in eine neue Arbeitskultur durch Virtual Engineering. In: Alfons Botthof und Ernst Hartmann (Hg.): Zukunft der Arbeit in Industrie 4.0. Berlin: Springer Vieweg, S. 111–124.
- Piller, Christoph; Wölfel, Walter (2014): Production Planning for SMEs. Implementation of Production Planning with Subject-Oriented Business Process Management (S-BPM). In: Alexandros Nanopoulos und Werner Schmidt (Hg.): S-BPM ONE - Scientific Research. 6th International Conference, S-BPM ONE 2014, Eichstätt, Germany, April 22-23, 2014. Proceedings. Cham: Springer International Publishing, S. 164–173.
- Plattform Industrie 4.0 (Hg.) (2018): RAMI 4.0 – Ein Orientierungsrahmen für die Digitalisierung. Online verfügbar unter <https://www.plattform-i40.de/PI40/Redaktion/DE/Downloads/Publikation/rami40-einfuehrung-2018.html>, zuletzt geprüft am 02.04.2020.
- REFA (Hg.) (2020): Das REFA-Lexikon. Online verfügbar unter <https://refa.de/service/refa-lexikon>, zuletzt aktualisiert am 26.03.2020.
- Roth, Armin (Hg.) (2016a): Einführung und Umsetzung von Industrie 4.0. Grundlagen, Vorgehensmodell und Use Cases aus der Praxis. Berlin, Heidelberg: Springer Gabler.
- Roth, Armin (2016b): Industrie 4.0 – Hype oder Revolution? In: Armin Roth (Hg.): Einführung und Umsetzung von Industrie 4.0. Grundlagen, Vorgehensmodell und Use Cases aus der Praxis. Berlin, Heidelberg: Springer Gabler, S. 1–15.
- Rother, Mike; Shook, John (2011): Sehen lernen. Mit Wertstromdesign die Wertschöpfung erhöhen und Verschwendung beseitigen. Deutsche Ausgabe, Version 1.3, Februar 2011. Mülheim an der Ruhr: Lean Management Institut (Workbooks für Lean-Management).

- Salari, Anna (2018a): Hierarchie der Industrie 3.0. Infografik. Plattform Industrie 4.0. Online verfügbar unter <https://www.plattform-i40.de/PI40/Redaktion/DE/Infografiken/hierarchie-in-der-industrie-3-0>, zuletzt aktualisiert am 30.01.2018, zuletzt geprüft am 02.04.2020.
- Salari, Anna (2018b): Hierarchie der Industrie 4.0. Infografik. Plattform Industrie 4.0. Online verfügbar unter <https://www.plattform-i40.de/PI40/Redaktion/DE/Infografiken/hierarchie-in-der-industrie-4-0>, zuletzt aktualisiert am 30.01.2018, zuletzt geprüft am 30.03.2020.
- Schmidt, Werner; Fleischmann, Albert; Gilbert, Oliver (2009): Subjektorientiertes Geschäftsprozessmanagement. In: *HMD Praxis der Wirtschaftsinformatik* (46), S. 52–62.
- Schuh, Günther (2007): Produktionsplanung und -steuerung. Grundlagen, Gestaltung Und Konzepte. Dordrecht: Springer (VDI-Buch).
- Schuh, Günther; Anderl, Reiner; Gausemeier, Jürgen; Hompel, Michael ten; Wahls-ter, Wolfgang (2017): Industrie 4.0 Maturity Index. Die digitale Transformati-on von Unternehmen gestalten. acatech STUDIE. München: Herbert Utz Verlag.
- Schuh, Günther; Schmidt, Carsten (2014): Produktionsmanagement. Handbuch Pro-duktion und Management 5. 2. Aufl. Berlin: Springer Vieweg (VDI-Buch).
- Schuh, Günther; Stich, Volker (Hg.) (2012): Produktionsplanung und -steuerung. 4., überarbeitete Auflage. Berlin, Heidelberg: Springer Vieweg (VDI-Buch). Online verfügbar unter <http://www.springer.com/de/book/978-3-642-25422-2>.
- Siepmann, David (2016a): Industrie 4.0 – Fünf zentrale Paradigmen. In: Armin Roth (Hg.): Einführung und Umsetzung von Industrie 4.0. Grundlagen, Vorgehensmodell und Use Cases aus der Praxis. Berlin, Heidelberg: Springer Gabler, S. 35–46.
- Siepmann, David (2016b): Industrie 4.0 – Struktur und Historie. In: Armin Roth (Hg.): Einführung und Umsetzung von Industrie 4.0. Grundlagen, Vorgehensmodell und Use Cases aus der Praxis. Berlin, Heidelberg: Springer Gabler, S. 16–34.
- Siepmann, David (2016c): Industrie 4.0 – Technologische Komponenten. In: Armin Roth (Hg.): Einführung und Umsetzung von Industrie 4.0. Grundlagen, Vorgehensmodell und Use Cases aus der Praxis. Berlin, Heidelberg: Springer Gabler, S. 47–72.
- Spath, Dieter (Hg.) (2013): Produktionsarbeit der Zukunft - Industrie 4.0. Studie. Fraunhofer-Institut für Arbeitswirtschaft und Organisation. Stuttgart: Fraunhofer-Verl.
- Sary, Christian; Maroscher, Monika; Sary, Edith (2013): Wissensmanagement in der Praxis. Methoden, Werkzeuge, Beispiele. München: Hanser.
- Taylor, Frederick Winslow (2003): Scientific management. London: Routledge (The early sociology of management and organizations, v.1). Online verfügbar unter <http://site.ebrary.com/lib/alltitles/docDetail.action?docID=10166472>.

- Tiedtke, Jürgen R. (2007): Allgemeine BWL. Betriebswirtschaftliches Wissen für kaufmännische Berufe - Schritt für Schritt. 2., überarbeitete Auflage. Wiesbaden: Betriebswirtschaftlicher Verlag Dr. Th. Gabler | GWV Fachverlage GmbH Wiesbaden.
- VDI/VDE-Gesellschaft Mess- und Automatisierungstechnik (GMA) (Hg.) (2015): Referenzarchitekturmodell Industrie 4.0 (RAMI4.0). Statusreport. Verein Deutscher Ingenieure e.V.; ZVEI - Zentralverband Elektrotechnik- und Elektronikindustrie e.V. Online verfügbar unter <https://www.zvei.org/themen/industrie-40/das-referenzarchitekturmodell-rami-40-und-die-industrie-40-komponente/>, zuletzt geprüft am 01.04.2020.
- Venkatakumar, Harshitha; Schmidt, Werner (2019): Subject-oriented Specification of IoT Scenarios. In: Stephanie Betz, Matthes Elstermann und Matthias Lederer (Hg.): S-BPM ONE 2019. Proceedings of the 11th International Conference on Subject-oriented Business Process Management : S-BPM ONE 2019, Seville, Spain, June 26th-28th, 2019. New York, New York: The Association for Computing Machinery (ICPS), S. 29–38.
- Verein Deutscher Ingenieure e.V. (Hg.) (2013): Cyber-Physical Systems: Chancen und Nutzen aus Sicht der Automation. Thesen und Handlungsfelder. VDI/VDE-Gesellschaft Mess- und Automatisierungstechnik (GMA). Online verfügbar unter <https://www.vdi.de/ueberuns/presse/publikationen/details/cyber-physical-systems-chancen-und-nutzen-aus-sicht-der-automation>, zuletzt geprüft am 27.03.2020.
- Vogel-Heuser, Birgit; Bauernhansl, Thomas; Hompel, Michael ten (Hg.) (2017): Handbuch Industrie 4.0. Bd. 1: Produktion. 2., erweiterte und bearbeitete Auflage. Berlin: Springer Vieweg (Springer Reference Technik).
- wbk - Institut für Produktionstechnik (2019): Kapitel 1: Grundlagen, Geschichte und zeitliche Entwicklung. In: Gisela Lanza (Hg.): Skript zur Vorlesung Integrierte Produktionsplanung im Zeitalter von Industrie 4.0. wbk - Institut für Produktionstechnik. Karlsruhe.
- Wikipedia (Hg.): Demingkreis. Online verfügbar unter <https://de.wikipedia.org/wiki/Demingkreis>, zuletzt geprüft am 22.04.2020.
- Wikipedia (Hg.): Horizontale Integration. Online verfügbar unter https://de.wikipedia.org/wiki/Horizontale_Integration, zuletzt geprüft am 26.03.2020.
- Wikipedia (Hg.): SWOT-Analyse. Online verfügbar unter <https://de.wikipedia.org/wiki/SWOT-Analyse>, zuletzt geprüft am 22.04.2020.
- Wikipedia (Hg.): Vertikale Integration. Online verfügbar unter https://de.wikipedia.org/wiki/Vertikale_Integration, zuletzt geprüft am 26.03.2020.

ZVEI - Zentralverband Elektrotechnik- und Elektronikindustrie e.V. (2015): Das Referenzarchitekturmodell RAMI 4.0 und die Industrie 4.0-Komponente. Online verfügbar unter <https://www.zvei.org/themen/industrie-40/das-referenzarchitekturmodell-rami-40-und-die-industrie-40-komponente/>, zuletzt aktualisiert am 10.04.2015, zuletzt geprüft am 01.04.2020.

Anhang

Tabelle 6: Idealtypische Charakterisierung des Auftragsfertigers.

| Merkmal | | Merkmalsausprägung | | | | |
|---------|--|--|---|---|--|---|
| 1 | Auftragsauslösungsart | Produktion auf Bestellung mit Einzelaufträgen | Produktion auf Bestellung mit Rahmenaufträgen | Kundenanonyme Vor-/ kundenauftragsbezogene Endproduktion | Produktion auf Lager | |
| 2 | Erzeugnisspektrum | Erzeugnisse nach Kundenspezifikation | Typisierte Erzeugnisse mit kundenspezifischen Varianten | Standarderzeugnisse mit Varianten | | Standarderzeugnisse ohne Varianten |
| 3 | Erzeugnisstruktur | Mehrteilige Erzeugnisse mit komplexer Struktur | | Mehrteilige Erzeugnisse mit einfacher Struktur | Geringteilige Erzeugnisse | |
| 4 | Ermittlung des Erzeugnis-/ Komponentenbedarfs | Bedarfsorientiert auf Erzeugnisebene | Erwartungs- und bedarfsorientiert auf Komponentenebene | Erwartungsorientiert auf Komponentenebene | Erwartungsorientiert auf Erzeugnisebene | Verbrauchsorientiert auf Erzeugnisebene |
| 5 | Auslösung des Sekundärbedarfs | Auftragsorientiert | | Teilweise auftrags- und teilweise periodenorientiert | Periodenorientiert | |
| 6 | Beschaffungsart | Weitgehender Fremdbezug | | Fremdbezug in größerem Umfang | Fremdbezug unbedeutend | |
| 7 | Bevorratung | Keine Bevorratung von Bedarfspositionen | Bevorratung von Bedarfspositionen auf unterer Strukturebene | Bevorratung von Bedarfspositionen auf oberen Strukturebenen | Bevorratung von Erzeugnissen | |
| 8 | Fertigungsart | Einmalfertigung | Einzel- und Kleinserienfertigung | Serienfertigung | | Massenfertigung |
| 9 | Ablaufart in der Teilefertigung | Werkstattfertigung | Inselfertigung | Reihenfertigung | | Fließfertigung |
| 10 | Ablaufart in der Montage | Baustellenmontage | Gruppenmontage | Reihenmontage | | Fließmontage |
| 11 | Fertigungsstruktur | Fertigung mit hohem Strukturierungsgrad | | Fertigung mit mittlerem Strukturierungsgrad | Fertigung mit geringem Strukturierungsgrad | |
| 12 | Kundenänderungseinflüsse während der Fertigung | Änderungseinflüsse in größerem Umfang | | Änderungseinflüsse gelegentlich | Änderungseinflüsse unbedeutend | |

Anmerkung. Idealtypische Merkmalsausprägungen des Auftragsfertigers sind farbig hinterlegt. Quelle (Schuh 2007, S. 137).

Tabelle 7: Idealtypische Charakterisierung des Rahmenauftragsfertigers.

| Merkmal | | Merkmalsausprägung | | | | |
|---------|--|--|---|---|--|---|
| 1 | Auftragsauslösungsart | Produktion auf Bestellung mit Einzelaufträgen | Produktion auf Bestellung mit Rahmenaufträgen | Kundenanonyme Vor-/ kundenauftragsbezogene Endproduktion | Produktion auf Lager | |
| 2 | Erzeugnispektrum | Erzeugnisse nach Kundenspezifikation | Typisierte Erzeugnisse mit kundenspezifischen Varianten | Standarderzeugnisse mit Varianten | Standarderzeugnisse ohne Varianten | |
| 3 | Erzeugnisstruktur | Mehrteilige Erzeugnisse mit komplexer Struktur | | Mehrteilige Erzeugnisse mit einfacher Struktur | Geringteilige Erzeugnisse | |
| 4 | Ermittlung des Erzeugnis-/Komponentenbedarfs | Bedarfsorientiert auf Erzeugnisebene | Erwartungs- und bedarfsorientiert auf Komponentenebene | Erwartungsorientiert auf Komponentenebene | Erwartungsorientiert auf Erzeugnisebene | Verbrauchsorientiert auf Erzeugnisebene |
| 5 | Auslösung des Sekundärbedarfs | Auftragsorientiert | | Teilweise auftrags- und teilweise periodenorientiert | Periodenorientiert | |
| 6 | Beschaffungsart | Weitgehender Fremdbezug | | Fremdbezug in größerem Umfang | Fremdbezug unbedeutend | |
| 7 | Bevorratung | Keine Bevorratung von Bedarfspositionen | Bevorratung von Bedarfspositionen auf unterer Strukturebene | Bevorratung von Bedarfspositionen auf oberen Strukturebenen | Bevorratung von Erzeugnissen | |
| 8 | Fertigungsart | Einmalfertigung | Einzel- und Kleinserienfertigung | Serienfertigung | Massenfertigung | |
| 9 | Ablaufart in der Teilefertigung | Werkstattfertigung | Inselfertigung | Reihenfertigung | Fließfertigung | |
| 10 | Ablaufart in der Montage | Baustellenmontage | Gruppenmontage | Reihenmontage | Fließmontage | |
| 11 | Fertigungsstruktur | Fertigung mit hohem Strukturierungsgrad | | Fertigung mit mittlerem Strukturierungsgrad | Fertigung mit geringem Strukturierungsgrad | |
| 12 | Kundenänderungseinflüsse während der Fertigung | Änderungseinflüsse in größerem Umfang | | Änderungseinflüsse gelegentlich | Änderungseinflüsse unbedeutend | |

Anmerkung. Idealtypische Merkmalsausprägungen des Rahmenauftragsfertigers sind farbig hinterlegt. Quelle (Schuh 2007, S. 155).

Tabelle 8: Idealtypische Charakterisierung des Variantenfertigers.

| Merkmal | | Merkmalsausprägung | | | | |
|---------|--|--|---|---|--|---|
| 1 | Auftragsauslösungsart | Produktion auf Bestellung mit Einzelaufträgen | Produktion auf Bestellung mit Rahmenaufträgen | Kundenanonyme Vor-/ kundenauftragsbezogene Endproduktion | Produktion auf Lager | |
| 2 | Erzeugnispektrum | Erzeugnisse nach Kundenspezifikation | Typisierte Erzeugnisse mit kundenspezifischen Varianten | Standarderzeugnisse mit Varianten | Standarderzeugnisse ohne Varianten | |
| 3 | Erzeugnisstruktur | Mehrteilige Erzeugnisse mit komplexer Struktur | | Mehrteilige Erzeugnisse mit einfacher Struktur | Geringteilige Erzeugnisse | |
| 4 | Ermittlung des Erzeugnis-/Komponentenbedarfs | Bedarfsorientiert auf Erzeugnisebene | Erwartungs- und bedarfsorientiert auf Komponentenebene | Erwartungsorientiert auf Komponentenebene | Erwartungsorientiert auf Erzeugnisebene | Verbrauchsorientiert auf Erzeugnisebene |
| 5 | Auslösung des Sekundärbedarfs | Auftragsorientiert | | Teilweise auftrags- und teilweise periodenorientiert | Periodenorientiert | |
| 6 | Beschaffungsart | Weitgehender Fremdbezug | | Fremdbezug in größerem Umfang | Fremdbezug unbedeutend | |
| 7 | Bevorratung | Keine Bevorratung von Bedarfspositionen | Bevorratung von Bedarfspositionen auf unterer Strukturebene | Bevorratung von Bedarfspositionen auf oberen Strukturebenen | Bevorratung von Erzeugnissen | |
| 8 | Fertigungsart | Einmalfertigung | Einzel- und Kleinserienfertigung | Serienfertigung | Massenfertigung | |
| 9 | Ablaufart in der Teilefertigung | Werkstattfertigung | Inselfertigung | Reihenfertigung | Fließfertigung | |
| 10 | Ablaufart in der Montage | Baustellenmontage | Gruppenmontage | Reihenmontage | Fließmontage | |
| 11 | Fertigungsstruktur | Fertigung mit hohem Strukturierungsgrad | | Fertigung mit mittlerem Strukturierungsgrad | Fertigung mit geringem Strukturierungsgrad | |
| 12 | Kundenänderungseinflüsse während der Fertigung | Änderungseinflüsse in größerem Umfang | | Änderungseinflüsse gelegentlich | Änderungseinflüsse unbedeutend | |

Anmerkung. Idealtypische Merkmalsausprägungen des Variantenfertigers sind farbig hinterlegt. Quelle (Schuh 2007, S. 168).

Tabelle 9: Idealtypische Charakterisierung des Lagerfertigers.

| Merkmal | | Merkmalsausprägung | | | |
|---------|--|--|---|---|---|
| 1 | Auftragsauslösungsart | Produktion auf Bestellung mit Einzelaufträgen | Produktion auf Bestellung mit Rahmenaufträgen | Kundenanonyme Vor-/ kundenauftragsbezogene Endproduktion | Produktion auf Lager |
| 2 | Erzeugnisspektrum | Erzeugnisse nach Kundenspezifikation | Typisierte Erzeugnisse mit kundenspezifischen Varianten | Standarderzeugnisse mit Varianten | Standarderzeugnisse ohne Varianten |
| 3 | Erzeugnisstruktur | Mehrteilige Erzeugnisse mit komplexer Struktur | Mehrteilige Erzeugnisse mit einfacher Struktur | Geringteilige Erzeugnisse | |
| 4 | Ermittlung des Erzeugnis-/Komponentenbedarfs | Bedarfsorientiert auf Erzeugnisebene | Erwartungs- und bedarfsorientiert auf Komponentenebene | Erwartungsorientiert auf Komponentenebene | Erwartungsorientiert auf Erzeugnisebene |
| 5 | Auslösung des Sekundärbedarfs | Auftragsorientiert | Teilweise auftrags- und teilweise periodenorientiert | Periodenorientiert | |
| 6 | Beschaffungsart | Weitgehender Fremdbezug | Fremdbezug in größerem Umfang | Fremdbezug unbedeutend | |
| 7 | Bevorratung | Keine Bevorratung von Bedarfspositionen | Bevorratung von Bedarfspositionen auf unterer Strukturebene | Bevorratung von Bedarfspositionen auf oberen Strukturebenen | Bevorratung von Erzeugnissen |
| 8 | Fertigungsart | Einmalfertigung | Einzel- und Kleinserienfertigung | Serienfertigung | Massenfertigung |
| 9 | Ablaufart in der Teilefertigung | Werkstattfertigung | Inselfertigung | Reihenfertigung | Fließfertigung |
| 10 | Ablaufart in der Montage | Baustellenmontage | Gruppenmontage | Reihenmontage | Fließmontage |
| 11 | Fertigungsstruktur | Fertigung mit hohem Strukturierungsgrad | Fertigung mit mittlerem Strukturierungsgrad | Fertigung mit geringem Strukturierungsgrad | |
| 12 | Kundenänderungseinflüsse während der Fertigung | Änderungseinflüsse in größerem Umfang | Änderungseinflüsse gelegentlich | Änderungseinflüsse unbedeutend | |

Anmerkung. Idealtypische Merkmalsausprägungen des Lagerfertigers sind farbig hinterlegt. Quelle (Schuh 2007, S. 181).

Eigenständigkeitserklärung

Hiermit versichere ich, dass ich die vorliegende Arbeit beziehungsweise die von mir namentlich gekennzeichneten Teile selbstständig verfasst und ausschließlich die angegebenen Hilfsmittel benutzt habe. Die Stellen, die anderen Werken im Wortlaut oder dem Sinn nach entnommen sind, wurden durch Quellenangaben im Text deutlich gemacht. Die Arbeit ist in gleicher oder ähnlicher Form bisher noch nicht als Prüfungsleistung eingereicht worden.

Karlsruhe, den _____

Unterschrift _____