



**Konzeption zur Entwicklung  
Digitaler Regelkreise  
als Beitrag der Smarten Fabrik**

Von der Fakultät II für Informatik, Wirtschafts- und Rechtswissenschaften der  
Carl von Ossietzky Universität Oldenburg zur Erlangung des Grades und Titels eines

Doktors der Ingenieurwissenschaften (Dr.-Ing.)

angenommene Dissertation von  
Herrn **Dennis Schwäke**  
geboren am 17.08.1983 in Meppen

Gutachter

Prof. Dr.-Ing. Axel Hahn

Weiterer Gutachter

Prof. Dr.-Ing. Christoph Wunck

Tag der Disputation: 15.09.2020

## ZUSAMMENFASSUNG

Die nachhaltige Optimierung der Wertschöpfung soll durch eine gezielte Vernetzung digitaler Produktionsdaten erfolgen. Reale Entscheidungsbedarfe sollen demnach mit Hilfe digital-integrierter Informationen befriedigt werden.

Die *Smarte Fabrik* betitelt hierbei den digitalgestützten Entscheidungsprozess zur Unterstützung der operativen Fertigungsaufgabe.

Mittels gezielter Digitalisierungsmaßnahmen soll dazu die aufgabengerechte Gestaltung der industriellen Auftragsabwicklung sichergestellt werden.

Es gilt den technischen Informationsaustausch anhand der organisatorischen Rahmenbedingungen zu gestalten. Im Zuge der Systemgestaltung bedarf es dabei der gezielten Harmonisierung beteiligter Systemperspektiven.

Der hier vorgestellte Ansatz bietet eine Konzeption zur Unterstützung der Aufgaben zur Systemgestaltung. Ausgehend von den wirtschaftlichen Zielen der Produktion werden gestaltungsrelevante Perspektiven der Smarten Fabrik identifiziert und harmonisiert. Die Konzeption bietet Anwendern die Möglichkeit, potenzielle Digitalisierungsmaßnahmen, anhand einer konsistenten Anforderungsspezifikation auf den Systementwurf auszurichten.

Die Konzeption greift dazu domänenspezifische Merkmale der Produktion auf und ordnet diese im Sinne der Gestaltungsaufgabe. In einem reifegradbasierten Ansatz wird der aktuelle Systemzustand genutzt, um die Fähigkeit zur Selbststeuerung mit Hilfe digitaler Kontrollstrukturen zu entwickeln. Die Konzeption verwendet dabei Erkenntnisse aus den Kompetenzbereichen der Produktionsplanung und -steuerung (PPS), betrieblicher Anwendungssysteme (ERP und MES), des Industrial Engineerings (Lean Manufacturing), des Geschäftsprozessmanagements sowie der technischen Regelungstechnik.

Der Begriff *Digitaler Regelkreis* bezeichnet hierbei den systematisierten Kompetenzeinsatz zur Gestaltung selbststeuernder Wirkprozesse als Beitrag der operativen Produktionsaufgabe.

Die vorgestellte Konzeption liefert dabei eine wiederverwendbare Vorgehensmethodik zur Senkung der Integrationsaufwände im Gestaltungsprozess der Smarten Fabrik. Diese fördert den Technologietransfer zwischen Forschung, Entwicklung und Anwendung.

## **ABSTRACT**

By digitally connecting production data, a sustainable optimization of value chain should be achieved. Therefore, the demand for real decision-making shall be met by means of information, which are digitally integrated.

That said, *Smart Factory* describes a computerized process of decision-making that is digitally supporting the operational manufacturing.

The order-based design of industrial transactions is to be guaranteed by dedicated initiatives of digitalization.

There is a need to design the flow of technical information in accordance with the existing organizational frame. In the course of designing such a system, different aspects of the system require to be synchronized.

The given approach provides a concept that assists in the various facets of designing such a system. Starting from economic objectives of the industrial production, relevant aspects for the design of the Smart Factory are identified as well as synchronized. The concept provides users with the possibility to align potential measures of digitization based on consistent requirements specifications with the system's blueprint.

The concept takes domain specific characteristics of production systems arranging these based of the function of the design. The actual as-is-situation of the system is used to allow for automatic control by means of digital structures. This is done in a maturity-based approach. The concept utilizes findings from areas of competencies such as production planning and control, enterprise resource planning as well as manufacturing execution systems, industrial engineering (lean management), business process management and technical control system engineering.

In this context, the term *digital control loop* describes the systematic use of competencies for the design of automatically controlled processes as a contribution to the operational targets of production.

The presented concept provides a re-usable approach to minimize efforts of integration in the process of development the Smart Factory. This concept promotes the transfer of technologies between research, development and application.

## Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung.....	3
Abstract.....	4
Inhaltsverzeichnis.....	5
Abkürzungsverzeichnis .....	11
1. Einleitung .....	13
1.1 Entwicklung der Smarten Fabrik .....	14
1.2 Problemstellung .....	15
1.3 Wissenschaftlicher Beitrag.....	16
1.4 Digitale Regelkreise.....	18
1.5 Aufbau der Arbeit.....	18
2. Smarte Fabrik .....	20
2.1 Ziele und Eigenschaften .....	21
2.2 Voraussetzungen.....	22
2.3 Bestandteile .....	23
2.4 Umsetzung und Prioritäten .....	26
2.5 Produktionsziele .....	27
2.6 Potenziale .....	29
3. Perspektiven zur Gestaltung der Smarten Fabrik .....	33
3.1 Perspektiven in der Produktion .....	35
3.2 Interoperabilität.....	37
3.2.1 Wirtschaftliche Interoperabilität .....	38
3.2.2 Technische Interoperabilität .....	39
3.2.3 Organisatorische Interoperabilität.....	41
3.3 Informatik in der Produktion .....	42
3.3.1 Begrifflichkeiten .....	43
3.3.2 Produktionsplanung und -steuerung.....	44

3.3.3	Aufgaben und Arbeitsweise der PPS.....	45
3.3.4	Status Quo .....	46
3.3.5	Horizontale und vertikale Integration .....	49
3.4	Anwendungssysteme in der Industrie .....	52
3.4.1	Architektur integrierter Informationssysteme .....	53
3.4.2	Betriebliche Anwendungssysteme.....	55
3.4.3	ERP .....	57
3.4.4	MES.....	58
3.4.5	CIM.....	62
3.5	Industrial Engineering .....	65
3.5.1	Ziele des Industrial Engineering .....	66
3.5.2	Methoden des Industrial Engineering .....	67
3.5.3	Lean Manufacturing in der Smarten Fabrik .....	69
3.6	Geschäftsprozessmanagement .....	70
3.6.1	Beitrag im Kontext der Smarten Fabrik.....	71
3.6.2	Ziele des Geschäftsprozessmanagements.....	71
3.6.3	Methode des Geschäftsprozessmanagements .....	72
3.7	Regelkreise im Kontext der Smarten Fabrik .....	74
3.7.1	Grundlagen und Ziele technischer Regelkreise .....	75
3.7.2	Qualität von Regelkreisen .....	75
3.7.3	Proaktive und Reaktive Regelung .....	78
3.8	Mensch, Technik und Organisation .....	82
4.	Diskussion der Grundlagen.....	85
4.1	Potenziale als Beitrag der Produktionsziele.....	85
4.2	Einzelperspektiven in der Smarten Fabrik .....	87
4.3	Wirkungszusammenhänge der Perspektiven.....	88
5.	Anforderung zur Gestaltung Digitaler Regelkreise .....	91

5.1	Regelkreise als Teil der Smarten Fabrik.....	91
5.2	Anforderungen.....	92
5.3	Anforderungsanalyse.....	94
5.3.1	Analysemethode.....	94
5.3.2	Definition des Digitalen Regelkreises.....	95
5.3.3	Anforderungskatalog.....	97
5.3.4	Analyse verwandter Arbeiten.....	100
5.3.5	Diskussion der Ergebnisse.....	106
5.4	Beitrag der eigenen Arbeit.....	109
5.4.1	Konzept zur Entwicklung der Selbstorganisation.....	109
5.4.2	Abgrenzung des Digitalen Regelkreises.....	110
6.	Konzeption des Digitalen Regelkreises.....	111
6.1	Ziele und Aufgaben.....	111
6.2	Voraussetzungen.....	114
6.3	Aufbaustruktur.....	117
6.4	Entwicklungsphasen.....	120
6.5	Reifegrade.....	122
6.6	Kontrollpunkte.....	127
6.7	Kompetenzen.....	128
6.8	Zusammenfassung.....	131
7.	Evaluation des Digitalen Regelkreises.....	132
7.1	Anforderungen an die Überprüfung.....	132
7.1.1	Prüfziele.....	132
7.1.2	Prüfobjekt.....	134
7.1.3	Prüfmerkmale.....	134
7.1.4	Prüfmetrik.....	135
7.1.5	Prüfschärfe.....	136

7.1.6	Prüfmittel .....	136
7.1.7	Prüfpunkte .....	137
7.1.8	Prüfmethode .....	138
7.2	Durchführung der Überprüfung .....	139
7.2.1	Ablauf der Prüfung.....	139
7.2.2	Inhalte der Fallstudie .....	140
7.2.3	Ergebnisse der Prüfung.....	144
7.3	Bewertung der Überprüfung.....	151
7.3.1	Praktischer Einsatz.....	152
7.3.2	Führungsunterstützung.....	153
7.3.3	Schrittweise Anwendung .....	153
7.3.4	Reifegrade.....	154
7.3.5	Produktionsziele .....	155
7.3.6	Veränderungsbedarf.....	156
7.3.7	Anforderungsspezifikation .....	157
7.3.8	Entscheidungsfindung .....	158
7.3.9	Übertragbarkeit.....	158
7.3.10	Selbstorganisation.....	159
7.3.11	Digitale Kompetenz .....	160
7.3.12	Interoperabilität .....	161
8.	Abschluss.....	162
8.1	Zusammenfassung und Fazit.....	162
8.2	Übertragbarkeit.....	164
8.3	Ausblick und Forschungsbedarf.....	165
	Literatur.....	167
	Abbildung .....	203
	Tabellen .....	205

Anhang.....	207
<b>A01.</b> Spezifikation der Smarten Fabrik.....	207
<b>A02.</b> Potenziale der Smarten Fabrik .....	208
<b>A03.</b> Kennzahlen der Produktion.....	210
<b>A04.</b> Potenziale digitaler Entscheidungsunterstützung .....	212
<b>A05.</b> Dimensionen organisatorischer Reifegradmodelle .....	213
<b>A06.</b> Organisatorische Interoperabilität .....	214
<b>A07.</b> Leistungsverluste als Teil der Gemeinkosten .....	219
<b>A08.</b> Interoperabilität – Reifegrade.....	221
<b>A09.</b> Kompetenzbeitrag von Informationsträgern .....	222
<b>A10.</b> IT und Organisation im Geschäftsprozess .....	224
<b>A11.</b> PPS als Regelaufgabe.....	225
<b>A12.</b> Beschreibungsebenen in ARIS .....	226
<b>A13.</b> Beschreibungssichten ARIS .....	227
<b>A14.</b> PPS-Hauptphasen und Ergebnisse .....	228
<b>A15.</b> Softwarequalität .....	229
<b>A16.</b> PPS-Aufgaben und Meilensteine .....	230
<b>A17.</b> Horizontale und vertikale Integration .....	231
<b>A18.</b> AG-Statuswechsel als integrierte Zustandsänderung .....	231
<b>A19.</b> Anwendungsfunktionen mit gleichem Beitrag .....	232
<b>A20.</b> Idealtypische Funktionen in Anwendungssystemen .....	233
<b>A21.</b> Auftragsinformationen in der Produktion.....	235
<b>A22.</b> Zeitanteile der Durchlaufzeit .....	251
<b>A23.</b> Materialverbrauch in der Fertigung .....	252
<b>A24.</b> Aufgaben und Datenobjekte eines MES .....	254
<b>A25.</b> Y-Modell.....	266
<b>A26.</b> Produktionsdatenmanagement.....	267

<b>A27.</b>	Aufgabenkoordination in der Organisation.....	268
<b>A28.</b>	Integrationsansatz CAM .....	269
<b>A29.</b>	CAQ im Rahmen der PPS .....	271
<b>A30.</b>	Arten der Verschwendungen in der Produktion .....	275
<b>A31.</b>	Industrial Engineering .....	277
<b>A32.</b>	Glaubenssätze der Führung im KVP der Fertigung .....	280
<b>A33.</b>	Spezifikation des MTO-Ressourceneinsatzes .....	282
<b>A34.</b>	Anforderungskatalog.....	284
<b>A35.</b>	Analyse vorhandener Ansätze .....	293
<b>A36.</b>	Methoden des Geschäftsprozessmanagements.....	296
<b>A37.</b>	Regelkreis Grobstruktur .....	300
<b>A38.</b>	Regelkreis klassisch .....	300
<b>A39.</b>	Beschreibung Regelkreis klassisch .....	301
<b>A40.</b>	Regelgrößen Tabellarisch.....	304
<b>A41.</b>	Proaktive und Reaktive Regelkreise im Umfeld der PPS.....	305
<b>A42.</b>	Reifegrade Digitaler Regelkreise .....	311
<b>A43.</b>	Einzelperspektiven der Smarten Fabrik .....	320
<b>A44.</b>	Empirische Untersuchungen.....	322
<b>A45.</b>	Voraussetzungen des Digitalen Regelkreises.....	323
<b>A46.</b>	Entwicklungsphasen .....	326
<b>A47.</b>	Kompetenzbedarf des Digitalen Regelkreises .....	331
<b>A48.</b>	Anforderungen an die Fallstudie .....	332
<b>A49.</b>	Fallstudie – Unternehmenssteckbrief.....	334
<b>A50.</b>	Fallstudie – Produkt- und Produktionsumfeld .....	335
<b>A51.</b>	Fallstudie – Dokumentation der Entwicklungsphasen.....	337
<b>A52.</b>	Kontrollpunkte.....	349

## ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS

AG(s)	Arbeitsgang, (Arbeitsgänge)
API	Application Programming Interface
AQL	Acceptable Quality Limit
ARIS	Architektur integrierter Informationssysteme
Auto ID	Automatische Identifikation und Datenerfassung
AV	Arbeitsvorbereitung
BA	Bestellauftrag
BDE	Betriebsdatenerfassung
BI	Business Intelligence
CAE	Computer Aided Engineering
CAD	Computer Aided Design
CAM	Computer Aided Manufacturing
CAP	Computer Aided Planning
CAQ	Computer Aided Quality
CIM	Computer Integrated Manufacturing
cpk	Capability of Process / Prozessfähigkeit (Index k)
DB	Datenbank
DLZ	Durchlaufzeit
DMS	Dokumentenmanagementsystem
DNC	Direct Numerical Control
DRK	Digitale(r) Regelkreis(e)
EDI	Electronic Data Interface
EK	Einkauf
ERP	Enterprise Resource Planning
F&E	Forschung und Entwicklung
FAZ	Frühester Anfangszeitpunkt
FDA	Food and Drug Administration
FE	Fertige Erzeugnisse
FEZ	Frühester Endzeitpunkt
FMEA	Failure Mode Effects and Analysis
GP	Geschäftsprozess (e)
GPM	Geschäftsprozessmanagement
HMI	Human Maschine Interface / Mensch-Maschine Schnittstelle
HR	Human Resource / Personalwirtschaft
IE	Industrial Engineering
IEC	International Electrotechnical Commission
JIT	Just in Time
KI	Künstliche Intelligenz

KVP	Kontinuierlicher Verbesserungsprozess
LPA	Layered Process Audit
LVS	Lagerverwaltungssystem
M2M	Maschine zur Maschine Kommunikation
MES	Manufacturing Execution System
MRP I	Material Requirements Planning
MRP II	Manufacturing Resource Planning
MTBF	Mean time between failures
MTBR	Mean time to Repair
MTO	Mensch, Technik und Organisation
MTTPM	Mean time to preventive maintenance
OEE	Overall Equipment Effectiveness
OOP	Objektorientierte Programmierung
OTG	Obere Toleranzgrenze
PEP	Personaleinsatzplanung
PLC	Programmable Logic Controller
PDM	Produktdatenmanagement
PLM	Product Lifecycle Management
PPS	Produktionsplanungs- und Steuerungssystem
PWG	Prozesswirkungsgrad
PZE	Personalzeiterfassung
PZW	Personalzeitwirtschaft
QM	Qualitätsmanagement
QS	Qualitätssicherung
RAMI	Referenzarchitekturmodell Industrie 4.0
RHB	Roh-, Hilfs- und Betriebsstoffe
ROI	Return on Investment
SCADA	Supervisory Control and Data Acquisition
SCM	Supply Chain Management
SPS	Speicherprogrammierbare Steuerung
SF	Smart Factory / Smarte Fabrik
TPM	Total Productive Maintenance
TQM	Total Quality Management
SAZ	Spätester Anfangszeitpunkt
SEZ	Spätester Endzeitpunkt
UFE	Unfertige Erzeugnisse
UTG	Untere Toleranzgrenze
V+V	Validierung und Verifikation
WIP	Work in Process
WMS	Warehouse Management System

## 1. EINLEITUNG

Als ein Teil des Begriffes Industrie 4.0 beschreibt die Smarte Fabrik (SF) ein visionäres Layout der industriellen Fertigung (vgl. Bauernhansl et al. 2014a, S. 16).

Umfragen zu Folge sehen Unternehmen im Themenfeld große Potenziale zur Erhöhung der eigenen Wertschöpfung (acatech 2016, S. 10).

Industriebetriebe stehen dabei vor der Herausforderung Veränderung der innerbetrieblichen Strukturen vorzunehmen, um durch den Einsatz digitaler Informationsflüsse den angestrebten Nutzen zu erzielen. Als Kernpotenzial der SF wird dabei das Bilden von Regelkreisen gesehen (Kletti 2015, S. 11–14).

Durch die Umsetzung durchgängiger Informationsflüsse sollen selbstorganisierte Wirkketten zur zielgerichteten Kontrolle industrieller Fertigungsabläufe entstehen. Als visionäre Anwendung gilt hierbei die Produktion der „Losgröße 1“. Diese soll den wirtschaftlichen Mehrwert der maximalen Entscheidungs- und Reaktionsqualität im betrieblichen Informationsfluss darstellen (Vogel-Heuser et al. 2017a).

Innerhalb des Veränderungsprozesses zum Auf- & Ausbau der Regelkreise, kann der Umsetzungsstand einer SF anhand von Reifegraden gemessen werden.

Diese beschreiben einen Erfüllungsgrad unterschiedlicher Perspektiven, wie bspw. technologische, organisatorische, prozesseitige, leistungsorientierte, kulturelle, wissensorientierte Dimensionen zur Bewertung des allgemeinen Umsetzungsstandes (Kese und Terstegen 2017).

Dabei ist diese Bewertung der Reife eher strategisch und als langfristige Kennzahl zu verstehen (Obermaier 2017).

Innerhalb der operativen Realisierung zeigt die Praxis hingegen Bedarfe in Bezug auf die Harmonisierung konkreter Reifegraddimensionen (Schumacher 2018).

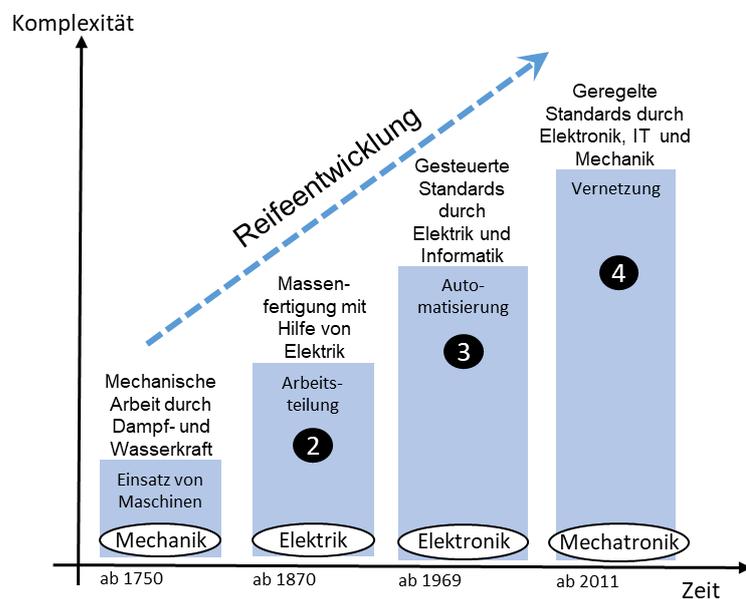
Durch den potenziellen Einsatz innovativer Informationstechnologien wird der Bedarf zur Abstimmung unterschiedlicher Kompetenzbereiche notwendig (acatech 2016).

Die Qualität der Abstimmung wird dabei durch den Begriff der Interoperabilität beschrieben. Es scheint naheliegend, dass bei einem hohen Abstimmungsbedarf zwischen unterschiedlichen Systemteilnehmern die Qualität des Austausches gleichzeitig einen hohen Einfluss auf das Gesamtergebnis nimmt. Daraus resultiert die Notwendigkeit zur übergreifenden Koordination einzelner Kompetenzen, mit dem Ziel, Regelkreise für die digitale Fertigung zu entwickeln. Diese sollen ihrerseits einen Beitrag zur Steigerung der Fähigkeit zur Selbstorganisation der SF leisten.

## 1.1 ENTWICKLUNG DER SMARTEN FABRIK

Die Industrialisierung wird anhand unterschiedlicher Reifestufen unterschieden. Mit dem Begriff „revolutionär“ wird gemeinhin die Einordnung der Stufen industrieller Reifegrade betitelt. Die Industrialisierung, im engeren Sinne, besitzt dabei das Ziel durch die Kombination technisch-wirtschaftlicher Prozesse eine Standardisierung zu bewirken - auch wenn der Begriff „Revolution“ sehr unterschiedlich interpretiert wird (Hahn 2011, S. 52–59).

Die Entwicklung soll zu effektiveren, produktiveren und gleichförmigen Herstellereigenschaften beitragen. Betriebswirtschaftlich handelt es sich um einen kontinuierlichen Prozess der Entwicklung zur Steigerung der Wettbewerbsfähigkeit. Abbildung 1 zeigt die industriellen Entwicklungsstufen:



**ABBILDUNG 1 - INDUSTRIELLE ENTWICKLUNG**

Eigene Darstellung in Anlehnung an (Bauernhansl et al. 2014b, S. 5–20)

Mit steigender Komplexität ist gleichzeitig der Anspruch zur Berücksichtigung bisheriger Entwicklungsstufen verbunden.

Der Übergang zwischen gesteuerten Standards (Stufe 3) und geregelten Standards (Stufe 4) und den damit verbundenen Anforderungen zur Integration einzelner Perspektiven, aus den Kompetenzbereichen der Informatik, Elektronik und Mechanik, wird mit dem Begriff cyber-physische Systeme (CPS) zusammengefasst (Schallmo et al. 2017).

Im Produktionsumfeld werden darunter physische Instanzen (z.B. ein Roboter, ein Werkstück oder ein Mensch) verstanden, welche durch den bedingten Softwareeinsatz und dessen kontextbezogene Integration in die elektrische Sensor-/Aktorebene, den Herstellprozess im Sinne der Wertschöpfung unterstützen.

Eine technische Integration der Elektronik, Informatik und Mechanik soll dabei wiederum zu effektiveren, produktiveren und gleichförmigen Prozessen der Organisation beitragen (BMBF 2017).

Die Vision automatisierter CPS steht dabei im Wettbewerb zu nicht vollständig vernetzten und/oder teilweise manuell ausgeführten Aktivitäten der Prozessinstanzen. Menschliche Entscheidungsprozesse, menschliche Arbeit, gesteuerte Automatisierung, teilautomatisierte Geschäftsprozesse, manuelle Datenverarbeitung und vergleichbare, nicht vollständig integrierte Datenflüsse werden dabei so lange dem CPS Ansatz vorgezogen, wie Integrationsbarrieren aus Kosten, Wissen, Zeit und Risiken den erwarteten Mehrwert einer automatisierten Fertigung verhindern (Wheeler 1993).

Im Forschungsraum der industriellen Fertigung gilt es demnach den aktuellen Entwicklungsstand der Integration und dessen Auswirkungen auf die organisatorischen Rahmenbedingungen der Produktion zu berücksichtigen.

Die bisherigen Reifegrade der industriellen Revolution wurden jeweils zeitlich nachgelagert, als solche erkannt und betitelt.

Dabei ist der revolutionäre Begriff mehr als volkswirtschaftliches Phänomen zu verstehen (Reinheimer 2017).

Dem gegenüber wird im hier diskutierten Anwendungsfall die betriebswirtschaftliche Ausgangssituation des Unternehmens diskutiert. Hierbei gilt es den vorherrschenden Reifegrad des betroffenen Produktionssystems zu berücksichtigen.

Um dem Anspruch eines technisch-wirtschaftlichen Mehrwerts durch den Einsatz von Software gerecht zu werden, bedarf es dazu konkreter Entwicklungsschritte. Diese sollen im Forschungsraum der SF identifiziert und im Sinne des Technologietransfers konzipiert werden.

## 1.2 PROBLEMSTELLUNG

Um die betriebswirtschaftlichen Potenziale der Industrialisierung zu nutzen, sind Investitionen notwendig. Die Beschaffung von Hardware, die Weiterbildung von Mitarbeitern, der Kauf bzw. die Entwicklung von Software oder die Beauftragung externer Dienstleister, sind Investitionsmaßnahmen zur Stärkung der Innovationsfähigkeit des digitalen Industriebetriebs.

Für die Vision der SF können diese Investitionsaktivitäten unter dem Begriff Digitalisierungsmaßnahmen zusammengefasst werden (Terstegen et al. 2019a).

Zur Ermittlung, Festlegung, Adaption und Umsetzung dieser Maßnahmen verantworten Entscheidungsträger dessen Investitionssicherheit. Hierbei sollen Aufwand und Risiko im Sinne der Zielerreichung gemindert werden. Im Investitions- und

Entwicklungsprozess besteht dabei die Herausforderung praktischen Interessenkonflikten zwischen wirtschaftlichem Einsatz neuartiger Technologie und der Veränderungsfähigkeit der Organisation zu begegnen. Digitalisierungsmaßnahmen sollen es dabei ermöglichen, künftige Unternehmensziele in Abhängigkeit vom Ausgangszustand zu erreichen.

Der Kompetenzaufbau der Organisation ist dabei Hauptaufgabe zur Entwicklung der digitalen Reife (Spath 2013).

Zum gezielten Technologieeinsatz gilt es Maßnahmen der Kompetenzüberführung zu gestalten. Ingenieurwissenschaftliche Ansätze einer konsistenten Konzeption zur Entwicklung der visionären Selbstorganisation, sind in der Praxis weitgehend unbekannt. Zur gezielten Aktivierung und Harmonisierung notwendiger Fachkompetenzen fehlt es an methodischem Vorgehen zur Anforderungsermittlung im Umfeld der SF. Eine methodische Konzeption zur Validierung und Verifikation von Digitalisierungsmaßnahmen liegt hierzu nicht vor. Diese Form der systematischen Systementwicklung wäre notwendig, um die Transformation zum Technologieeinsatz risikofreundlich und wirtschaftlich-zielorientiert zu gestalten.

### 1.3 WISSENSCHAFTLICHER BEITRAG

Der hier entwickelte Ansatz greift die Problemstellung aus Kapitel 1.2 auf. Als Lösungsbeitrag wird eine wiederverwendbare Methodik zur Anforderungsspezifikation konzipiert. Diese zielt auf den Technologieeinsatz in der SF ab. Der Ansatz erfüllt dabei den Zweck einer V+V basierten Ableitung von Entwicklungsaufgaben zur Förderung der Selbstorganisation. Die ermittelten Digitalisierungsmaßnahmen berücksichtigen dabei den Reifegrad des Produktionssystems und diskutieren alternative Perspektiven zur Gestaltung der Umsetzung. Der Technologieeinsatz wird dabei für die Perspektiven **Mensch, Technik und Organisation (MTO)** diskutiert. Dazu werden technische Anforderung an IT anhand fachlicher Produktionsziele abgeleitet und abhängige Organisationsstrukturen personeller und abhängiger Ressourcen im Geschäftsprozess aufgabenorientiert ausgerichtet.

Es wird die übergreifende Frage diskutiert:

*Wie sollte eine Vorgehensmethodik konzipiert sein, welche die Fähigkeit zur Selbstorganisation, mit Hilfe des Technologietransfers und im Sinne der Smarten Fabrik, wirtschaftlich nachhaltig fördert?*

Daraus ergeben sich nachfolgende Teilfragen und dessen Ziele der Forschung:

Frage 1	Welche Kompetenzen und Perspektiven müssen in die Anforderungsermittlung der Selbstorganisation eingehen?
------------	---

Ziel 1.1	Vorhandene Technologien und Konzepte zur Entwicklung der Smarten Fabrik berücksichtigen
-------------	---

Ziel 1.2	Methodische Verifikation und Validierung zur Ermittlung der Anforderungen ermöglichen
-------------	---

Ziel 1.3	Interdisziplinarität zur Unterstützung des Technologietransfers fördern
-------------	---

Frage 2	Wie können struktureller Aufbau und Ablauf zur Entwicklung der Selbstorganisation wiederverwendbar gestaltet werden?
------------	--

Ziel 2.1	Generische Aufbaustruktur zur Beschreibung der Selbststeuerung in der Smarten Fabrik definieren
-------------	---

Ziel 2.2	Generischen Ablaufstruktur zur Förderung des Reifegrades in der Smarten Fabrik definieren
-------------	---

Der wissenschaftliche Beitrag soll dabei einen Erkenntnisgewinn zur Lösung der beschriebenen Problematik liefern.

Der Beitrag wird daher wie folgt zusammengefasst:

*Bereitstellung und Anwendung einer  
Konzeption zur Entwicklung Digitaler Regelkreise als Beitrag der Smarten Fabrik*

## 1.4 DIGITALE REGELKREISE

Um den zentralen Begriff des Digitalen Regelkreises (DRK) im Verlauf einordnen zu können, wird dieser nachfolgend erläutert. Eine konkrete Definition und Abgrenzung erfolgen dazu ab Kapitel 5.3.2.

Unter DRK werden fortan selbststeuernde Entscheidungsprozesse der industriellen Fertigung, durch den Einsatz betrieblicher Anwendungssysteme verstanden. Selbststeuernd wird dabei nicht zwingend mit voll automatisiert gleichgesetzt, sondern beschreibt das Potenzial zum Ausbau geschlossener Wirkketten durch die Realisierung digitaler Informationen der GP. Der Anteil der autonomen Aktivitäten eines DRK beschreibt dabei gleichzeitig seinen Reifegrad. Diesen gilt es im Sinne der SF zu steigern. Der Begriff *Selbststeuerung* charakterisiert die Eigenschaften einer bedingten Verhaltenskontrolle realer Zustände, in Form digitaler Wirkprozesse. Der DRK fasst diese Eigenschaften zusammen. Aus einem engeren Sinne der Prozessautomation ersetzt die Fähigkeit der *Regelung* den Begriff der *Selbststeuerung*. Durch den Anspruch der SF, mit Hilfe digital-integrierter Informationen der GP, operative Prozessziele effizient zu unterstützen und dem regelungstechnischen Bedarf eines geschlossenen Wirkprinzips, ergibt sich die Begrifflichkeit des *Digitalen Regelkreises*.

Nachfolgende Attribute charakterisieren dessen Eigenschaften und Verhalten:

- |  |                             |
|--|-----------------------------|
| ▪ Zielbezug                                    | → Qualität der Regelaufgabe |
| ▪ Grad der Selbstorganisation                  | → Autonomie der Ausführung  |
| ▪ Ressourceneinsatz zum Betrieb                | → Betriebsaufwand           |
| ▪ Entwicklungspotenzial im Ausbau              | → Nachhaltigkeit            |
| ▪ Geschwindigkeit der Entscheidungsaktivierung | → Ergebnisbeitrag           |

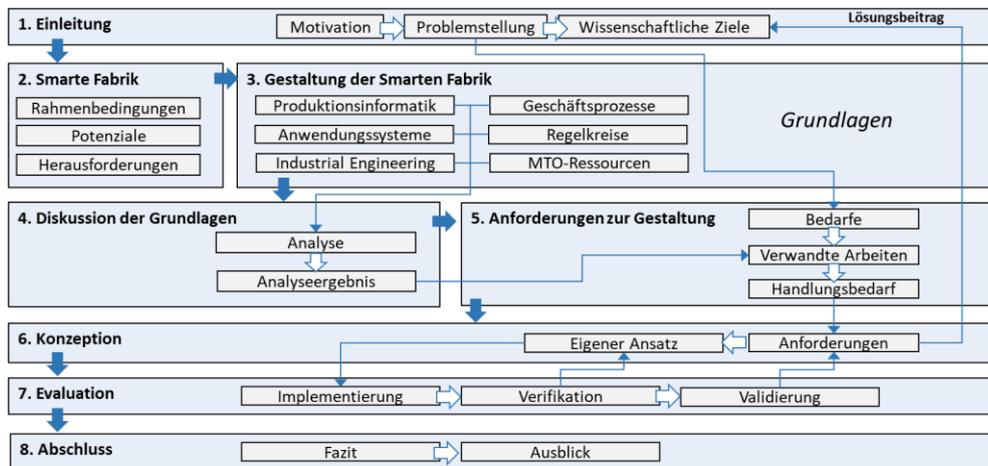
Akteure des DRK sind dabei in Form von Unternehmensressourcen als physische, virtuelle oder physisch-virtuelle Prozessinstanzen eingebunden. Als Ziel des DRK wird die Unterstützung der Wertschöpfung im Sinne der Produktionsziele verstanden.

Die Begrifflichkeiten Selbststeuerung und Selbstorganisation werden dabei anhand des realen Ressourceneinsatzes differenziert. Die Eigenschaft der Selbstorganisation beinhaltet einen physischen Ressourceneinsatz im Zuge der operativen Aufgabenerfüllung. Die Begrifflichkeit der Selbststeuerung beinhaltet lediglich einen digitalen Ressourceneinsatz zur Verhaltenskontrolle virtueller Zustände.

## 1.5 AUFBAU DER ARBEIT

Nachfolgend wird eine Übersicht der Forschungsarbeit dargestellt. Der Aufbau des ingenieurwissenschaftlichen Forschungsansatzes ist dabei an die anforderungsorientierte Systementwicklung angelehnt (Herrmann et al. 2012). Hierzu wird der

übergreifende Zusammenhang der Kapitel und deren inhaltlicher Beitrag zur Forschungsmethodik der Ingenieurwissenschaften beschrieben (Abbildung 2).



**ABBILDUNG 2 - AUFBAU DER FORSCHUNG**

Kapitel 1 beschreibt die Motivation, Problemstellung und Ziele der Forschung.

In Kapitel 2 wird auf die Rahmenbedingungen, Potenziale und Herausforderungen im Forschungsraum der SF eingegangen. Diese werden in Kapitel 3 aus unterschiedlichen Perspektiven vertieft. Dazu werden bestehende Ansätze aus den Kompetenzbereichen, der Produktionsinformatik, betrieblicher Anwendungssysteme, des Industrial Engineerings, des Geschäftsprozessmanagements, technischer Regelkreise und des MTO Ressourceneinsatzes, als Gestaltungsansätze der SF detailliert. Diese Ansätze werden in Kapitel 4 in einen Kontext gestellt und analysiert. Nachfolgend werden in Kapitel 5 bestehende Bedarfe und verwandte Forschungsarbeiten analysiert und der wissenschaftliche Handlungsbedarf abgeleitet. Dieser wird in Kapitel 6 genutzt, um Anforderungen an eine Vorgehensmethodik zu definieren und diese zu konzipieren.

Die Konzeption soll es dabei ermöglichen in einem vorhandenen Produktionssystem schrittweise die Fähigkeit zur Selbstorganisation dortiger Produktionsaufgaben zu ermöglichen. Ausgehend vom Status Quo sollen dabei organisatorische Maßnahmen schrittweise ermittelt und umgesetzt werden können. Diese zielen darauf ab, über den Ausbau der Fähigkeit zur Selbststeuerung (digitaler Kontrollfluss der Produktion) den Reifegrad zur Selbstorganisation (kontrollierter Ressourceneinsatz der Produktion) methodisch zu steigern. Als Ergebnis soll die gesteigerte Fähigkeit zur Selbstorganisation einen Beitrag zu den Zielen im Produktionssystem leisten.

In Kapitel 7 wird die eigene Konzeption mit Hilfe einer Fallstudie evaluiert und deren Ergebnisse werden bewertet. Abschließend wird der Ergebnisbeitrag in Kapitel 8 diskutiert und ein Ausblick künftiger Forschungen aufgezeigt.

## **2. SMARTE FABRIK**

Der Begriff SF ist nicht eindeutig definiert, sondern lebt vor allem von der Beschreibung von Anwendungsszenarien (Bauernhansl et al. 2014b, S. 57–78).

Ein kontinuierlicher Ausbau zur wirtschaftlichen Selbstorganisation der Wertschöpfung ist dabei zentrale Aufgabe der SF. Durch den Einsatz digitaler Informationsflüsse soll hierbei die Fähigkeit zur Selbststeuerung, die Steigerung der Prozessqualität unterstützen. Als Ergebnis der digitalgestützten Wertschöpfung soll der Kundennutzen erhöht werden (Bauer und Horváth 2015).

In den nachfolgenden Kapiteln werden die damit verbundenen Ziele, Eigenschaften, Voraussetzungen, Bestandteile und Potenziale der SF erläutert.

## 2.1 ZIELE UND EIGENSCHAFTEN

Der Begriff „Smart“ beschreibt unter anderem eine Methode zur Definition von Zielen (vgl. Hruschka 2014).

Dabei definieren die Buchstaben S-M-A-R-T jeweils Anforderungen an die Art der Zielformulierung:

S – Spezifisch: Was genau soll erreicht werden? Welcher Kontext ist relevant?

M – Messbar: Wie wird die Erfüllung gemessen? Was genau wird gemessen?

A – Attraktiv: Ist das Ziel akzeptiert? Motiviert das Ziel den Ressourceneinsatz?

R – Realistisch: Können eingesetzte Ressourcen ausreichenden Einfluss ausüben?

T – Terminiert: In welchem Zeithorizont soll das Ziel erreicht sein?

(Dort 2018)

Die Attribute besitzen die Aufgabe durch die Art der Zielformulierung ein hohes Erfolgspotenzial im Prozess der Zielerreichung sicherzustellen. Zum einen, durch die Fähigkeit Ressourcen konkret auf das Ziel auszurichten (spezifisch, attraktiv, realistisch) und zum anderen, durch die Fähigkeit zur Gegensteuerung bei drohenden Abweichungen (messbar, terminiert). Um Potenziale der SF durch den Einsatz von IT zu nutzen, kann die Begriffsanalogie „smarte Ziele definieren“ sinnvoll beitragen. D.h. um stabile Leistungen der GP, mit Hilfe einer aktiven Verhaltenskontrolle der Entscheidungsaktivierung zu etablieren, bietet die smarte Zieldefinition eine sinnvolle Voraussetzung.

Betriebliche Prozessleistungen werden vornehmlich anhand ihrer Zielerreichung beurteilt (Buhl et al. 2011).

Diese sollen in der SF mit Hilfe vernetzter Informationen zur Entscheidungsaktivierung unterstützt werden (Schuh et al. 2017).

Die digital-gestützte Entscheidungsaktivierung wird dabei anhand der SMART-Merkmale ausgerichtet. Die SMART-Merkmale dienen dabei gleichzeitig zur Bewertung der Qualität zur Entscheidungsaktivierung im GP:

**S**pezifisch: Was genau sollte durch die Entscheidung erreicht werden?

**M**essbar: Welche Veränderung wurde durch die Entscheidung ausgelöst?

**A**ttaktiv: Wie beeinflusst die Entscheidung die Leistungsbereitschaft?

**R**ealistisch: Welchen Einfluss nimmt die Entscheidung auf das Ziel selbst?

**T**erminiert: Wann wurde die Entscheidung getroffen?

Ziele SMART zu formulieren wird daher als sinnvoller Anspruch zur Gestaltung der SF verstanden. Diese Art der Zielformulierung soll dabei auf konkrete Eigenschaften der digitalen Entscheidungsaktivierung angewandt werden.

Die digitalgestützte Entscheidungsaktivierung wird als Hauptanwendungsfeld der SF verstanden (Schuh et al. 2017).

In Anhang A01 wird dazu der Begriff der SF anhand seiner Merkmale im Prozess der Entscheidungsaktivierung spezifiziert.

Innerhalb eines industriellen Produktionssystems werden täglich hunderte bis zu tausende operative Entscheidungen getroffen (Völker 2015).

Durch konkurrierende Ziele der Entscheidungsträger, die nicht Verfügbarkeit von Entscheidungsgrundlagen (Kontext-Informationen) oder einem zu hohen Aufwand der Entscheidungsvorbereitung, entstehen Verluste im Prozess der Entscheidungsaktivierung. Die Hauptaufgabe der SF besteht darin diesen Prozess für das Anwendungsfeld der industriellen Wertschöpfung zu harmonisieren und zu optimieren. Dabei gilt es bestehende Konzepte und Methoden des Fertigungsmanagements ganzheitlich zu integrieren (Völker 2015).

Vorhandene Kompetenzbereiche wie bspw. das Geschäftsprozessmanagement, Lean Manufacturing<sup>1</sup>, die Regelungs- und Automatisierungstechnik, der Aufbau der Produktionsplanung und –steuerung, oder Konzepte der Organisationsentwicklung, werden durch den Gedanken der SF nicht ersetzt, sondern sollen vielmehr miteinander verbunden werden (Bogus und Stock 2018).

Dabei gelten in der SF die Ziele der industriellen Wertschöpfung als übergeordnete Anforderungen an die Konzeption einer potenziellen Entscheidungsunterstützung (Deflorin et al. 2017).

## 2.2 VORAUSSETZUNGEN

Durch den Ansatz Entscheidungsprozesse in der Fertigung zielorientiert zu automatisieren und die Entscheidungsergebnisse gleichzeitig direkt in Form von Maßnahmen umzusetzen (Selbstorganisation), wird eine grundlegende Voraussetzung der SF mit dem Schlagwort „vernetzte Informationen“ bezeichnet (Heidel et al. 2017b). Diese integrierten Informationen fordern im Kontext der SF mehrere notwendige Bedingungen. Nachstehend werden diese als Voraussetzungen für den Auf- und Ausbau der SF aufgeführt:

---

<sup>1</sup> als Ansatz des Industrial Engineering

- Der Zugriff auf entscheidungsrelevante Informationen wird für die Systemteilnehmer des Wertschöpfungsprozesses ermöglicht und stetig ausgebaut (zunehmende Transparenz im Entscheidungsprozess)
- Kontinuierliche Steigerung der Wissenskurve von Systemteilnehmer durch stetigen Ausbau von Entscheidungskompetenzen<sup>2</sup>.
- Zunehmender Bekanntheitsgrad und gesteigerte Kommunikationsfähigkeit von Objekten im realen und virtuellen Prozess
- Reale und virtuelle Daten werden in einem Entscheidungsprozess betrachtet bzw. sind gleichermaßen relevant
- Maschinelle und menschliche Systemteilnehmer können auf entscheidungsrelevante Informationen zugreifen
- Die Entscheidungsfindung erfolgt zunehmend regelbasiert
- Der Regelausbau wird als Ergebnis vorheriger Entscheidungsprozesse und dessen Beitrag zur Zielerreichung gestaltet (menschliches und maschinelles Lernen)

(Liggesmeyer 2017).

Innerhalb der visionären Beschreibung der selbstorganisierten Fertigung nimmt der Einsatz menschlicher Entscheidungsprozesse zunehmend ab. In der Realität wird der Grad der Selbstorganisation durch den wirtschaftlichen Erfolg der Organisationsform (maschinell vs. menschlich) definiert. Der Anspruch einer „zunehmenden Entscheidungsautonomie“ fließt somit als hinreichende Bedingung in die Voraussetzungen ein (vgl. Kap.: 1.1).

Die aufgeführten Voraussetzungen definieren Rahmenbedingungen als Grundlage der SF. Die organisatorisch-technischen Anforderungen sind daher Bestandteil der Betriebsstrategie im Lebenszyklus der SF. Dessen technologische Bestandteile werden nachfolgend erläutert.

## 2.3BESTANDTEILE

Um den Ansatz der SF im Anwendungsfeld einordnen zu können, werden nachfolgend technische, technologische und aufgabenorientierte Bestandteile vorgestellt.

Als eher technische Bestandteile der SF werden Sensoren, Aktoren, Assistenzsysteme und eine durchgängige interne/externe Netzwerkinfrastruktur in Form von (W)LAN /Internet genannt (Schuh et al. 2017).

---

<sup>2</sup> In Anlehnung an die Kompetenzentwicklung nach North et al. 2013, S. 47.

Diese werden durch technologische Bestandteile erweitert und beschreiben Anforderungen an die Fähigkeit zur Informationsverarbeitung:

- Zeitnahe Verarbeitung von Daten der GP (Echtzeit)
- Integration von Informationssystemen (Interoperabilität)
- Verarbeitung großer Datenmengen (Big Data)
- Erkennung von Muster und Abhängigkeiten (KI)
- Unterstützung der Entscheidungsfindung (Assistenzfunktionen)
- Zunehmende Automatisierung der Entscheidungsaktivierung (CPS)

(acatech 2016)

Die Verbindung der technischen und technologischen Bestandteile soll dabei die vertikale und horizontale Integration der Daten in den GP ermöglichen (Roth 2016).

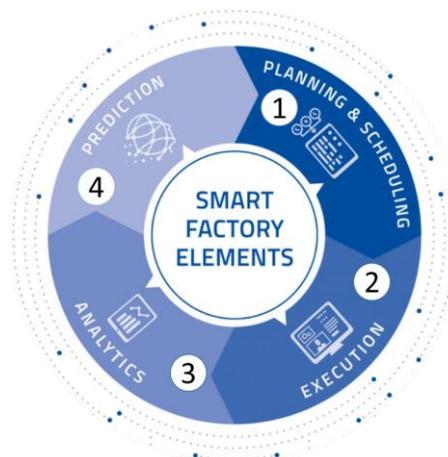
Konkrete Inhalte dazu werden in Kapitel 3.3.5 vertieft.

Allgemein sollen die obigen Bestandteile, Aufgaben unterstützen, um operative Reaktionszeiten im GP zu verkürzen.

Diese phasenorientierten Aufgaben können wie folgt beschrieben werden:

1. Planning & Scheduling (Feinplanung und Terminierung)
2. Execution (Ausführung)
3. Analytics (Analyse)
4. Prediction (Vorhersage)

(mpdv 2019)



**ABBILDUNG 3 - ELEMENTE DER SMARTEN FABRIK**

(mpdv 2019)

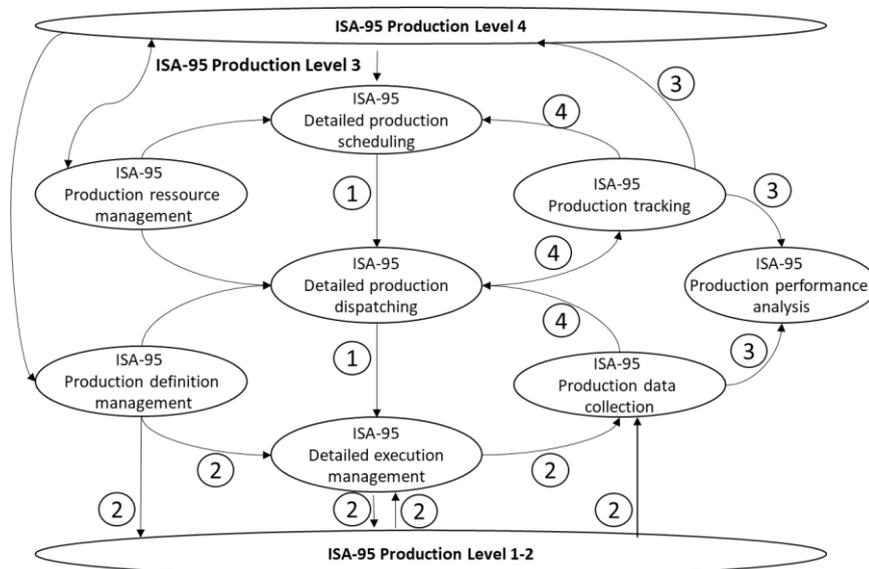
Die Aufgaben 1 bis 4 orientieren sich dabei am operativen Lebenszyklus eines fertigungsabhängigen Informationsbedarfes. Diese können als Phasen eines Regelkreises verstanden werden (Abbildung 3).

In einer funktional-datenorientierten Perspektive folgen die Phasen einer sequentiellen, wiederkehrenden Abhängigkeit und beinhalten operative Aufgabenziele zur Deckung des fertigungsabhängigen Informationsbedarfs:

1. **Planung:** Ermittlung operativer Sollwerte<sup>3</sup> (z.B. Menge, Kapazität, Termin)
2. **Ausführung:** Erfassung der Istwerte im Herstellprozess
3. **Bewertung:** Analyse der Soll.-/Ist.-Wert Abweichungen
4. **Vorhersage:** Anpassung und Erweiterung bestehender Soll.-/Ist.-Werte

Durch den Wirkprozess zum stetigen Ausbau der Reaktions- und Prognosefähigkeit, steigt hierbei die Kontrollierbarkeit der Sollwerte. Die Bestandteile der SF sollen zum Ausbau dieser Fähigkeit beitragen. Dessen Eigenschaften sind dabei so zu gestalten, dass die Ziele der Produktion in Form von Sollwerten umgesetzt werden (können). Gleichzeitig sind die Aufgaben der SF Teil bestehender Standards.

Abbildung 4 zeigt dazu einen Auszug des Aktivitätsmodells der ISA 95.



**ABBILDUNG 4 - DIE SMARTE FABRIK ALS TEIL DER ISA 95**

Eigene Darstellung in Anlehnung an (ISA 95 2010a)

Hierbei werden die Aufgaben (aus Abbildung 3) im Kontrollfluss des Produktionsmanagements referenziert. Hier übernehmen diese wiederum operative (Teil-) Aufgaben der Aktivitäten nach ISA 95. Dieser Zusammenhang wird in Abbildung 4 verdeutlicht. Es fällt auf, dass nicht alle Verbindungen nach ISA 95 durch operative Aufgaben der SF unterstützt werden. Um diese Zusammenhänge und dessen Relevanz beurteilen zu können, sollen zunächst die Ziele im Betrieb der SF definiert werden. Nachfolgend werden dazu die Prioritäten im Zuge der Umsetzung der SF vorgestellt.

<sup>3</sup> Sollwerte beschreiben in diesem Kontext jegliche Form von Vorgabewerten zu Stabilisierung des GP (Prioritäten, Regeln, Eingriffsgrenzen, Planwerte, Verarbeitungszyklen, Bewegungsdaten etc.)

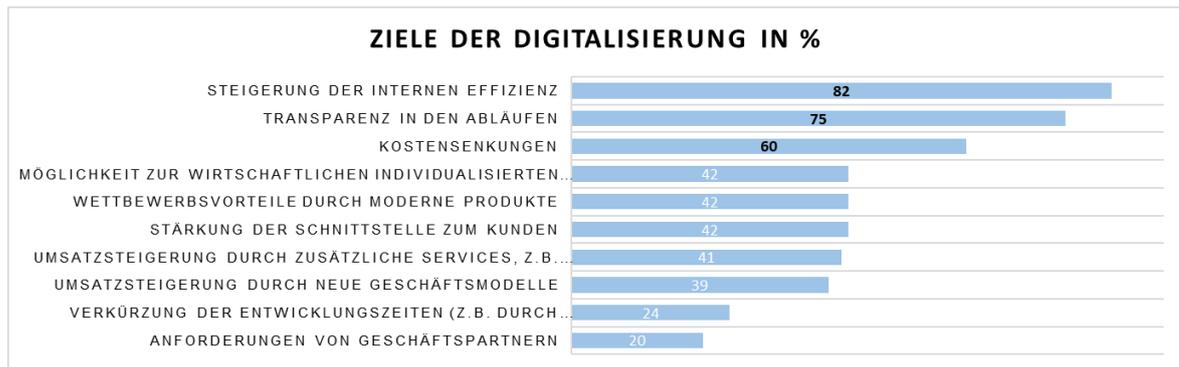
## 2.4 UMSETZUNG UND PRIORITÄTEN

Durch die Umsetzung smarterer Fertigungsprozesse werden vornehmlich wirtschaftliche Ziele verfolgt (Lucke et al. 2014).

Das Potenzial der SF ist dabei entweder in der Erhöhung des Kundennutzens und/oder in der Senkung des Ressourceneinsatzes begründet (Buchholz et al. 2017).

Darüber hinaus bestehen weitere Ziele (Abbildung 5).

Eine Studie zur Analyse der Umsetzungsziele definiert praktische Bedarfe:



**ABBILDUNG 5 - ZIELE DER DIGITALISIERUNG**

(Goschy und Rohrbach 2017, S. 21)

Abbildung 5 zeigt das Ergebnis einer Umfrage der Staufen Digital Neonex GmbH und Staufen AG aus dem Jahr 2017. Hierbei wurden insgesamt 394 Unternehmen zu Themen rund um den Begriff *Industrie 4.0* befragt. Die Veröffentlichung wird unter dem Titel „Deutscher Industrie 4.0 Index“ jährlich publiziert und erfasst unterschiedliche Perspektiven der Praxis. Dabei wird die digitale Entwicklung deutscher Industrieunternehmen anhand des Meinungsbildes praktischer Vertreter in den Fokus gestellt. Aus Sicht der Befragten entsprechen die drei meistgenannten Potenziale den Umsetzungszielen Effizienz (82%), Transparenz (75%) und Kosten (60%). Diese lassen sich auf die Potenziale der internen Leistungssteigerung zusammenfassen. Ob und in welcher Form diese Optimierungsziele ggf. in einer sequentiellen Abhängigkeit stehen, wird aus der Abfrage nicht deutlich.

In dieser Arbeit soll somit der interne Fertigungsprozess als priorisiertes System zur Erfüllung von Fertigungsbedarfen verstanden werden. Damit wird die Erhöhung des produkt- oder servicebezogenen Kundennutzens als sekundäres Ziel der operativen Fertigungsaufgabe angesehen. Als primäre Zielsetzung der SF wird die Erfüllung operativer Produktionsziele angesehen.

Dabei gilt zu berücksichtigen, dass auch die operativen Produktionsziele den produkt-/servicebezogenen Kundennutzen fördern (Schallmo et al. 2017, S. 24).

Durch den Anspruch der SF Informationen im gesamten Produktentstehungsprozess entscheidungsrelevant zu vernetzen, können diese Informationen auch indirekt zur Steigerung des produkt-/service-bezogenen Kundennutzen beitragen.

Werden Wissensbeiträge zwischen den Kompetenzbereichen Marketing, F&E, Produktion und Logistik ausgetauscht, kann diese Art der Entscheidungsunterstützung auch auf indirekte Bereiche der Organisation übertragen werden. Exemplarisch können hier optimierte GP der frühen Produktentstehung im Umfeld der Entwicklung und Konstruktion genannt werden.

## 2.5 PRODUKTIONSZIELE

Die wirtschaftlich-operativen Potenziale der SF fokussieren die Ziele der Anlageneffizienz und Auftragswertschöpfung (Emmrich et al. 2015).

Eine idealtypische Betrachtung der operativen Fertigungsaufgabe ergibt sich dabei aus der theoretischen Annahme, dass alle betrieblichen Kapazitäten in voller Auslastung, produktiv arbeiten und gleichzeitig (latente) Kundenbedarfe termingerecht erfüllt werden (können). Dieser Zustand beschreibt eine ideale Anlageneffizienz bei idealer Wertschöpfung.

Eine Aufgabe, welche innerhalb einer einstufigen Fertigung noch durch die Auflösung linearer Entscheidungsabhängigkeiten realisierbar erscheint, wird in mehrstufigen Fertigungssystemen und erhöhter Produktvarianz zunehmend komplexer (Nebl 2011).

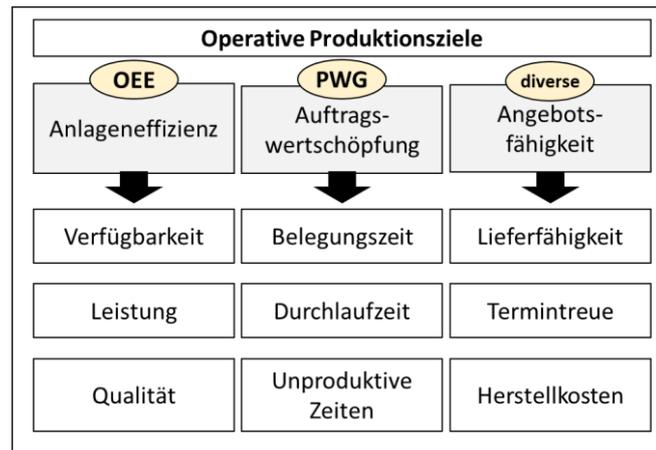
Der visionäre Anspruch der SF die wirtschaftliche Fertigung der „Losgröße 1“ zu ermöglichen, entspricht der dargestellten Annahme einer idealen Anlageneffizienz (Skaleneffekte der Herstellung) bei gleichzeitig idealer Auftragswertschöpfung (Befriedigung der Kundenbedarfe).

Die Produktionskennzahlen des OEE<sup>4</sup> und des PWG<sup>5</sup> quantifizieren den Erfüllungsgrad dieser operativen Produktionsziele (Abbildung 6).

---

<sup>4</sup> Overall Equipment Effectiveness – Gesamtanlageneffektivität

<sup>5</sup> Prozesswirkungsgrad – Anteil der Wertschöpfung an der Durchlaufzeit



**ABBILDUNG 6 - PRODUKTIONSZIELE**

Eigene Darstellung in Anlehnung (Kletti und Schumacher 2014)

Neben *Anlageneffizienz* (OEE) und der *Auftragswertschöpfung* (PWG) beschreibt die *Angebotsfähigkeit* (diverse) Ziele zum produkt-/servicebezogenen Kundennutzens (Abbildung 6). Dessen Teilziele der Termintreue und Herstellkosten werden maßgeblich durch die Ziele der Anlageneffizienz und der Auftragswertschöpfung beeinflusst (Schneider et al. 2005).

Bei Harmonisierung der Teilziele aus Wertschöpfung (Auftrag als Bedarfsauslöser) und Anlageneffizienz (Ressource als Bedarfsdecker), ergibt sich eine eingeschränkte Zielverträglichkeit zur übergeordneten Angebotsfähigkeit (Erlach 2010, 2019).

Hohe Anlagenverfügbarkeiten und kurze Durchlaufzeiten sorgen gleichzeitig für steigende Flexibilität, stabilere Liefertermine und sinkenden Herstellkosten (Nebt 2011). Dabei stehen Anlageneffizienz und Auftragswertschöpfung theoretisch in einem starken Zielkonflikt (Erlach 2019).

Neben der verfolgten Steigerung der Systemleistung als Beitrag der Teilziele, soll auch der Zielkonflikt zwischen Arbeitsplatz- und Auftragsproduktivität durch die SF harmonisiert werden (Bauernhansl 2015).

Die übergeordneten Produktionsziele werden als Qualität, Wirtschaftlichkeit, Geschwindigkeit und Variabilität beschrieben. Diese stehen teilweise in Konflikt zueinander (Erlach 2010, S. 26).

Der Anspruch der SF ist somit nicht nur als Beitrag der Entscheidungsunterstützung einzelner Produktionsziele zu verstehen. Auch gilt es die konkurrierenden Teilziele im Sinne eines Gesamtoptimums zu harmonisieren. Dabei kann die SF als Architekturrahmen zur Implementierung digitaler Informationsflüsse verstanden werden. Die GP der SF sollen dabei die Entscheidungsfindung und –aktivierung im Sinne der Produktionsziele unterstützen. Im Anhang A03 werden dazu Kennzahlen operativer Produktionsziele detailliert.

Die Potenziale der SF liegen dabei im Entscheidungsbeitrag zur Erfüllung der oben dargestellten Produktionsziele. Durch die Erhöhung von Stabilität<sup>6</sup> und Flexibilität<sup>7</sup> soll dabei der Konflikt sich theoretisch widersprechender Ziele optimiert werden.

## 2.6 POTENZIALE

Im Gegensatz zum Verständnis einer smarten Zieldefinition (Kapitel 2.1), wird der Begriff *smart*, als Eigenschaft der SF, eher mit dem Attribut *intelligent* übersetzt (Bauernhansl et al. 2014b, S. 3).

Intelligenz beschreibt „die **Fähigkeit abstrakt** und **vernünftig zu denken** und daraus **zweckvolles Handeln** abzuleiten“ (Rost 2009, S. 2–3).

Anhand dieser Definition sollen die Potenziale der SF als die Fähigkeit der Überführung von digitalen Informationen (abstrakt) in Entscheidungen (vernünftig denken) zur situativen Unterstützung der Produktionsziele (zweckvolles Handeln) verstanden werden. Dabei werden die beide Kerneigenschaften des Begriffes *smart* als

- Methode zur Zieldefinition (Eigenschaften der Zielsetzung)
- als Methode zur Zielfindung (Eigenschaften der Zielerfüllung)

berücksichtigt. Diese charakterisieren die Potenziale zur Entscheidungsunterstützung. Als Umsetzungswerkzeug dieser Fähigkeit wird IT in Form Soft- und Hardware eingesetzt. Diese wird entlang des gesamten Lebenszyklus eines Entscheidungsprozesses genutzt. Dabei werden unterschiedliche Phasen im IT-Verarbeitungsprozess durchlaufen.

Dazu gehören bspw. Phasen, wie Datenbereitstellung und -transport, Datenaufnahme, Datenverarbeitung, Datenspeicherung, Kontextbildung, Kontrollflusssteuerung, Ausgabe/Visualisierung, Entscheidungsgenerierung, Maßnahmeneinleitung, Maßnahmenaktivierung (Schuh et al. 2017).

Zusätzliche Eigenschaften (teil-) automatisierter GP, wie Geschwindigkeit, Genauigkeit, Wiederholbarkeit und Aufwandsreduktion tragen zudem zur Effizienzsteigerung der IT-gestützten Entscheidungsaktivierung bei (Liggesmeyer 2017).

Das übergeordnete Potenzial der SF besteht somit darin, den Prozess der realen **Entscheidungsaktivierung** für den Bereich der Wertschöpfung mit Hilfe digitaler Informationsflüsse zunehmend zu automatisieren.

Hierdurch kann der GP schneller, präziser und/oder effizienter gestaltet werden (vgl. Schuh et al. 2017, S. 11–12).

---

<sup>6</sup> Anlageneffizienz

<sup>7</sup> Durchlaufzeit

Die allgemeingültigen Potenziale zur digitalen Entscheidungsunterstützung werden dazu in Anhang A04 visualisiert. Nachfolgend werden diese in Form exemplarischer Optimierungspotenziale auf die Ziele der Produktion (vgl. Kap.: 2.5) übertragen:

### **Verfügbarkeit**

- Senkung geplanter und ungeplanter Stillstände durch Vermeidung von Planungsfehlern und ungeplanten Maschinenausfallzeiten

*Beispiel-Potenziale:* Rüstzeitenreduktion, Steigerung der Materialverfügbarkeit, Senkung technischer Maschinenausfälle, Sicherung der Werkzeugverfügbarkeit, Harmonisierung von Transportmittelbedarfe, bedarfsgerechte Qualitätsprüfung

### **Leistung**

- Steigerung der Arbeitsplatzleistung durch Reduktion von Taktverlusten und Kurzzeitstörungen

*Beispiel-Potenziale:* Vermeidung von Betriebsmittelverschleiß, Minderung von Anfahrverluste, Steigerung von Mitarbeiterqualifikation, Optimierte NC- und Einstelldaten, Reduktion von Material- und Versorgungsengpässen, Planbarkeit von Inspektionstätigkeiten

### **Qualität**

- Steigerung der Qualität fertiggestellter Produkte durch Sicherstellung der Produkteigenschaften und Senkung der Prüfkosten

*Beispiel-Potenziale:* Fertigungsbegleitende Qualitätssicherung, Senkung von Materialeinsatz, statistische Prozesskontrolle, Fehlerursachen und Fehlereinflüsse (FMEA<sup>8</sup>), Prozessverriegelung, Rückverfolgbarkeit der Produktentstehung, Reduktion von Bearbeitungsfehlern

### **Durchlaufzeit**

- Senkung der Durchlaufzeit während der Auftragsabwicklung

*Beispiel-Potenziale:* Senkung von Überproduktion, Wartezeiten, Liegezeiten, Umlaufbestände, Planungs- und Koordinationsaufwand, Such- und Transportzeiten, Ressourcenüberlastung, Auslastungsschwankungen

---

<sup>8</sup> Failure Mode and Effects Analysis – präventive Qualitätssicherungsmethodik und Risikoanalyse Werdich 2012.

### **Unproduktive Zeiten**

- Erhöhung der Flexibilität und der Lieferfähigkeit durch erhöhtes Reaktionsvermögen

*Beispiel-Potenziale:* Reaktionsgeschwindigkeit bei Bedarfsänderungen, Maßnahmenqualität bei Maschinenausfall, Wandlungsfähigkeit der Auftragsplanung, Genauigkeit der Auftragsfeinplanung, Handlungsalternativen im Fertigungsprozess, dezentrale Entscheidungskompetenzen

### **Termintreue**

- Erhöhung der Planungs- und Steuerungsqualität

*Beispiel-Potenziale:* Transparenz der Terminsituation, Simulation von Planungsszenarien, Eskalation von Terminkonflikten, Koordination von Fremdarbeitsbedarfen, bedarfsgerechte Kapazitätsbelegung, Restlaufzeitüberwachung, flexible Kapazitätsanpassung

### **Herstellkosten**

- Aufwand der Herstellung als Ergebnis von Systemanpassungen senken:

*Beispiel-Potenziale:* Senkung des Materialverschleißes, Senkung der Rüstzeit, Erhöhung der Produktqualität, Steigerung der Verfügbarkeit, Senkung der Durchlaufzeit, erhöhte Transparenz zu Systempotenzialen, Entscheidungssicherheit bei Ersatz- oder Neuinvestitionen; Senkung des Ressourceneinsatzes

Die dargestellten Potenziale der Produktion beschreiben die in dieser Arbeit diskutierten Ziele der SF. In Anhang A02 werden dazu die Eigenschaften der SF als Form der Entscheidungsunterstützung auf obige Optimierungspotenziale angewandt.

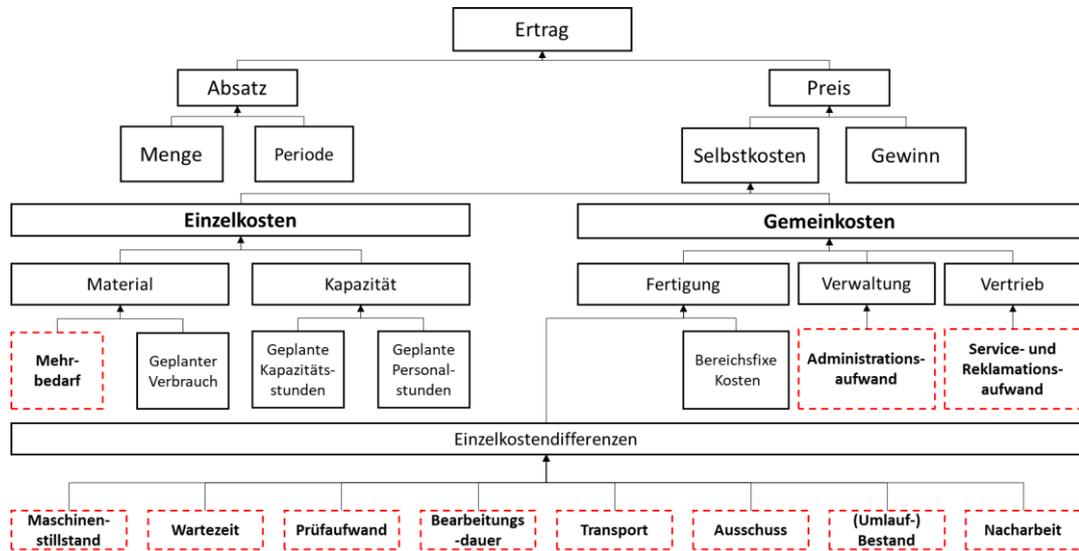
Die Zusammenführung beschreibt dabei das Potenzial der SF als Form der optimierten Entscheidungsaktivierung mit Beitrag zu den Produktionszielen.

Durch die übergreifende Nutzung, Interpretation und Rückführung von Informationen der Auftragsabwicklung soll es ermöglicht werden, die Entscheidungsqualität, den Entscheidungsaufwand und die Entscheidungsdauer zu verbessern (Brauckmann 2015).

Der Betrachtungsfokus der SF beschäftigt sich dabei mit den Schnittstellen der Prozessinstanzen während der Auftragsabwicklung zur Bedarfsdeckung. Das Potenzial wird somit in der Harmonisierung von Schnittstellen zwischen beteiligten Prozessinstanzen der Wertschöpfung verstanden.

Die Effizienz der Wertschöpfung ergibt sich im Umfeld der SF aus dem Abgleich von Aufwand und Ertrag der Produktion. Der Beitrag der Produktion zum Ertrag wird dabei durch die Herstellung verkaufsfähiger Produkte innerhalb einer Zeitperiode

(und dessen Preis) bestimmt. Der wettbewerbsfähige Preis kann wiederum als Summe aus Selbstkosten und Gewinnaufschlag verstanden werden<sup>9</sup> (Abbildung 7)



**ABBILDUNG 7 - LEISTUNGSVERLUSTE ALS TEIL DER GEMEINKOSTEN**

Eigene Darstellung in Anlehnung an (Brauckmann 2005)

Abbildung 7 zeigt die direkten Einflussfaktoren der fertigungsabhängigen Selbstkosten als Ergebnis der betrieblichen Leistungserstellung. Die Hierarchie fokussiert die Strukturelemente mit Bezug zu den Potenzialen der SF. Die markierten Bestandteile (rot) der Fertigungsgemeinkosten werden dabei als Wertschöpfungsverluste angesehen (Öno und Bodek 2008). In Anhang A07 werden diese detailliert beschrieben.

Diese Leistungsverluste fließen als Einzelkostendifferenzen in die Fertigungsgemein- und produktbezogenen Selbstkosten (Brauckmann 2005).

Der visionäre Anspruch zur Fertigung der produktbezogenen Losgröße 1, bei marktfähigen Angebotspreisen und einer variantenreichen Angebotsfähigkeit, gilt als idealtypischer Referenzzustand der SF (Weinert et al. 2017).

Um diesem Idealbild zu entsprechen, gilt es die oben dargestellten Ursprünge der Fertigungsgemeinkosten zu optimieren (Abbildung 7). Die aufgeführten Verluste vereinen dazu kaufmännische und gewerbliche Potenziale der Produktion und beschreiben somit das wirtschaftliche Potenzial der SF.

<sup>9</sup> Kaufmännische Kalkulationselemente, wie Rabatte, Skonti, Versandkosten etc. werden hier als wertschöpfungsneutrale Vertragsinhalte betrachtet

### 3. PERSPEKTIVEN ZUR GESTALTUNG DER SMARTEN FABRIK

Im nachfolgenden Kapitel werden grundlegende Sichtweisen und Kompetenzbereiche der SF vorgestellt. Nach einer Einführung in die Produktion (Kap.: 3.1) wird zunächst der Begriff Interoperabilität im Kontext der SF diskutiert (Kap.: 3.2). Nachfolgend beschreibt das Kapitel 3 den Stand der Technik für die Kompetenzbereiche der Produktionsplanung und –steuerung (Kap.: 3.3), betrieblicher Anwendungssysteme (Kap.:3.4), des Industrial Engineerings (Kap.: 3.5), des Geschäftsprozessmanagements (Kap.:3.6), technischer Regelkreise (Kap.:3.7) sowie betrieblicher Ressourceneinsätze zwischen Mensch, Technik und Organisation (Kap.: 3.8). Die Perspektiven der SF diskutieren dazu Ziele, Aufgaben und den Beitrag der Kompetenzbereiche. Die Ansätze werden dabei in einer interdisziplinären Perspektive im Gestaltungsumfeld der Digitalen Produktion<sup>10</sup> beschrieben.

Die Motivation zur ausführlichen Beschreibung der unterschiedlichen Kompetenzbereiche im Umfeld der SF, resultiert aus der Erkenntnis, dass zur ganzheitlichen Entwicklung der digitalen Produktion bestehende Ansätze miteinander verbunden werden müssen (Völker 2015).

Dabei fokussieren einzelne Kompetenzbereiche eher Ziele und Soll-Zustände im Produktionssystem, bspw. in Form von Anforderungen und andere liefern wiederum Erkenntnisse und Gestaltungsansätze zur Erfassung und Entwicklung der aktuellen Ist-Zustände und dessen Ursprung.

Um den Eigenschaften und Ziele der SF aus Kapitel 2.1 gerecht zu werden, sollen die unterschiedlichen Perspektiven einen Beitrag liefern, um Herausforderungen, Zusammenhänge und Wechselwirkungen im Umfeld der SF zu bewerten.

Um dessen kontextbezogenen Wirkungszusammenhang zu analysieren, scheint es von essentieller Bedeutung, die Ziele, Lösungsansätze, Potenziale und Voraussetzungen relevanter Kompetenzbereiche und dessen Beitrag nachzuvollziehen.

---

<sup>10</sup> Der Begriff beschreibt den Ansatz einer perspektiven Abstimmung relevanter Einflüsse zur nutzenbringenden Gestaltung eines ganzheitlichen Produktionssystems (vgl. Westkämper et al. 2013).

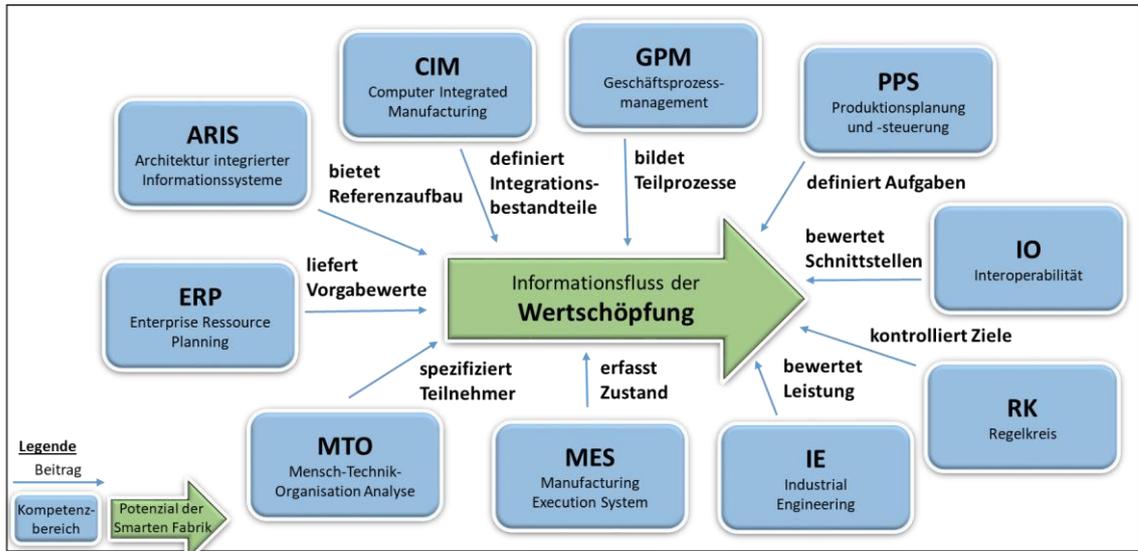


ABBILDUNG 8 - EINZELPERSPEKTIVEN DER SMARTEN FABRIK I

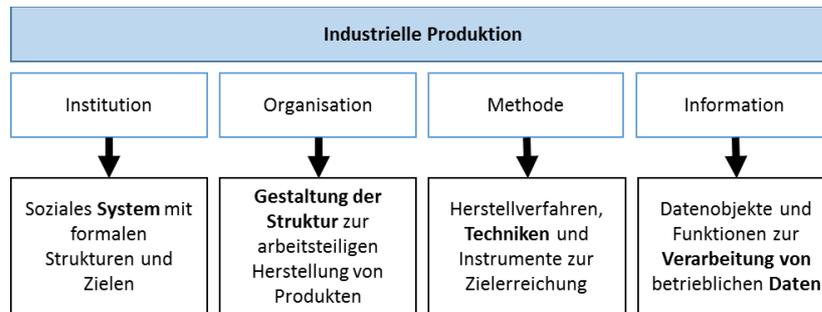
Zur Bildung des Gesamtkontextes zeigt Abbildung 8 die nachfolgend diskutierten Perspektiven der SF.

Die Perspektiven und dessen kontextrelevanten Eigenschaften werden dazu in Kapitel 3 vorgestellt und nachfolgend erläutert.

Im darauffolgenden Kapitel 4 werden die Einzelperspektiven in einen gemeinsamen Kontext gestellt, um in Kapitel 5 das Zielsystem zu spezifizieren.

### 3.1 PERSPEKTIVEN IN DER PRODUKTION

Das Anwendungsfeld der SF liegt im industriellen Wertschöpfungsprozess. Die industrielle Produktion unterliegt dabei unterschiedlichen Rahmenbedingungen, welche es zu berücksichtigen gilt. Der Begriff Produktion kann grundlegend unterschiedlich eingeordnet werden.



**ABBILDUNG 9 - PERSPEKTIVEN DER PRODUKTION**

Eigene Darstellung in Anlehnung an (Schulte-Zurhausen 2014)

Die Aufgabe eines interoperablen Ansatzes besteht in der Harmonisierung von Schnittstellen. Die Gestaltung der SF kann dabei auch als Aufgabe des Perspektivwechsels verstanden werden (Weinert et al. 2017).

Dabei gilt der Gestaltungsgrundsatz, dass jedes Unternehmen einen GP anpassen wird, welcher aus Perspektive der Entscheidungsträger die „Leistungsfähigkeit einer Technologie mit den *Bedürfnissen der Organisation* kombiniert“ (Wheeler 1993, S. 237–238).

Im Anwendungsumfeld bedeutet dies, dass davon auszugehen ist, dass wenn Entscheidungsverantwortliche das Leistungsangebot einer verfügbaren Informationstechnologie im Abgleich mit organisatorischen Bedarfen positiv bewerten, Technologie und Prozess dauerhaft harmonisiert werden. Als Voraussetzung ist dazu das Verständnis über *Leistungsangebot* und *Bedürfnisse* (Bedarf) sicherzustellen. Hierzu gilt es den obigen Produktionsbegriff zu berücksichtigen, um Bedarfsformen unterscheiden zu können.

Das „soziale Produktionssystem“ ist in einem klassischen Industriebetrieb dadurch gekennzeichnet, dass Menschen mit unterschiedlichen Qualifikationen, Arbeitsinhalten, Verantwortlichkeiten und Motivationsgraden einen Beitrag zu den Produktionszielen leisten (Erner 2019).

Dabei nehmen gruppenspezifische Prozesse, Machtverteilung, Wissensstrukturen, Motivationsunterschiede und persönliche Reife der Teilnehmer Einfluss auf das soziale System (Roth 2011).

Diese Aspekte nehmen erheblichen Einfluss auf die Strukturen zur Sicherung der Wettbewerbsfähigkeit eines Unternehmens (Homma und Bauschke 2010).

In der hier diskutierten Arbeit werden die Rahmenbedingungen im sozialen Produktionssystem als neutral eingestuft. Gestaltungsmaßnahmen in diesem Themenbereich werden daher nicht vertieft.

Studien belegen allerdings, dass die Gestaltung des sozialen Produktionssystems einen Großteil des digitalen Wandels ausmacht und keineswegs unberücksichtigt bleiben darf (Staufen 2016).

Diese Faktoren sind also nicht vernachlässigbar und nehmen direkten Einfluss auf die zu erfüllenden Voraussetzungen der SF (vgl. Kap.: 2.2).

Im hier vertieften Ansatz stehen das instrumentale und funktionale Verständnis der Produktion im Fokus der Betrachtung. Die organisatorischen, methodischen und informationstechnischen Eigenschaften bilden dabei den Fokus der diskutierten Perspektiven.

Diese tragen gleichzeitig zur Gestaltung des sozialen Systems bei (Creusen et al. 2017). Unter der „methodischen Sicht“ werden Verfahren und Hilfsmittel zur Unterstützung der Produktionsziele verstanden. Der Einsatz von IT oder Methoden zur Prozessoptimierung können hierzu genannt werden. Unter der „organisatorischen Sicht“ werden Aufbau- und Ablauforganisation der Produktion zusammengefasst. Diese beiden Formen stehen im Kontext der SF in einem starken Abhängigkeitsverhältnis und fallen in den Aufgabenbereich des GPM (Becker et al. 2012).

Als dritte Perspektive schließt sich die „Sicht der Information“ an.

Diese diskutiert die Architektur im Kontext der Informationsverarbeitung der Produktion. Durch die Arbeitsteilung im Aufgabenumfeld nehmen die Aufbau- und Ablauforganisation dabei wiederum direkten Einfluss auf die Struktur der Informationsverarbeitung (Kienbaum 2017).

Die Perspektiven der Organisation, Methode und Information bedingen sich daher gegenseitig. Diese Perspektiven werden in den Kapitel 3.3 bis 3.8 beschrieben.

Als Ziel der Harmonisierung dieser Einzelperspektiven soll die *Fähigkeit zur Zusammenarbeit* gesteigert werden.

Diese wird als *Interoperabilität* bezeichnet und nachfolgend erläutert.

### 3.2 INTEROPERABILITÄT

Die Gestaltung von **Interoperabilität (IO)** wird als grundlegende Herausforderung bei der agilen<sup>11</sup> Umsetzung der SF verstanden (Schuh et al. 2017, S. 10–11).

IO beschreibt die Kompetenz Schnittstellen störungsfrei betreiben zu können.

Der Begriff (aus dem lateinischen >>opera – Arbeit << und >> inter – zwischen<< ) wird als die Fähigkeit der Zusammenarbeit von Systemen, Komponenten und deren Teilnehmern verstanden (IEEE 2016).

Im idealen Sinne entsteht bei interoperabler Zusammenarbeit kein zusätzlicher Aufwand für die Systembetreiber.

Die Umsetzung von interoperablen (IT-) Systemen wird als Schlüssel zur Aktivierung vernetzter Informationen in der SF angesehen (Vogel-Heuser et al. 2017b, S. 14–18).

Die notwendige Kompetenz dazu ist wiederum das Ergebnis einer zielführenden Anwendung von Wissen (North et al. 2013, S. 47).

Im Zuge der Wissenseinführung in Unternehmen werden zwei wesentliche Arten unterschieden - das fachliche Domänen- und das methodische Problemlösungswissen (Schleipen 2013, S. 13).

Anhand dieser Trennung sollen auch die Herausforderung zur Gestaltung der IO unterschieden und diskutiert werden.

Dessen Trennung erfolgt anhand der Begriffe *technischer IO* und *organisatorischer IO*. Diese werden in den Kapiteln 3.2.2 und 3.2.3 näher erläutert. Als übergeordneter Zusammenhang diskutiert Kapitel 3.2.1 IO vor dem Hintergrund eines wirtschaftlichen Mehrwerts.

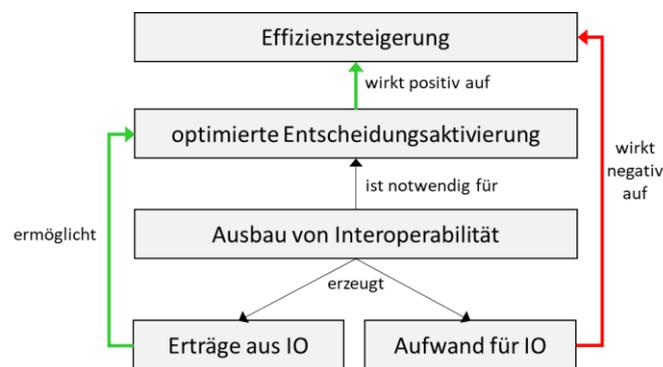
---

<sup>11</sup> beschreibt die Fähigkeit einer Organisation zur situationsabhängigen Problemlösung

### 3.2.1 WIRTSCHAFTLICHE INTEROPERABILITÄT

In der SF besteht das übergeordnete Ziel im wirtschaftlichen Beitrag zur Stärkung der Wettbewerbsfähigkeit (Brauckmann 2015, S. 18–19).

Dieser soll durch die gleichzeitige *Bereitstellung und Verarbeitung* (Vernetzung) von Informationen realisiert werden. Die Steigerung der IO zwischen den Systemteilnehmern definiert dazu den Reifegrad der Vernetzung. Um die Fähigkeit zur Zusammenarbeit zu fördern, ergeben sich dabei alternative Formen der Gestaltung. Die Herausforderung zur wirtschaftlichen Bewertung dieser Alternativen, liegt im Vergleich vom Ertrag einer Reifegradsteigerung der IO und dem damit verbundenen Aufwand bzw. dessen Auswirkungen (Abbildung 10).



**ABBILDUNG 10 - WIRKUNG VON INTEROPERABILITÄT**

Die Messung der Wirtschaftlichkeit zum Einsatz komplexer Informationssysteme (IS-Erfolgsmessung<sup>12</sup>) ist ein ungelöstes Problem (Urbach et al. 2009). In der Praxis übersteigt der Aufwand zur quantitativen Messung der Potenziale einer digitalen Lösung den erwarteten Mehrwert der Messergebnisse. Es ergibt sich die Herausforderung potenzielle Ausbaustufen zu bewerten.

Diese Aufgabe fordert das Prinzip der Zerlegung. Hierbei werden Entwicklungsschritte in bewertbare bzw. risikoverträgliche Phasen unterteilt (Dern 2009).

Dabei ist die Kernaufgabe der Entscheidungsverantwortung, die Bewertung des Beitrags einer gesteigerten IO, im Abgleich zu dessen Aufwand (Abbildung 10). An der Schnittstelle zwischen IT und GP gilt es hierzu dessen Veränderungen zu spezifizieren. Als konkrete Aufgabe ergibt sich die Bewertung der Vorteilhaftigkeit unterschiedlicher Gestaltungsalternativen. Hierbei stellt sich die Frage, ob es sinnvoll ist den aktuellen GP durch Software (technisch) zu unterstützen. Oder ob eine (organisatorische) Änderung des GP sinnvoll ist, um einen nutzenbringenden und nachhaltigen Technologieeinsatz zu ermöglichen?<sup>13</sup>

<sup>12</sup> Der Begriff stammt aus den ersten Forschungen von DeLone und McLean ab 1992

<sup>13</sup> Anhang A10 veranschaulicht dazu zwei Anwendungsszenarien im Forschungsraum

Die Harmonisierung von technischen und organisatorischen Kompetenzen, sowie die damit verbundenen Entscheidungen über die Art und Umfang eines potenziellen Systementwurfs, können somit als Herausforderung der IO verstanden werden. Zur kontrollierten Gestaltung der SF gilt es, dessen Eigenschaften und Interdependenzen zu spezifizieren. Dazu werden Aufgaben technischer und organisatorischer Ansätze nachfolgend beschrieben.

### 3.2.2 TECHNISCHE INTEROPERABILITÄT

IO wird durch die Anwendung von Standards im Informationsfluss einer oder mehrerer Schnittstellen realisiert. Dabei wird IO durch Reifegrade bewertet (Tolk et al. 2013).

Die Reifegrade (Level 0 - 6) werden dazu im Anhang A08 detailliert.

Im engsten Sinne der Informatik beschreibt der IO Reifegrad die Fähigkeiten zur Zusammenarbeit von IT-Infrastrukturkomponenten im funktionalen Datenaustausch.

Als Vorlage zur Anforderungsermittlung, einer breiter gefassten technologischen Infrastruktur, kann das Referenzarchitekturmodell Industrie 4.0 (RAMI 4.0) dienen (Heidel et al. 2017b).

Ziel der Architektur ist die Beschreibung allgemeingültiger Sichtweisen auf Automatisierungsbestrebungen industrieller Informationsflüsse. Das Modell beschreibt den Aufbau einer virtuellen Unternehmensstruktur. Die Autoren definieren drei Hauptdimensionen.

Die Dimension (Value Stream) beschreibt dabei den Bezug der Architektureigenschaften zum Wertschöpfungs-/Geschäftsprozess (Heidel et al. 2017b, S. 56–57).

D.h. alle Ausprägungen der RAMI-Perspektiven sind stets prozessabhängig und gelten u.U. nicht GP übergreifend. Es besteht jeweils eine Abhängigkeit zum Anwendungsfall der horizontalen Ebene und dessen Ausprägungen.

Die Dimension (Hierarchy Levels) beschreibt die hierarchische Einordnung der im GP beteiligten Instanzen. Hier werden prozessbezogene Datenstationen anhand ihrer vertikalen Unternehmensebene klassifiziert. Die taxonomische Ordnung erfolgt dabei anhand der informationstechnischen Entfernung<sup>14</sup> der Datenstation zur realen Wertschöpfung.

Als weitere Dimension werden sogenannte Ebenen (Layer) definiert. Diese beschreiben verarbeitungsrelevante Eigenschaften im horizontalen und vertikalen Datenaustausch. Hierbei werden die Sichten Unternehmen, Funktion, Information, Kommunikation, Integration und Bezugsobjekt (Kontext) definiert (Abbildung 11).

---

<sup>14</sup> Der Abstand wird dabei in Form der Verarbeitungszyklen aus ISA 95 beschrieben

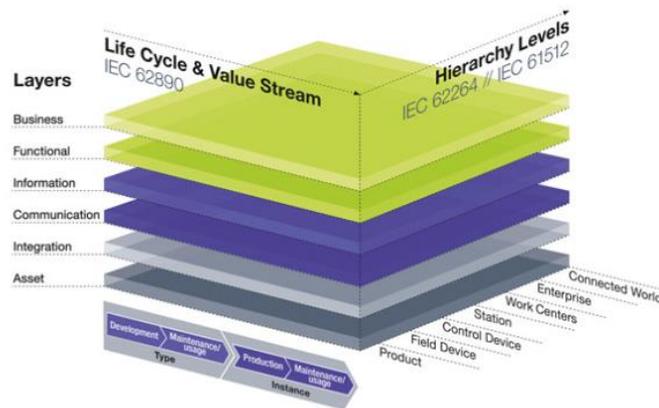


ABBILDUNG 11 - REFERENZARCHITEKTURMODELL INDUSTRIE 4.0 RAMI

(Heidel et al. 2017b, S. 41)

RAMI beschreibt die grundlegenden Dimensionen, welche es im Zuge interoperabler Informationsstrukturen zu definieren gilt. Das Vorgehen zur Bestimmung funktionaler Eigenschaften im Datenaustausch kann dabei als technische Herausforderung der SF angesehen werden. RAMI liefert hierzu den Gestaltungsrahmen aus einer eher technischen Sicht und beantwortet die Frage nach dem „Was muss definiert werden?“. Dabei wird die Frage nach dem „Wie muss es definiert werden?“ nicht diskutiert. Die Architektur wird als Zusammenführung unterschiedlicher technischer Standards verstanden. Diese dienen zur syntaktischen, teils auch semantischen<sup>15</sup> Beschreibung der Datenflüsse der industriellen Automatisierung. RAMI bildet somit die Basis zur systematischen Harmonisierung technischer Datenschnittstellen. Dabei ist das Ziel, Daten in Informationen zu überführen und diese nutzenbringend zu automatisieren.

RAMI definiert folgende Schnittstellen:

- Prozessinhalte (Value-Stream)
- Prozessinstanzen (Hierarchie-Level)
- Perspektiven der Prozessinformationen (Layer)

Dabei sind objektbezogene Merkmale wie Identifizierbarkeit, Integrationsfähigkeit, Kommunikationsfähigkeit, Informationsbeitrag, funktionale Verarbeitung, Beitrag zu Prozess-/Geschäftszielen entlang unterschiedlicher Prozessinstanzen zu spezifizieren oder idealerweise durch Standards zu implementieren (Heidel et al. 2017b, S. 86–96). RAMI besitzt dabei nicht den Anspruch die betriebswirtschaftliche Produktionsaufgabe weiter zu vertiefen.

<sup>15</sup> Der Begriff Semantik ist stark kontextabhängig und daher hier nicht eindeutig. Semantik von Daten wird bspw. im Prozessmanagement (PM) und der Softwaretechnik (ST) sehr unterschiedlich interpretiert. Wo im Falle des PM eine Semantik erst dann entsteht, wenn die konkreten Auswirkungen von Daten auf den Prozess bekannt ist (Übergang von Daten zu Informationen) (Fellmann 2013, S. 27–28, so entsteht Semantik in der ST ggf. bereits durch die Definition von Datengruppen, dem Geltungsbereich oder deren Beziehungen zu einander (Balzert und Liggesmeyer 2011, S. 51.

Um Ausprägungen und Komplexität der Inhalte als Herausforderungen der SF bewerten zu können, werden in Anhang A09 Informationsträger im Umfeld von RAMI aufgeführt. Dabei wird dessen Fähigkeit zum technisch-interoperablen Einsatz, im Kontext der Produktionsaufgabe, diskutiert.

### 3.2.3 ORGANISATORISCHE INTEROPERABILITÄT

Als Gegenpart der eher technischen Sicht aus Informatik, Regelungs- und Automatisierungstechnik, wird IO auch als organisatorische Eigenschaft diskutiert (European Union 2017).

Als grundlegende Zielsetzung wird hierbei die Fähigkeit der organisatorischen Zusammenarbeit mit dem Effekt einer Nutzensausbringung verstanden (Sinsel 2020). Exemplarisch verwendet die Europäische Union innerhalb des EIF-Modells<sup>16</sup> einen eigenen Layer um die organisatorische Perspektive der IO zu adressieren. Vergleichbar dazu sind auch der RAMI *Business Layers* (Heidel et al. 2017a) und weitere Perspektiven etablierter Architekturmodellen<sup>17</sup>.

Innerhalb der technischen IO werden die Informationsflüsse aus dem Verständnis der technischen Automatisierbarkeit diskutiert. Der Bezug zur Organisation wird dabei zwar durch die Dimension „Geschäft“, „Organisation“ oder „Unternehmen“ genannt, aber inhaltlich nicht weiter vertieft. In wirtschaftlichen Organisationen folgt die Entwicklung technischer IO allerdings keinem Selbstzweck, sondern ist stets an Unternehmens- bzw. GP-Ziele geknüpft. Die organisatorische IO diskutiert hierzu die Kompetenz der Organisation, die technische IO effizient und geschäftsdienlich umzusetzen.

Analog zur Produktionsaufgabe selbst, kann der Entwicklungsprozess zur Gestaltung der IO, im Sinne der SF, als eine Art Herstellungs- bzw. Transformationsaufgabe verstanden werden (Sinsel 2020).

Als Ergebnis wird dabei die Produkterstellung (technische IO) unter Berücksichtigung definierter Produktionsziele (z.B. Qualität, Kosten, Zeit) angestrebt. Die organisatorische IO ist dabei ein Gütemaß der Effizienz im „Herstellprozess“ der technischen IO. Das Ergebnis zur Herstellung technischer IO wird dabei maßgeblich durch die organisatorische IO beeinflusst. So bilden organisatorische Rahmenbedingungen im Unternehmen die Grundlage bei der Entwicklung der SF. Die organisatorische IO als Fähigkeit der „geschäftsdienlichen Zusammenarbeit“ einer Organisation, wird dazu im Umfeld organisatorischer Reifegradmodelle vertieft.

---

<sup>16</sup> European Interoperability Model

<sup>17</sup> z.B. EAF – Enterprise Architecture Framework oder FEAF - Federal Enterprise Architecture Framework

Die organisatorische IO wird dabei durch die Dimensionen:

Management (1), Prozessziele (2), Stabilität der Organisation (3), Methodenreife (4), Dokumentationsumfang (5), IT-Integration (6), Kompetenzen (7), Zielmessung (8), Kommunikation (9) beschrieben. Die Eigenschaften und Inhalte dieser Dimensionen werden in Anhang A05 vertieft. Traditionell beschreiben unterschiedliche Reifegradmodelle zur agilen Prozessorganisationen die obigen Dimensionen.

In einem Modellvergleich wurden dazu etablierte Bewertungsansätze wie EFQM<sup>18</sup>, TQM<sup>19</sup>, EDEN<sup>20</sup>, CMMI<sup>21</sup> oder die ISO 9000 Reihe<sup>22</sup> analysiert.

Die neun oben dargestellten Dimensionen können als Stand der Technik zur Bewertung und Gestaltung der organisatorischen IO verstanden werden.

Eine qualitative Recherche wird dazu im Anhang A06 dargestellt.

Die beschriebenen Dimensionen werden somit als generelle Herausforderung bei der Gestaltung organisatorischer Veränderungen angesehen. Konkrete Anforderungen im Entwicklungsprozess der SF werden dazu später ausgeführt. Die Erkenntnis, dass obige Dimensionen als Herausforderungen Berücksichtigung finden müssen, erweitert die bis dato eher technische Perspektive im Umfeld der SF.

Das organisatorische Verständnis von IO nimmt im Kontext der SF einen besonderen Stellenwert ein (Weinert et al. 2017).

Im Falle erfüllbarer Anforderung der technischen IO, verbleibt stets die Herausforderung diese in eine nutzbringende Umsetzung der Organisation zu überführen.

Gleichzeitig bestimmt die Fähigkeit zur prozessorientierten Zusammenarbeit den Integrationsgrad der Organisation. Dieser definiert gleichzeitig den Aufwand zur Aktivierung technischer Funktionen zur Steigerung der Produktivität im GP (Becker 2002).

Die organisatorische IO gilt somit als Einflussfaktor im Technologietransfer der SF.

### 3.3 INFORMATIK IN DER PRODUKTION

Im nachfolgenden Kapitel wird die Gestaltung von Produktionsprozessen mit Hilfe betrieblicher IT-Anwendungen beschrieben. Der Einsatz betrieblicher Anwendungssysteme gilt als Voraussetzung der wirtschaftlichen Produktion (Schuh und Kampker 2011).

---

<sup>18</sup> European Foundation for Quality Management – (EFQM 2018).

<sup>19</sup> Total Quality Management – (Brüggemann und Bremer 2015, S. 179–199).

<sup>20</sup> Erfolgreich, durchgängig, effizient und nachhaltig – (Allweyer und Knuppertz 2009).

<sup>21</sup> Capability Maturity Model Integration – (Reiss 2012, S. 7–16).

<sup>22</sup> International Organization of Standardization – Qualitätsmanagementnorm 9000ff. – (TÜV SÜD 2015).

### 3.3.1 BEGRIFFLICHKEITEN

Nachfolgenden werden zentrale Begriffe und deren Bedeutung im Kontext des Kapitels erläutert.

#### **Datenobjekt**

Durch die hohe Themenrelevanz betrieblicher Anwendungssysteme als praktische Umsetzungswerkzeuge digitaler Informationsflüsse, wird der Begriff des Datenobjektes vorab definiert. Als Vertreter der ERP-seitigen Anwendungssysteme beschreibt die Firma SAP technische Eigenschaften eines Datenobjektes im Zuge des sogenannten Advanced Business Application Programming Prozesses, wie folgt:

„Ein Datenobjekt besitzt die Eigenschaft, dass es nicht persistent und somit nur zur Laufzeit des Programms vorhanden ist“ (SAP 2018b).

Daraus wird die Notwendigkeit eines relationalen Bezugs des Datenobjektes zu gespeicherten Daten deutlich. Im hier diskutierten Kontext beschreibt ein Datenobjekt eine virtuelle Entität, die es durch Definition von Objektbeziehungen ermöglicht, semantische Inhalte kontextuell zu beschreiben.

Datenobjekte werden dabei in unterschiedlichen Aufgabenstellungen der Produktion eingesetzt, um die dortigen Prozessziele zu unterstützen.

Exemplarisch kann die Kapazitätseinheit „Arbeitsplatz“ als Datenobjekt semantischer Objektverbindungen angesehen werden.

Dabei liefern zustandsabhängige Eigenschaften des „Arbeitsplatzes“, Attributwerte zur Unterstützung operativer Prozessziele. Die Attribute:

verfügbare Kapazität, erzielte Ausbringung, bestehende Auslastung, aktiver Status, geplanter Arbeitsvorrat, laufender Arbeitsgang, verbautes Werkzeug, angemeldeter Mitarbeiter, fällige Prüfung oder anstehende Wartung beschreiben aufgabenrelevante Zustandsinformationen des Datenobjektes „Arbeitsplatz“.

Die konkrete Datenziehung eines Datenobjektes ergibt sich daher aus den zur Aufgabenerfüllung relevanten Laufzeitinformationen im Geschäftsprozess (GP).

#### **Nutzdaten**

Beschreiben die Zusammenfassung aller am GP beteiligten Stamm-, Konfigurations-, Änderungs-, Bestands- und Bewegungsdaten betrieblicher Anwendungssysteme.

### 3.3.2 PRODUKTIONSPLANUNG UND -STEUERUNG

Unter PPS wird im weiteren Sinne der Tätigkeitsbereich dispositiver Produktionsaufgaben verstanden. Dazu zählen die Aufgaben zur Planung des Produktionsprogramms (1), des Produktionsbedarfs (2), der Eigenfertigung (3) der Fremdbezüge (4) sowie dessen Steuerung (5) (vgl. Schuh und Stich 2012b, S. 20).

Diese Aufgaben werden dabei in die Phasen der Programmplanung (1 + 2), Durchführungsplanung (3 + 4) und Bereitstellung (5) eingeteilt. Aus einem engeren IT-Systemverständnis werden unter PPS die Datenobjekte und Softwarefunktionen zur IT-gestützten Aufgabenerfüllung der obigen Phasen verstanden (Bichler et al. 1992).

Dabei wird der Fokus auf die digitale Informationsverarbeitung des PPS (Produktionsplanungs- und Steuerungssysteme) gelegt.

Funktionale Aufgaben der PPS (bspw. Bestandsplanungen, Bedarfsermittlungen, Auslastungsberechnungen, Terminermittlung, Kapazitätsreservierungen, Abweichungsanalyse etc.) können dabei mit Hilfe unterschiedlicher Anwendungen, wie bspw. ERP, MES, LVS/WMS, CAM oder CAQ ausgeführt werden (Kurbel 2016).

Zur Sicherung der Aufgabenqualität beinhaltet die PPS gleichzeitig phasenübergreifende und kontinuierliche Kontrollaufgaben. Diese werden in Form der Aktivitäten *planen*, *überwachen* und *anpassen* ausgeführt.

Sie dienen der Stabilisierung des Produktionssystems (Schuh und Stich 2012a).

Diese Kontrollaufgaben und dessen abhängige und wiederkehrenden Elemente sind mit denen eines technischen Regelkreises vergleichbar (Lunze 2016).

*planen* → Ermittlung der Führungsgröße (Soll.-Wert definieren)

*überwachen* → Messung der Regelgröße (Soll./Ist.-Wert vergleichen)

*anpassen* → Aktivieren der Stellgröße (Soll./Ist.-Abweichung ändern)

Anhang A11 zeigt dazu die übergreifenden Regelaufgaben der PPS.

Als Ergebnis dieser stetigen Aktivitäten der PPS, sollen Entscheidungsbedarfe aufgezeigt und anhand aktueller Systemzustände ausgerichtet werden.

Die PPS-Hauptphasen der Programmplanung, Durchführungsplanung und Bereitstellung werden dabei sequentiell durchlaufen und ihre Ergebnisse stehen in kausaler Abhängigkeit (vgl. Kiener et al. 2018, 126 f.).

Durch die Systemkomplexität und Abhängigkeit der Phasen ist es notwendig Ergebnisse der Planung kontinuierlich zu *überwachen* und *anzupassen* (Steuerung). Die Ergebnisse der Hauptphasen können als Bedarfsermittlung (1+2), Bedarfszuordnung (3+4) und Bedarfsdeckung (5) bezeichnet werden.

Im Kontext der PPS besteht das Potenzial der SF darin, die bis dato nicht digital integrierte PPS-Aufgaben einzelner Phasen zu vernetzen.

Übergreifende Kontrollaktivitäten sollen dazu den Abgleich zwischen Planung (PPS) und Steuerung (PPS) harmonisieren (vgl. Kap.: 2.3 und 2.6).

Somit kann die Systemstabilität gestärkt und die Entscheidungsqualität der PPS-Aufgaben erhöht werden (Bloech et al. 2014).

Eine Übersicht einzelner PPS-Phasen und Aufgaben wird in Anhang A14 aufgeführt.

### 3.3.3 AUFGABEN UND ARBEITSWEISE DER PPS

Die übergeordnete Aufgabe der PPS ist der Aufbau und der Betrieb eines Regelsystems zur kontrollierten Beeinflussung der Produktionsaufgabe (Schuh und Stich 2012b, S. 13–14).

Wird die PPS-Aufgabe in Stufen betrachtet, ergeben sich (11) allgemeingültige Meilensteine der Gesamtaufgabe. Diese sind in Anhang A16 dargestellt. Die PPS-Aufgabe leitet sich dabei aus den Zielen der Produktion (Kap.: 2.5) und dem Beitrag der jeweiligen Meilensteine dazu ab. Anwendungssysteme unterstützen dabei die Ausführung der PPS-Aufgaben in Form von Softwarefunktionen.

Als Stand der Technik kann vorausgesetzt werden, dass die PPS-Aufgaben der Meilensteine (1-6) für MRP I und MRP II funktional integriert erfolgen.

Die Ergebnisse werden dabei zwar ohne nutzerfreundliche Korrekturregelkreise zur Änderung der sequentiell abgearbeiteten Meilensteine (1-6) ermittelt (vgl. Kurbel 2016, S. 352–353), aber die Erfüllung der PPS Aufgaben (1-6) in integrierten Systemen (ERP) gilt allgemein als wirtschaftlich zielführend (Bauer 2014), (Witt 2014).

Manufacturing Resource Planning (MRP II) fasst die Meilensteine (1-6) unter der Aktivität „Ermittlung der Fertigungskapazitätsbedarfe“ zusammen (Kurbel und Endres 2005).

Die Meilensteine (7-11) hingegen werden mehrheitlich in nicht-integrierter Form durchlaufen (Kurbel 2016).

Als Grund dafür wird die fehlende Fähigkeit der Systeme zur simultanen Verarbeitung aller entscheidungsrelevanten Einflüsse gesehen. Die Datenermittlung im Bereich der Produktionssteuerung folgt auch hier der sequentiellen Folge von Berechnungsschritten einer deterministischen Ergebnisfindung (vgl. Pohl 2002).

Gerade der Bereich zwischen der sogenannten Grobplanung (MRP II) und der Feinplanung (Maschine Scheduling) wird als kritische Lücke im integrierten Informationsfluss zwischen Planung und Durchführung (Steuerung) genannt (Kiener et al. 2018, 248 f.).

Regelkreise sollen dabei die proaktive und reaktive Stabilisierung dieser Schnittstelle in Form von sogenannten Steuerungsaktivitäten ermöglichen (Schuh und Stich 2012a). Die

Planungs- und Steuerungsfähigkeit der PPS soll dabei durch den Einsatz von Regelkreisen aufgewertet werden.

Der Reifegrad der IT-gestützten PPS-Integration ist hierbei jeweils unternehmensabhängig (Finger 1996).

Der Status Quo der PPS-Integration wird dazu nachfolgend diskutiert.

### 3.3.4 STATUS QUO

Die Ausführung von PPS-Aufgaben wird funktional durch betriebliche Anwendungssysteme realisiert (Kurbel 2016).

Dabei werden ERP und MES Anwendungen eingesetzt, um Mengen, Zeiten, Termine, Status, Kapazitäten, Bedarfe, Abweichungen, Leistungen etc. systemgestützt zu berechnen und zu übertragen. Allerdings wird im praktischen Umfeld ein nicht zu vernachlässigender Teil der PPS-Aufgaben

- a. gar nicht
- b. papiergestützt
- c. in MS-Excel
- d. mit Hilfe stark individualisierter Verarbeitungsfunktionen<sup>23</sup>
- e. in konzeptionell nicht dafür vorgesehenen Anwendungen<sup>24</sup>

durchgeführt (vgl. Kletti 2015, S. 8–9).

Die damit verbundenen Schnittstellenverluste, ausbleibenden Synergieeffekte und Leistungsnachteile der heterogenen PPS-Landschaft, scheinen aus Sicht der SF-Vision zunächst naheliegend. Die Gründe einer fehlenden PPS-Integration bilden dabei gleichzeitig die Herausforderungen zur Entwicklung der SF. Im praktischen Umfeld stehen Bestrebungen zur PPS-Integration in starker Konkurrenz zu den Einzelinteressen betroffener Systemteilnehmer (Stakeholder). Die im Kapitel 3.2 dargestellten Herausforderungen zur Bildung interoperabler Systeme liefern eine Begründung für die ausbleibende Integration digitaler PPS Aufgaben. Die fehlende Fähigkeit zur Erfolgsmessung von Informationssystemen behindert im praktischen Umfeld die Stabilisierung der IT-Systemarchitektur.

Mögliche Integrationsvorteile sind nur sehr schwer zu belegen (vgl. Sontow 2018, S. 14). Das Potenzial interoperabler PPS-Aufgaben bleibt in diesen Fällen ungenutzt. Von Anwendern wird die Integration zuvor isolierter PPS-Aufgaben teilweise sogar als deutliche Verschlechterung des GPs wahrgenommen.

---

<sup>23</sup> in betrieblichen Anwendungssystemen

<sup>24</sup> z.B. mehrstufige Auftragsfeinterminierung im ERP ohne konsistente Berechnung von Terminkonflikten  
Quelle: SAP 2016.

Bspw. bei Verlust des vorherigen Bedienkomforts, Wegfall eingeübter Arbeitsabläufe oder monolithischer Alleinstellungsmerkmale der persönlichen Fachkompetenz (vgl. Sontow 2018).

Menschliche Teilnehmer bewerten die Integration dabei aus ihrer subjektiven Einzelperspektive. Als Ergebnis betreibt die Praxis heterogene Systemlandschaften der PPS (vgl. Thiel 2011, S. 56–59).

In diesen Fällen werden PPS-Aufgaben außerhalb konzeptionell integrierten IT-Funktionen (IO-Level 6) durchgeführt.

Isolierte und teilweise zweckfremde Datenobjekte bilden dann die Grundlage zur Ermittlung entscheidungsrelevanter Informationen der PPS (Hoff 2016).

Individuelle IT-Anwendungen werden bspw. eingesetzt, um PPS-Informationen zu Ressourceneinsätzen, Auftragsterminen, Materialbedarfen, Transportaufträgen oder Wartungszyklen zu ermitteln. Die dazu eingesetzten Anwendungen (bspw. Intranet, BI-Tools, Office-Kalender, E-Mail, Excel, Papier, Smartphone, Individualsoftware etc.) werden dabei als so leistungsstark<sup>25</sup> wahrgenommen, dass der Integrationsmehrwert<sup>26</sup> einzelner PPS-Aufgaben nicht argumentiert werden kann. Für potenzielle Ausbaustufen der SF ist die konzeptionelle Verbindung digitaler PPS-Informationen und Aufgaben allerdings notwendige Voraussetzung (Berres et al. 2018).

Die Konsistenz von Nutzdaten ist dabei verpflichtend (Obermaier 2017, S. 17–19).

Die Grundlage bilden konzeptionelle Datenmodelle (vgl. Thiel 2011, S. 69–72).

Sollen Produktionsdaten wie Messwerte, Sollmengen, Prioritätsregeln, Auftragsstatus, Eingriffsgrenzen oder Planungsalternativen ganzheitlich in den Kontrollfluss einfließen, müssen diese in Form von Daten im GP zur Verfügung stehen oder konzeptionell integriert werden.

Potenzielle IO-Reifestufen konzeptfremder PPS-Anwendungen sind dabei zu eingeschränkt, als dass diese die wahrgenommene Softwarequalität im Einzelbetrieb der PPS-Aufgaben rechtfertigen. Die Integrationsvorteile bleiben aus (Thiel 2011).

Folglich gilt es die Erweiterbarkeit potenzieller Schnittstellen zu beurteilen, um künftige Bedarfe der IO zu berücksichtigen. Bei negativer Bewertung der potenziellen IO scheint es sinnvoll, PPS-Aufgaben entweder zu migrieren oder die Betriebsstrategie der Anwendungen (IT-Produkte) im Sinne der Nachhaltigkeit anzupassen. Die Heterogenität der PPS-Praxis wird dabei als gewachsene Strukturen (vgl. Stein 1996) oder aus der Perspektive der Softwareentwicklung als Brownfield (Sommerville 2012) bezeichnet.

---

<sup>25</sup> vgl. DIN ISO 25010 – Qualitätseigenschaften von Software

Bspw. Flexibilität, Verlässlichkeit, Erweiterbarkeit, Benutzbarkeit, Geschwindigkeit

<sup>26</sup> Im Anhang A15 sind die Eigenschaften nach DIN ISO 25010 aufgeführt

In heterogenen Systemen stellen sich folgende Fragen zur funktionsgestützten Erfüllung der PPS-Aufgaben:

- a. Welche Aufgaben werden bereits konzeptionell integriert ausgeführt?
- b. Welche Aufgaben sollten zusätzlich durchgeführt werden?
- c. Welche Aufgaben sollten konzeptionell integriert werden?
- d. Welche Aufgaben sollten migriert werden?
- e. Welche Aufgaben sollen nicht migriert/integriert werden?

Dabei sollte die Bewertung des operativen Mehrwerts geänderter PPS-Aufgaben auch um eine strategische Perspektive erweitert werden (vgl. Gronau 2017).

Die subjektiven Qualitätsverluste veränderter Bedienprozesse (weniger Bedienkomfort, weniger Flexibilität, schlechtere Funktionalität, höherer Qualifikationsbedarf, langsamere Performance) können häufig nicht durch Kennzahlen der operative Softwarequalität argumentiert werden (vgl. Abts und Müller 2017, S. 643).

Die fehlende Fähigkeit einer operativen Investitionsrechnung (z.B. durch ROI) begründet diesen Zusammenhang (vgl. Kap.: 3.2.1.) Zur Sicherung und zum Ausbau der IO besteht als Alternative die Integration oder Migration von PPS-Aufgaben. Dabei ist die Anforderung der technischen IO an potenzielle Schnittstellen zu berücksichtigen. Der potenzielle Ausbau bis hin zu konzeptionellen Verbindungen soll hierbei ermöglicht werden (vgl. Kap.: 3.2). Eine klassische Anforderung der Praxis soll dazu dienen diesen Ansatz zu veranschaulichen:

„Die funktionale<sup>27</sup> Integration einer MS-Excel Anwendung, in eine ERP-Anwendung, widerspricht bspw. der konzeptionellen IO der PPS-Aufgaben. Die Begründung liegt in der nicht erfüllbaren Anforderung zur nachhaltigen<sup>28</sup> Zusammenarbeit der Systeme. Zwischen MS-Excel und einem ERP kann **keine konzeptionelle** Verbindung zur funktionalen Unterstützung der GP hergestellt werden.“

Im Beispiel besteht kein Datenmodell zur Verwaltung gemeinsamer Datenobjekte. In diesem Ansatz müsste jede Beziehung der Datenobjekte einzeln konzipiert und implementiert werden. Dies widerspricht den Zielen der wirtschaftlichen, technischen und organisatorischen IO. Dennoch werden vergleichbare Integrationsformen in der Praxis vorgenommen (s.o.).

Integrierbare PPS-Aufgaben, im Sinne einer möglichen konzeptionellen Interoperabilität, werden daher im weiteren Verlauf als sinnvolles Architekturziel der SF verstanden. Der Status Quo heterogener PPS-Architekturen erfordert dabei dessen Gestaltung.

---

<sup>27</sup> beinhaltet Funktionen zur Verarbeitung, nicht Eingabe (Import) oder Ausgabe (Export) von Daten

<sup>28</sup> im Sinne einer möglichen konzeptionellen Integration nach Interoperabilitätsstufe 5-6 (vgl. A08)

Bei der Integration regelkreisrelevanter PPS-Aktivitäten, zur Unterstützung der steuerungsseitigen PPS-Aufgaben, definiert der Status der PPS-Integration die Ausgangslage im Gestaltungsumfeld (Wiendahl 2012).

Um die PPS-Meilensteine im Status Quo erfüllen zu können, verwenden operative Entscheidungsträger dabei zunehmend adaptierte Entscheidungsformen.

Mit steigender Nähe zur Wertschöpfung steigt hier der Anspruch den lokalen Entscheidungsprozess zu optimieren. Es sollen damit die Reaktionsgeschwindigkeit, Flexibilität, Qualität, Aufwand, Transparenz und Akzeptanz der Entscheidung verbessert werden (Loebich und Penthin 2015).

Zur Unterstützung der Entscheidungsprozesse wird dabei eine Vielzahl nicht-integrierter Informationsträger zur Erfüllung der PPS-Aufgaben eingesetzt.

PPS-Informationsträger, wie Urlaubspläne, Wartungsübersichten, Qualifikationsmatrizen, Rüstwechseldiagrammen, Transportaufträge, Terminanfragen, Fehlteillisten, Prüfergebnisse, Schichtpläne, Verbrauchstrends, Leistungskennzahlen, Restlaufzeitabellen oder Kapazitätsrückstände werden bspw. in manueller Form aufbereitet, um operative Entscheidungen zu unterstützen (vgl. Kletti und Schumacher 2014, 32 ff.).

Diese Informationsträger (vgl. auch A09) werden dabei im GP genutzt, um den lokalen PPS-Aufgaben nachzukommen.

Vielfach eben ohne konzeptionelle Integration (Kletti und Schumacher 2014).

Die betroffenen Regelkreise der PPS werden dabei manuell oder nicht im Sinne konzeptionell vernetzter Informationen betrieben. Aufgabe der SF ist es allerdings einen Integrationsmehrwert für Entscheidungsprozesse zur Erfüllung der PPS-Aufgaben zu bieten. Dazu ist es notwendig beteiligte Informationsträger der Entscheidungsprozesse zu identifizieren und diese konzeptionell zu harmonisieren.

Das damit verbundene Potenzial zur Integration wird nachfolgend beschrieben.

### 3.3.5 HORIZONTALE UND VERTIKALE INTEGRATION

Die horizontale und vertikale Integration im Wertschöpfungsprozess wird als Potenzial der SF beschrieben (Vogel-Heuser et al. 2017a, S. 93–103).

Hinter dem Ansatz zur Integration verbirgt sich das Ziel Informationen der operativen Leistungserstellung (Ist.-Werte) mit denen der dispositiven Leistungsadministration (Soll.-Werte) zu synchronisieren (Bracht et al. 2018).

Darunter fallen die Aufgaben zur Planung, Überwachung und Anpassung von Wertschöpfungsprozessen. Hierbei werden die originär voneinander getrennten Aufgabenbereiche der PPS mit Hilfe gemeinsamer Kontrollflüsse verbunden.

Die Aufgabe **P**lanung und **S**teuerung wird dabei zusammengeführt (Kurbel 2016).

Durch die Integration der Teilaufgaben soll eine transparente, schnellere flexible und stabilere Kontrolle der Produktionsziele ermöglicht werden (vgl. Kap.: 2.6).

Der Integrationsansatz fokussiert dazu die Informationen im Lebenszyklus der betrieblichen Auftragsabwicklung (horizontal) und die daran beteiligten Anwendungssysteme (vertikal). Anhang A17 veranschaulicht diesen Zusammenhang anhand eines Szenarios. Zur Ermittlung und Verwaltung der Stamm- und Vorgabendaten im GP dienen vertikale Datenstationen aus dem Umfeld der PPS. Betriebliche Anwendungssysteme besitzen hier die Aufgabe Informationen auf unterschiedlichen Planungsebenen im Unternehmen zur Verfügung zu stellen.

Als Gegenstück der vertikalen Perspektive liefern die an der Auftragsabwicklung beteiligten Datenstationen horizontale Informationen, in Form ereignis- und prozessabhängiger Bewegungsdaten (Thiel 2011).

Auch diese werden mit Hilfe betrieblicher Anwendungssysteme in den GP integriert.

Vertikale Informationen werden durch die Verarbeitung aktueller Zustände entlang des GP realisiert. Zur Sicherung der Transparenz werden bspw. Statusänderungen des Kapazitätsangebots (Ressourcen) und der Kapazitätsbedarfe (Aufträge) erfasst, aktualisiert und weiterverarbeitet. Ein Minimal-Beispiel soll den Zusammenhang der Integrationsformen (horizontal und vertikal) konkretisieren:

„Der *Status* eines Arbeitsgangs (AG) wechselt von *in Bearbeitung* auf *ist fertiggestellt* und dient zur Kennzeichnung eines auftragsbezogenen Fertigstellungsgrades. Dabei definiert der AG-Status zum einen den Zustand im Zeitverlauf des betroffenen AG selbst (horizontal) und liefert gleichzeitig einen Vorgabewert für den nachfolgenden AG (vertikal). Aus Perspektive des Folge-AG bietet der Statuswechsel des Vorgänger-AG eine entscheidungsrelevante Information zur Sicherung der Planungsstabilität.

Die PPS-Aufgaben und Meilensteine (7.-11.) werden dabei aktiv unterstützt.

*Vorgänger-AG ist beendet* → *Nachfolger kann beginnen*<sup>29</sup>.

Die horizontale Information „*AG-Statuswechsel*“ wird dabei zu einer vertikalen Information „*AG-Nachfolger kann beginnen*“.

Durch diese Art der ereignis- und zustandsabhängigen Datenintegration, können fachliche PPS-Aufgaben zur Erfüllung der Produktionsziele unterstützt werden.

Im Beispiel ist der *AG-Status* zunächst eine horizontale Information in Form einer erfassten Zustandsänderung und wird durch die Integration in den GP, als vertikaler Vorgabewert weiterverarbeitet. Exemplarisch könnten hierdurch Warte- und Liegezeiten

---

<sup>29</sup> Weitere Beispiele der integrierten Statusänderung in Anhang A18

reduziert werden, da bspw. ein bedarfsgerechter Materialtransport erfolgt. Das Minimal-Beispiel des *AG-Statuswechsel* veranschaulicht dazu Potenziale und Abhängigkeiten der horizontalen und vertikalen Integration.

Der Reifegrad der Integration ist dazu in Modellen messbar (vgl. Puchan et al. 2015).

Aus der Perspektive der Digitalisierung wird ein hoher Reifegrad der Integration durch eine „Papierlose Fertigung“<sup>30</sup> charakterisiert (vgl. Bracht et al. 2011).

Dieser Zustand wird dann erreicht, wenn zu jedem Zeitpunkt eines operativen Informationsbedarfes, stets eine der beteiligten Datenstationen der horizontalen Ebene (z.B. Betriebsmittel, Mensch, Transporteinheit, Maschine, Werkstück) oder der vertikalen Ebene (z.B. Mensch, ERP, MES, PLM, SCM, CAM, CAQ) die Fähigkeit besitzen, eine datenbasierte Entscheidungen zu treffen oder entscheidungsrelevante Daten bedarfsgerecht im GP bereitzustellen.

Ist diese Fähigkeit nicht sichergestellt, müssen Informationsbedarfe und/oder Informationsangebote (manuell) zwischengepuffert werden. Eine heterogene Informationsverarbeitung ist notwendig (Kap.: 3.3.4). Reale Informationspuffer bilden daher die Basis zur Identifikation regelungsrelevanter Informationen der PPS.

Weniger als im kaufmännisch-dispositiven Anwendungsfeld der Unternehmensleitebene (ERP), in dem Rationalisierungsvorteile starke Argumente zur integrierten Datenhaltung liefern (Vermeidung redundanter Tätigkeiten, Fehlerfassung, Datenpflegeaufwand), dominiert im Fertigungsumfeld stärker noch der Integrationsnutzen durch erhöhte Reaktionsfähigkeit (Kletti 2016).

Die Zieldimension *ZEIT* ist im Produktionssystem die priorisierte Leistungseigenschaft (vgl. Schuh et al. 2017).

Daraus ergibt sich die Notwendigkeit innerhalb der (teilweise) stark automatisierten Arbeitsprozesse der industriellen Fertigung, Informationsbedarf und -angebot in deutlich kleineren Takten bei gleichzeitig höherer Genauigkeit auszutauschen.

Die nutzenbringende Einbindung, der am Leistungserstellungsprozess beteiligten Datenstation der horizontalen Ebene, wird daher als großes Potenzial der SF verstanden (Kletti 2019).

Hierdurch wird die Transparenz im GP erhöht. Nachgelagert soll dann die Steigerung der Reaktionsgeschwindigkeit, die Stärkung der Entscheidungsqualität und der Ausbau der Prognosefähigkeit einen Beitrag zur Reaktionsfähigkeit des Produktionssystems leisten (Droscha 2014).

---

<sup>30</sup> Beschreibt einen vollständig digitalen GP der PPS-seitigen Auftragsabwicklung

Digitale Kontrollflüsse führen dabei integrierte Informationen aus horizontaler und vertikaler Ebene in einem zielbezogenen Kontext zusammen. Die operative Kontrollflusssteuerung (i.e.S. Regelung) wird dabei mit Hilfe betrieblicher Anwendungssysteme ausgeführt (Lukas et al. 2014).

Art, Umfang und Reife der PPS Integration wird durch dessen Beitrag zur Erfüllung der Produktionsziele bewertet. Die Prozessziele und -aufgaben zur Stärkung der Regelungsfähigkeit digitalgestützter PPS-Aufgaben werden dazu im Kompetenzbereich betrieblicher Anwendungssysteme diskutiert.

Dessen Aufbau und Umfang werden nachfolgend erläutert.

### 3.4 ANWENDUNGSSYSTEME IN DER INDUSTRIE

Das Kapitel beschreibt Anwendungssysteme im industriellen Anwendungsumfeld.

Zu Beginn soll der Begriff erläutert und eingeordnet werden. Im Unterschied zu einem Expertensystem, welches wie folgt definiert ist:

“Ein Expertensystem ist ein Computersystem (Hardware und Software), das in einem gegebenen Spezialisierungsbereich menschliche Experten in Bezug auf ihr Wissen und ihre Schlussfolgerungsfähigkeit nachbildet.”

(Beierle und Kern-Isberner 2014, S. 12) schließt ein Anwendungssystem weitere Perspektiven einer IT-Architektur ein.

Weitergehend als Hard- und Software, werden bei betrieblichen Anwendungssystemen der Industrie auch Perspektiven, wie bspw. GP, Funktionen, Organisation, Leistung, Daten, Verantwortlichkeiten, Qualifikation und Ziele betrachtet (Alpar et al. 2016).

Der Begriff Anwendungssystem repräsentiert demnach nicht alleine den Teil des Expertensystems einer Anwendungsumgebung, sondern auch die damit verbundenen betrieblichen Organisationsmerkmale. Das Expertensystem als solches charakterisiert dazu den Einsatzzweck des Computersystems.

Im engeren Sinne wird der Begriff Anwendungssystem häufig auf seine Hard- und Softwarekomponenten beschränkt. Dies soll im Folgenden nicht der Fall sein. Um den Aufbau, den Betrieb und die Entwicklung betrieblicher Anwendungssysteme, im Kontext der SF nachzuvollziehen, werden diese anhand der Architektur integrierter Anwendungssysteme in Kapitel 3.4.1 beschrieben. Danach folgt die Darstellung unterschiedlicher Systemtypen im Verständnis der funktionalen PPS-Aufgaben.

### 3.4.1 ARCHITEKTUR INTEGRIERTER INFORMATIONSSYSTEME

Als Vertreter sogenannter Strukturmodelle zur Beschreibung von Systemeigenschaften, gilt die **Architektur integrierter Informationssysteme (ARIS)** von August Wilhelm Scheer als Standard der Wirtschaftsinformatik (Abts und Mülder 2017). Scheer verwendet den Begriff Architektur, da in der ARIS Aufbaustruktur unterschiedliche Perspektiven in Form von sogenannten Sichten und Ebenen definiert und diskutiert werden.

Als Erweiterung zur ARIS Aufbaustruktur wurde die ARIS-Methode als Ablaufstruktur entwickelt. Diese dient als Designvorlage zur Entwicklung integrierter Anwendungen betrieblicher GP. Als Ziel verfolgt ARIS eine strukturierte, zielorientierte und integrierte Entwicklung betrieblicher Anwendungssysteme. Hierzu wird ein Ordnungsrahmen definiert. Nachfolgend werden dessen Hauptmerkmale vorgestellt.

#### 3.4.1.1 ARIS ALS METHODE

Der ARIS Ordnungsrahmen verbindet statische und dynamische Sichtweisen einer Software- und GP-Architektur. Dabei wird das Ziel verfolgt den Ansprüchen der Interessensvertreter des Anwendungssystems gerecht zu werden. Formal beschäftigt sich die Methode mit der Modellierung von Systemeigenschaften in unterschiedlichen Teilmodellen. Ein besonderer Beitrag der Methode wird dadurch generiert, dass die voneinander unabhängigen Modelle gleichzeitig auch zueinander in Beziehung gesetzt werden können. Dadurch wird zum einen die unabhängige Modellbildung einzelner Perspektiven (Sichten und Ebenen) ermöglicht und zum anderen eine ganzheitliche Beschreibung des Anwendungssystems realisiert. Nachfolgend werden die Sichten und Ebenen von ARIS kurz erläutert.

#### 3.4.1.2 SICHTEN UND EBENEN VON ARIS

Die Begriffe Beschreibungssicht (Sicht) und Beschreibungsebene (Ebene) sind zentrale Begriffe innerhalb in ARIS:

##### Ebene

Beschreibt eine der drei Integrationsstufen eines softwaretechnischen Entwicklungsmodells. ARIS unterscheidet die Ebenen Fachkonzept, DV-Konzept und Implementierung. In Analogie klassischer Vorgehensmodelle der Softwaretechnik fallen darunter die Phasen Analyse, Entwurf und Implementierung. Eine konkrete Aufführung der einzelnen Ausprägungen der ARIS-Ebenen ist im Anhang A12 dargestellt.

### Sicht

Beschreibt einen organisatorischen Kontext des Anwendungssystems. Dabei werden in ARIS die Sichten Leistung, Organisation, Prozesse<sup>31</sup>, Funktionen und Daten unterschieden. Diese fünf Sichten detaillieren die fachliche Umgebung mit dem Ziel einer vollständigen Anforderungsdefinition. Ausgehend von einer wirtschaftlichen Fragestellung (**Leistung**) werden die zur Erstellung notwendigen Tätigkeiten identifiziert und gruppiert (**Funktionen**). Nachfolgend werden beteiligte Organisationseinheiten (**Organisation**), dessen Ereignisse, Aktivitäten und bedingte Entscheidungswege zur Ablauforganisation (**Prozesse**) sowie deren Informationen (**Daten**) modelliert.

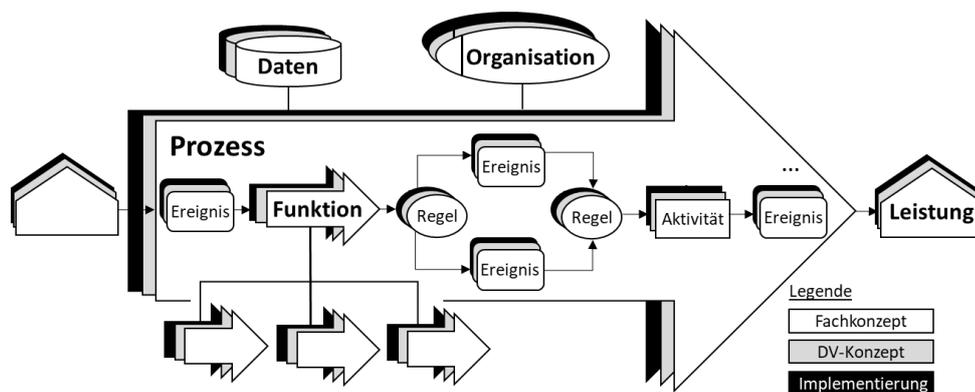
Eine Darstellung der einzelnen Sichten wird im Anhang A13 vertieft.

### Zusammenführung von Ebenen und Sichten

ARIS besitzt den Anspruch für jede Sicht alle drei Ebenen zu beschreiben. Hierdurch wird die vollständige Definition eines Anwendungssystems an den ganzheitlichen Bedürfnissen aller Interessensvertreter im GP ausgerichtet. Es ergeben sich pro GP 15 mögliche Modellierungsartefakte, bestehend aus fünf Sichten mit jeweils drei Ebenen.

#### 3.4.1.3 ERGEBNISSE VON ARIS

Im Sinne einer strukturierten Entwicklung bietet die ARIS Methode als Ergebnis ein bewertbares Abbild der aktuellen Prozesslandschaft. Bei Anwendung der Methode eignet sich ARIS dabei zur Dokumentation des tatsächlichen (IST) oder des geplanten (Soll) GP. Abbildung 12 zeigt die Modellierung eines ARIS-Prozesses grafisch.



**ABBILDUNG 12 - ARIS-METHODE ALS PROZESSSICHT**

Eigene Darstellung in Anlehnung an (Scheer et al. 2005)

Es werden die Sichten (Daten, Organisation, Leistung, Funktion und Prozess) sowie deren Ebenen (Fachkonzept, DV-Konzept, Implementierung) dargestellt.

Im Kontext eines Anwendungssystems wird ein GP durch ARIS hinreichend genau beschrieben (Scheer 1991).

<sup>31</sup> früher als „Steuerung“ bezeichnet

### 3.4.2 BETRIEBLICHE ANWENDUNGSSYSTEME

Zur Auftragsabwicklung der PPS werden unterschiedliche Typen von Anwendungssystemen genutzt. Als Übersicht stellt (Schüle 2015) eine Kategorisierung bereit. Die betrieblichen Anwendungssysteme (roter Kasten) werden hier nach Business- und Technischen Anwendungen unterschieden (Abbildung 13).

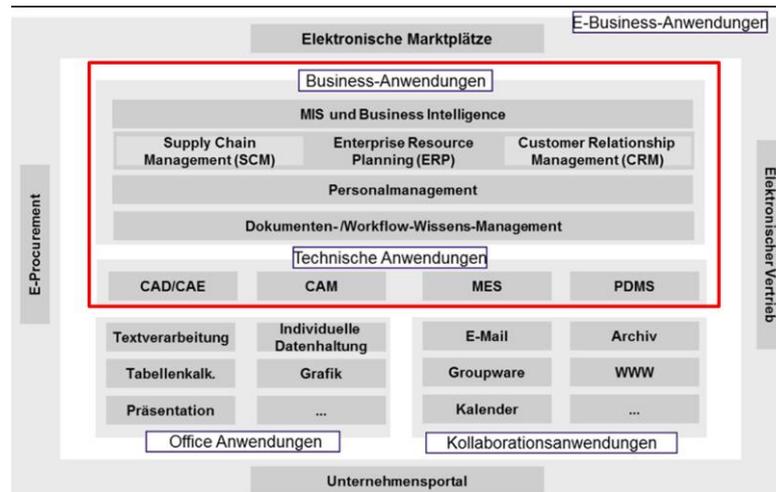


ABBILDUNG 13 - BETRIEBLICHE ANWENDUNGSSYSTEME

Quelle: (Schüle 2015)

Die Gruppierung wird in der Darstellung nach Einsatzbereich der Informationssysteme vorgenommen. Die Anwendungsformen zwischen den Systemen sind im praktischen Umfeld fließend (vgl. Mertens et al. 2017, S. 65–105).

Sowohl funktional, organisatorisch als auch datenseitig erfüllt eine idealtypische Trennung der Anwendungen nicht die praktischen Bedarfe betrieblicher GP.

Die strikte Ausrichtung der funktionalen Belange anhand der klassischen Anwendungssysteme ist im praktischen Umfeld eher selten (vgl. SER Group 2017).

Ein Mix aus unterschiedlichen Systemen unterstützt die Prozesslandschaft der Praxis. Zudem bieten Softwareanbieter der unterschiedlichen Systemtypen ähnliche oder identische Funktionalitäten. Somit ist es Anwendern möglich GP sowohl in dem einen als auch in dem anderen Anwendungssystem abzubilden.

Belege hierzu sind im Anhang A19 aufgeführt.

Der geforderte Bedienkomfort und der Transaktionsaufwand im operativen GP sowie der Aufwand zur IT-seitigen Instandhaltung der Systeme, motiviert Industrieunternehmen zudem das Funktionsangebot der Systeme anzupassen (Knoll 2018).

Hierbei werden PPS-Aufgaben in Anwendungssystemen durchgeführt, welche ihren funktionalen Beitrag ohne konzeptionelle Integration leisten (vgl. auch Kap.: 3.3.4).

Die Vor- und Nachteile dieser Entscheidungen werden auch im Kontext der Frage nach Standard- vs. Individualsoftware diskutiert (Knoll 2018).

Fest steht, dass die vorgestellten Anwendungssysteme als idealtypische Funktionsvertreter verstanden werden müssen. Anwendungsfallsspezifisch ist im praktischen Einsatz zu berücksichtigen, in welchem Anwendungssystem tatsächlich funktionale und nicht-funktionale Anforderungen (Balzert und Liggesmeyer 2011, S. 109–115) den GP unterstützen. Die Frage, nach der konzeptionellen Ausrichtung des verwendeten Anwendungssystemtyps zur Unterstützung der PPS-Aufgabe, ist dabei ein bedeutendes Bewertungskriterium.

Abbildung 14 zeigt die betrieblichen Anwendungssysteme aus zeitlicher Perspektive. Hier wird die Funktionsunterstützung im Produktlebenszyklus idealtypisch vorgestellt:

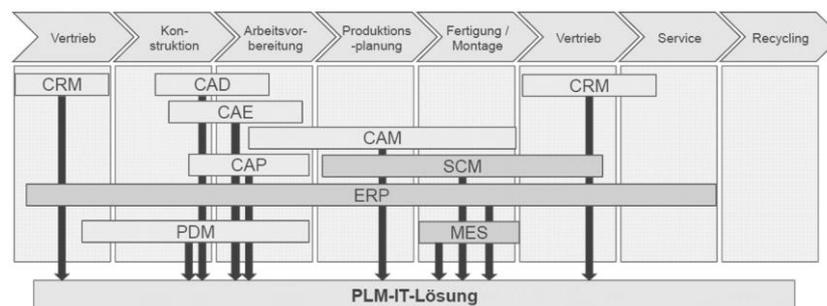


ABBILDUNG 14 - ANWENDUNGSSYSTEME IM PRODUKTLEBENSZYKLUS

Quelle: (Mussbach-Winter 2017)

In Anlehnung an die VDI Richtlinie 2219<sup>32</sup> werden Anwendungssysteme im zeitlichen Verlauf des Einsatzes dargestellt. Im Umfeld der SF werden dabei die Phasen Konstruktion, Arbeitsvorbereitung, Produktionsplanung, Fertigung/Montage<sup>33</sup> durchlaufen. In diese Phasen sind unterschiedliche Anwendungssysteme in den internen Leistungsprozess eingebunden. In einer Analogie zu klassischen Office-Anwendungen mit den originären Hauptaufgaben „**Tabellenkalkulation - 1**“ vs. „**Textverarbeitung - 2**“, bieten betriebliche Anwendungssysteme in einzelnen Anforderungsbereichen ein subjektiv identisches Funktionsangebot für betroffene Anwender.

Im Falle eines exemplarischen Funktionsbedarfs zur **Erfassung von Freitexten**, verfügen Office-Anwendungen beider Systemtypen (**1+2**) augenscheinlich über dieses Funktionsangebot. Mit zunehmender Spezifikation der Anforderung *Erfassung von Freitexten* ergeben sich allerdings entsprechende Unterschiede im konzeptionellen Ansatz beider Systemtypen. Beteiligte Assistenzfunktionen zur *Anlage von Verzeichnisstrukturen, einer Korrekturassistenz, einer Quellenverwaltung*, oder zur *Erstellung von Formatvorlagen*, werden konzeptionell nur im Falle der „*Textverarbeitung - 2*“ unterstützt. Die Systemstruktur ist dabei auf einen nachhaltigen und effizienten

<sup>32</sup> VDI 2219 - Informationsverarbeitung in der Produktentwicklung – September 2016

<sup>33</sup> Die Aufgabe der Produktionssteuerung wird hier der Phase Fertigung/Montage zugeordnet

Systembetrieb zur **Verwaltung von Freitexten** konzipiert und wird in dessen Sinne weiterentwickelt. Deren Teilaufgaben sind dabei funktional integriert.

Diese Analogie der Funktionseigenschaften gilt auch für das Umfeld betrieblicher Anwendungssysteme.

Eine der Hauptaufgaben in der SF scheint es daher zu sein, die „funktionalen Wendepunkte“ nicht integrierten PPS-Funktionen zu identifizieren und diese konzeptionell zu harmonisieren.

Dazu werden beteiligte Systemtypen und ihr konzeptioneller Funktionsumfang im weiteren Verlauf erläutert.

### 3.4.3 ERP

Das konzeptionelle Funktionsangebot eines Enterprise Resource Planning Systems (ERP) fokussiert im Kontext der Produktion die Ermittlung der Vorgabewerte des Fertigungsauftrages (FA). Darüber hinaus werden auftragsbezogene Ist.-Werte als Ergebnis der Bearbeitung für den FA kaufmännisch dokumentiert (Wiendahl 2012).

Im weitesten Sinne fällt die Bereitstellung aller planungsrelevanten Vorgabewerte eines FA in den Aufgabenbereich der ERP-seitigen PPS-Funktionen.

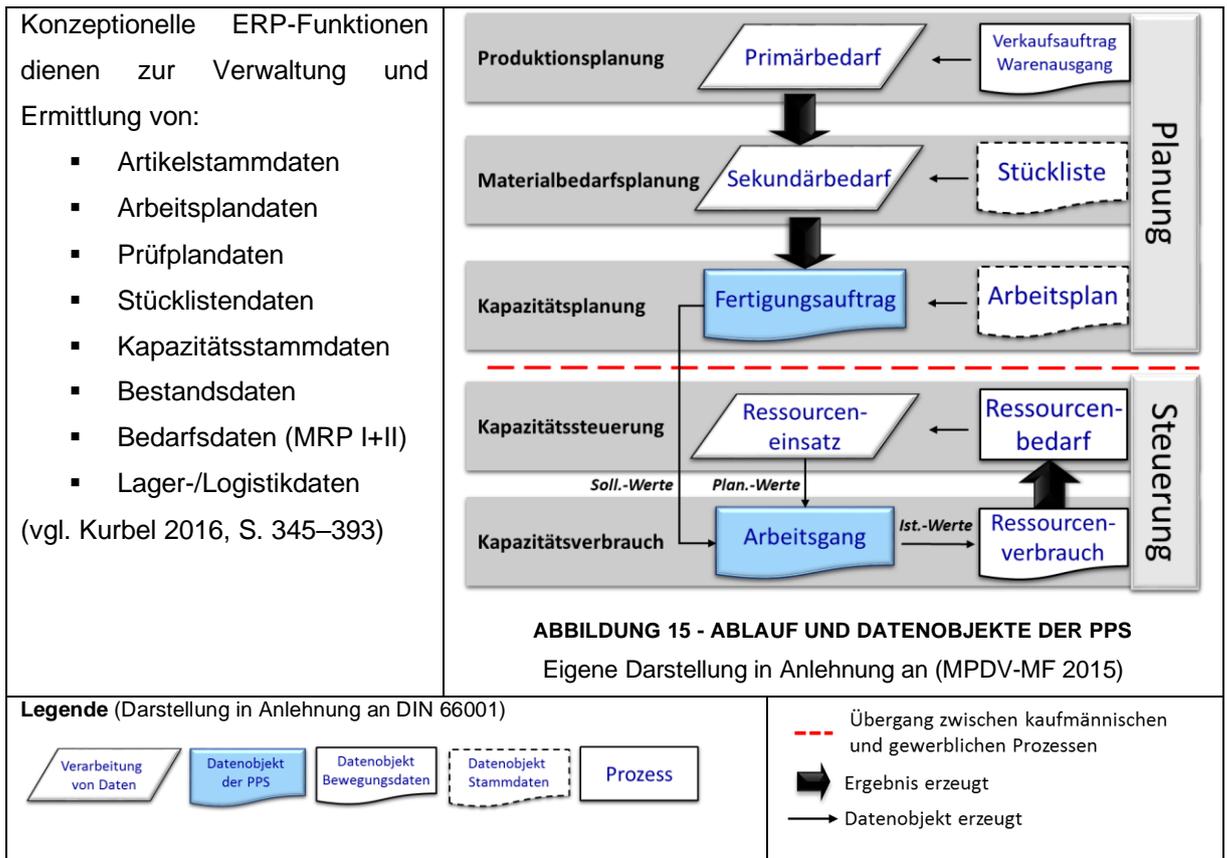
Aus der Ermittlung von primär, sekundär und tertiären Bedarfen werden mit Hilfe der Stamm- Bewegungs- und Bestandsdaten einer Planungsperiode, die produktionsrelevanten Auftragsdaten sukzessiv abgeleitet (Dangelmaier 2017).

Zur zeitlichen Steuerung der Bedarfe erstellen ERP-Funktionen dabei standardmäßig *Aufträge*. Dieses Datenobjekt wird für die unterschiedlichen Fachbereiche, wie Einkauf (Bestellauftrag), Versand/Distribution (Warenausgang), Logistik (Transportauftrag) Produktion (**Fertigungsauftrag**), Qualität (Prüfauftrag) Instandhaltung (Serviceauftrag) erstellt. Im Zuge der sequentiellen Auftragsabwicklung der PPS ergeben sich dabei zwei wesentliche Zustände (Meilensteine) im GP der Auftragsabwicklung:

*MS1:* Die Auftragsvorgabedaten wurden ermittelt – *Soll.-Werte sind bekannt*

*MS2:* Die Auftragsergebnisse wurden dokumentiert – *Ist.-Werte sind bekannt*

Der Ablauf zur Verarbeitung der auftragsbezogenen PPS-Daten wird nachfolgend aufgeführt (Abbildung 15).



Die konkreten Eigenschaften und Attribute des Fertigungsauftrags und dessen Erläuterung werden dazu ab Kap.: 3.4.4 (Anhang A21) detailliert.

Die übergreifende Eigenschaft aller betrieblichen Auftragsformen ist die Definition eines Bedarfes. Die nachgelagerte Bedarfsdeckung wird dabei durch die Zuordnung konkreter Ressourcen und einer zeitlichen Einordnung (Terminierung) vorgenommen. Der Ressourceneinsatz wird dabei anhand der Vorgaben (Soll.-Werte) geplant und abschließend mengen- und zeitmäßig (Ist.-Werte) dokumentiert (Kurbel 2016).

Die konzeptionelle Kernaufgabe der ERP-Funktionalität endet mit der Ermittlung der Auftragsvorgabedaten *MS1* (rote Linie). Die funktionale Unterstützung zur auftragsbezogenen Erfassung und Verwaltung von Ist.-Werten sowie die Ermittlung angepassten Plan.-Werten, fällt hingegen in den Aufgabenbereich der Manufacturing Execution Systeme (MES). Dessen Aufgaben werden nachfolgend erläutert.

### 3.4.4 MES

Im Gegensatz zu ERP-Anwendungen, welche den konzeptionellen Schwerpunkt auf Datenobjekte zur Unterstützung kaufmännisch-dispositiven **Planungs**prozesse legen (vgl. Friedl et al. 2012, S. 5–7), fokussiert der Aufgabenbereich der Manufacturing Execution Systems (MES) die Unterstützung der gewerblich-technischen Überwachungs- und **Steuerungs**prozesse (vgl. Kletti 2007, S. 100–174).

Mit zunehmender Nähe zur betrieblichen Leistungserstellung werden dabei operative Ist.-Werte genutzt, um den Steuerungsteil der PPS-Aufgabe durchzuführen (vgl. Kurbel 2016, S. 345).

Die Funktionen im ERP und MES fokussieren dabei unterschiedliche Planungshorizonte. MES werden im Bereich der kurzfristigen PPS-Aufgaben im Zeithorizont von Arbeitstagen, Schichten, Stunden, Minuten bis hin zu (Milli-) Sekunden eingesetzt. ERP-Funktionen werden eher im Bereich von Jahren, Quartalen, Monaten, Wochen, Tagen eingesetzt (ISA 95 2010b).

Die konkreten Funktionen eines MES unterstützen dabei die operativen Fertigungsaufgaben der Produktionssteuerung (VDI 5600):

- |                                    |                                  |
|------------------------------------|----------------------------------|
| <b>1. Auftragsmanagement</b>       | <b>6. Datenerfassung</b>         |
| <b>2. Feinplanung</b>              | <b>7. Leistungsanalyse</b>       |
| <b>3. Betriebsmittelmanagement</b> | <b>8. Qualitätsmanagement</b>    |
| <b>4. Materialmanagement</b>       | <b>9. Informationsmanagement</b> |
| <b>5. Personalmanagement</b>       | <b>10. Energiemanagement</b>     |

Im Anhang A24 werden die Inhalte dieser Aufgabenbereiche eines MES detailliert. Zusammenfassend sind die Hauptaufgaben eines MES wie folgt zu beschreiben:

- Verwaltung der realen Fertigungskapazitäten von Maschinen und Ressourcen<sup>34</sup>
- Regelbasierter Ausgleich von Kapazitätsbedarf und Kapazitätsangebot
- Dokumentation, Archivierung, Analyse und Prognose von Prozessleistungen
- Gestaltung und Aktivierung von Regeln zur Überwachung der Daten im GP
- Proaktiver und reaktiver Austausch beteiligter Datenstationen im GP
- Aktivierung ereignisbezogener Informationsflüsse im GP

Diese Aufgaben sind dem *ISA 95 Production Level 3* zuzuordnen und erweitern die operativen Aufgaben der SF (vgl. Kapitel 2.3). Die Bereitstellung einer objektorientierten Datenstruktur zur logischen Beschreibung des Herstellprozesses, ergänzt hierbei die Aufgaben zur operativen Verwaltung prozessorientierter Bewegungsdaten.

Das Datenmodell eines MES bildet die Grundlage zur operativen Prozessregelung im Sinne der betriebswirtschaftlichen Produktionsaufgabe (Thiel et al. 2008).

Zur Visualisierung des Gesamtkontextes zeigt Abbildung 16 die PPS-Datenobjekte eines industriellen Arbeitsplatzes aus der Aufgabenperspektive eines MES:

---

<sup>34</sup> Im Unterschied zur Kapazitätsstammdaten im Aufgabenbereich der Produktionsplanung handelt es sich hierbei, um die operative Festlegung tatsächlich verfügbarer Kapazitäten zum aktuellen Zeitpunkt

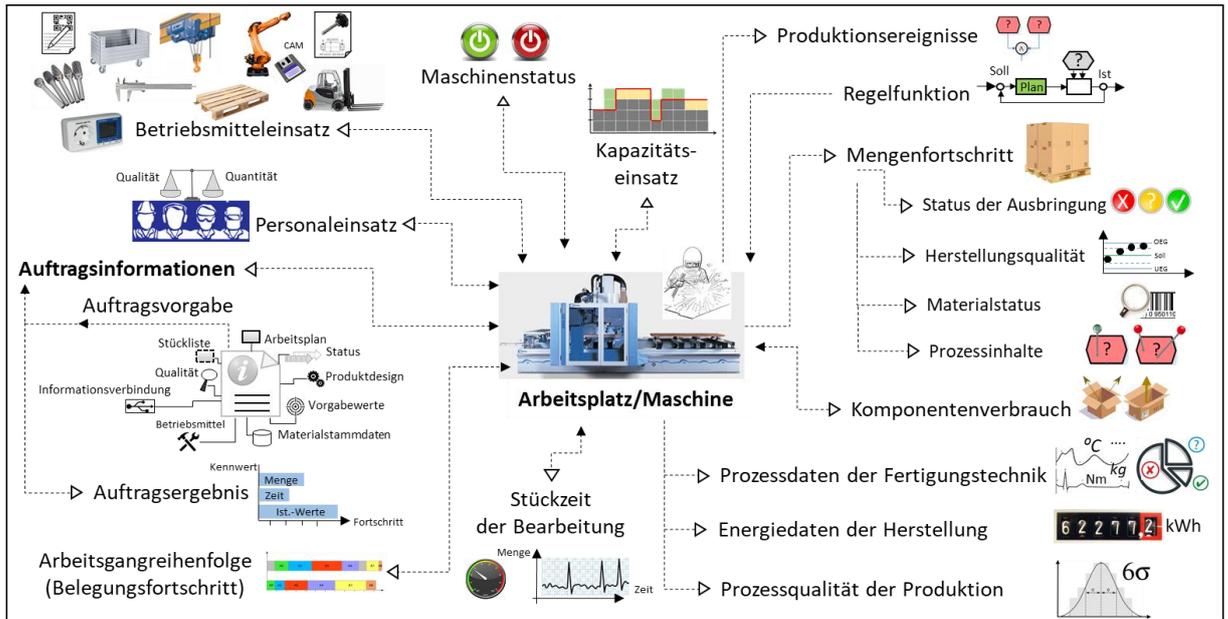


ABBILDUNG 16 - PPS-DATENOBJEKTE ALS TEIL DER MES-AUFGABEN

Eigene Darstellung

Abbildung 16 zeigt die Zusammenführung eines Fertigungsbedarfes (Auftragsinformationen) zu einem Kapazitätsangebot (Arbeitsplatz/Maschine) in Verbindung mit den beteiligten PPS-Datenobjekten.

Durch den konzeptionellen Fokus auf den Aufgabenbereich der Produktionssteuerung bildet das MES die Integrationsschicht zwischen der betriebswirtschaftlichen Bedarfsplanung (ERP) und der fertigungsseitigen Bedarfsdeckung (Shopfloor) (Kletti 2015).

Die in Abbildung 16 dargestellten Verbindungen der PPS-Datenobjekte zeigen die Datenstromrichtung des industriellen Arbeitsplatzes. Die Bereitstellung von Plandaten<sup>35</sup> (Datenfluss mit ausgefüllter Pfeilspitze) und die Erfassung von Ist.-Daten (Datenfluss mit nicht ausgefüllter Pfeilspitze) dienen dabei als Grundlage digitaler Kontrollflüsse. Der Arbeitsplatz selbst wird dabei als Datenstation im horizontalen und vertikalen Datenfluss verstanden (vgl. Kap.: 3.3.5).

Im Sinne der PPS sollen diese Datenflüsse kontrolliert werden.

Um hierbei einen geschlossenen Wirkprozess aufgabengerecht zu dimensionieren, ist die Definition von Überwachungs- und Anpassungsaufgaben notwendig (Föllinger und Roppenecker 1994).

Im Sinne der PPS bildet Abbildung 16 dazu ein schematisches Gesamtbild ohne direkten Aufgabenbezug. Es werden potenzielle Einflüsse der Datenstation *Arbeitsplatz* anhand

<sup>35</sup> Im Unterschied zu Solldaten, sind Plandaten bereits um aktuelle Einflüsse angepasste/korrigierte Vorgabewerte zur situationsabhängigen, teilweise bedingten (geregelten) Steuerung des aktuellen Ablaufes.

der konzeptionellen Datenobjekte aufgezeigt. Die Darstellung ist somit als Ausschnitt einer statischen Perspektive der Datenstation *Arbeitsplatz* zu verstehen.

Um einen Perspektivwechsel in Richtung einer dynamischen Orientierung, entlang der Wertschöpfung zu realisieren, gilt das Datenobjekt „Auftrag“ als elementares Verbindungselement der prozessbeteiligten Instanzen (vgl. Kurbel 2016, S. 165–199).

Der Auftrag als gleichzeitiger „Datenlieferant“ und „Datensammler“ besitzt eine essentielle Bedeutung zur Erfüllung der Fertigungsaufgabe (Kurbel und Endres 2005).

Die elementare Anforderung der SF zur horizontalen und vertikalen Integration wird dabei durch das PPS-Datenobjekt „Fertigungsauftrag“ (FA) ermöglicht.<sup>36</sup>

Der FA besitzt die Fähigkeit alle vertikalen Unternehmensebenen, wie ERP, MES und PLC sowie alle horizontalen Arbeitsplätze der Wertschöpfung zu durchlaufen.

Diese Eigenschaft bildet die Basis zur kontextrelevanten Integration von Datenstation (vertikal) und Datenobjekt (horizontal).

Als fachliches Ziel der MES Anwendung wird die Reduzierung von betrieblichen, organisatorischen und technischen Schwachstellen genannt

(Kletti 2015); (Seibel und Theobald 2017); (BearingPoint 2018) (Thiel 2011).

Die Umsetzung dieser Ziele soll dabei durch die funktionale Unterstützung von Regelkreisen auf operativer und taktischer Unternehmensebene realisiert werden (ISA 95 2010b).

Als Aufgabe eines MES sollen dazu die Attribute der PPS-Datenobjekte erfasst, überwacht und regelbasiert im Sinne der Prozessziele kontrolliert werden. Die konkreten Aufgaben eines MES sind dabei in der VDI 5600 sowie dem Aufbau von Unternehmensführungs- & Leitsystemen in der DIN EN 62264 definiert. Aus funktionaler Sicht führen MES Anwendungen dabei die Aufgaben fertigungsnaher IT-Anwendungen in einem Betriebsumfeld zusammen. MES wird daher als Systemschicht zwischen dem gewerblichen Arbeitsplatz und den produktionsorientierten Anwendungskomponenten eines ERP-Systems verstanden. Die vertikale Einordnung von MES wird dazu in Abbildung 17 veranschaulicht:

---

<sup>36</sup> FA wird hier auch stellvertretend für andere Auftragsformen der PPS, wie bspw. Transport-, Wartungs- oder Rüstaufträge verwendet.

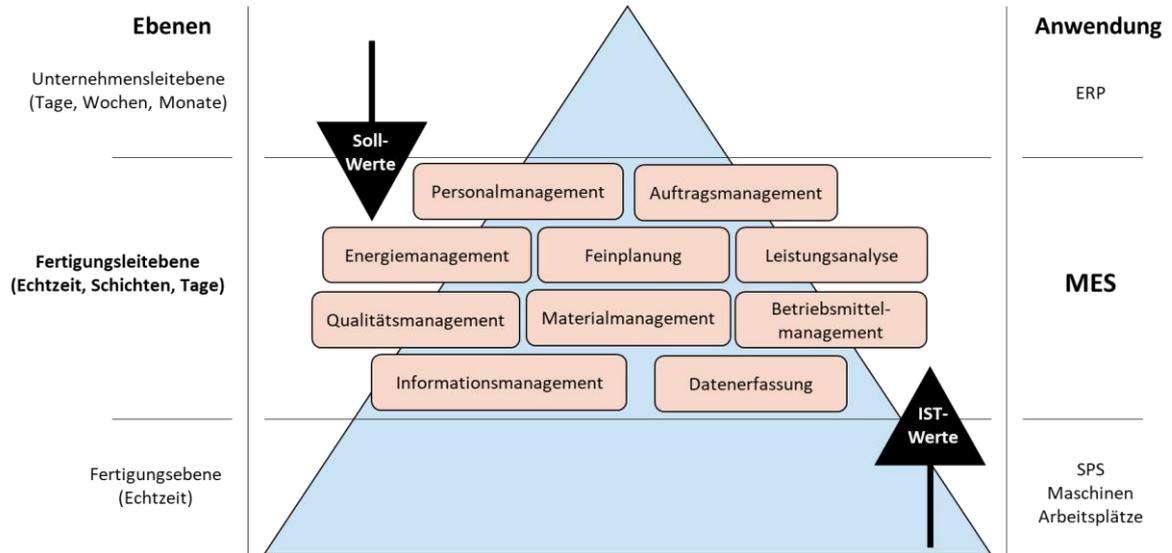


ABBILDUNG 17 - AUFGABEN UND EINORDNUNG VON MES

Eigene Darstellung in Anlehnung an (VDI 5600)

Die Gestaltung eines ganzheitlichen Kontrollflusses zur Entscheidungsunterstützung der Wertschöpfung erfordert demnach einen parallelen Betrieb unterschiedlicher Anwendungssystemtypen. Hierzu wird ein Gesamtverständnis zur fertigungsorientierten Integration von Produktionsdaten benötigt. Dieses wird nachfolgend vorgestellt.

### 3.4.5 CIM

Vor mehr als 30 Jahren wurde ein visionärer Ansatz zur integrierten Informationsverarbeitung der industriellen Auftragsabwicklung veröffentlicht (Scheer 1987).

Übergeordnetes Ziel des Ansatzes ist, Vernetzungsvorteile integrierter Systemkomponenten der Anwendungssysteme für die Leistungserstellung zu nutzen. Durch die Beschreibung funktionaler Schwerpunkte der praktischen IT-Anwendung sowie der Definition von Prozess- und Datenschnittstellen, wurde das Potenzial einer ganzheitlichen Perspektive zur Verwaltung digitaler Produktionsdaten aufgezeigt. Unter dem Namen **Computer Integrated Manufacturing (CIM)** wurde das Konzept zur Verbindung von Produktlebenszyklus, GP sowie der konzeptionellen Aufgabenschwerpunkte beteiligter Anwendungssysteme veröffentlicht (Scheer 1990a). Strukturelle Konzepte zum Auf- und Ausbau der tatsächlichen Unternehmensarchitekturen wurden hingegen erst zu späteren Zeitpunkten veröffentlicht (vgl. Matthes 2011).

Bspw. wurden die Grundlagen von ARIS erst ab den 90er Jahren gelegt.

Die ARIS-Methode selbst fand dann wiederum erst ab den 2000er Jahren praktische Anwendung (Scheer 2002).

Daher waren konzeptionelle Grundlagen heutiger Architekturframeworks zum Zeitpunkt der anwendungsorientierten CIM-Veröffentlichung nicht umfassend bekannt.

Weiterhin war der technologische Fortschritt der Datenverarbeitung und –vernetzung (Internet, Ethernet, PLC/SPS, Reife von Standardsoft- und -hardware) in einem sehr viel niedrigeren Reifegrad als bspw. in der heutigen Zeit (Sinsel 2020).

Daraus resultierte ein hoher Einführungsaufwand zur Realisierung beschriebener Integrationsvorteile durch den Integrationsansatz von CIM. Der Aufwand, das damit verbundene Risiko und ein fehlendes Verständnis der Wirkprinzipien der Gesamtzusammenhänge, führten zur eingeschränkten praktischen Akzeptanz der CIM Philosophie.

Dennoch widmen sich bis heute Unternehmen ganzheitlich dem Thema integrierter Produktionsdaten zur Regelung der industriellen Auftragsabwicklung (vgl. Bullinger 1988; FNP 2018).

Die Effizienzvorteile praktischer Projekterfolge bestätigten dabei weiterhin das hohe Potenzial des CIM-Ansatzes (Ziel 2020).

Allerdings erzielten die im Veröffentlichungszeitraum und im Kontext von CIM publizierten Projektergebnisse keine kritische Masse (Kneuse 1992).

Somit verlor der CIM-Ansatz gerade in der Praxis an Image und Vertrauen.

Der klassische Hype-Cycle Effekt trat ein (Scheer 2018).

Bei praktischer Umsetzung der konzipierten Integrationspotenziale nach CIM ergaben sich allerdings belegbare Wettbewerbsvorteile (Scheer 2012).

Die in CIM diskutierten Strukturelemente dienen dabei nach wie vor zur Konzeption heutiger GP in der Industrie.

CIM kategorisiert unterschiedliche Systemtypen, welche als sogenannte CAX-Systeme das Funktionsangebot der GP beinhalten. Die technische Realisierbarkeit der CIM Philosophie kann im Zuge der gestiegenen technischen Interoperabilität mittlerweile positiver bewertet werden. Mit dem Ansatz der Smarten Fabrik, welche als Zielsetzung auch die Beschreibung eines visionären Layouts und dessen Integrationspotenziale in sich trägt, kehrt der Grundgedanke von CIM in die öffentliche Diskussion zurück.

Die konzeptionellen Systemkomponenten von CIM sind Teil der SF und beschreiben die Funktionsschwerpunkte im Technologietransfer. Im Anhang A25 ist dazu das Y-Modell des CIM-Ansatzes nach (Scheer 1987) dargestellt und näher erläutert.

Dortige CAX-Systeme

(**C**omputer **A**ided: **E**ngineering; **D**esign; **P**lanning; **M**anufacturing; **Q**uality) sind dabei als interne oder externe Systemkomponenten in das Anwendungsumfeld heutiger ERP und MES eingegangen (Kurbel 2016).

Es besteht weiterhin der Bedarf, spezifische Assistenzfunktionen durch unterschiedliche Systemtypen zu unterstützen. Vornehmlich wird hierbei das eher technische Funktionsumfeld durch spezifische Systemtypen (CAX) unterstützt. Dazu zählen die Aufgabenbereiche Produktentwurf, Konstruktion, Fertigungstechnik, Qualitätssicherung, NC-Programmierung, Prozessverriegelung, der Lager- und Transportsteuerung sowie Instandhaltung (Scheer 2012).

Durch die voranschreitende Standardisierung wurde die Fähigkeit zum **syntaktischen** Datenaustausch der Systemtypen stetig harmonisiert. Industrielle *Quasi-Standards*, wie JSON, MQTT, OPC UA, EUROMAP oder WEIHENSTEPHANER bestätigen diesen Effekt (Sinsel 2020)

Die **aufgabenbezogene Kontextbildung** ausgetauschter Attribute, definiert allerdings weiterhin die **logische Objektbeziehung** zur wirtschaftlichen Abwicklung durch CAX.

Tabelle 1 zeigt eine exemplarische **Semantik** im Umfeld der Systeme:

<b>PPS-Aufgabe im CAX-Umfeld</b>	<b>CAX Typ</b>	<b>Attribut im Fertigungsauftrag</b>	<b>Bedeutung für die Produktion</b> <i>Semantik beschreibt dazu...</i>
Produktentwurf definieren	CAE	Material-ID (FSL)	...die Eingangskomponente(n)
Konstruktion erstellen	CAD	Abmessungen (ATK)	...geometrische Sollwerte des Produktes
Fertigungstyp spezifizieren	CAP	Arbeitsgang (APL)	...die technologische Bearbeitungsform
Qualität sichern	CAQ	Prüfmerkmal (ATK)	...zu überprüfende Artikeleigenschaft(en)
NC/CNC einsetzen	CAM	Programm-ID (APL)	...Einstellwerte maschineller Bearbeitung
Prozess verriegeln	CAM	Eingriffsgrenze (ATK)	...Schwellwert(e) für Sensorik und SPS
Lagersteuerung einbinden	CAM	Lagerplatz (ATK)	...den Aufenthaltsort des Materials
Transport steuern	CAM	Losgröße (APL)	...die Transportmenge

Legende: ATK: Artikelstamm FSL: Fertigungsstückliste APL: Arbeitsplan || CAX– Engineering, Design, Planning, Manufacturing, Quality

**TABELLE 1 - SEMANTIK VON CAX-ATTRIBUTEN**

Das Datenobjekt (Fertigungs-) Auftrag bildet hierzu den gemeinsamen Kontext der Attribute im Anwendungsumfeld. Die CIM-Philosophie und dessen Integrationsansatz definieren dabei Teilaufgaben einer funktional-integrierten Auftragsabwicklung.

Der Ansatz definiert hierzu konzeptionell-integrierte Funktionskomponenten der PPS.

Die gesteigerte technologische Reife im syntaktischen Datenaustausch stärkt die Annahme, dass weniger der Teil der technischen IO, sondern stärker noch organisatorische Inhalte in der SF Berücksichtigung finden müssen. Um dieser Anforderung zu begegnen, wird die fachliche Produktionsaufgabe im nachfolgenden Kapitel diskutiert. Hierbei werden organisatorische Ansätze zur Gestaltung einer betriebswirtschaftlichen Produktion vorgestellt. Diese sollen es ermöglichen auch logische Objektbeziehungen im Umfeld der Wertschöpfung zu beschreiben, um somit semantische Inhalte der PPS zu spezifizieren.

### 3.5 INDUSTRIAL ENGINEERING

Im folgenden Abschnitt wird der Begriff Industrial Engineering (IE) eingeführt.

Im Forschungsbereich der domänenbezogenen Wirtschaftsinformatik, gilt Fachwissen als Voraussetzung zur erfolgreichen Gestaltung relevanter Systemeigenschaften (Beierle und Kern-Isberner 2014).

Die Handlungskompetenz im Aufgabenbereich der SF ist dabei Ergebnis zwei grundlegender Fachkompetenzen:

1. Kompetenz zur Gestaltung des Informationssystems
2. Kompetenz zur Gestaltung des Produktionssystems

Daher scheinen die Unterscheidung und Abgrenzung notwendiger Fachkompetenzen sinnvoll.

Die Gestaltung und Optimierung des Produktionssystems nehmen im Kontext der SF eine zentrale Aufgabe ein (Völker 2015).

Diese Aufgabe wird nachfolgend als Fachkompetenz des IE beschrieben.

### 3.5.1 ZIELE DES INDUSTRIAL ENGINEERING

Als grundlegendes Ziel des IE wird die Steigerung der Arbeitsproduktivität von Arbeitssystemen und Systemprozessen der industriellen Produktion verstanden.

Mit Hilfe methodischer Vorgehen wird die Produktivität der Systeme entwickelt (vgl. Dorner 2014, 2 f.).

Gleichzeitig gilt die Produktivität als führendes Argument bei Umsetzung von Digitalisierungsmaßnahmen zur Stärkung der GP (vgl. Brauckmann 2015, S. 97–108).

IE unterstützt dieses Ziel durch die systematische Optimierung der Rahmenbedingungen zur Förderung der Arbeitsproduktivität (vgl. Schlick et al. 2010, S. 6–16).

Ausgehend von einem vorhandenen Zustand eines Produktionssystems soll dieser mit Hilfe des IE optimiert werden. Folgende Phasen werden dazu genannt:

- Ermittlung von Anforderung zur Definition von Produktivitätszielen
- Erfassung des aktuellen Zustandes der Produktivität im System
- Bewertung des aktuellen Zustandes
- Analyse der Systemeigenschaften und deren Einflüssen auf die Produktivität
- Ableitung von Anforderungen an das System zur Optimierung der Produktivität
- Implementierung geänderter Einflussfaktoren in das System
- Prüfung der Wirksamkeit für geänderter Einflüsse
- Stabilisierung und Standardisierung geänderter Systemeigenschaften

(vgl. Dorner 2014, 44 ff.)

In den arbeitsteiligen GP der industriellen Produktion sollen hierdurch Rahmenbedingungen einer wettbewerbsfähigen Prozessregelung ermöglicht werden. Dabei dominiert die Zielsetzung einer nachhaltigen Wirtschaftlichkeit.

Folgende operativen Ziele werden im IE verfolgt:

Es wird die Senkung von Zeitbedarfen, Kostentreibern und Qualitätsverlusten für den

- Ressourceneinsatz (Betriebsmitteln, Energie, Finanzen, Material, Personen)
- Wissensbedarf (Informationen, Kommunikationen, Qualifikationen,)
- Methodeneinsatz (Verfahren, Abläufe, Prozess, Struktur)

angestrebt (vgl. Barthelmes 2013).

Dabei wird die Beseitigung von Leistungsverlusten im Sinne schlanker (engl.: lean) GP als wesentlicher Erfolgsfaktor genannt (vgl. Schlick et al., S. 45).

Eine Darstellung der Leistungsverluste (Verschwendungen) aus dem Umfeld des Lean Manufacturing sind dazu in A30 dargestellt.

Nachfolgend werden die Methoden des IE zusammengefasst und beschrieben.

### 3.5.2 METHODEN DES INDUSTRIAL ENGINEERING

Um Ziele der Produktivitätssteigerung realisieren zu können, bedient sich das IE unterschiedlicher Methoden und Verfahren (ISSE 2018).

Als Teildisziplin der angewandten Arbeitswissenschaft vereint das IE die Prinzipien der systematischen Produktivitätssteigerung im Fertigungsumfeld an den Schnittstellen zwischen **M**ensch, **T**echnik und **O**rganisation (MTO) (Dorner und Baszenski 2013).

Hauptaufgabe ist die Gestaltung der Ressourcenfaktorkombination. Der Fokus des IE richtet sich hierzu auf die sogenannten direkten<sup>37</sup> Bereiche im Unternehmen. Aber auch in indirekten Unternehmensfunktionen finden die Konzepte des IE immer häufiger ihre Anwendung (Dorner und Baszenski 2013).

Als Werkzeuge im praktischen Einsatz werden im IE Methoden zur strukturierten Betriebsorganisation und Stabilisierung der GP und Abläufe eingesetzt.

Die Methoden zielen darauf ab, vorhandene Störungen in bestehenden Arbeitsabläufen (GP) zu identifizieren, diese durch geänderte Ressourceneinsätze in einen stabilen, wirtschaftlichen und nachhaltig gesicherten Status zu überführen und fortan weiterzuentwickeln (Dorner 2014).

Die methodischen Ansätze des IE fokussieren dabei drei wesentliche Arten der Leistungsverluste als Störungen im Wertschöpfungsprozess.

**1. Verschwendung** (jap.: **MUDA** / engl.: waste)

*Nicht wertschöpfende Arbeitsinhalte als Anteil der Durchlaufzeit*

**2. Unausgeglichenheit** (jap.: **MURA** / engl.: unevenness)

*Periodische Schwankung der Kapazitätsbedarfe und der Kapazitätsauslastung*

**3. Überbeanspruchung** (jap.: **MURI** / engl.: overburden)

*Leistungsverluste durch Kapazitätsengpässe und Überlastung von Ressourcen*

(Ōno und Bodek 2008)

Zur Stabilisierung und Standardisierung der GP werden etablierte Methoden eingesetzt. Hierzu zählen bspw. Ansätze, wie Wertstromanalyse, 5S, SMED, MTO-Analyse, Gemba-Walk, Kanban, Poka-Yoke, Heijunka oder das TPM. Eine Übersicht und Erläuterung der Ziele einzelner Methoden sind dazu im Anhang A31 dargestellt.

Die Methoden des IE sollen im hier diskutierten Kontext nicht umfassend beschrieben oder detailliert werden. Die Erkenntnis, dass eine eigene Arbeitswissenschaft das

---

<sup>37</sup> Die Unterscheidung „direkt“ und „indirekt“ beschreibt die Beteiligung der Funktionseinheit hinsichtlich der betrieblichen Leistungserstellung (Wertschöpfung). Hierbei werden aus Prozesssicht die Haupt- und Unterstützungstätigkeiten einer Abteilung zur Einteilung direkter oder indirekter Bereiche verstanden.

Aufgabenfeld der Beseitigung fachlicher Prozessstörungen in der Fertigung fokussiert, signalisiert die Komplexität und Bedeutung dieses Kompetenzbereiches.

Deren Ergebnisse nehmen maßgeblichen Einfluss auf das Produktionssystem und somit auch auf die Rahmenbedingungen und Ziele zur Gestaltung der SF (Brauckmann 2015).

Zur Sicherung valider IT-Anforderungen, mit dem Ziel die Prozessproduktivität durch eine gesteigerte Fähigkeit zur Entscheidungsaktivierung zu unterstützen, wird die fachliche Kompetenz des IE daher als höchst relevant eingestuft.

Die Qualifikation, reale Einflüsse der Produktivitätsverluste logisch beschreiben zu können, verbunden mit dem Anspruch diese methodisch zu optimieren, bildet eine notwendige Kompetenz zur Ermittlung valider Systemanforderungen.

Diese definieren operative Entwicklungsziele für die GP der SF.

Vervollständigt werden die analytischen Methoden des IE (Hardskills) durch die Forderung nach kulturellen Prinzipien im Veränderungsprozess (Softskills).

Hiernach nehmen philosophische Glaubenssätze und Persönlichkeitsprofile starken Einfluss auf die Form der nachhaltigen Verbesserungen in der Fertigung.

Die **Kultur der Organisation** definiert dabei sowohl Aufwand als auch Reifegrad zur Implementierung von Veränderungen der Produktion (García-Alcaraz et al. 2017).

Unter dem Schlagwort „Kaizen“<sup>38</sup> wird hierzu die kulturelle Perspektive im KVP adressiert. Der *Kaizen Gedanke* aus dem Umfeld des Lean Management diskutiert die persönlichen Motive etwas stetig zu verbessern bzw. zu verändern.

Die Vorteile eigen- gegenüber fremdmotivierter Veränderungen werden dabei herausgestellt. Soziale Bedürfnisse (Freude, Gemeinschaftsgefühl, Anerkennung, Zufriedenheit) gelten als Schlüsselfaktor im Lean Manufacturing (vgl. Kötter et al. 2016).

Im Konzept der Kaizen-Mentalität fließen diese sozialen Bedürfnisse in die Managementphilosophie ein. Hier werden sie als **Anforderung an die Führungsrolle** definiert. Ein Vergleich typischer Führungsrollen mit positivem und negativem Beitrag (Stolpersteine) der Kaizen-Glaubenssätze sind dazu in A32 dargestellt.

Bei der Entwicklung der SF gelten die Rahmenbedingungen einer systemisch-methodischen Organisationsentwicklung sowie dessen soziale Kultur der Nachhaltigkeit (IE) und die zu gestaltende Form der Datenverarbeitung (IT) als stark abhängig (Bick 2014).

Daher herrscht eine Abhängigkeit der ingenieurwissenschaftlichen Disziplinen des *IE* (System für *schlanke* Fertigung) und *IT* (System für *clevere* Entscheidung).

---

<sup>38</sup> jap. sinngemäß für „Die Veränderung hin zum Guten“

### 3.5.3 LEAN MANUFACTURING IN DER SMARTEN FABRIK

Aus den Zielen der Konzepte der *smart factory* und *lean production* wird nachfolgend der Zusammenhang der Kompetenzbedarfe IT und IE diskutiert.

Die zentralen Begriffe der Ansätze werden wie folgt übersetzt:

„engl.: smart - dt. **clever**“ und „engl.: lean - dt.: **schlank**“

Bei Reduzierung beider Ansätze auf die originären Eigenschaften ihrer Begrifflichkeiten, lässt sich eine Zielabhängigkeit im Forschungsraum argumentieren:

Die Ausführung einer cleveren<sup>39</sup> Entscheidung, im Sinne einer zielorientierten und regelgebundenen Maßnahme, ist von der Reaktionsgeschwindigkeit des Produktionssystems abhängig (vgl. Erlach 2010, 153 ff.).

Dabei nimmt die Trägheit im System negativen Einfluss auf sein Reaktionsvermögen.

Gleichzeitig definiert die zu bewegende *Masse*<sup>40</sup> die Ausprägung der Trägheit im System. Hierbei ist die *Masse* eines „schlanken“ Systems gemeinhin geringer als die eines „nicht-schlanken“.

Im Produktionssystem wird die Trägheit im System durch den Anteil unproduktiver Arbeitsinhalte definiert (vgl. Ōno et al. 2013).

D.h. für gleiche Ergebnisse wird im „schlanken“ System weniger Masse (Ressourceneinsatz) bewegt als im „weniger-schlanken“ System.

Dementsprechend ist der Energiebedarf (Aufwand) geringer.

Damit wird das Reaktionsvermögen der Produktion durch die Trägheit („schlank“ oder weniger „schlank“) beeinflusst.

Dabei sind Zeitpunkt und Aufwand zur Aktivierung einer cleveren Entscheidung, in Form realer Maßnahmen (Ressourceneinsatz), vom Trägheitsmoment im System abhängig.

Die Ansätze *lean* und *smart* verbindet das gemeinsame Ziel, die Reaktionszeit zur Maßnahmenaktivierung zu verkürzen.

Fallstudien im Kontext von schlanken (reaktionsfähigen) und cleveren (anpassungsfähigen) Prozessen bestätigen diesen Zusammenhang der Ansätze (Vogel-Heuser et al. 2017b).

Die grundlegende Abhängigkeit basiert dabei auf dem Verständnis, dass unproduktive Arbeitsinhalte zur Trägheit und damit auch zu einem sinkenden Reaktionsvermögen im Produktionssystem führen.

---

<sup>39</sup> clever wird im Duden mit „alle vorhandenen Fähigkeiten einsetzend und geschickt alle Möglichkeiten nutzend“ erläutert

<sup>40</sup> Die Trägheit eines Systems wird durch den Energieaufwand zur Beschleunigung ermittelt. Systeme mit geringerer Masse benötigen weniger Energie zur Beschleunigung bzw. werden bei gleichem Energieaufwand und kleinerer Masse schneller beschleunigt – dabei erfolgt dessen Reaktion zeitnäher

Für das Arbeitssystem „Fertigung“ widmet sich der Aufgabe zur Identifikation, Analyse und Optimierung der Trägheit (Leistungsverluste) das IE (ISSE 2015).

Das IE nutzt hierzu methodische Konzepte zur Senkung von Leistungsverlusten bzw. zur Steigerung der Arbeitsproduktivität. Das Ziel des IE besteht dabei in Optimierung der Wertschöpfung. Die Kernkompetenz besteht im Aufbau stabiler und verschwendungsarmer, reaktionsfähiger (schlanker) Systeme.

In der traditionellen Perspektive des Lean Manufacturing wird dabei die

**Trägheit im Informationsfluss** (fehlende IO) nicht als priorisierte Form der Verschwendung angesehen (Kletti und Schumacher 2014).

Durch die stetige Digitalisierung und den damit gestiegenen Einfluss der indirekten Bereiche (Informationsschnittstellen der PPS), nehmen diese allerdings erheblichen Einfluss auf die Wertschöpfung (vgl. Kletti und Brauckmann 2006) und (vgl. Kap.: 2.6).

Weiterhin ist zur stetigen Erfüllung der „eigenen“ Optimierungsaufgaben des IE ein erheblicher Aufwand zur Beschaffung, Verdichtung, Analyse, Pflege und Überwachung der Produktionsdaten notwendig. Verschwendungen im Informationssystem des IE führen daher parallel auch zu Leistungsverlusten der operativen Reaktionsfähigkeit in der Produktion. Ihrerseits durch die unproduktive Form der Produktivitätssteigerung.

Diese Störungen im Informationsfluss sollen durch den Beitrag der SF ausgeglichen werden, um die Reaktionsgeschwindigkeit ganzheitlich und im Sinne der Produktionsziele zu verbessern. Die tatsächliche Aktivierung eines Mehrwertes, durch das Potenzial einer reaktions- und anpassungsfähigen Entscheidungsform, sollte dabei durch die fachliche Ausrichtung der Rahmenbedingungen sichergestellt werden.

In der SF wird diese fachliche Aufgabe zur inhaltlich-logischen Beschreibung effizienter Rahmenbedingungen der GP, durch das IE erfüllt.

Die strukturelle Gestaltung betroffener GP wird dazu nachfolgend vorgestellt.

### 3.6 GESCHÄFTSPROZESSMANAGEMENT

Die Ziele der SF implizieren einen wesentlichen Grundgedanken der vorliegenden Organisationstruktur.

Die Potenziale der SF unterstellen, dass durch den Einsatz digitaler Informations-, Kontroll- und Regelflüsse, bei zunehmender Autonomie, die Entscheidungsaktivierung im Sinne eines Gesamtoptimums getroffen wird (vgl. Schuh et al. 2017).

Dieses Verständnis beschreibt eine spezifische Organisationsform im Produktionssystem. Es wird hierbei die Ablauf- oder Prozessorganisation vorausgesetzt. Um diese zu detaillieren, werden Ziele, Methoden und der Beitrag des Geschäftsprozessmanagements (GPM) im Kontext der SF erläutert. Damit werden die

Hintergründe und Herausforderungen der impliziten Annahme dargestellt und gleichzeitig notwendige Vorraussetzungen im Forschungsumfeld beschrieben.

Die Darstellung unterschiedlicher Formen zur Aufgabenkoordination wird dabei in Anhang A27 verdeutlicht. Hier werden Aufbau- und Ablauforganisation gegenübergestellt und die formale Definition eines GP beschrieben.

### 3.6.1 BEITRAG IM KONTEXT DER SMARTEN FABRIK

In der industriellen Produktion, welche in gewachsene Systemstrukturen und optimierungsbedürftige Prozesslandschaften eingebettet ist, unterstützt der Ansatz des GPM, die Schaffung der Vorraussetzungen für die SF (vgl. Ullrich et al. 2015).

Ohne die Methoden zur Dokumentation, Analyse, Strukturierung, Hierarchiebildung und Optimierung der GP lassen sich die Potenziale einer SF nicht sinnvoll gestalten (vgl. Kagermann, H., Wahlster, W., Helbig, J. 2013).

Zur Entwicklung der SF ist es demnach bedeutend, dass die Voraussetzungen einer ablauforientierten Organisationsform geschaffen werden bzw. wurden.

Die Methodik und das Prozessverständnis des GPM trägt hierzu maßgeblich bei.

### 3.6.2 ZIELE DES GESCHÄFTSPROZESSMANAGEMENTS

Das wirtschaftliche Ziel des GPM wird durch die Senkung des Koordinationsaufwandes und der damit verbundenen Gemeinkosten einer Organisation beschrieben.

Als Teilziel dieser Reduzierung gilt die Senkung interner Komplexität (vgl. Adam und Rollberg 1995; vgl. Becker et al. 2012).

Diese Ziele beschreiben dabei eine externe Perspektive des Unternehmens (vgl. Becker et al. 2012).

Die interne Perspektive erweitert die obigen Ziele, um die Verbesserung der organisatorischen Flexibilität. Flexibilität wird dabei als die Fähigkeit der Organisation zur Anpassung an sich ändernde Rahmenbedingungen verstanden.

Der Grad der Fähigkeit wird wiederum durch die Dimensionen Dauer/Zeit, Aufwand/Kosten und Leistung/Qualität der Arbeitsergebnisse erfasst (vgl. Osterloh 2009).

Inhaltlich zielt das GPM auf die Gestaltung einer ablauforientierten Organisation ab, um hierdurch Schnittstellenverluste zwischen Prozessaktivitäten zu reduzieren (vgl. Schulte-Zurhausen 2014, 42 f.).

Die in Anhang A06 beschriebenen Reifegrade organisatorischer Interoperabilität dienen dabei als Bewertungsmaßstab der Prozessfähigkeit einer Organisation.

Im Zuge der Diskussionen zu den Potenzialen innovativer Geschäftsmodelle wird der Begriff „end-to-end **Prozess**“ verwendet. Diese stellt Anwendungsbereich und Mehrwert potenzieller Digitalisierungsmaßnahme in einen Kontext.

Unter dem Begriff „end-to-end Prozess“ wird vornehmlich die Wertschöpfung zwischen Lieferant – Hersteller – Kunde verstanden (vgl. Schallmo et al. 2017, S. 49–53).

Die Tatsache, dass der Betrachtungsfokus dabei auf den wertschöpfenden Anteil gelegt wird, bestätigt die Annahme des Prozessgedankens sowie die der Ziele des GPM. Gleichzeitig wird auch die Bedeutung des IE (Leistungsverluste senken) nochmals bestärkt. Im Sinne der SF liefert das GPM somit einen wertvollen Beitrag. Die Organisationsform des GPM definiert notwendige Bedingungen zur Reduzierung der Leistungs- und Schnittstellenverluste im Wertschöpfungs**prozess**.

### 3.6.3 METHODE DES GESCHÄFTSPROZESSMANAGEMENTS

Zur Umsetzung nachhaltiger Effizienzvorteile durch eine Prozessorientierung ist es notwendig den Aufbau einer Organisation, die sogenannte funktionale Struktur, anzupassen (vgl. Gaitanides 2013, 18 ff.).

Die traditionelle Arbeitsteilung der Industrie nutzt die Aufbauorganisation, um eine Gesamtaufgabe anhand bestehender Funktionsbereiche zu zerlegen.

Erst danach werden die ermittelten Teilaufgaben der Funktionsbereiche auf das eigentliche Aufgabenziel ausgerichtet.

Diese Art der funktionalen Organisation ist nach wie vor, die am weitesten verbreitete Organisationform in der Industrie (Schuh et al. 2012).

Der Ansatz des GPM kehrt diese Form um. Im GPM gilt es an erster Stelle das Aufgabenziel und dessen Gesamtaufgabe zu identifizieren und zu dokumentieren. Danach folgt eine Analyse und Planung des Ablaufs einzelner Teilaufgaben.

Abschließend wird die Form der Arbeitsteilung durch eine Zuordnung notwendiger Funktion definiert (vgl. Pfohl, H., Krings, M., Betz, G.1996).

Dieser Unterschied ist in Abbildung 18 dargestellt:

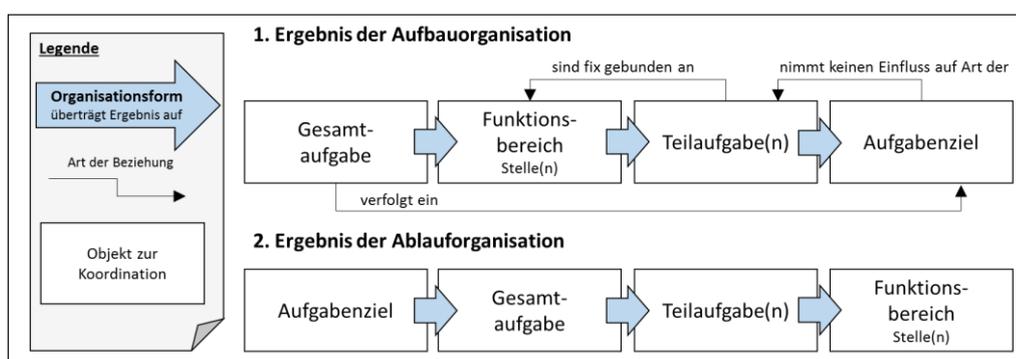


ABBILDUNG 18 - AUFBAU- UND ABLAUFORGANISATION

Aus Perspektive der Aufbauorganisation werden Aufgaben im ersten Schritt in Verantwortlichkeiten eingeteilt, um nachgelagert dann eine Koordination der Teilaufgaben hin zum eigentlichen Aufgabenziel zu organisieren.

Das GPM dagegen definiert im ersten Schritt einer Gestaltungsaufgabe das eigentliche Aufgabenziel, um nachfolgend die Gesamtaufgabe, dessen Teilaufgaben und die dafür notwendige bzw. sinnvolle Arbeitsteilung zu definieren.

Das **Ziel der Gesamtaufgabe** wird im GPM als **Prozessziel** bezeichnet.

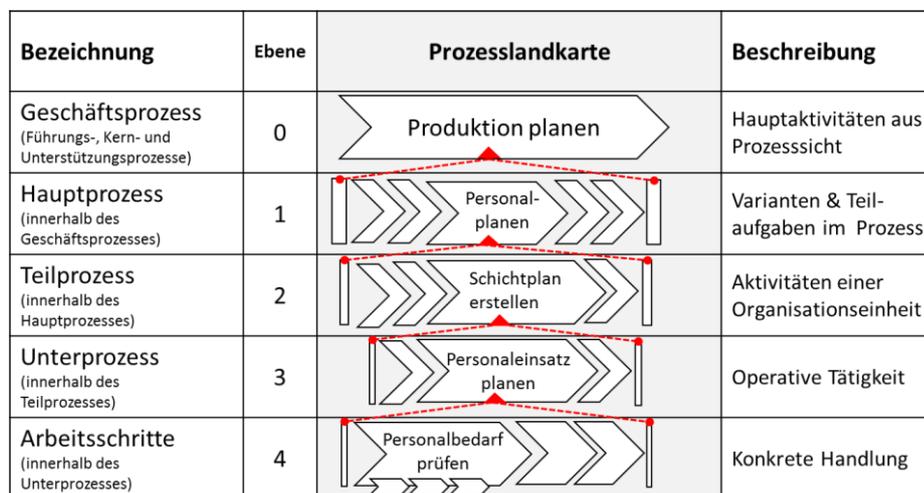
Die Ausrichtung der Organisation anhand definierter Prozessziele ermöglicht dabei allgemeine Vorteile der Effizienz, Kosten oder Flexibilität (Allweyer 2012).

Die Aktivierung der ablauforientierten Organisation ist allerdings auch mit umfangreichen Risiken, Personalbedarf, Koordinationsaufwand und Kosten verbunden (Schiersmann und Thiel 2018).

Der Aufgabe zur strukturierten Analyse der Ablauforganisation widmet sich das GPM.

Mit Hilfe etablierter Methoden wird dabei die Aufgabe des organisatorischen Wandels hin zur Prozessorientierung unterstützt (Gaitanides 1994).

In Anlehnung an die Hierarchien eines GP, zeigt Abbildung 19 einen methodischen Ansatz des GPM. Dieser beschreibt die exemplarische Beziehung von GP-Ebenen und deren Integration im Umfeld der PPS.



**ABBILDUNG 19 - HIERARCHIE VON GESCHÄFTSPROZESSEN**

Darstellung in Anlehnung an (Senden und Dworschak 2012)

Im exemplarisch dargestellten Hauptprozesses „Personal planen“ werden unterschiedliche Prozessebenen und deren Abhängigkeiten dargestellt. Die Darstellung konsistenter Hierarchien dient dabei der ablauforientierten Ausrichtung der Teilziele an der Aufgabe der PPS (vgl. Abbildung 18).

Zur Analyse bestehender GP und deren Ausrichtung an übergeordneten (Produktions-) Zielen ist die hierarchische Ordnung von GP notwendig (Gadatsch 2012).

Weitere etablierte Methoden zur Prozessorientierung mit Hilfe des GPM sind dazu in Anhang A36 zusammengefasst.

Zudem ergibt sich der Anspruch operative Aktivitäten der GP als Teil der PPS-Aufgaben zu identifizieren und diese in Form von Prozesszielen fortan zu kontrollieren.

Dies soll mit Hilfe integrierter Informationen unterstützt werden (vgl. Kap: 3.3.5).

Nachfolgend werden dazu technische Regelkreise, als datengestützte Form der integrierten Verhaltenskontrolle, vorgestellt und erläutert.

### 3.7 REGELKREISE IM KONTEXT DER SMARTEN FABRIK

Im folgenden Abschnitt werden die Grundlagen, der Aufbau und der Einsatz von Regelkreisen als Methode der Prozessselbststeuerung beschrieben. Die Methode verfolgt dabei den Ansatz mit Hilfe einer festgelegten Sequenz von Aktivitäten ein definiertes Verhalten sicherzustellen.

Im Kontext der SF wird hierunter die Anwendung von digitalen Kontrollstrukturen zur Unterstützung der Produktionsziele verstanden (Theiss 2015).

Als weitere Bedienung sollen ressourcenbelastender Kontroll- und Steuerungsaufwand (Gemeinkosten) im Betrieb gesenkt werden (vgl. Brauckmann 2015, S. 19–20).

So werden die übergeordneten Ziele

- Sicherstellung der Produktionsziele (vgl. Kap.: 2.5)
- Senkung der dafür benötigten Ressourceneinsätze (vgl. Kap 2.6)

durch die Organisationsform des Regelkreises verfolgt. Ausgehend vom Prinzip klassischer Regelkreise der Automatisierungstechnik, werden hierzu (Sensor-) Daten eines GP genutzt. Der Regelkreis besitzt dabei die Aufgabe diese (erfassten) Daten im GP zu überwachen und daraus regelbasierte Aktivitäten zur Sicherung und Erfüllung der Produktionsziele auszulösen. Im Wirkprozess ist dabei das Treffen bedingter Entscheidungen notwendig. Die Struktur des Regelkreises wird hierzu auf Grundlage des technischen Ansatzes der Automatisierungstechnik beschrieben.

### 3.7.1 GRUNDLAGEN UND ZIELE TECHNISCHER REGELKREISE

„Ziel der Regelung ist es, dem zu beeinflussenden System, der Strecke, ein gewünschtes Verhalten aufzuprägen und dieses gegen die Einwirkung von Störungen abzusichern.“ (Föllinger und Roppenecker 1994, S. 1).

Regelung folgt dazu einem geschlossenen Wirkprinzip (vgl. Heinrich et al. 2017, S. 122). D.h., nach erfolgreicher Aktivierung eines Regelkreises findet eine stetige Selbstdiagnose und dauerhafte Verhaltensanpassung im Sinne der Regelaufgabe statt. Das Prinzip zur methodischen Regelung eines Prozesses stammt aus dem Bereich der Kontroll-/Regelungstheorie (James Clerk Maxell ab 1868) und Kybernetik (Nobert Wiener ab 1945).

In diesem Aufgabenfeld wird der Begriff „Prozess“ in einem abweichenden Kontext verstanden. Hierbei handelt es sich um die Verhaltenskontrolle einer technischen Funktionseinheit mittels Regelungssystem (vgl. Heinrich et al. 2017, S. 123).

Abweichend zu den hier diskutierten Prozessen eines Unternehmens (GP), fokussiert dieser Ansatz die Verarbeitung von Daten zur Beeinflussung technischer Funktionen. Als klassische Anwendungsfälle sind dabei die Aufgaben zur Regelung von technischen Größen, wie Temperatur, elektrische Spannung, Drehzahl, Geschwindigkeit, Durchsatz, Gewicht, Volumen, Länge zu nennen (vgl. Lunze 2016, S. 5–14).

Die Regelaufgabe verfolgt gleichwohl das Ziel, das Reaktionsvermögen des betrachteten Systems (der Regelstrecke) zu automatisieren.

Dabei werden drohende Zustandsänderungen (Störgrößen) mittels bedingter (geregelter) Gegenmaßnahmen (Stellgrößen) ausgeglichen.

Ein kontinuierlicher Abgleich zwischen Führungs- (Soll) und Regelgröße (Ist) ist hierzu notwendig (vgl. Lunze 2016).

Im Anhang A37 bis A40 wird die Architektur technischer Regelsysteme spezifiziert.

### 3.7.2 QUALITÄT VON REGELKREISEN

Um das Verhalten eines Regelkreises qualitativ zu bewerten, wird ein Gütemaß verwendet. Die sogenannte Regelgüte beschreibt den Reifegrad des Regelverhaltens. Zur Ermittlung der Regelgüte werden unterschiedliche Kennzahlen im Zeitverlauf der Regelung erfasst und bewertet.

Nachfolgende Grundsätze beschreiben die Qualität einer Regelung:

- „1. Die Regelung soll stabil sein, d.h. die Regelgröße muss nach einer Änderung der Führungsgröße oder nach einer Einwirkung einer Störgröße wieder einen stabilen Beharrungswert anstreben.
2. Die Abweichung der Regelgröße von der Führungsgröße soll im stationären

Dauerbetrieb möglichst klein sein.

3. Nach einer Änderung der Führungsgröße bzw. nach einer Störung soll der neue stationäre Zustand möglichst schnell erreicht werden.“

(Christen 2005, S. 623).

Abhängig vom untersuchten Merkmal der Regelaufgabe werden bei der Ermittlung der Regelgüte tolerierte und nicht-tolerierte Verhaltensweisen gegenübergestellt.

Ziel der Regelgüte ist es Eigenschaften des Regelkreises zu identifizieren, welche Aufschluss über potenzielle Maßnahmen zur Optimierung der Stabilität erkennen lassen.

Weiterhin sollen die Merkmale zur Aufwandsreduzierung im Regelbetrieb beitragen.

Abbildung 20 zeigt Merkmale der Regelgüte. Diese unterscheiden zwischen regelbaren und nicht regelbaren Störgrößen.

Kategorie	Merkmale				
<b>Antwortverhalten</b> I. Übertragungsverhalten → Störung als Auslöser  II. Führungsverhalten → Sollwert als Auslöser	<b>Anregelzeit</b> Dauer bis zum erstmaligen (kurzfristigen) Ausgleich der Sollwertabweichung	<b>Ausregelzeit</b> Dauer bis zum dauerhaften (langfristigen) Ausgleich der Sollwertabweichung	<b>Totzeit</b> Dauer bis zur ersten Reaktion auf eine Sollwertabweichung	<b>Überschwingweite</b> Maximale Abweichung der Regelgröße von der Führungsgröße welche nach Setzen der Ausgangsgröße und erstmaligen Erreichen des Sollwertes auftritt	<b>Sprungantwort</b> Anzahl und Zeitpunkte der Grenzwertverletzungen für obere und untere Toleranzgrenze (OTG/UTG) bis zum Erreichen des Beharrungswerts
<b>Genauigkeit</b>	<b>Verbleibende Abweichung</b> Differenz zwischen Führungsgröße (Soll) und Regelgröße (Ist) nach der Einnahme des Beharrungswerts	<b>Vorübergehende Abweichung</b> Temporäre Differenz zwischen Führungsgröße (Soll) und Regelgröße (Ist) im Einschwingprozess	<b>Regelfläche</b> Mathematische Größe der Fläche zwischen der Funktion der Regelgröße (Ist) und Führungsgröße (Soll)	<b>Bestehender Messfehler</b> Differenz zwischen gemessener Regelgröße und tatsächlicher Aufgabengröße	<b>Stationäre Genauigkeit</b> Differenz wische Regelgröße und Führungsgröße zu einem Zeitpunkt (in stabilen Systemen)
<b>Systemverhalten</b>	<b>stabil</b> Die Wahrscheinlichkeit, dass die Regelgröße den Wert der Aufgabengröße nach einer Störung wieder einnimmt ist sehr groß.		<b>labil</b> Die Wahrscheinlichkeit, dass die Regelgröße nach einer Störung den Wert der Aufgabengröße <u>nicht</u> wieder einnimmt, ist größer als, dass sie ihn einnimmt. Die Ausprägungen der Regelgröße nach einer Störung sind ordinal skalierbar		<b>indifferent</b> Die Wahrscheinlichkeit, dass die Regelgröße den Wert der Aufgabengröße nach einer Störung wieder einnimmt ist sehr gering bzw. wäre zufällig Die Ausprägungen der Regelgröße nach einer Störung sind nur kardinal skalierbar
<b>Störverhalten</b>	<b>stark &amp; sprunghaft</b> Der maximale Störwert nimmt einen hohen Einfluss auf die Regelgröße und tritt plötzlich auf (Hohe Intensität an Zeitpunkt)	<b>stark &amp; stetig</b> Der maximale Störwert nimmt hohen Einfluss auf die Regelgröße und der Störwert ist im Zeitverlauf relativ konstant. (Hohe Intensität über Zeitraum)	<b>schwach &amp; sprunghaft</b> Der maximale Störwert nimmt geringen Einfluss auf die Regelgröße und tritt zu einem Zeitpunkt plötzlich auf (Geringe Intensität an Zeitpunkt)	<b>schwach &amp; stetig</b> Der maximale Störwert nimmt geringen Einfluss auf die Regelgröße und ist über einen Zeitraum schwach steigend (Geringe Intensität über Zeitraum)	

ABBILDUNG 20 - MERKMALE DER REGELGÜTE

Eigene Darstellung in Anlehnung an (vgl. Christen 2005, 629 ff.)

Als Prämisse der Regelgüte wird die Regelbarkeit des Systems vorausgesetzt.

Zur dessen Beurteilung bedarf einer detaillierten Kenntnis über das Verhalten und der Störgrößen an der Regelstrecke (vgl. Heinrich et al. 2017, S. 1–26).

In Analogie zur SF bedarf es hierbei der Spezifikation von Ist.-Zuständen betroffener GP.

Als Ergebnis soll die Regelbarkeit beurteilt werden.

Dabei ist nicht jede potenzielle Störgröße wirtschaftlich sinnvoll regelbar. Bspw. dann nicht, wenn der Aufbau und der Betrieb zur dauerhaften Verhaltenskontrolle, den

Aufwand einer einmaligen Störgrößenbeseitigung übersteigt. Dieser Zustand ist auch für die SF analog und beschreibt den fachlichen Aufgabenfokus des IE zur Reduzierung realer Störgrößen der GP. Die Merkmale der Regelgüte erlauben dazu die Bewertung der Störgrößen im geschlossenen Wirkprozess der Datenverarbeitung. Dabei wird das Regelverhalten anhand proaktiver und reaktiver Ansätze zur Lösung der Regelaufgabe unterschieden. Diese beiden Arten werden nachfolgend diskutiert.

### 3.7.3 PROAKTIVE UND REAKTIVE REGELUNG

Um die Ziele und Einsatzgebiet einer Regelaufgabe unterscheiden zu können, werden zwei grundsätzliche Arten im Umfeld der PPS unterschieden.

I. **Proaktive** Regelung von Soll.-Zuständen vor dem realen Eintreten von Störungen und Zielabweichungen.

→ Aufgabenfokus: **Produktionsplanung (PPS)**

II. **Reaktive** Regelung von Ist.-Zuständen nach dem realen Eintreten von Störung und Zielabweichungen.

→ Aufgabenfokus: **Produktionssteuerung (PPS)**

(vgl. Erlach 2010, S. 173–176)

Konkrete Anforderungen zum organisatorischen Regelungsansatz

„Produkt- und Prozessqualität sicherstellen“ werden dazu in Qualitätsnormen definiert.

(vgl. 9001:2015-11- Kap. 8). Für beide Arten der Regelung ist die Forderung nach organisatorischen Regelkreisen (z.B. PDCA) zur Fehlervermeidung (proaktiv) bzw. Fehlerkorrektur (reaktiv) fester Bestandteil etablierter Richtlinien .

Die Messung der Regelgüte ist dabei gleichzeitig Prüfungsinhalt konventioneller ISO-Zertifizierungen oder Auditierungen der Qualität. (DIN EN ISO 19011:2018).

Hierbei werden bestehende Maßnahmen zur Fehlervermeidung und -behebung im praktischen GP bewertet (vgl. Henze 2008, S. 14–18).

Aus Sicht der QM-Normen wird stets auch ein proaktiver Regelkreis zur Fehlervermeidung gefordert (DIN ISO 9001:2015 – Kap.: 8.5.3 - Vorbeugemaßnahmen).

Dabei bewertet das QM Fehlerfolgekosten und Fehlerrisiko der Prävention stets positiver als die der Reaktion (Brüggemann und Bremer 2015).

Die Begründung hierzu liegt in der **externen Perspektive des QM**.

Diese orientiert sich am Kundennutzen:

„Wenn ein Fehler gar nicht erst auftritt – ist der Kundennutzen immer höher, als wenn ein Fehler zusätzlich korrigiert werden muss“.

Diese Perspektive deckt sich mit den Zielen des Lean Managements im IE

(vgl. Waurick 2014, S. 45–56).

Bei einer reaktiven Korrekturmaßnahme handelt es sich demnach um eine „Verschwendung“, welche die Prozessfähigkeit senkt und damit verhindert werden sollte. Das operative Ziel einer proaktiven Regelung besteht demnach in der Vermeidung potenzieller Produkt- und Prozessfehler.

Dieses Qualitätsziel wird durch die vorgelagerte Ermittlung potenzieller Engpässe und dem gleichzeitigen Aufzeigen möglicher Handlungsalternativen unterstützt

(Schuh und Kampker 2011, S. 342–345).

Eine Teilaufgabe der proaktiven Regelungen beinhaltet dabei immer auch eine Simulationskomponente (VDI-GMA 1992).

Vor dem Hintergrund, dass künftige Systemzustände in die Entscheidungsfindung einfließen sollen, ist es notwendig diese vorab zu simulieren. Die allgemeinen Nutzenaspekte einer proaktiven Entscheidung aus simulierten Zuständen sind dabei „Sicherheitsgewinn, kostengünstigere Lösungen, besseres Systemverständnis und flexiblere Prozessführung“ (vgl. VDI 3633, S. 18).

Diese decken sich mit den Zielen der SF (Kap.: 2.1).

Im Zuge des Systementwurfs stellt sich hierbei die Frage, in welchen Anwendungsfällen eine reaktive Regelung überhaupt notwendig bzw. sinnvoll ist. Um diese Frage beantworten zu können, soll die Perspektive der Softwareeinführung und des GPM eingenommen werden: Proaktive Regelansätze werden im Kontext der SF mit dem Schlagwort „predictive“ (engl. für vorausschauend) zusammengefasst.

Dabei sollen durch vorgelagerte und/oder simulierte Mess- und Entscheidungspunkte im GP, mögliche Sollwertabweichungen bereits vor der eigentlichen Entstehung erkannt und verhindert werden (vgl. Weise 2018).

Zur Aktivierung des proaktiven Ansatzes besteht die Notwendigkeit einen Kontrollfluss in Form von Regelkreisen in der Architektur betrieblicher Anwendungssysteme zu realisieren (vgl. Gronau 2017).<sup>41</sup>

Hierbei ergeben sich Verhaltensunterschiede zwischen der proaktiven und reaktiven Regelung und dessen Auswirkungen auf die GP. Proaktive Regelungen sind durch eine größere Varianz der Eingangsparameter (Simulationskomponente) gekennzeichnet. Beim Aufbau eines reaktiven Regelkreises hingegen, ist häufig ein Set von fixen Systemparametern<sup>42</sup> vorgesehen (vgl. Bungartz et al. 2013, S. 246–251).

Bei proaktiven Regelungen in komplexen Systemen, wie dem der Produktion, sind Eingangsparameter häufig variabel und mehrdimensional (Kletti und Deisenroth 2019). Teilweise sind Eingangsparameter dabei gar nicht bekannt (vgl. Kap.: 3.3.4).

Als Folge der Komplexität zur Aktivierung proaktiver Regelungen ergibt sich im Vergleich zum reaktiven Ansatz ein höheres Fehlerrisiko. Der proaktive Ansatz beinhaltet eine viel stärkere Abhängigkeit zur System- und Prozessstabilität.

Damit verbunden ergibt sich ein gesteigerter Implementierungs- und Betriebsaufwand sowie das damit verbundene Investitionsrisiko (vgl. Kap.: 3.2.1).

---

<sup>41</sup> bspw. sind Stamm-, Bewegungs- und Bestandsdaten Teil der Anwendungssysteme und GP

<sup>42</sup> z.B. Sollwert – Messwert – Übergangsverhalten

Damit ist die Frage zur Notwendigkeit reaktiver Regelkreise dadurch begründet, dass diese allgemein sicherer und wirtschaftlicher betrieben werden können. Aus **interner Perspektive eines Unternehmens** kann daher, im Widerspruch zu externen, die bewusste Entscheidung gegen eine proaktive Regelung getroffen werden - bspw. im Falle einer negativen Risikobeurteilung, einem Überschreiten des erwarteten ROI oder fehlender Ressourcen zur Aktivierung der Regelstruktur. Im praktischen Betrieb bestehen daher Barrieren zur Implementierung proaktiver Regelungen der funktionalen PPS-Aufgaben. In diesem Fall werden zunächst reaktive Regelungen zur Sicherung der Produkt- und Prozessqualität eingesetzt.

Die Begründung dafür liegt in der starken Abhängigkeit der Regelung zum Reifegrad der Prozessfähigkeit (vgl. Brucker-Kley et al. 2018, S. 22–30).

Die Voraussetzungen und der Anspruch proaktiver Regelung fordert ein hohes Maß an vorgelagerter Prozessstabilität und –qualität (vgl. Bischoff 2015, S. 131–141).

Hierbei müssen alle entscheidungsrelevanten Regelgrößen zum Zeitpunkt der Regelung tatsächlich verfügbar sein. Bei fehlenden digitalen Information, wie bspw. Ereignissen, Stammdaten, Bedingungen oder Kontrollstrukturen, kann die Regelaufgabe ggf. nicht sinnvoll unterstützt oder gar automatisiert durchgeführt werden (vgl. Birkmann 2016). Die „Lieferanten“ notwendiger Eingangsparameter der proaktiven, wie auch zu reaktiven Regelung, sind dabei die GP der Organisation (vgl. Weinert et al. 2017, S. 32–35).

Im Falle fehlender Prozessstabilität der GP wirkt eine proaktive Regelung ggf. stark negativ auf die Produktionsziele.

Falsche Prognosen können hierbei zu operative Fehlentscheidungen führen und die Planungsqualität sowie Systemstabilität senken (vgl. Grundstein 2017).

Um einen positiven Trend zur Stärkung proaktiver Regelkreise im Sinne der SF herbeizuführen, empfiehlt sich daher die proaktive Regelaufgabe in einzelne Entwicklungsstufen zu zerlegen (vgl. Schuh et al. 2017, S. 15–18).

Einzelne Rahmenbedingungen zur Erfüllung der Gesamtaufgabe werden dabei in Etappen konzipiert bzw. implementiert, bevor eine proaktive Regelung durch den Einsatz betrieblicher Anwendungssysteme erfolgt. Der Zielkonflikt, zwischen notwendigen organisatorischen Veränderungen im GP (Risiko, Aufwand, Instabilität) und einer wirtschaftlich abgesicherten Investitionsentscheidung kann hierdurch gelöst werden (vgl. Kap. 3.2.1).

Dieser Ansatz entspricht den langfristige Zielen der SF zur Aktivierung proaktiver Regelkreise (vgl. Kletti und Deisenroth 2019, S. 8–11).

Im Entwicklungsfortschritt sollen dabei reaktive Regelkreise durch eine Reifegradsteigerung von Prozess und System in proaktive Regelkreise überführt werden (vgl. Kletti und Deisenroth 2019, S. 18–21).

Die Regelelemente übernehmen dazu die Aufgaben im Wirkprozess. Um die Aufgabenqualität zu bewerten, dienen die Merkmale der Regelgüte (vgl. Kap.: 3.7.2).

Als Basis einer Regelung der PPS-Aufgaben empfiehlt sich somit ein reaktiver Ansatz. Hierdurch kann eine unbekannte Regelstrecke im Allgemeinen aufwands- und risikoärmer geregelt werden. Weitere Ausbaustufen (Reifegrade) können nachfolgend eine stabilere Regelung ermöglichen und auch den Ansprüchen zur proaktiven (simulierten, prädizierten) Regelung gerecht werden.

In Anhang A41 sind dazu Aufbau und Ablauf proaktiver und reaktiver Regelkreise für den Aufgabenbereich der PPS dargestellt. Diese zeigen die strukturelle Erweiterbarkeit reaktiver Regelkreise sowie dessen aufgabenbezogene Modellierungselemente zum Ausbau der proaktiven Regelung. Im Zuge der konkreten Dimensionierung der Regelkreise gilt es die organisatorischen Rahmenbedingungen im GP zu berücksichtigen.

Diese gilt es im Spannungsfeld zwischen Mensch, Technik und Organisation zu harmonisieren (Steven et al. 2020).

Ansätze hierzu werden im weiteren Verlauf vertieft.

### 3.8 MENSCH, TECHNIK UND ORGANISATION

Zur Erfüllung der Produktionsaufgabe, werden Regelkreise standardmäßig zur Qualitätssicherung der arbeitsteiligen Aufgabenkoordination eingesetzt (DIN ISO 9001:2015 und DIN ISO 9004 in Anlehnung an EFQM).

Ziel ist die Sicherung und/oder Steigerung der Qualität der ablauforientierten Prozessleistungen (vgl. Waurick 2014, S. 5–6).

Organisatorische Konzepte, wie die „Kontinuierliche Verbesserung“ (vgl. Kostka und Kostka 2017), „Shopfloor Management“ (vgl. Kudernatsch und Rotter 2017), „Störungsmanagement“ (vgl. Fischäder 2007), Qualitätsaudits für Produkt und Prozess (vgl. Sihn et al., S. 324–328), Lieferantketten (vgl. Schmieder et al. 2018, S. 69–74), KAIZEN-Mentalität (vgl. Koch 2015, S. 127–137), Deming-Wheel (vgl. Deming 1998), Lessons Learned (vgl. Götz 2008, S. 17–24), werden als Prinzipien einer organisatorischen Regelkreisbildung genutzt.

Als Weiterentwicklung der technischen Regelkreise (vgl. Kap.: 3.7.1) bezeichnet der Begriff *Managementkybernetik* die Anwendung der Regelkreistheorie zur Lösung von Führungsaufgaben in komplexen Organisationen (Stafford Beer ab 1959).

Diese organisatorischen Regelkreise sind dabei jeweils Teil der Managementsysteme. Zur Harmonisierung unterschiedlicher Perspektiven werden dessen Ressourcen wie folgt eingeteilt:

- **Menschliches und soziales Systemumfeld (Mensch)**

*Visionen, Persönliche Reife, Qualifikation, Kultur, Machtposition, Motivation*

- **Technische Konzeption (Technik)**

*Tech. Infrastruktur, Maschinen, Geräte, Hardware, Software, fachlicher Aufgabenfokus, Kommunikations- und Wirkprinzip der Automatisierung*

- **Organisatorisches Beziehungsgeflecht der Akteure (Organisation)**

*Perspektive zwischen Systemteilnehmer im Geschäftsprozess*

*(Kunden, Lieferanten, Vorgesetzten, Mitarbeitern, Abteilungen, Aufgaben usw.)*

(vgl. Grunau 2002, S. 35–49)<sup>43</sup>

Mit Hilfe der sogenannten MTO-Analyse werden die Einflüsse der MTO-Dimensionen auf das untersuchte System dargestellt (Strohm und Escher 1997).

Die Bewertung der Regelgüte organisatorischer Regelkreise ist dabei Teil der Reifegradmodelle der organisatorischen Reife (vgl. Kap.: 3.2.3).

Organisatorische Regelkreise und deren Reifegrad nehmen dabei maßgeblichen Einfluss auf die Rahmenbedingungen zur Gestaltung der SF (vgl. Kletti 2015, S. 2–10).

---

<sup>43</sup> Die Ressourcen werden fortan als MTO-Dimensionen bezeichnet

Als Teil der anwendungsseitigen Systemlandschaft (vgl. Kapitel 3.4.2) besteht für organisatorische Regelkreise eine Abhängigkeit zwischen dessen Art und Umfang zu den Aufgaben der IT-seitigen Implementierung (vgl. Kap.: 3.4.1.2).

Die Aktivierung der digitalen Kontrollflüsse wird dazu mit Hilfe betrieblicher Anwendungssysteme realisiert.

Dessen Qualität und Potenzial steht wiederum in Abhängigkeit zu den Strukturen der Organisation (vgl. Kreuzer et al. 2017, S. 91–97).

Diese Abhängigkeit ermöglicht parallel ein Handlungspotenzial im Systementwurf. Die Ausprägungen der MTO Dimensionen können alternativ angeordnet werden. Dessen Kombination ermöglicht unterschiedliche Alternativen des Ressourceneinsatzes.

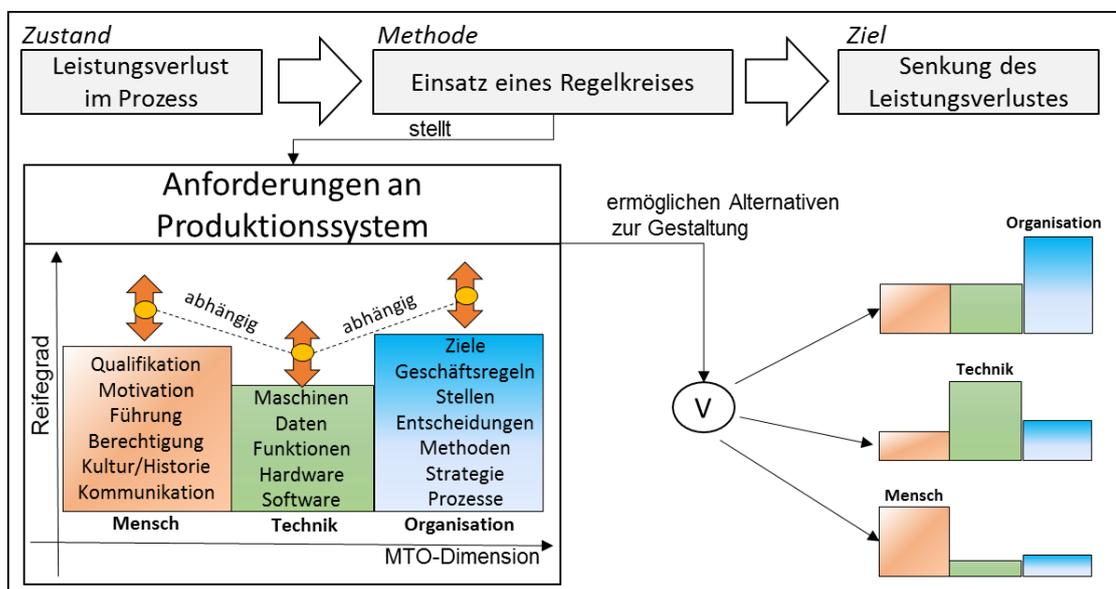


ABBILDUNG 21 - MTO DIMENSIONEN

Eigene Darstellung in Anlehnung an (Strohm und Escher 1997)

Abbildung 21 zeigt die wechselseitige Beziehung der MTO-Dimensionen.

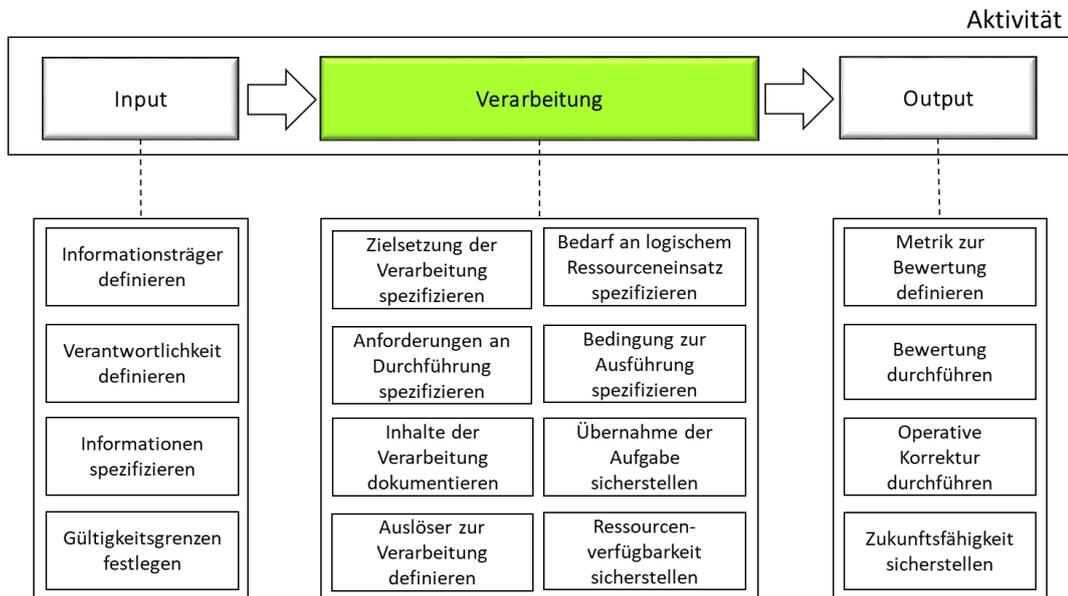
Die Abbildung adressiert dabei zwei wesentliche Zusammenhänge. Zum einen die gegenseitige Abhängigkeit der MTO-Ressourceneinsätze **bei der** Gestaltung eines Regelkreises. Zum anderen die alternative Möglichkeit **zur** Gestaltung der Ausprägungen im Zuge der Aktivierung (vgl. Schlick et al. 2010, S. 46–51).

Im Zuge der Dimensionierung gilt es zu identifizieren, welche Kombination der Ressourceneinsätze einem Regelkreis zu Grunde liegt (liegen soll). Darauf aufbauend besteht die Möglichkeit Maßnahmen zur Dimensionierung vorzunehmen.

Die Überführung<sup>44</sup> der Ressourceneinsätze für die Dimensionen **Mensch** und **Organisation** hin zur Dimension **Technik** ist dabei das übergeordnete Ziel zur Förderung der Selbstorganisation.

In der SF soll diese Entwicklung durch eine regelgebundene Automatisierung der GP erfolgen (Bracht et al. 2018).

Um den Ressourceneinsatz gezielt zu dimensionieren, bedarf es der Spezifikation benötigter Eigenschaften. Hierbei wird die konkrete Aktivität des GP in drei Elemente zerlegt. Es werden notwendige Eingangsparameter der Aufgabe (Input), dessen Bearbeitung (Verarbeitung) und das erwartete Ergebnis (Output) beschrieben. Abbildung 22 zeigt diesen Zusammenhang als allgemeine Aufgabenspezifikation notwendiger Ressourceneinsätze betrieblicher GP:



**ABBILDUNG 22 - AUFGABEN ZUR SPEZIFIKATION DER MTO-RESSOURCEN**

Eigene Darstellung in Anlehnung an (Gadatsch 2020)

Die Aufgaben in Abbildung 22 beschreiben allgemeingültige Anforderungen zur Spezifikation einer Aktivität im GP.

Dabei bleibt die Frage, welcher konkrete MTO-Ressourcentyp die Aktivität übernehmen soll, zunächst unbeantwortet. Als mögliche Alternativen der Ausführung werden menschliche (manuelle), technische (automatische) oder organisatorische (prozessorientierte) Ressourcen in Aussicht gestellt (Gadatsch 2020).

Es wird davon ausgegangen, dass der Output durch einen Menschen, eine technische Funktion oder durch einen GP sichergestellt wird. Die konkreten Attribute der Spezifikation und deren Bedeutung sind u.U. zwischen den Ressourcentypen sehr

<sup>44</sup> häufig als Transformation bezeichnet

unterschiedlich, können aber auf die Grundform (Abbildung 22) zurückgeführt werden: Während die Spezifikation einer manuellen Tätigkeit (Mensch) eher Artefakte, wie *Arbeitsanweisung* und *Qualifikationsbedarf* beinhaltet, werden vergleichbare Elemente in einem technischen Konzept eher als *Pflichtenheft* und *Funktionsspezifikation* oder in organisatorischen GP als *Organigramm* und *Prozesslandkarte* betitelt. Diese Spezifikationselemente wurden in Abbildung 22 für MTO abstrahiert und allgemeingültig beschrieben. In Anhang A33 werden dazu die Spezifikationsaufgaben mit jeweiligem Ressourcenbezug für Mensch, Technik und Organisation detailliert. Diese Aufgaben beschreiben die Eigenschaften des Ressourceneinsatzes, welche als Anforderungen definiert werden sollten, um eine Aktivität im GP durch den Einsatz einer menschlichen, einer technischen oder einer organisatorischen Ressource zu spezifizieren.

Die Spezifikation der Ressourceneinsätze ermöglicht dabei die Bewertbarkeit unterschiedlicher Alternativen der MTO-Dimensionen. Bspw. durch Vereinbarung von Prozessleistungen und der Diskussion realisierbarer Prozessziele (Gadatsch 2020). Festzuhalten gilt, der Einfluss der MTO-Kombination und dessen Notwendigkeit zur Ausrichtung auf die Prozessziele.

Damit verbunden ergibt sich die Erkenntnis einer wechselseitigen Abhängigkeit zur Spezifikation und Dimensionierung potenzieller Ressourceneinsätze durch MTO.

#### **4. DISKUSSION DER GRUNDLAGEN**

Im folgenden Teil werden die Grundlagen aus Kapitel 3 zusammengeführt. Dabei wird der jeweilige Kompetenzbeitrag zur Entwicklung der SF reflektiert.

Als Ergebnis werden die Perspektiven in einem Gesamtkontext betrachtet.

##### **4.1 POTENZIALE ALS BEITRAG DER PRODUKTIONSZIELE**

Ausgehend vom Nutzenverständnis der SF, ergeben sich Potenziale zur Optimierung der Wertschöpfung (vgl. Kap.: 2.6.).

Dabei gelten die technologischen Kerndimensionen Sensorik, Aktorik, Entscheidungsunterstützung und Vernetzung als maßgebliche Bestandteile der Umsetzung (vgl. BMBF 2017).

Durch deren Einsatz besteht das Potenzial, Leistungsverluste im GP der betrieblichen Auftragsabwicklung zu mindern.

Als Erkenntnisgewinn bestehender Konzepten zur Integration der digitalen Wertschöpfung, stellt sich die Frage, welche Rahmenbedingungen sich seit den zurückliegenden Integrationskonzepten wie bspw. CIM (vgl. Kap.: 3.4.5) ergeben haben. Zum einen ist der technologische Fortschritt zu nennen.

Dieser erleichtert die technische Datenintegration für unterschiedliche Endgeräte. Hierdurch werden IT-Komponenten der Erfassung, Verarbeitung, Überwachung und Auswertung mit weniger Aufwand implementiert.

Die Ausgangslage zur Steigerung des Reifegrads der technischen Interoperabilität wurde durch Standards stetig ausgebaut (Heidel et al. 2017a).

Die inhaltliche Kritik vergangener Ansätze zum Technologietransfer galt allerdings weniger den technischen Konzepten zur Integration der Teilsysteme, sondern vor allem den Nachteilen der deterministischen Konzeption der Umsetzung (vgl. Bungard und Jöns 1993).

Diese Kritik resultiert aus unterschiedlichen Argumenten:

- In komplexen und dynamischen Systemen, wie der Produktion, sind häufig nicht alle notwendigen Daten zur Ermittlung, einer an Vorbedingungen geknüpften Entscheidung, verfügbar.
- Der Einführungsaufwand, zur Sicherung aller notwendigen Bedingungen einer ganzheitlichen Optimierung, ist sehr umfangreich.
- Das Risiko, die vorhandene Stabilität im Wertschöpfungsprozess durch umfangreiche Veränderungsmaßnahmen im System zu reduzieren, ist sehr groß.

Heutige Entwicklungen der SF werden daher prozessbezogen, regelbasiert und in einzelnen Reifestufen gestaltet (vgl. Dombrowski et al. 2019).

Parallel bieten technologische Elemente wie lernende Algorithmen (KI) zusätzlich die Möglichkeit diese Strategie auch technologisch zu unterstützen.

Der technische Ablauf der künstlichen Lernprozesse folgt dabei auch dem Konzept einer regelbasierten Verarbeitungslogik.

Als Erweiterung der klassischen Regelung werden hierbei bestehende Regeln fortan ergänzt und/oder korrigiert (vgl. Kreuzer und Sirrenberg 2019, S. 2–27).

Damit werden die Bedingungen zur Kontrolle der eigentlichen Regelgröße stetig optimiert.

Allgemein gilt festzuhalten, dass bei Anwendung von Regelungskonzepten, gleich welcher Spezifika, die Zieldefinition und Zuordnung von Einflussgrößen, Bedingungen und Anweisungen zu dessen Aktivierung notwendig sind.

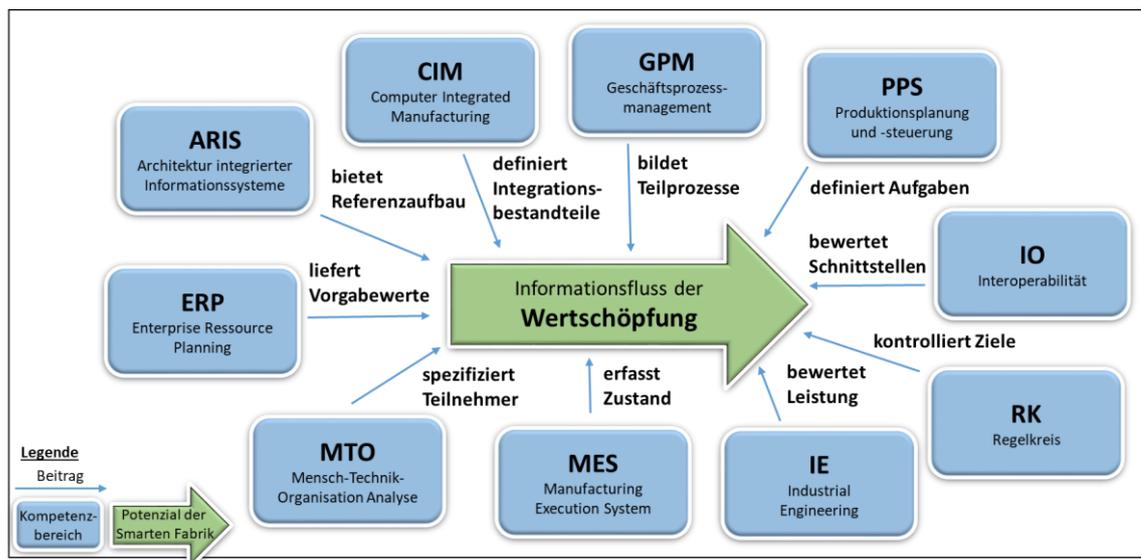
Bei der Potenzialdefinition der SF geht es daher vor allem um die Frage, welche **Prozessziele** mit Hilfe des Einsatzes digital bedingter Informationsflüsse unterstützt werden können.

Ausgehend von diesen Zielen soll die Kontrolle der Prozessleitung mit Hilfe einer regelbasierten Datenverarbeitung sichergestellt werden. Im Vorfeld der Implementierung zur Verhaltenskontrolle ist daher die Bewertung des Einflusses unterschiedlicher

Perspektiven auf die Prozessziele notwendig. Einzelne Teilziele müssen dabei als Beitrag der Produktionsziele (vgl. Kap.: 2.5) beurteilt werden können. Um diese Einordnung vorzunehmen, werden die Perspektiven der SF in einem gemeinsamen Kontext vereint.

#### 4.2 EINZELPERSPEKTIVEN IN DER SMARTEN FABRIK

In Kapitel 3 werden Perspektiven und deren Einflüsse auf die SF dargestellt. Nachfolgend werden nun dessen Kernmerkmale in einem Kontext verdichtet. Der Kompetenzbeitrag wird dazu verdeutlicht (Abbildung 23).



ABILDUNG 23 - EINZELPERSPEKTIVEN IN DER SMARTEN FABRIK II

Die dargestellten Kompetenzen (Abbildung 23) leisten jeweils einen Beitrag zur Gestaltung des Informationsflusses der Wertschöpfung. Dabei definieren die Perspektiven Anforderungen an fachliche und organisatorische Rahmenbedingungen in der SF. Gleichzeitig werden Eigenschaften und Konzepte als Ergebnisse der Fachdisziplin geliefert. Die Anforderungen an die Integration vertikaler und horizontaler GP (vgl. Kap.: 3.3.5) werden durch die einzelnen Fachkompetenzen spezifiziert. Eine Zusammenführung der Eigenschaften und dessen Details werden dazu in A43 vertieft. Hier werden inhaltliche Merkmale der Kategorien *Kompetenzbeitrag für die Smarte Fabrik*, *Elemente im Informationssystem*, *Ergebnisse* und *Beitrag zur Informationsflussgestaltung* detailliert. Durch die unterschiedlichen Kompetenzbereiche im Gestaltungsraum entstehen wechselseitige Abhängigkeiten im Technologietransfer. Um diese zu berücksichtigen, wird nachfolgend die Beziehung der Perspektiven zueinander diskutiert.

### 4.3 WIRKUNGSZUSAMMENHÄNGE DER PERSPEKTIVEN

Die Perspektiven im Kapitel 4.2 adressieren den Status Quo der Anforderungen und der Rahmenbedingungen im Umfeld der SF. Durch die Möglichkeit die Ressourcen der SF alternativ anzuordnen, besteht gleichzeitig dessen wechselseitiger Einfluss (vgl. Kap.: 3.8). Zur Beschreibung der Einflüsse, wird nachfolgend die Beziehung der einzelnen Perspektiven beschrieben. Abbildung 24 visualisiert dessen Struktur in Form eines Objektdiagramms:

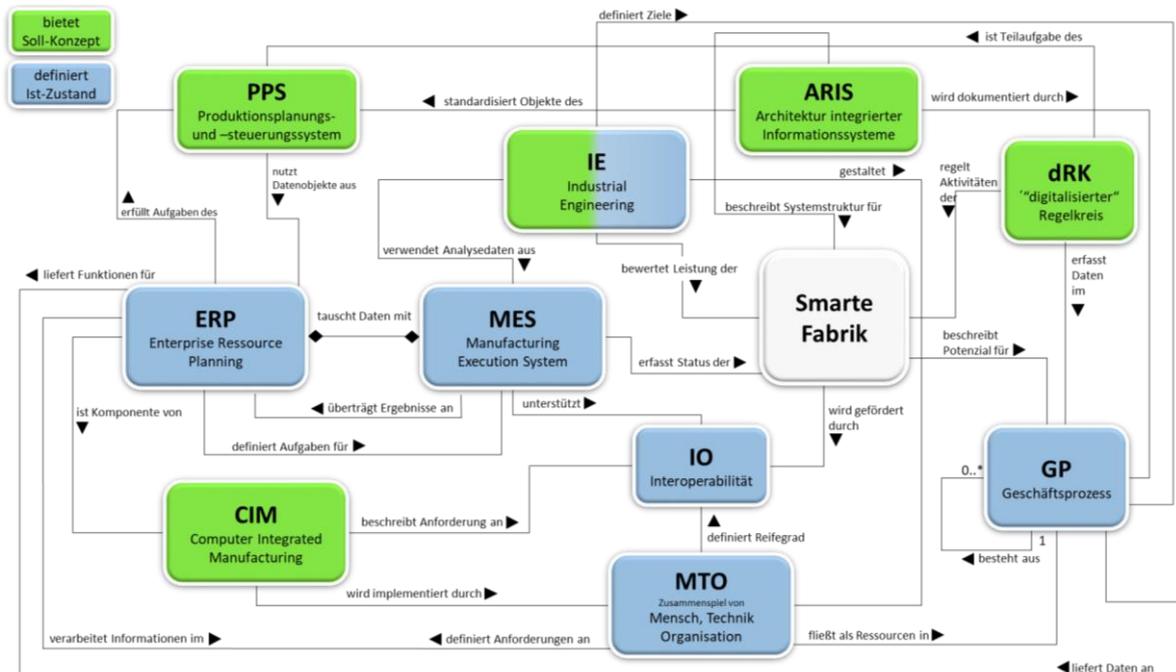


ABBILDUNG 24 - WIRKUNGSZUSAMMENHANG DER PERSPEKTIVEN

Ausgehend vom Potenzialverständnis der SF werden in Abbildung 24 die Einflüsse der Perspektiven dargestellt. Dabei werden die Sichtweisen mit Hilfe der Kompetenzen „bietet Soll-Konzept“ und „definiert Ist-Zustand“ unterschieden. Zum weiteren Verständnis des Diagramms werden nachfolgend die Hintergründe und Zusammenhänge argumentiert:

Als Potenzial der SF wird die optimierte Entscheidungsaktivierung zur Unterstützung von Produktionszielen genannt (vgl. Kap.: 2). Dabei wird die Erfüllung der Produktionsziele durch den Beitrag der Teilziele (hierarchisch) abhängiger GP (vgl. Kap.: 1.4) beeinflusst. Um einen GP ganzheitlich zu gestalten, ist die Dokumentation von dessen Eigenschaften notwendig (vgl. Kap.: 3.6). Hierzu werden folgende **GP-Elemente** zur Analyse genannt: (1) Ziel des Prozesses, (2) Ereignisse im Ablauf, (3) Aktivitäten und (4) Funktionen der Teilanfragen, (5) beteiligte Organisationseinheiten, (6) Datenobjekte, (7) Kontrollfluss, (8) Prozessleistung, (9) Abhängigkeiten und (10) Schnittstellen (Scheer 1991).

Die formale Beschreibung und Anordnung dieser GP-Elemente werden durch bestehende Architekturen (z.B. ARIS) unterstützt (vgl. Kap.: 3.4.1).

Die integrationsorientierte Beschreibung der verwendeten Anwendungssysteme (CIM) definiert dagegen Anforderungen zur aufgabenbezogenen Architektur der Datenobjekte (vgl. Kap.: 3.4.5). Hier werden die beteiligten Anwendungssysteme hinsichtlich ihrer Aufgaben spezifiziert. Um die oben dargestellten GP-Elemente in bestehenden (gewachsenen) Architekturen zu gestalten, ist zusätzlich der Abgleich zwischen Soll-Konzepten und Ist-Zustand im System notwendig. Dieser Zusammenhang wird durch die Beziehung der Objekte in Abbildung 24 adressiert. Um den Einfluss und die wechselseitige Wirkung der Objekte in Abbildung 24 zu spezifizieren, zeigt nachfolgende Tabelle 2 die Rolle der Kompetenzbereiche mit Bezug zu den **GP-Elementen**.

Die in Tabelle 2 aufgeführte Zuordnung zeigt die Beteiligung unterschiedlicher Kompetenzbereiche eines GP im Sinne der SF. Durch die Beteiligung unterschiedlicher Kompetenzbereiche ergeben sich komplexe Abhängigkeiten und Wirkungszusammenhänge im Rahmen der Konzeption. Zur Umsetzung digitalgestützter Informationsflüsse gilt es diese Einflüsse anhand der Potenziale der SF auszurichten. Um den Ablauf der Arbeitsteilung aktiv zu gestalten scheint es daher sinnvoll, die Kompetenzen anhand definierter Schnittstellen auszurichten. Als Ziel der Ausrichtung bietet die Orientierung am optimierten Wertschöpfungsprozess eine geeignete Ausgangslage. Dieser Ansatz wird anhand von Anforderungen zur Spezifikation notwendiger Schnittstellen im folgenden Kapitel diskutiert.

GP-Element		Aufgabe	Kompetenz		Analyseziel
			Soll-Konzept	Ist-Zustand	
1	<b>Ziel des Prozesses</b>	Die Ziele SMART definieren	GPM	MTO	Von welchem Kompetenzbereich wurden Ziele des GP, in welcher Form definiert?
2	<b>Ereignisse im Ablauf</b>	Die Informationen zu Statusänderungen erfassen und verwalten	CIM	ERP und/oder MES	Welche Anwendungssysteme erfassen und verwalten die Ereignisse im GP?
3	<b>Aktivitäten</b>	Die fachlichen Inhalte der Teilaufgaben am Ziel ausrichten	PPS	MTO	Welche fachlichen Aufgabeninhalte werden im GP ausgeübt?
4	<b>Funktionen</b>	Die Daten im Anwendungssystem erfassen, verarbeiten und ausgeben	CIM	ERP und/oder MES	Welche Funktion im GP, wird in welchem Anwendungssystem ausgeführt?
5	<b>Organisations-einheiten</b>	Den Ressourceneinsatz zur Durchführung und Unterstützung der Aktivitäten sicherstellen	IE	MTO	Welche Kompetenzen werden im GP eingesetzt?
6	<b>Datenobjekte</b>	Die Datenstrukturen zur Verwaltung von Eingabe- und Ausgabedaten bereitstellen	CIM	MTO	Welches Anwendungssystem verwaltet welche Nutzdaten im GP?
7	<b>Kontrollfluss</b>	Die Funktionen durch bedingte Kontrollstrukturen im Anwendungssysteme auslösen	RK	ERP und/oder MES	Welche Kontrollstrukturen werden zur Steuerung der Funktionen im GP verwendet?
8	<b>Prozess-leistung</b>	Die Leistung durch den Abgleich von Soll- und Ist-Zustand bewerten	IE	MTO	Wie werden Abweichung von Zielen des GP ermittelt?
9	<b>Abhängigkeit</b>	Die Anforderungen für Eingangs- und Ausgangszustände einhalten	PPS	MTO	Welche Bedingungen werden bei verknüpften GP eingehalten?
10	<b>Schnittstellen</b>	Die Verträge zur Verbindung von Anwendungssystemen gestalten	CIM	IO	Welcher Reifegrad der besteht im Austausch der Anwendungssysteme im GP?

TABELLE 2 - ANALYSEKOMPETENZEN IN DER SMARTEN FABRIK

## 5. ANFORDERUNG ZUR GESTALTUNG DIGITALER REGELKREISE

Das nachfolgende Kapitel beschreibt die Anforderungsermittlung zur Konzeption Digitaler Regelkreise. Dabei wird zunächst auf die Bedeutung der Regelkreise in der SF eingegangen. Anschließend folgen eine Anforderungsanalyse und die Ermittlung des Forschungsbedarfs.

### 5.1 REGELKREISE ALS TEIL DER SMARTEN FABRIK

Das übergeordnete Potenzial der SF besteht in der gesteigerten Effizienz industrieller Wertschöpfungsprozesse. Diese soll durch die intelligente und kontrollierte Vernetzung von Informationen realisiert werden (BMBF 2017).

Durch den steigenden Grad der Entscheidungsautonomie (Selbstorganisation/-steuerung) wird der sinkende Ressourceneinsatz der Betriebsorganisation unterstützt. Die Organisationsform *Regelkreis* erfüllt dabei den Anspruch zum stetigen Ausbau der Selbststeuerung. Die Fähigkeit des Regelkreises, regelbasierte Selbstdiagnosen zu ermöglichen, entspricht dem Anspruch der Automatisierbarkeit, bei abnehmendem Kontrollaufwand. Weiterhin werden Gütekriterien wie bspw. Genauigkeit, Kompatibilität, Verfügbarkeit, Erweiterbarkeit, Standardisierbarkeit, Stabilität, Skalierbarkeit und Geschwindigkeit unterstützt. Die Architektur des Regelkreises liefert die notwendigen Eigenschaften, um die Ziele der Produktion im Sinne der Potenziale der SF (Kap.: 2.1) zu sichern und fortan zu unterstützen. In der heterogenen Systemlandschaft der Produktion (Brownfield) werden zudem Anforderungen an eine integrierbare Mischform zur Dezentralisierung unterstützt.

Die Form der Realisierung digitaler Kontrollstrukturen in der SF gilt als unternehmensabhängig (Obermaier 2017).

Im engeren Sinne ist die Form dabei eher prozessabhängig (Ohm und Bürger 2015). Um den aktuellen Stand allgemeingültiger Anforderungen zur Integration digitaler Kontrollflüsse der SF zu bewerten, wurden bestehende Untersuchungen analysiert. Dessen Ergebnisse werden nachfolgend vorgestellt und diskutiert.

## 5.2 ANFORDERUNGEN

Im Anwendungsumfeld der SF werden Unternehmensvertreter befragt, um Ziele, Entwicklungsstand und bestehende Engpässe im Integrationsprozess der Praxis zu bewerten. In einer Umfrage wurden dabei die fünf größten Schwierigkeiten der Digitalisierungsprojekte wie folgt definiert:

Zu wenig digitale Kompetenz	38,65%
Schwächen in der Kosten-/Zeitplanung	34,48%
Unklare Anforderungen	33,01%
Methodische Umsetzungsprobleme	32,25%
Keine Unterstützung durch übergeordnete Instanzen	26,78%

TABELLE 3 - SCHWIERIGKEITEN IN DIGITALISIERUNGSPROJEKTEN

Quelle: (d.velop AG 2018)<sup>45</sup>

Die Details der Studie sind im Anhang A44 dargestellt. Innerhalb der Studie wird die mangelnde Kompetenz zur Bildung digitaler Informationsflüsse als häufigste Schwierigkeit genannt. Unter dem Begriff *digitale Kompetenz* wird dabei die Fähigkeit zur nutzenbringenden Transformation der realen Organisationsstrukturen, hin zu digitalgestützten GP verstanden. Dabei werden in der Studie die Fachkompetenz (IT) und der damit verbundene Personalbedarf als Hauptursachen aufgeführt. Die weiteren Schwierigkeiten „unklare Anforderungen“, „methodische Umsetzungsprobleme“ und „Schwächen in der Kosten-/Zeitplanung“ sind dabei als Folgen der mangelnden *digitalen Kompetenz* zu verstehen.

Die fehlende Spezifikation potenzieller Prozessziele der Produktion, mit Hilfe konkreter Anforderungen an betriebliche Anwendungssysteme (fehlende Kompetenz), führt zur mangelnden Regulierbarkeit der Anforderungen. Der reale Ergebnisbeitrag (Validierung) und/oder die funktionale Realisierbarkeit mittels IT (Verifikation) können bei fehlender Spezifikation der Anforderungen nicht ausreichend bewertet und somit auch nicht aktiv koordiniert werden. Eine konsistente Konzeption potenzieller Digitalisierungsmaßnahmen in einem zielorientierten Kontext, scheint hierdurch nicht möglich.

Durch die fehlende Transparenz entsteht der Bedarf, Entscheidungen unter Unsicherheit zu treffen. Im Zuge der Realisierung steigt hierdurch die Wahrscheinlichkeit geminderter Systemqualität bzw. des erhöhten Ressourcen- und Koordinationsaufwandes (Wiendahl 2012).

Gerade in der Phase der Anforderungsanalyse ist eine ausgeprägte *digitale Kompetenz* notwendig, da Prozessziele, vorhandene Strukturen, mögliche Strukturänderungen und

---

<sup>45</sup> Stichprobengröße (n): Es wurden 2010 Personen befragt; mehrfach Nennung waren möglich

der potenzielle Einsatz von Softwarefunktionalität konsistent konzipiert werden müssen. Architekturprinzipien der Softwaretechnik (vgl. Balzert und Liggesmeyer 2011, S. 29–35) und Rollenkonzepte agiler Entwicklungsansätze (vgl. Maximini 2018, S. 67–76) bestätigen diesen Kompetenzbedarf.

Als direkte Folgen mangelhafter Anforderungsprozesse ergeben sich „methodische Umsetzungsprobleme“ und „Schwächen in der Kosten-/Zeitplanung“ (Tabelle 3).

Die operativen Aufgaben zur methodischen Umsetzung und dessen Ressourcenplanung sind stark von der Art und dem Umfang der Anforderung abhängig (vgl. Felkai und Beiderwieden 2011).

Die genannte „fehlende Unterstützung durch übergeordnete Instanzen“ ist mit hoher Wahrscheinlichkeit auf die fehlende Anforderungskonzeption zurückzuführen. Entscheidungsträger der Führungsebene benötigen zur Unterstützung operativer Aufgaben ein Verständnis über Ziele und den geplanten Mehrwert einer Maßnahme.

Gleichzeitig ist die Transparenz zu Fortschritt und Problemen der Umsetzung Grundlage zur aktiven Führungsunterstützung (vgl. Hische und Hische 2019, S. 74–109).

Informationsbedarfe der Führung können bei Mängeln der Anforderungsspezifikation sowie der fehlenden Belastbarkeit operativer Ziele nicht konsistent überwacht bzw. koordiniert werden. Demnach ist das Ergebnis der Studie plausibel und bestätigt bestehende Erkenntnisse aus dem Umfeld des IT-Anforderungs- und Projektmanagements. Ursprung der Schwierigkeiten sind demnach Kompetenzengpässe zur **konsistenten Spezifikation und Konzeption** der Integrationsanforderungen.

Eine weitere Studie diskutiert dazu den Mehrwert vorhandener Integrationsmodelle im Einführungsprozess der digitalen Produktion. Darin werden die fünf größten Schwierigkeiten bei der Anwendung bestehender Modelle<sup>46</sup> definiert (Tabelle 4).

Die Details der Studie sind im Anhang A44 dargestellt.

Die Modelle ...	
...sind zu abstrakt und nicht praxisnah	37,3%
...beschreiben keine Umsetzungsstufen, sondern nur den Endzustand	26,9%
...gehen zu wenig auf organisatorische Veränderungen und den Faktor Mensch ein	23,9%
...beschreiben Prozessveränderungen in der Produktion zu ungenau	23,9%
sonstiges	21,4%

**TABELLE 4 - BEWERTUNG VORHANDENER INTEGRATIONSMODELLE**

Quelle: (Schumacher 2018)<sup>47</sup>

<sup>46</sup> in der Studie werden alle konzeptionellen Ansätze als Modelle bezeichnet

<sup>47</sup> Stichprobengröße (n): 68 Personen; mehrfach Nennung waren möglich

Der Bedarf zum praxistauglichen Einsatz der Modelle wird hier als übergeordnete Anforderung geäußert. Weiterhin werden fehlende Umsetzungsstufen und fehlende Veränderungsschritte aufgeführt. Zudem werden organisatorische (nicht technische) Veränderung und persönliche (sozialen) Zusammenarbeit als Anforderungen genannt. Die Ergebnisse der Studien signalisieren den Bedarf zur methodischen Unterstützung während der Analyse-, Anforderungs- und Konzeptphase potenzieller Digitalisierungsmaßnahmen. Als Kategorien der genannten Bedarfe können folgende Anforderungsgruppen aus den Studien abgeleitet werden:

- **AF01: Führungsunterstützung und Praxistauglichkeit**
- **AF02: Entwicklungsschritte und Reifegrade**
- **AF03: Nachhaltigkeit und Veränderung**
- **AF04: Validierung und Verifikation**
- **AF05: Kompetenz und Integration**

Weitere Quellen bestätigen diese Kategorien im Entwicklungsprozess der SF (vgl. Weinert et al. 2017), (vgl. Greinacher et al. 2020), (Meyer auf der Heide et al. 2017), (Lass und Gronau 2020), (Nayyar und Kumar 2020).

Die genannten Anforderungskategorien werden daher im weiteren Verlauf detailliert und analysiert.

### 5.3 ANFORDERUNGSANALYSE

Um die genauen Bedarfe im Einführungsprozess zu spezifizieren, wurde eine Anforderungsanalyse durchgeführt. Diese wird nachfolgend dargestellt.

#### 5.3.1 ANALYSEMETHODE

Die Anforderungen zur Detaillierung der in Kap.: 5.2 definierten Kategorien leiten sich aus unterschiedlichen Perspektiven ab. Zum einen definieren die Grundlagen (Kap.: 2 und 3) notwendige Rahmenbedingungen der SF und zum anderen besteht der Bedarf zur methodischen Unterstützung der Kompetenz im Analyseprozess (Kap.: 5.2). Daher werden die Grundlagen (Kap.: 3) analysiert, um dortige Perspektiven zur Unterstützung der Analysephase einfließen zu lassen. Diese werden als Anforderungen an die Konzeption spezifiziert und definieren qualitative Eigenschaften. Inhaltlich sollen diese die Entwicklung digitaler Kontrollstrukturen als Beitrag der SF unterstützen. Das Prinzip zur Umsetzung soll dabei der Struktur eines Regelkreises entsprechen. Demnach sollte der Anwendungsfall im Forschungsraum vorab konkretisiert werden. Hierzu wird der Begriff *Digitaler Regelkreis* (DRK) eingeführt und nachfolgend definiert.

### 5.3.2 DEFINITION DES DIGITALEN REGELKREISES

Um das Zielsystem im Forschungsraum zu spezifizieren werden nachträglich dessen Eigenschaften konkretisiert. Die Begrifflichkeit des Digitalen Regelkreises (DRK) fasst die Eigenschaften des Zielsystems zusammen. Die Eigenschaften gehen als Erkenntnisse der Wirkungszusammenhänge aus den Grundlagen der Kapitel 2 und 3 hervor.

Der Forschungsgegenstand des DRK wird als organisatorische Methode zur Optimierung der Wertschöpfung verstanden. Dabei wird das Ziel verfolgt bestehende **Leistungsverluste der Wertschöpfung** durch den Einsatz digitaler Informationsflüsse zu optimieren. Um den Begriff abzugrenzen und fortan eindeutig zu nutzen, folgen Definition und Einordnung: Der DRK beschreibt eine Konzeption zur **Verhaltenskontrolle industrieller Produktionsaufgaben**. Bei der Implementierung sollen dabei Funktionen **betrieblicher Anwendungssysteme** auf unterschiedlichen **Unternehmensebenen** eingesetzt werden, um **arbeitsteilige GP** in einen **geschlossenen Wirkprozess** zu integrieren. Durch den Auf- und Ausbau **digitaler Kontrollstrukturen** im bedingten Informationsfluss des GP, sollen dazu **Potenziale der Automatisierung** nutzbar werden. Die Gestaltung der Verhaltenskontrolle folgt dabei dem **Prinzip der Selbstorganisation** und trägt zur Erfüllung der **Produktionsziele** bei. Tabelle 5 referenziert die Kernmerkmale (**oben fett**) des DRK als Kernaussagen vorheriger Kapitel. Es wird auf die vorherigen Ausführungen verwiesen, um Ursprünge, Bedarf und Gesamtkontext der Definition des DRK zu belegen.

<b>Merkmale der Definition</b>	<b>Erläuterung in Kapitel</b>
Produktionsziele	2.5
Potenziale der Automatisierung	2.6
Verhaltenskontrolle industrieller Produktionsaufgaben	3.3
Betriebliche Anwendungssysteme	3.4
Leistungsverluste der Wertschöpfung	3.5
arbeitsteilige Geschäftsprozesse	3.6
geschlossener Wirkprozess	3.7.1
digitale Kontrollstrukturen	3.7.2
Unternehmensebenen	3.7.3
Prinzip der Selbstorganisation	3.8

TABELLE 5 - DEFINITION DIGITALER REGELKREIS

Die Definition beschreibt zunächst den Anwendungsfall mit Zielsetzung im Forschungsraum der SF. Die methodische Art der Umsetzung des DRK wird hingegen nicht definiert.

Umfang, Fokus und Abgrenzung des DRK werden dazu im weiteren Verlauf in Kap.: 5.4.2 beschrieben und in einer späteren Konzeption vertieft.

Um den konkreten Bedarf des DRK zu ermitteln, wurden Studien und Forschungsergebnisse recherchiert. Die sind als Ergebnisse in einen Anforderungskatalog zur Gestaltung des DRK eingeflossen und werden nachfolgend vorgestellt.

### 5.3.3 ANFORDERUNGSKATALOG

Die Ergebnisse der Anforderungsanalyse wurden in einem Anforderungskatalog detailliert. Der Katalog ist dazu in A34 dargestellt. Die Kompetenzen der unterschiedlichen Perspektiven (Kap.: 3) wurden innerhalb des Anforderungskatalogs den Anforderungskategorien (Kap.: 5.2) zugeordnet. Im Anforderungskatalog werden dazu die Bedarfe einer vertikalen und horizontalen Integration anhand konkreter Anforderungen beschrieben. Zusammenfassend gehen daraus übergeordnete Integrationsbedarfe hervor. Folgende **übergeordnete Anforderungen** (requests - **RQ**) sollen durch die Anforderungen im Anforderungskatalog sichergestellt werden:

Der Ansatz ...

- RQ01** ...soll in der Praxis anwendbar sein.
- RQ02** ...soll die Führungsunterstützung sicherstellen.
- RQ03** ...soll schrittweise erfolgen (können).
- RQ04** ...soll Reifestufen berücksichtigen.
- RQ05** ...soll die Ziele der Produktion nachhaltig unterstützen.
- RQ06** ...soll das Veränderungsmanagement der Organisation unterstützen.
- RQ07** ...soll das Anforderungsmanagement der Produktion ermöglichen.
- RQ08** ...soll eine digitale Entscheidungsunterstützung ermöglichen.
- RQ09** ...soll prozessübergreifend anwendbar sein.
- RQ10** ...soll den Grad der Selbstorganisation fördern.
- RQ11** ...soll die Entwicklung der digitalen Kompetenz fördern.
- RQ12** ...soll einen Beitrag zur Steigerung der Interoperabilität liefern.

Diese Anforderungen werden nachfolgend durch Teilfragen konkretisiert. Die insgesamt 36 Teilfragen spezifizieren die Ziele der zwölf Anforderungen und können als Unterfragen verstanden werden. Der Zusammenschluss der Forschungsfragen in einer gemeinsamen Konzeption ist dabei primäre Aufgabenstellung einer Methodik zur Problemlösung. Die Fähigkeiten einzelne Fragestellung zu vereinen verspricht dabei das Erfolgspotenzial zur Erfüllung der Gesamtaufgabe.

Die nachfolgende Tabelle 6 fasst die Teilfragen der Forschung als Elemente der Anforderungen (RQ) zur Konzeption der Methodik zusammen:

RQ	Anforderung	Forschungsfragen zur Methodik		
01	soll den <b>praktischen Einsatz</b> ermöglichen	Q01: Wie können konkrete Aufgaben definiert werden?	Q02: Wie kann der Aufgabenfortschritt überwacht werden?	Q03: Wie können Ressourcen eingeplant werden?
02	soll die <b>Unterstützung der Führung</b> ermöglichen	Q04 Wie können Ziele der Führung in das Vorgehen einfließen?	Q05 Wie können Entscheidung der Verantwortlichen berücksichtigt werden?	Q06 Wie kann die Motivation der Führung sichergestellt werden?
03	soll die <b>schrittweise Anwendbarkeit</b> ermöglichen	Q07 Wie können Teilaufgaben definiert werden?	Q08 Wie können sequentielle Abhängigkeiten definiert werden?	Q09 Wie können Teilziele definiert werden?
04	soll die Entwicklung von <b>Reifestufen</b> ermöglichen	Q10 Welche Reifegrade können genutzt werden?	Q11 Welche Eigenschaften der Reife sollen zur Bewertung gelten?	Q12 Welche Abhängigkeit besitzen die unterschiedlichen Stufen?
05	soll die <b>nachhaltige</b> Sicherung der <b>Produktionsziele</b> ermöglichen	Q13 Wie können Maßnahmen zur Sicherung abgeleitet werden?	Q14 Wie kann die Wandlungsfähigkeit der Produktion unterstützt werden?	Q15 Wie können Ziele in operative Aufgaben überführt werden?
06	soll <b>Veränderungen</b> in der <b>Organisation</b> fördern	Q16 Wie können Bedarfe zur Veränderung sichtbar werden?	Q17 Wie können konkrete Ziele der Veränderung definiert werden?	Q18 Wie kann die Wirksamkeit einer Veränderung bewertet werden?
07	soll die <b>Anforderungsspezifikation der Produktion</b> ermöglichen	Q19 Wie können reale Leistungsverluste als Bedarfe einfließen?	Q20 Wie können reale Ereignisse als Grundlage beschrieben werden?	Q21 Wie können Lasten und Pflichten für den Systementwurf ermittelt werden?
08	soll die <b>Entscheidungsfindung</b> digital <b>unterstützen</b>	Q22 Wie können reale Ereignisse digital verarbeitet werden?	Q23 Wie können bedingte Datenströme Entscheidungen beschleunigen?	Q24 Wie können Entscheidungen datenbasiert erfolgen?
09	soll die <b>übergreifende Anwendbarkeit</b> ermöglichen	Q25 Wie kann ein allgemeingültiger Aufbau und Ablauf definiert werden?	Q26 Welche Strukturelemente sollen konzeptionell enthalten sein?	Q27 Wie kann die Wiederverwendbarkeit sichergestellt werden?
10	soll den Ausbau zur <b>Selbstorganisation</b> fördern	Q28 Wie kann eine wiederkehrende Aufgabenfolge konzipiert werden?	Q29 Welche Aufgaben ergeben sich im Zuge der Selbstorganisation?	Q30 Wie können Datenströme die Aufgabenerfüllung unterstützen?
11	soll die Entwicklung der <b>digitalen Kompetenz</b> ermöglichen	Q31 Welche Datenobjekte können die Prozessziele unterstützen?	Q32 Welche Bewegungsdaten sind Teil operativer Prozesse?	Q33 Welche Zustandsänderungen bieten Potenziale im Informationsfluss?
12	die Steigerung der <b>Interoperabilität</b> berücksichtigen	Q34 Welche Standards sollten im Austausch genutzt werden?	Q35 Wie können Standards in die Entwicklung eingebunden werden?	Q36 Wie kann die konzeptionelle Zusammenarbeit gefördert werden?

TABELLE 6 - ANFORDERUNGEN UND FORSCHUNGSFRAGEN

Als Mehrwert der Forschung sollen dabei die Erkenntnisse gefördert werden, welche zur Diskussion folgender übergeordneter Fragen beitragen:

- Wie kann die **Bewertung bestehender Prozesse in der Fabrik** genutzt werden, um digital gestützte Potenziale für **Innovationen und / oder Optimierungen** abzuleiten?
- Welche **Perspektiven** müssen berücksichtigt werden, um den technischen, organisatorischen und wirtschaftlichen Zielen **im Veränderungsprozess** gerecht zu werden?
- Welche **Schnittstellen** gilt es im Prozess der Veränderung in der **Organisation** selbst zu koordinieren?
- Welche Gestaltungsoptionen ergeben sich zur **Entwicklung des digitalen Reifegrades** in einer Organisation?

Um zu bewerten, wie der Stand der Forschung und Technik zur Erfüllung der Anforderungen beitragen, wurde eine weitere Analyse durchgeführt. Diese diskutiert die Frage, welche bestehenden Arbeiten und Ansätze genutzt werden können, um einen Beitrag zur Anforderungserfüllung zu leisten. Die Analyse wird nachfolgend beschrieben.

### 5.3.4 ANALYSE VERWANDTER ARBEITEN

Nachfolgend werden bestehende Erkenntnisse der Forschung und Praxis mit Hilfe einer qualitativen Inhaltsanalyse zusammengetragen. Hierdurch soll der Beitrag für die beschriebenen Anforderungen zur Einführung DRK bewertet werden.

Methodisch wurde die Analyse mit Hilfe von (Mayring 2010) durchgeführt.

Hier werden die drei Eigenschaften

- I. Klassifikation relevanter Eigenschaften des Untersuchungsgegenstandes
- II. Definition des Untersuchungsgegenstandes
- III. Informationen über den Untersuchungsgegenstand

als Ordnungskriterien der Analyse definiert (vgl. Mayring 2010).

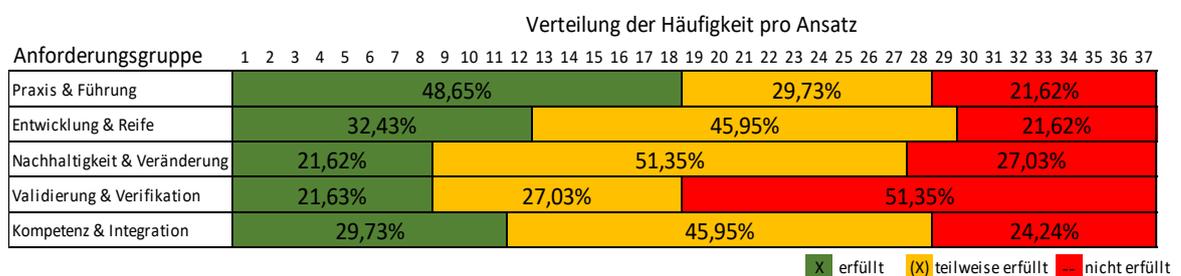
In der durchgeführten Analyse werden folgende Inhalte zur Dimensionierung verwendet:

I. Die **relevanten Eigenschaften** orientieren sich an den Arbeiten von (Schuh und Stich 2012a), (Kletti und Schumacher 2014) (Scheer 2002), (Wenzel 2001), (Weinert et al. 2017), (Thiel et al. 2008), (Dombrowski 2015), (Kletti 2019).

II. Der **Untersuchungsgegenstand** bezieht sich auf die Einführung DRK (vgl. Kap.: 5.3.2).

III. **Informationen** über den Untersuchungsgegenstand ergeben sich aus der Zusammenfassung und Analyse bestehender Konzepte von (Terstegen et al. 2019b), (Dombrowski 2015), (Schuh und Stich 2012b), (Kletti und Schumacher 2014), (Scheer 2002), (Thiel et al. 2008) (Kletti und Deisenroth 2019) (Weinert et al. 2017) im Abgleich zu den definierten Anforderungen aus Kap.: 5.3.3.

Auf dieser Grundlage wurden insgesamt 37 bestehende Ansätze identifiziert, überprüft und analysiert. Die Ansätze, Konzepte, Vorgehen und Modelle wurden hinsichtlich der Erfüllung der Anforderungen aus Kap.: 5.3.3 bewertet. Die Bewertung wird dazu in A35 detailliert. Abbildung 25 fasst dessen Ergebnisse anhand der Anforderungsgruppen zusammen:



**ABBILDUNG 25 - HÄUFIGKEITSVERTEILUNG DER ANFORDERUNGSERFÜLLUNG**

Abbildung 25 zeigt die Gesamterfüllung der 37 untersuchten Ansätze in Form einer Häufigkeitsverteilung der Erfüllungsgrade pro Anforderungsgruppe. Die verwendete Metrik zur Ermittlung des Erfüllungsgrades kategorisiert dabei die Eigenschaften anhand

der Ausprägungen: „X = Anforderungen werden erfüllt“; „(X) = Anforderungen werden teilweise erfüllt“; „- = Anforderungen werden nicht erfüllt“. Der Bewertung liegt die Annahme zugrunde, dass wenn mehr als 90% der Einzelanforderungen (vgl. Anforderungskatalog in A34) im Ansatz berücksichtigt werden, die Anforderungsgruppe als *erfüllt* gilt. Ein *teilweise erfüllt* wird für den Erfüllungsgrad  $< 90\% > 50\%$  eingestuft. Ab einer Quote  $< 50\%$  gilt die Anforderungsgruppe als *nicht erfüllt*. Die Bewertung erfolgte dabei über ein Punktesystem der Skala 0-2. Nicht erfüllte Anforderungen wurden mit Null (0) Punkten, teilweise erfüllte Anforderungen mit einem (1) Punkt und erfüllte Anforderungen mit zwei (2) Punkten bewertet. Abbildung 26 zeigt die sieben Ansätze mit einem gesamten Erfüllungsgrad von größer als 70%. Die sieben Ansätze entsprechen 21,1 % aller Ansätze und erfüllen die Anforderungen im Vergleich am stärksten.

Rang	Konzepte & Vorgehen	Beitrag zur Erfüllung der Anforderungsgruppen					Summe	Herkunft
		AF 01	AF 02	AF 03	AF 04	AF 05		
	Name des Ansatzes	Praxis & Führung	Entwicklung & Reife	Nachhaltigkeit & Veränderung	Validierung & Verifikation	Kompetenz & Integration		
1	(28) Aachener PPS Modell	1	1	2	2	2	8	Schuch and Stich 2012
2	(29) ARIS Methode	2	1	1	1	2	7	Scheer 2002
2	(37) Vier Stufen Modell	1	2	2	1	1	7	Kletti 2016
2	(05) Digital Transformation Cycle	1	1	2	1	2	7	msh 2016
2	(15) REFA-Standard Industrie 4.0	2	2	1	1	1	7	Stock and Bogus 2018
2	(32) MetamoFAB	2	2	1	0	2	7	Weinert et al. 2017
2	(35) Wertstromanalyse 4.0	2	0	1	2	2	7	Meudt et al. 2016

Legende der Erfüllungsgrade (Punkte): erfüllt (2) – teilweise erfüllt (1) – nicht erfüllt (0)

ABBILDUNG 26 - RANKING BESTEHENDER ANSÄTZE

Nachstehend werden die top sieben Ansätze inhaltlich dargestellt.

### Aachener PPS Modell (28)

beschreibt eine Architektur der praxisorientierten PPS Gestaltung. Hierbei werden vier Referenzsichten aus Aufgabensicht, Prozessarchitektursicht, Prozesssicht und Funktionssicht unterschieden. „In bestimmten Fällen werden innerhalb einer Sicht zusätzlich mehrere Teilmodelle in Abhängigkeit von vorliegenden Unternehmensmerkmalen gebildet.“ (Schuh und Stich 2012a, S. 18)

Das Modell definiert dazu die Ziele und Aufgaben einzelner Referenzansichten und setzt diese zueinander in Beziehung. Hierbei wird der organisatorische Einfluss auf funktionale IT-Anforderungen anhand wirtschaftlicher Ziele fokussiert. Das Modell zielt dabei auf die Reorganisation und Untersuchung bestehender Aufgabenbereiche ab. Die Ziele, verbundene (Teil-) Aufgaben und deren Einflüsse auf organisatorische Rahmenbedingungen werden anhand spezifizierter Eigenschaften der fachlichen Produktionsaufgabe kategorisiert und dimensioniert. Hierdurch wird die ganzheitliche Beschreibung der Gestaltungsaspekte der PPS Aufgabe ermöglicht. Als Teilaspekt des

Modells wird auch der Integrationsprozess von PPS-Software mit Hilfe eines Vorgehensmodells beschrieben.

„Das Vorgehensmodell besteht aus drei Phasen. In der ersten Phase ist eine klassische Ist-Analyse durchzuführen. Von besonderer Bedeutung ist hierbei, den Betrachtungsbereich einzugrenzen. Bei Unternehmen mit stark unterschiedlichen Produkten oder Unternehmenssparten ist eine Auswahl des zu betrachtenden Produkts bzw. der zu betrachtenden Sparte erforderlich. Im Anschluss erfolgt die Zuordnung [...] und eine grobe Prozessanalyse [...]. Im letzten Analyseschritt werden die Ziele [...] abgeleitet. Schwerpunkt der zweiten Phase ist die Durchführung der Nutzen- und Aufwandsbetrachtung auf Basis der gewichteten Ziele. Anhand der gewichteten Ziele kann eine Vorauswahl geeigneter Koordinationsschwerpunkte aus nutzenorientierter Sicht erfolgen. Im Anschluss sind die Aufwände für die ermittelten Koordinationsschwerpunkte qualitativ abzuschätzen. [...] Mit Hilfe einer Entscheidungstabelle erfolgt abschließend die Gegenüberstellung von Aufwand und Nutzen. [...] Im Rahmen der dritten Phase des Vorgehensmodells werden die unternehmensspezifisch ausgewählten Koordinationsschwerpunkte im Unternehmen umgesetzt.“

(Schuh und Stich 2012a, 425 ff.)

### **ARIS Methode (29)**

Wie bereits in Kapitel 3.4.1 beschrieben gilt ARIS als Standard zur Dokumentation und Entwicklung von integrierten Anwendungssystemen. Der Integrationsgedanke von ARIS definiert hierzu Referenzsichten der GP, bestehend aus den Dimensionen Leistung, Funktion, Organisation, Prozessen und Daten. Diese werden mit Hilfe einer konsistenten Modellierung zueinander in Beziehung gesetzt. Hierdurch wird eine zielgerichtete Analyse relevanter Entwicklungsanforderungen zur Implementierung integrierter Softwarefunktionen ermöglicht. Dabei werden die Anforderungen anhand der drei Ebenen aus Fachkonzept, DV-Konzept und Implementierung unterschieden. Deren Ausrichtung erfolgt anhand definierter Prozessziele. Diese Form der Ebenen-bezogenen Unterscheidung von Aufgaben ermöglichen die empfänger-orientierte Definition von Anforderungen im Anwendungsumfeld. ARIS ermöglicht damit eine bedarfsgerechte Aufgabendefinition Kompetenzträger im Unternehmen sollen gezielt in den Entwicklungsprozess eingebunden werden. Hierbei werden bspw. fachliche Aufgaben, organisatorische Aufgaben oder Führungsaufgaben unterschieden, um einzelne Sichten aufeinander abzustimmen und im Einführungsprozess zu harmonisieren (vgl. Scheer 2002).

### **Das vier Stufen Modell (37)**

wurde als Reifegradmodell selbstorganisierter Wertschöpfungsprozesse veröffentlicht. Die vier Stufen werden als 1. Transparente Fabrik, 2. Reaktionsfähige Fabrik, 3. Selbstregelnde Fabrik und 4. Funktional vernetzte Fabrik definiert. Die einzelnen Stufen beschreiben dabei generalisierte Reifestufen im Entwicklungsumfeld der SF. Das Modell ist als Leitfaden zur Definition von zustandsabhängigen Entwicklungsanforderungen zu verstehen. Dabei gelten die einzelnen Reifephasen als „Schritt für Schritt“ Anleitung im Auf- und Ausbau der SF. Innerhalb der ersten Stufe werden Aufgaben definiert, welche es ermöglichen ein „digitales Abbild“ und „Kennzahlen“ der Produktion bereitzustellen. In der zweiten Stufe wird die Fähigkeit zur Feinplanung der Produktion und die der Echtzeitverarbeitung dessen Daten fokussiert. In der dritten Stufe werden Regelkreise und dezentrale Entscheidungsprozesse als Eigenschaften der Produktion entwickelt und in der vierten Stufe wird eine funktionale Vernetzung verteilter Aufgaben angestrebt. Parallel zur Definition der einzelnen Reifestufen definiert das Modell Anforderungen an betriebliche Anwendungssysteme zur Aufgabenerfüllung der jeweiligen Reifestufe. Das Grundprinzip orientiert sich dabei an der übergreifenden Regelaufgabe der wirtschaftlichen Produktion und definiert qualitative Stabilitätskriterien im Umfeld selbstorganisierter PPS Aufgaben. Diese berücksichtigt den organisatorischen und technologischen Erkenntnisfortschritt im Entwicklungshorizont und fokussiert dessen Umsetzung auf der Fertigungsleitebene (vgl. Kletti 2016).

### **Digital Transformation Cycle (05)**

ist als strukturierte und praxisnahe Methode zur Identifikation des digitalen Veränderungsprozesses im Unternehmen ausgelegt. Dabei werden sechs Phasen unterschieden. In der ersten Phase werden bestehende Produkte und Prozesse hinsichtlich künftiger Zustände untersucht und klassifiziert. In der zweiten Stufe werden die kundenbezogenen Kontaktpunkte mit dem Produkt- und Leistungsangebot des Unternehmens identifiziert und analysiert. In der dritten Stufe werden vorhandene Strukturen, Erfahrungen der Prozessteilnehmer und gegebene Rahmenbedingungen der GP analysiert und anhand geplanter Eigenschaften konzipiert. Im vierten Schritt wird der konzipierte Gesamtzustand in einzelne Aufgaben zerlegt. Die Aufgaben werden dabei kategorisiert und es werden Anforderung als Beitrag künftiger Soll-Zustände definiert. In der fünften Stufe werden die definierten Anforderungen in einer gemeinsamen Architektur zusammengeführt und mit Hilfe von Integrationsanforderungen, sogenannten „Services“ spezifiziert. In der sechsten Stufe

werden den bis dato definierten Aufgaben Ressourcen zugeordnet. Hierbei werden die konkreten IT-Funktionen, Anwendungssysteme und Schnittstellen für die künftigen GP technisch spezifiziert und mit Hilfe einer Integrationsstrategie aktiviert (vgl. Willinges und Stricker 2018).

#### **REFA-Standard Industrie 4.0 (15)**

beschreibt einen gestaltungsorientierten Leitfaden in Form von Checklisten. Die Checklisten unterscheiden die Dimensionen Mensch (Führungskraft und Beschäftigte), Technik und Organisation (Kultur und Prozesse). In der ersten Phase des Ansatzes werden die Merkmale der Checklisten für den betroffenen Gestaltungsbereich abgefragt. Durch konkrete Fragen zu den aktuellen Ausprägungen werden deren Reifegrade erfasst und bewertet. Die Bewertung der Merkmale erfolgt dabei anhand einer ordinalen Skalierung der Ausprägungen „nicht vorhanden“ - „teilweise vorhanden“ – „wird umgesetzt“. Die insgesamt 48 abgefragten Merkmale werden als Reifekriterien im Entwicklungsprozess der SF beschrieben und anhand von Hinweisen spezifiziert. Über eine Punkteskala der Ausprägungen werden dessen Ergebnisse abschließend verdichtet. Hierbei wird das Entwicklungspotenzial zwischen den Dimensionen Führung, Beschäftigte, Technik, Kultur und Prozess anhand eines Netzdiagramms ermittelt. Um die ermittelten Potenziale zu heben werden pro Dimensionen Maßnahmen vorgeschlagen, um die abgefragten Merkmale zu entwickeln. Darüber hinaus ist der Zielzustand einzelner Merkmale anhand der Fragestellung erkennbar, so dass notwendige Maßnahmen situativ abgeleitet werden können. Die definierten Maßnahmen werden nachgelagert in einen Maßnahmenplan überführt und anhand von Arbeitspaketen und einer Projektsteuerung überwacht (vgl. Bogus und Stock 2018).

#### **MetamoFAB (32)**

bezeichnet ein Entwicklungsvorgehen zur digitalen Transformation der Industrie. Dabei betitelt der Name des Ansatzes die Kurzform der Aussage „Metamorphose zur intelligenten und vernetzten Fabrik“. Hierbei werden sechs Entwicklungsphasen unterschieden. Diese dienen zur Umsetzung von Digitalisierungsmaßnahmen im Unternehmen. Die Phasen werden als 1. Interne Analyse, 2. Identifikation von Lösungselementen, 3. Entwicklung des Zielszenarios, 4. Auswahl der wesentlichen Lösungselemente, 5. Festlegung der Transformationsstrategie, 6. Realisierung und Bewertung betitelt. Alle Phasen beinhalten konkrete Teilaufgaben und werden hinsichtlich der Dimensionen Mensch, Technik und Organisation unterschieden. Zum jeweiligen Phasenabschluss

werden dessen Ergebnisse als Input für die nachfolgende Phase übernommen. Um die Phasen zu durchlaufen bietet der Ansatz unterschiedliche Hilfsmittel. Hierbei kommen ein sogenanntes Transformationscockpit, ein Kommunikationsframework, eine Methode zur Kompetenzermittlung, und ein interaktiver Leitfaden zum Einsatz. Diese unterstützen sowohl die Ziele einzelner Phasen als auch übergreifende Entwicklungsziele entlang des Transformationsprozesses. Das gesamte Entwicklungsvorgehen wird dabei szenariobasiert durchlaufen. Nach der Analyse des aktuellen Zustandes und Identifikation von Handlungsfeldern wird dabei ein Zielzustand definiert. Dieser wird anhand eines Szenarios konkretisiert und fortan entwickelt. Die Definition der Phaseninhalte erfolgen dabei anhand der Phasenziele (vgl. Weinert et al. 2017).

#### **Wertstromanalyse 4.0 (35)**

beschreibt die Weiterentwicklung der methodischen Analyse des Wertstroms. Ausgehend von der klassischen Wertstromanalyse zur Beschreibung von Potenzialen zur Verbesserung der Produktivität, wird hierbei der Fokus auf die Möglichkeiten zur Digitalisierung der Informationsflüsse gelegt. Dazu definiert der Ansatz sechs Entwicklungsschritte in der Produktion. Diese werden als 1. Klassische Wertstromanalyse, 2. Einzeichnen von Swimmlanes der Speichermedien, 3. Detailanalyse der Prozessinformationen & Informationsflüsse, 4. Analyse der Datennutzung, 5. Erfassung von informationslogistischen Verschwendungen, 6. Ableitung & Priorisierung von Kaizen-Aktivitäten bezeichnet. Ziel der Analyse ist die Identifikation von Digitalisierungsmaßnahmen zur Unterstützung der Wertschöpfung. Im Vorgehen werden dazu wertschöpfende und nicht-wertschöpfende Aktivitäten anhand ihrer zugehörigen Datenobjekte identifiziert und analysiert. Die Datenobjekte werden anhand ihrer Informationsflussrichtung und der verwendeten Informationsträger klassifiziert. Dabei werden die Eigenschaften der Informationsgewinnung, -übertragung, -speicherung und -nutzung der Aktivitäten im Wertstrom identifiziert. Hieraus ergibt sich ein Abbild der wertschöpfungsrelevanten Informationsstruktur im Analysebereich der Produktion. Die identifizierten Eigenschaften der Informationsflüsse werden nachträglich bewertet. Dazu wird ein Abgleich zwischen verarbeiteten Informationen (Output) und verwendeten Informationen (Outcome) im Wertschöpfungsprozess durchgeführt. Als Ergebnis wird der Nutzen von Informationen als Beitrag der Wertschöpfung beurteilt. Ein fehlender Nutzen, verarbeiteter Informationen, wird als Verschwendung im Informationsfluss definiert. Für ermittelte Verschwendungen werden Entwicklungsmaßnahmen definiert, um diese kontinuierlich zu optimieren (vgl. Meudt et al. 2016).

### 5.3.5 DISKUSSION DER ERGEBNISSE

Die in 5.3.4 dargestellten Ansätze werden im weiteren Verlauf diskutiert.

Generell wurde festgestellt, dass Herkunft, Detaillierungsgrad, Art der Konzeption und inhaltlicher Fokus der Ansätze teilweise stark voneinander abweichen.

Zusammenfassend ist festzuhalten, dass keiner der dargestellten Ansätze die Anforderungen vollständig erfüllt. Allerdings werden alle Anforderungsgruppen mindestens durch zwei der untersuchten Ansätze vollständig erfüllt. Ein integrativer Ansatz der analysierten Perspektiven im Einführungsprozess des DRK, bleibt dabei jedoch aus. Um die geforderte Integration auf Grundlage der bestehenden Ansätze weiterzuentwickeln, werden nachfolgend die inhaltlichen Erkenntnisse der bestehenden Beiträge zusammengefasst und diskutiert.

Die Spezifika der top sieben Ansätze aus Kap.: 5.3.4 liegen in den Bereichen:

*Ziele und Aufgaben der PPS (28), Referenzvorgehen zur Integration von GP (29), Reifestufen im Entwicklungsprozess betrieblicher Anwendungssysteme (37), Rollen und Abhängigkeiten im IT-Projektmanagement (05), Zustandsanalyse und Bewertung der MTO-Dimensionen (15), Roadmapping zur MTO-Dimensionierung (32) und Potenzialanalyse der Informationsflüsse im Wertschöpfungsprozess (35).*

Alle Ansätze verbindet der Anspruch die Implementierung optimierter Wertschöpfungsprozesse mit Hilfe betrieblicher Anwendungssysteme zu unterstützen. Dabei ist festzustellen, dass die Konsistenz im Einführungsverfahren nicht klar erkennbar ist. Zum einen, da der Detaillierungsgrad nicht ausreichend beschrieben wird (5) (15) (32) (37) und zum anderen, da fehlende Qualitätsschranken im Vorgehen keine verpflichtenden Merkmale als Eingangsgrößen sequentieller Aktivitäten definieren (28) (29) (35). Vor dem Hintergrund der unterschiedlichen Ziele der Ansätze, besteht hierzu teilweise auch kein direkter Anspruch (29) (15). In den Ergebnissen der Analyse ist erkennbar, dass eine Korrelation zwischen fehlender Praxistauglichkeit und Führungsunterstützung [AF01] sowie einem qualitätsgesichertem Einführungsverfahren mittels V+V [AF04] besteht. Einzig (35) erfüllt beide Anforderungsgruppen vollständig. Da (35) mit der Ermittlung der Potenziale endet, fehlen weitere Aktivitäten zur Sicherung der bis dato erzielten Ergebnisse. Die gleichzeitige Erfüllung von AF01 und AF04, im Sinne praktikabler und qualitätsgesicherter Anforderungen, kann als Optimierungspotenzial bestehender Ansätze im Technologietransfer angesehen werden.

Gleichwohl, wenn zwischen den Zielen *Sicherheit* und *Gebrauchstauglichkeit*<sup>48</sup> ein anerkannter Zielkonflikt vorliegt (DIN-VDE 351/1 2011).

---

<sup>48</sup> auch als Benutzerfreundlichkeit/Anwendbarkeit bezeichnet

Generell werden in allen Vorgehensweisen sehr früh der aktuelle Zustand sowie Ziele und Potenziale im System analysiert. Darauf aufbauend werden alternative Gestaltungsoptionen definiert und nachfolgend Maßnahmen zur Lösung spezifiziert. Die eigentliche Validierung zur Entscheidungsfindung bleibt dabei weitestgehend aus (05) (15) (29) (32) (37). Die Kerninhalte der top sieben Ansätze werden nun kurz beschrieben: Die Wertstromanalyse 4.0 (35) endet mit der Darstellung des aktuellen Zustandes der digitalen Produktionsflüsse. Der Detaillierungsgrad der fachlichen Inhalte und dessen Ergebnisse sind im Vergleich am stärksten ausgeprägt. Die ARIS Methode definiert hingegen einen Fachdomänen<sup>49</sup> unspezifischen Ablauf. Auf Grundlage der Architektur integrierter Informationssysteme, werden unterschiedliche Perspektiven im Vorgehen zur Einführung vereint. Wie bereits ab Kapitel 3.4 vorgestellt bietet ARIS eine Referenz zur Strukturierung einzelner Perspektiven. Die inhaltliche Definition von Zielen und Aufgaben wird hierbei nicht diskutiert. Diese inhaltliche Perspektive der fachlichen Ziele wird hingegen von den Ansätzen Aachener PPS Modell (Aufgaben und Ziele der Produktion) und Digital Transformation Cycle (Aufgaben und Ziele zwischen Fachdomäne und IT-Implementierung) eingenommen. Keiner der untersuchten Ansätze diskutiert das Thema des Regelkreises als operativ-fachliches Ziel der Implementierung. Allerdings transportiert das Vier Stufen Modell (37) das Konzept des Regelkreises in Form einer eigenen Reifestufe im Vorgehen. Hier wird die Zielstruktur „Regelkreise und Dezentralisierung als Teil der selbstregelnden Fabrik“ explizit genannt (vgl. Kletti 2016). Weiterhin detailliert (28) die Bedeutung, Struktur und Integration von Regelkreisen als Organisationsform der PPS (Schuh und Stich 2012b).

Allerdings werden hierzu die Elemente und Potenziale der SF (vgl. Kap.: 2) nicht in einen gemeinsamen Kontext gestellt.

Festzuhalten gilt, dass alle Ansätze einen Beitrag zur Erfüllung der Anforderungen leisten. Die Kombination aus einem praktisch anwendbaren Vorgehen, welches unterschiedliche Fachdomänen (vornehmlich Produktion und IT) miteinander verbindet, fachliche Ziele definiert und Konflikte diskutiert, scheint die Hauptaufgabe einer erfolversprechenden Konzeption zu sein. Dem integrierten Anforderungsprozess (RQ07), als Grundlage weiterer Aktivitäten, kommt dabei eine besondere Rolle zur Sicherung der Entwicklungsqualität zu. Ein konsistentes Vorgehen, welches es ermöglicht aus der fachlichen Analyse im Wertschöpfungsprozess, Anforderungen, Voraussetzungen und Handlungsalternativen für einen nachhaltigen Softwareeinsatz der Organisation abzuleiten, bedingt dabei den Perspektivwechsel zwischen den

---

<sup>49</sup> Domäne im Sinne von Fachdomäne (Einkauf, Vertrieb, Produktion, Qualitätssicherung etc.)

Kompetenzbereichen. Eine Konzeption zur Erfüllung der verbalisierten Anforderungen RQ01 bis RQ 12 (vgl. Kap.: 5.3.3) wird somit als valider Lösungsbeitrag angesehen.

## 5.4 BEITRAG DER EIGENEN ARBEIT

Im folgenden Teil wird der Anspruch an den eigenen Forschungsbeitrag definiert. Dabei werden die ermittelten Anforderungen, im Abgleich mit den verwandten Arbeiten, zur Ableitung des Forschungsbedarfs genutzt.

### 5.4.1 KONZEPT ZUR ENTWICKLUNG DER SELBSTORGANISATION

Als ablauforientiertes Strukturelement der SF sind Regelkreise fester Bestandteil geregelter GP. Somit besteht ein Mehrwert in dessen Betrieb. Gleichzeitig besteht der Bedarf zum Auf- und Ausbau dieser Organisationsform für vorhandene Produktionssysteme (vgl. Kap.: 5). Demnach besteht ein Mehrwert in der strukturellen Detaillierung regelkreisspezifischer Merkmale sowie dessen konzeptionelle Übertragbarkeit in die SF. Hierbei sollen Fragen zu Bestandteilen, Eigenschaften und Voraussetzung dieser Regelkreise beantwortet werden.

Der vielfach beschriebene Ansatz einer „digitalen Transformation“ entspricht in diesem Kontext der Überführung zustandsabhängiger Ereignisse und Abhängigkeiten der Realität. Diese sollen als digitale Zustandswechsel und Verarbeitungsroutinen in das Umfeld betrieblicher Anwendungssysteme eingehen. Der Ansatz soll für den Betrieb von Regelkreisen, als Methode zur Förderung der Selbststeuerung, im Besonderen gelten. Der Begriff des DRK wurde hierzu definiert (vgl. Kap.: 5.3.2). Diese beschreibt das Zielsystem im Forschungsraum der SF. Die Kompetenz zum Aufbau, der Einführung, Reifeentwicklung und dem Betrieb DRK, soll durch den Beitrag der eigenen Arbeit konzeptionell unterstützt werden. Hierbei wird der Entwicklungsprozess zur Schaffung des Zielsystems fokussiert. Die Anforderungen und Forschungsfragen aus Kapitel 5.3.3 im Abgleich der verwandten Arbeiten aus 5.3.4 zeigen einen Handlungsbedarf. Dieser besteht in der gemeinsamen Erfüllung der Anforderungen in einem Ansatz. Dabei sollen die unterschiedlichen Perspektiven in ein Vorgehen einfließen, welches ermöglicht dessen Beziehung zueinander strukturiert zu analysieren und zu konzipieren. Als Ergebnis der Konzeption soll es ermöglicht werden konsistente Anforderungen zum Ressourceneinsatz zwischen den Dimensionen Mensch, Technik und Organisation zu ermitteln, um somit einen Beitrag zu den Zielen der SF zu leisten. Hierdurch sollen die Ziele aus Kapitel 1.3 als Antworten der Forschungsfragen aus Kapitel 5.3.3 erreicht werden. Nachgelagerte Digitalisierungsmaßnahmen zur Erfüllung der konzeptionell ermittelten Anforderungen sollen dazu die Umsetzung des DRK als Zielsystem in der SF ermöglichen.

#### 5.4.2 ABGRENZUNG DES DIGITALEN REGELKREISES

In Kapitel 5.3.2 wurde der DRK definiert. Hierzu werden nun Umfang, Fokus und Anwendung dargestellt.

Als übergeordnete Gestaltungsaufgabe der SF, ergibt sich der Bedarf Maßnahmen zur Realisierung horizontaler und vertikaler Informationsflüsse zu identifizieren. Diese sollen als Ergebnis einen Mehrwert im Sinne der Produktionsziele bieten. Zur Realisierung dieser Mehrwerte ist die Erfüllung operativer Rahmenbedingungen notwendig. Diese müssen dabei durch den Einsatz von MTO in Form von Kompetenzen sichergestellt werden. Die alternative Anordnungsbeziehung von MTO ermöglicht wiederum unterschiedliche Maßnahmen zur Gestaltung der Rahmenbedingungen im Produktionssystem. Um den Prozess zur Gestaltung für MTO operativ zu unterstützen, sollen Strukturelemente die Spezifikation konkreter Anforderungen an MTO ermöglichen. Eine Methodik zur operativen Anforderungsanalyse soll als Ergebnis hervorgehen. Dabei wird das Ziel verfolgt, den Kompetenzaufbau zur Definition valider Anforderungen zu unterstützen.

Diese sollen die Ziele der Produktion mit Hilfe DRK realisieren.

Die forschungsseitigen Anforderungen aus 5.3.3 sollen somit anhand der Forschungsfragen in Tabelle 6 erfüllt werden können. Als Grundlage der Lösungsfindung sollen hierzu die Kompetenzbereiche aus Kapitel 3 einfließen.

Klassischerweise werden interdisziplinäre Ansätze zur Steigerung der systemischen Interoperabilität in den Kompetenzbereichen des Systems Engineering, des System of Systems Engineering und des Enterprise Architecture Managements diskutiert (vgl. Weinert 2018, S. 7–26).

Deren methodische Anwendung in realen Systemen wird dazu in Vorgehensmodellen der Systementwicklung vertieft (Blanchard und Blyler 2016).

Der Ansatz des DRK nutzt diesen systemischen Grundgedanken und konzipiert daraus Strukturelemente zur Ableitung einer domänenspezifischen Methodik.

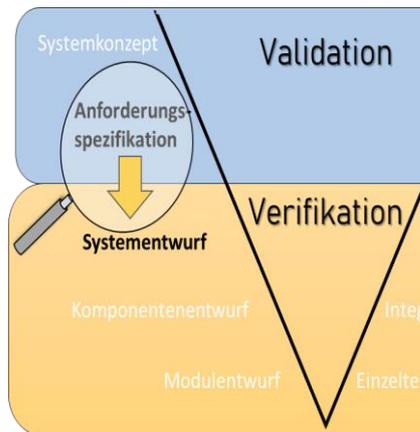
Die inhaltliche Aufbereitung der fachlichen Kompetenzen (Grundlagen aus Kapitel 3) soll dabei zur Erfüllung der Bedarfe in der Domäne industrieller Produktionssysteme beitragen. Die Methodik fokussiert hierzu die Phasen der Anforderungsanalyse und Systementwurf zur Gestaltung der GP im Sinne der SF.

## **6. KONZEPTION DES DIGITALEN REGELKREISES**

Dieses Kapitel beschreibt den eigenen Ansatz zur Konzeption des DRK. Im Unterschied zur Definition des DRK (vgl. Kap.: 5.3.2), welche den Forschungsgegenstand als Zielsystem eingrenzt, wird innerhalb der nun folgenden Konzeption das Vorgehen zur Gestaltung des definierten Zielsystems diskutiert. Dessen Eigenschaften zur Gestaltung werden hierzu beschreiben. Dabei werden Ziele und Aufgaben, Voraussetzungen, Aufbaustruktur, Entwicklungsphasen, Reifegrade, Kontrollpunkte und Kompetenzbedarfe zur Gestaltung und Entwicklung des DRK beschrieben. Diese Eigenschaften werden in den Unterkapiteln 6.1 bis 6.7 vertieft. Abschließend werden in Kapitel 6.8 die vorgestellten Elemente in eine gemeinsame Konzeption zusammengefasst.

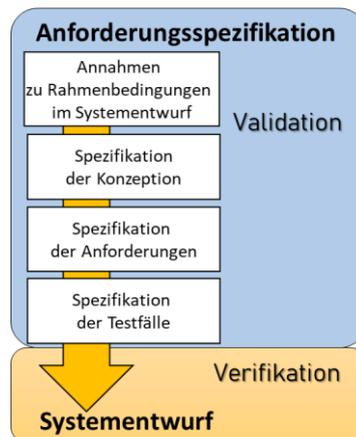
### **6.1 ZIELE UND AUFGABEN**

Als übergeordnetes Ziel des DRK wird die Unterstützung von Produktionszielen durch den Einsatz von IT angesehen. Konkrete Anforderungen wurden in Kapitel 5.3 und Kapitel 5.4 spezifiziert. Die Konzeption dient nun zur Sicherung dieser Anforderung. Hierzu sollen Aufgaben definiert werden, welche die Rahmenbedingungen im Produktionssystem analysieren. Mit Hilfe qualitätssichernder Entscheidungspunkte soll nachfolgend eine Vorgehensmethodik diese Aufgaben strukturieren und die Spezifikation von Anforderungen an das Produktionssystem ermöglichen. Als Ergebnis sollen valide Anforderungen zur Gestaltung der Ressourceneinsätze beitragen. Ausgehend von einem Reifegradverständnis des DRK soll dabei dessen Entwicklung erfolgen. Nachfolgend wird der Konzeptionsansatz anhand des V-Modells eingeordnet.



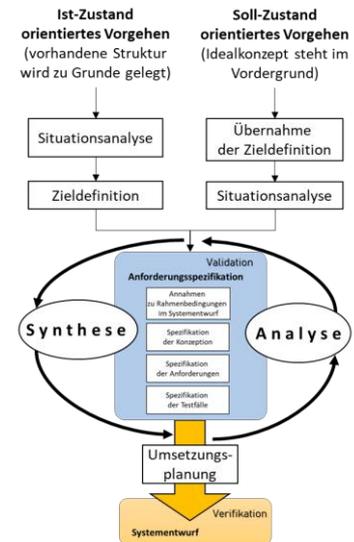
**ABBILDUNG 27 -  
AUSZUG V-MODELL**

Eigene Darstellung nach  
Böhm 1979



**ABBILDUNG 28 -  
ANFORDERUNGSSPEZIFIKATION**

Eigene Darstellung in Anlehnung an  
(Aßmann 2015)



**ABBILDUNG 29 -  
PROBLEMLÖSUNGSZYKLUS**

Eigene Darstellung in Anlehnung an  
(Haberfellner et al. 2012) aus  
(Schuh 2012)

Die Abbildung 27 bis Abbildung 29 beschreiben dazu den Zusammenhang. In Abbildung 27 ist ein Auszug des V-Modells dargestellt.

Das Ergebnis der hier angestrebten Konzeption soll dabei die Schnittstelle zwischen der Systemkonzeption und dem Systementwurf unterstützen. Abbildung 28 detailliert dazu die Teilschritte der Anforderungsspezifikation. Diese beinhaltet die Konzeption, die Anforderungsermittlung, die Testfälle und die Rahmenbedingungen zum Systementwurf. Danach folgt die Umsetzungsplanung zum Entwurf. In Abbildung 29 wird die Phase der Anforderungsspezifikation in den allgemeinen Problemlösungsprozess zwischen Analyse und Synthese eingeordnet. Hierbei wird ein Ist.- oder Soll.-Zustand orientiertes Verfahren unterschieden. Der Einstieg in die Entwicklungsphasen des DRK erfolgt dabei über die Ermittlung des Beitrags zu den Produktionszielen<sup>50</sup>. Der Beitrag zur Erfüllung der Produktionsziele validiert somit die Anforderung des DRK im Sinne der V+V. Ziel der Konzeption ist die Spezifikation valider Anforderungen.

Durch valide Anforderungen im Entwicklungsansatz durch V+V wird die Qualität von Entscheidungen zur Systemgestaltung (Design) im Sinne der Systemstabilität sichergestellt (vgl. Grande 2014, S. 104–105).

In einem weiteren Schritt soll die Sequenzierung abhängiger Aufgaben und Ergebnisse der Konzeption folgen.

<sup>50</sup> vgl. Kapitel 2.5 und Kapitel 3.5

Durch die alternative Möglichkeit zur Gestaltung der Ausprägungen für die Dimensionen MTO, nimmt die Phase der Anforderungsspezifikation in der SF eine besondere Bedeutung im gesamten Entwicklungsprozess ein. Die Konsistenz zwischen den angenommenen Rahmenbedingungen im System<sup>51</sup> im Abgleich zur fachlichen Konzeption, den konkreten Anforderungen an Softwarefunktionalität und den damit verbundenen Testfällen, definiert dabei die Validität der Gesamtanforderung.

Dieser Prozess soll im Sinne der Ziele der SF unterstützt werden. Hierbei soll der Systementwurf anhand der Produktionsziele ausgerichtet werden können. Der Ressourceneinsatz leitet sich dabei aus dem Prozessentwurf (das Design des GP) ab und wird anhand der Regelaufgabe spezifiziert. Als Grundlage der Anforderungsspezifikation sollen Voraussetzungen und Aufbaustruktur des DRK dienen. Diese werden nachfolgend erläutert.

---

<sup>51</sup> Hierbei handelt es sich um die angenommenen Ausprägungen für die Ressourceneinsätze der Dimensionen Mensch, Technik und Organisation

## 6.2 VORAUSSETZUNGEN

Um den diskutierten Anforderungen eines DRK nachzukommen, müssen infrastrukturelle Rahmenbedingungen zur Verarbeitung digitaler Daten im GP sichergestellt sein. Durch einen entsprechenden Reifegrad der technischen Interoperabilität müssen hierbei funktionelle Aufgaben der Datenverarbeitung übernommen werden. Der Einsatz von Hardware- und Softwarekomponenten dient dabei zur Realisierung des geschlossenen Informationsflusses zwischen den potenziellen Regelementen im GP.

Die Systemarchitektur der Anwendungsumgebung<sup>52</sup> muss dazu die Erfüllung folgender Anforderungen unterstützen:

- Definition von Sollwerten zur Erstellung der Führungsgröße
- Integration einer Sensoreinheit zur Erfassung der Regelgröße
- Definition von Bedingungen zur Konfiguration des Reglers
- Definition von Bedingungen zur Gestaltung des Kontrollflusses
- Integration eines Aktors zu Übermittlung der Stellgröße
- Aktivierung eines Datenaustausches zwischen den Regelementen

Die Anforderungen fokussieren jeweils den Datenfluss zur technischen Einbindung der Daten aus den Aktivitäten der GP. Um einen DRK betreiben zu können, ergeben sich aus den Anforderungen funktionale Voraussetzungen der Systemarchitektur.

Diese werden in Tabelle 7 aufgeführt und anhand der PPS-Aufgabe „Qualitätssicherung“ exemplarisch veranschaulicht.

Die Voraussetzungen fokussieren dabei die Bedarfe infrastrukturellen IT-Komponenten zur Aktivierung der technischen Datenverarbeitung im GP.

Bei Verfügbarkeit betrieblicher Anwendungssysteme (vgl. Kap.: 3.4.2) können diese Voraussetzungen im Allgemeinen erfüllt werden (Fink et al. 2005).

---

<sup>52</sup> Betrieb mehrerer Anwendungssysteme zur Unterstützung der GP (vgl. Kap.: 3.4)

ID	Name	Beschreibung	Aufgabe	Kürzel	Beispiel für Datenverarbeitung
PR01	Nutzdaten	Stamm- und Konfigurationsdaten zur Verwaltung von Sollwerten und Bedingungen müssen definierbar sein.	Reproduzierbarkeit der Regelaufgabe sichern	<b>masta data</b>	Der <b>Sollwert</b> eines Prüfmerkmals wird als Stammdatensatz im Datenobjekt Prüfplan mit der Ausprägung <b>1,6 mm</b> definiert
PR02	Schnittstelle Mensch → Maschine	Kommunikation zwischen Mensch & Maschine muss möglich sein.	Übertragung von realen in digitale Informationen sicherstellen	<b>H2M</b>	Ein Mitarbeiter <b>erfasst manuell</b> einen <b>Messwert am PC-Client</b> als Bewegungsdaten des produktbezogene Prüfmerkmals.
PR03	Zeitverhalten	Eine Unterscheidung zwischen manueller, ereignisbezogener, zyklischer und stetiger Verarbeitung muss möglich sein.	Übertragungszeiten zwischen den Regелеlementen sicherstellen	<b>runtime</b>	Bei Eingabe des Messwertes wird der Eingabewert, bei Einhaltung der Plausibilitäts-grenzen, <b>unmittelbar als Protokollsatz</b> in die <b>DB geschrieben</b> .
PR04	Zustandsänderung	Bewegungsdaten, Ereignisse und Messwerte müssen regelbasiert überwachbar sein.	Messgenauigkeit sicherstellen	<b>monitoring</b>	Eine <b>Verarbeitungsfunktion vergleicht</b> einen protokollierten <b>Messwert mit dem Sollwert</b> des Prüfmerkmals. Bei verletztem Toleranzwert wird das Ereignis „Grenzwert“ in der DB protokolliert.
PR05	Bedingte Kommunikation	Zustände müssen regelbasiert kommunizierbar sein.	Übertragung der Regelwerte zwischen den Regelementen sicherstellen	<b>workflow</b>	Wurde das Ereignis „Grenzwert“ protokolliert, werden dessen Metadaten als <b>neue Nachricht</b> an einen <b>Empfängerkreis</b> (User) zugestellt und DB-seitig protokolliert.
PR06	Schnittstelle Maschine → Mensch	Kommunikation zwischen Maschine & Mensch muss möglich sein.	Übertragung von digitalen in reale Informationen sicherstellen	<b>M2H</b>	Einem Mitarbeiter wird eine <b>Nachricht</b> zu einem verletzten Grenzwert, samt zugehöriger Metadaten als <b>Tabelleneintrag</b> einer <b>Client-Anwendung</b> , angezeigt.
PR07	Schnittstelle Maschine → Maschine	Kommunikation zwischen Maschine & Maschine muss möglich sein.	Übertragung von digitalen in digitale Informationen sicherstellen	<b>M2M</b>	Wird das Ereignis „Grenzwert“ für einen definierten Arbeitsplatz protokolliert, wird eine <b>Funktion aktiviert</b> . Diese ändert die aktuelle Bit-Stellung einer gewerblichen <b>SPS</b> . Die geänderte Stellung setzt das Ausgangssignal einer <b>LED</b> am Arbeitsplatz auf den Wert der Farbe <b>ROT</b> .

TABELLE 7 - VORAUSSETZUNGEN - DIGITALER REGELKREIS

Der Bedarf der obigen Voraussetzungen resultiert aus den Zielen der datengetriebenen Regelaufgabe (vgl. Kap.: 3.7.1 und 3.7.2). Der Datenfluss zwischen Regelementen unterstützt dabei die Verhaltenskontrolle der Regelgröße.

Wird eine der operativen Aufgaben am Regelement primär vom Menschen übernommen (manuell), so müssen die Voraussetzungen (PR01 bis PR06) durch technische Interoperabilität sichergestellt werden. Übernimmt eine Maschine dagegen primär eine der Aufgaben erweitert sich der Bedarf (um PR07) um die Voraussetzungen (M2M). Im Anhang A45 wird hierzu ein Szenario vorgestellt, welches die obigen Voraussetzungen für die Ressourcen Mensch und Maschine diskutiert.

Die Anforderung PR07 (M2M) ist dabei nicht auf die Fertigungsebene<sup>53</sup> beschränkt (vgl. Kap.: 3.4.4), sondern gilt für alle Hierarchieebenen des RAMI (vgl. Kap.: 3.2.2).

Mit zunehmender Automatisierung der Kontrollflüsse steigt der Bedarf zum Ausbau der technischen Interoperabilität. Dieser Zusammenhang wird durch die Anforderung „Betriebliche Anwendungssysteme integrieren“ (vgl. Kapitel 5.3.2) beschrieben und definiert gleichzeitig die Grenzwerte zulässiger Lösungen.

Die Voraussetzungen (PR01-PR07) bilden hierzu die Rahmenbedingungen.

Verletzte Rahmenbedingungen können sich dabei aus einer fehlenden Infrastruktur zur Verwaltung der Datenobjekte im Umfeld der PPS ergeben (vgl. Kap.: 3.4.2). Betriebliche Anwendungen welche bspw. nicht im Sinne der IT-Strategie betrieben werden, nicht über eine Release-Planung verfügen, keine objektorientierte Datenstruktur unterstützen oder dessen Methoden sich nicht an den *Prinzipien der Softwaretechnik*<sup>54</sup> orientieren, verstoßen gegen diese Grundsätze (vgl. Kap: 3.3.4).

Diese Anwendungen können nur mit deutlich erhöhtem Risiko den Betrieb der SF ermöglichen. Die Ausbaufähigkeit des DRK würde dabei durch fehlende Potenziale zur Steigerung der technischen IO eingeschränkt. Die Nachhaltigkeit und Ausbaufähigkeit der Architektur würden negativ beeinflusst. Allgemeine Prinzipien der Softwarearchitektur sollten daher eingehalten werden, um einen nachhaltigen Systembetrieb zu ermöglichen (vgl. Balzert und Liggesmeyer 2011, S. 23–34).

Daher gelten die Forderungen 1-7 samt der IT-Produkt- und Betriebsstrategie als Rahmenbedingungen der Infrastruktur. Bei nicht-erfüllten Rahmenbedingungen, bspw. bei gänzlich fehlender oder nicht dokumentierter Infrastruktur, müssen diese zunächst im Sinne der IT-Strategie geschaffen werden.

---

<sup>53</sup> ISA 95 – Level 0, 1, 2

<sup>54</sup> z.B. Abkapselung, Abstraktion, Lokalität, Vollständigkeit, Nachweisbarkeit, keine Redundanz  
Quelle: Balzert und Liggesmeyer 2011.

### 6.3 AUFBAUSTRUKTUR

Nachdem das Zielsystem des DRK bereits in Kapitel 5.3.2 definiert wurde, soll dieser nun konzipiert werden. Dazu zeigt Tabelle 8 die Anforderungen an das Zielsystem des DRK auf Grundlage der definierten Merkmale aus Kapitel 5.3.2.

Nr.	Anforderung / Merkmal	Ziel
①	Produktionsziel unterstützen	eine der Dimensionen Qualität, Kosten, Zeit optimieren
②	Potenziale der Automatisierung nutzen	eine der Eigenschaften Geschwindigkeit, Genauigkeit, Stabilität, Wiederholbarkeit, oder Aufwandsreduktion nutzenbringend aktivieren
③	Leistungsverluste der Produktion mindern	einen Beitrag zur Steigerung der Wertschöpfung im Produktionssystem leisten
④	Verhaltenskontrolle industrieller Produktionsaufgaben ermöglichen	den Erfüllungsgrad von Aufgaben zur Planung und Steuerung der Produktion im Sinne der PPS stabilisieren
⑤	Betriebliche Anwendungssysteme integrieren	die Integration von horizontalen und vertikalen Informationen, mit Hilfe der Datenmodelle aus Unternehmensleitebene, Fertigungsleitebene und Fertigungsebene umsetzen, um Datenobjekte im GP zu verwalten
⑥	arbeitsteilige Geschäftsprozesse integrieren	den Informationsfluss der Arbeitsteilung auf die Ziele der Kernprozesse ausrichten
⑦	geschlossenen Wirkprozess etablieren	einen wiederkehrenden, sequentiellen Informationsfluss zwischen den Regelementen etablieren
⑧	digitale Kontrollstrukturen nutzen	eine bedingte Überwachung und Anpassung realer Zustände ermöglichen
⑨	Unternehmensebenen berücksichtigen	die Aufbauorganisation (Stellen) in die Entscheidungslegitimation einfließen lassen
⑩	Prinzip der Selbstorganisation fördern	die Aufgaben der Regelemente durch den MTO Ressourceneinsatz sicherstellen

TABELLE 8 - EIGENSCHAFTEN UND ANFORDERUNGEN IM DIGITALEN REGELKREIS

Um die dargestellten Anforderungen und Ziele in die Konzeption einschließen zu lassen, zeigt Abbildung 30 einen Entwurf der Aufbaustruktur des DRK. Der Entwurf fasst die bisher diskutierten Anforderungen visuell zusammen. Die Grundstruktur des technischen Regelkreises (Kapitel 3.7.1) wird dabei als Grundlage verwendet.

Zusätzlich wurden die obigen Anforderungen aus Tabelle 8 kontextuell ergänzt.

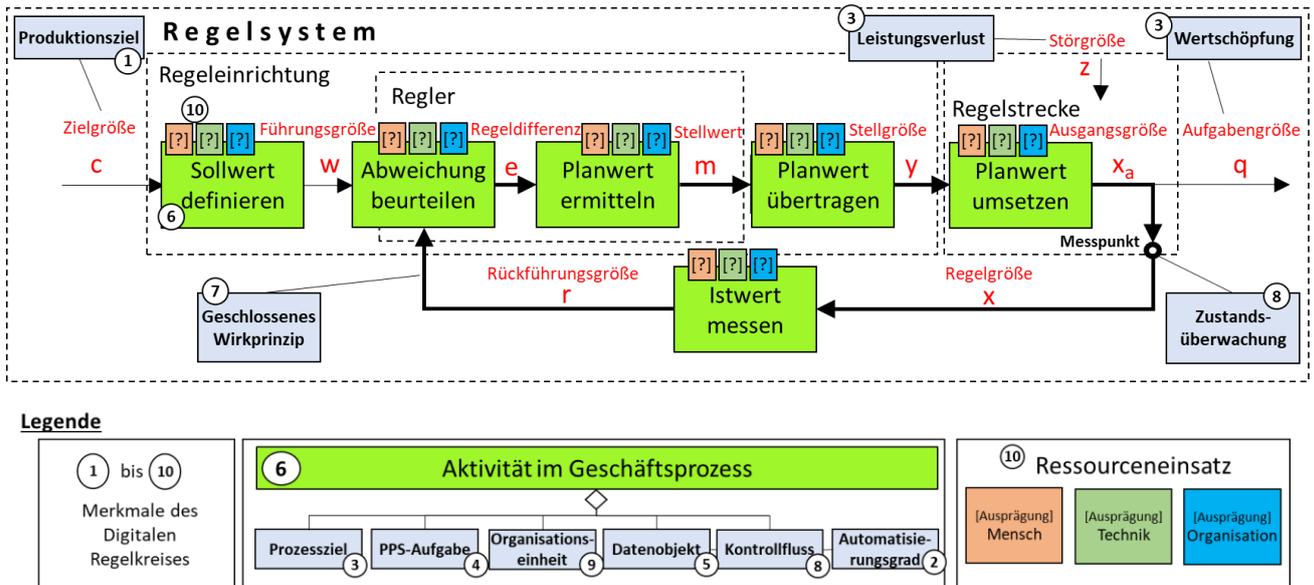


ABBILDUNG 30 - ENTWURF DES DIGITALEN REGELKREISES

Ausgehend vom Wirkprinzip des technischen Regelkreises stellt Abbildung 30 die bisherigen Ergebnisse in einen gemeinsamen Kontext. Dabei referenziert Abbildung 30 die Merkmale 1 bis 10 aus Tabelle 8. Der Entwurf resultiert aus dem Verständnis, dass **in Organisationen, die Funktionen der technischen Regelemente als Aufgaben der dortigen Geschäftsprozesse** übernommen werden (müssen).

Zur Aktivierung des Regelprinzips müssen hierzu die Aufgaben der Regelemente in Form von **Aktivitäten der GP** ausgeführt werden. Tabelle 9 zeigt diese Analogie:

Technisches Regelement	Übertragungsaufgabe	Aktivität im Geschäftsprozess
Führungsgrößenbilder	$c \rightarrow w$	Sollwert definieren
Messglied	$x \rightarrow r$	Istwert messen
Vergleicher	$(w-r) \rightarrow e$	Abweichung beurteilen
Regelglied	$e \rightarrow m$	Planwert ermitteln
Steller	$m \rightarrow y$	Planwert übertragen
Stellglied	$y \rightarrow x_a$	Planwert umsetzen

TABELLE 9 - REGELEMENTEN IM GESCHÄFTSPROZESS

Die konkrete Aktivität im GP (6) wird dabei durch die Merkmale Automatisierungsgrad (2), Prozessziel (3), PPS-Aufgabe (4), Datenobjekt (5), Kontrollfluss (8) und Organisationseinheit (9) charakterisiert. Diese entsprechen den Merkmalen des DRK (Tabelle 8). Weiterhin zeigt Abbildung 30 die Merkmale Produktionsziel (1), Wertschöpfung (3), Geschlossenes Wirkprinzip (7) und Zustandsüberwachung (8) und referenziert hierzu betroffene Elemente im technischen Regelsystem. Der Ressourceneinsatz zur Selbstorganisation (10) wird durch die Dimensionen Mensch, Technik und Organisation pro Regelement signalisiert. Jede Durchführung einer

Aktivität im GP erzeugt dabei einen Ressourcenbedarf. Der potenzielle Ressourceneinsatz wird durch die Alternativen aus „MTO [?][?][?]“ signalisiert. Dabei charakterisiert der Ressourceneinsatz *Mensch* eine primär manuelle Ausführung der Aktivität. Die Ressource *Technik* charakterisiert eine primär maschinelle bzw. computergestützte Ausführung und die Ressource *Organisation* charakterisiert einen vorgelagerten GP, dessen Prozessziel in der Aufgabenerfüllung der Aktivität liegt.

Der Entwurf (Abbildung 30) fasst alle Elemente des DRK zusammen. Die Elemente dienen nachfolgend zur Definition von Teilaufgaben und deren Abhängigkeiten im Zuge der Dimensionierung des DRK. Abschließend wird die Perspektive des GPM für den Aufbau des DRK dargestellt (Abbildung 31):

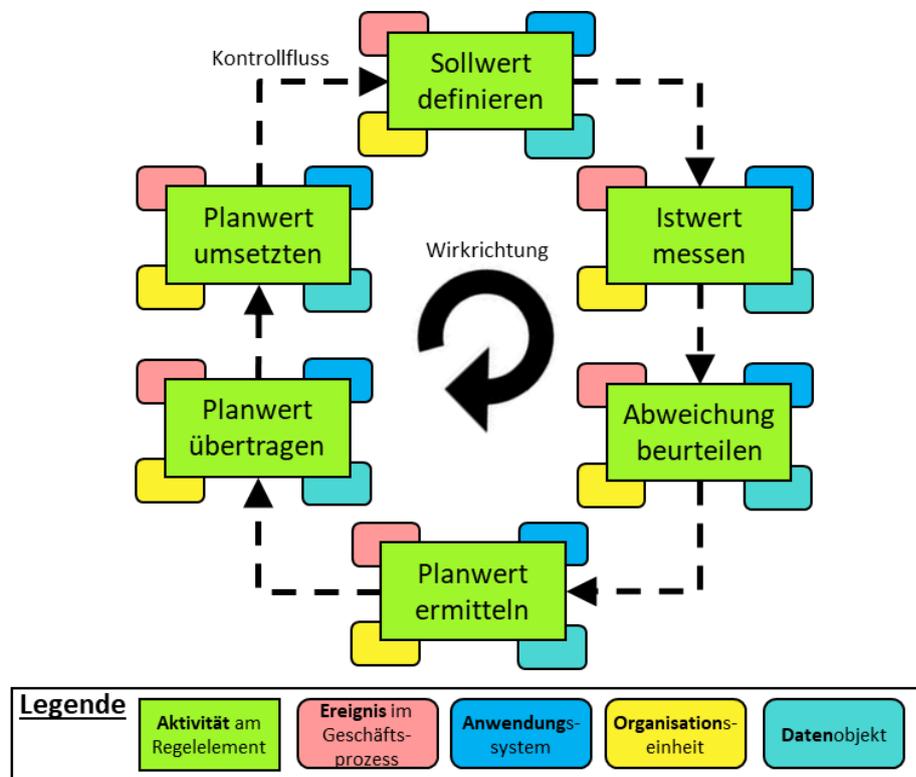


ABBILDUNG 31 - AUFBAUSTRUKTUR DES DIGITALEN REGELKREISES

Die Aufbaustruktur dient zur Identifikation und Strukturierung der Aktivitäten im GP. Zudem sollen deren Eigenschaften und Zustandsänderung (Ereignissen), verwendete IT-Systeme (Anwendungssystem), beteiligte Stellen (Organisationseinheit) und eingesetzte Informationsträger (Datenobjekte) spezifiziert werden. Diese Darstellung entspricht dem Modellierungsansatz von ARIS (vgl. Kap: 3.4.1) und erlaubt die Dokumentation relevanter Eigenschaften im Wirkprozess der Regelung.

## 6.4 ENTWICKLUNGSPHASEN

Mit Hilfe einer Vorgehensmethodik sollen einzelne Phasen zur Konzeption des DRK durchlaufen werden. Zwischen den einzelnen Phasen sollen Entscheidungspunkte (Gates) genutzt werden. Diese definieren den Input nachfolgender Arbeitsschritte auf Grundlage erzielter Ergebnisse. Ausgehend von den Anforderungen an die Eigenschaften des DRK, wurden folgende Phasen zur Entwicklung ermittelt:

Gate	Phase	Ziel	Ergebnis/Output
1	Regelpotenzial identifizieren	PPS Aufgabe definieren	Verbesserungspotenzial
2	Produktionsziel definieren	Messgröße zur Bewertung festlegen	Soll-Zustand für Produktionsziel
3	Geschäftsprozess identifizieren	Ist.-Prozess erfassen	Dokumentation des GP
4	Teilprozess identifizieren	Ist.-Prozess zerlegen	Definition der Teilprozesse
5	Regelkreis identifizieren	Wirkprozess (Ist) zur Sicherung des Produktionsziels erfassen	Dokumentation des Ist.-Regelkreis
6	Regelaufgabe bewerten	Einfluss des Regelkreises auf das Produktionsziel ermitteln	Validation der Regelaufgabe
7	Regelgüte bewerten	Schwachstellen (Ist) im Wirkprozess erfassen	Verifikation der Ist-Regelgüte
8	Anforderung an Regelgüte für Produktionsziel definieren	Kontrollpunkte definieren	Definition der Soll-Regelgüte
9	Anforderung an globale Regelgüte definieren	Aufgaben der Regelemente als Aktivitäten im GP definieren	Definition der Soll- Regelemente
10	Anforderung an Ziele lokaler Regelemente spezifizieren	Regelemente zur Erfüllung der Soll.-Regelgüte definieren	Anforderung der Soll.-Regelgrößen
11	Kontrollfluss der Regelemente definieren	Input-Output Verarbeitung definieren	Soll-Wirkprozess
12	Teilprozess analysieren	Fehlende MTO Ausprägungen definieren	Prozessqualität (Ist)
13	Anforderungen an Interoperabilität spezifizieren	Anforderungen an MTO Ressourceneinsatz definieren	Prozessqualität (Soll)
14	Kompetenzeinsatz für Transformation definieren	MTO Dimensionen bewerten	Automatisierungsgrad
15	Anforderungsspezifikation	Definition der Rechte und Pflichten für den Entwurf	Testfälle

TABELLE 10 - PHASEN UND ENTSCHEIDUNGSPUNKTE DER METHODIK

Um hierarchische Abhängigkeiten, sequentiellen Folgen und eine Ergebnisüberwachung in die Methodik einzuführen, wurden logische Verbindungen der Phasenziele untersucht. Hierbei wurde der Zusammenhang zwischen Anforderungen an den DRK (Kap.: 5.3.3) und den notwendigen Ergebnissen einzelner Teilaktivitäten analysiert. Es wurden Reihenfolge, Zusammengehörigkeit und Ergebnisabhängigkeit strukturiert. Im Zuge der Strukturierung ergab sich die Erkenntnis über Beziehungsarten

der Aktivitäten. Zur Erfüllung der Phasenziele (Tabelle 10) wurden folgende Beziehungsarten der Aktivitäten identifiziert:

„Eine Aktivität besitzt die Eigenschaft...

- ...ein vorgelagertes Ergebnis als Input zu benötigen (besitzt Vorgänger)
- ...ein Teil einer übergeordneten Aktivität zu sein (gehört zu)
- ...sein Ergebnis in eine nächste Phase zu übertragen (ist Quality-Gate)
- ...die Ergebnisse mehrerer Aktivitäten zu beinhalten (ist Hierarchiestufe)
- ...einen operativen Ergebnisbedarf zu definieren (ist Aufgabe).“

Aus den Eigenschaften wurde eine Methodik entwickelt, welche die Beziehungsarten auf die Phasenziele ausrichtet. Die Methodik definiert dazu einzelne Aktivitäten und dessen Abhängigkeiten im Zeitverlauf. Abbildung 32 zeigt dazu die Ebenen *eins* und *zwei* als Auszug aus dem erstellten Aktivitätsplan.

Kapitel	Ebene	Aktivität	Ziel	Typ	ID	Teilprozess von	Vorgänger	Gate
10000	1	<b>Produktionsziel definieren</b>	Aufgabe des DRK festlegen	H	2	1		2
12000	2	Verbesserungsvorschlag bewerten	Potenzielle Aufgaben für DRK priorisieren	A	3	2		
13000	2	Tätigkeitsfeld definieren	Aufgabenbereich für DRK festlegen	A	4	2	3	
14000	2	Produktionskennzahl definieren	Quantifizierbarkeit der Aufgabe ermitteln	H	5	2	4	
15000	2	Produktionskennzahl ermitteln	Datengrundlage für Aufgabenerfüllung festlegen	H	6	2	5	
20000	1	<b>Digitalen Regelkreis identifizieren</b>	Aktuellen Wirkprozess erfassen	H	23	1	2	
21000	2	Geschäftsprozess identifizieren	Wertstrom identifizieren	H	24	23		3
22000	2	Regelelemente definieren	Aktivitäten aus GP den Regelaufgaben zuordnen	H	36	23	2	
23000	2	Regelverhalten dokumentieren	Aktuellen Zustand der Regelung erfassen	H	37	23	36	
24000	2	Automatisierungsgrad erfassen	Zustand der Prozessautomatisierung erfassen	H	84	23		
25000	2	Regelgüte bewerten	Optimierungspotenziale aufzeigen	H	102	23		7
30000	1	<b>Anforderungen spezifizieren</b>	Eigenschaften des Regelkreises darstellen	H	108	1	23	
31000	2	Abweichung vom Produktionsziel spezifizieren	Fachliches Ziel definieren	H	109	108		12
32000	2	Anforderungen an Regelverhalten definieren	Optierungsbedarf definieren	H	140	108		13
40000	1	<b>Digitalen Regelkreis entwerfen</b>	Ressourcenbedarf spezifizieren	H	159	1	108	15
41000	2	Aufgaben für Regelelemente definieren	Anforderung an Verhalten beschreiben	H	160	159		
42000	2	Entwurf zum Ressourceneinsatz erstellen	Alternativen Ressourceneinsatz konzipieren	H	169	159	165	
45000	2	Spezifikation für MTO Ressourcen bewerten	Auswahlprozess abschließen	H	230	159	169	14

ABBILDUNG 32 – AUSZUG AUS AKTIVITÄTSPLAN

Der gesamte Aktivitätsplan unterstützt dabei die Entwicklungsphasen 1 – 15.

Tabelle 11 fasst dazu die Eigenschaften des gesamten Aktivitätsplans zusammen:

Meta-Eigenschaften des Aktivitätsplans	Ausprägung	Kennung
Anzahl Hierarchieebenen	5	Ebene
Anzahl Aktivitäten	245	ID
Anzahl Aktivitäten vom Typ <i>Aufgabe</i>	170	Typ = A
Anzahl Aktivitäten vom Typ <i>Hierarchiestufen</i>	75	Typ = H
Anzahl Quality-Gates	15	Gate
Anzahl Abhängigkeiten zu Vorgängern	25	Vorgänger

TABELLE 11 - EIGENSCHAFTEN DES AKTIVITÄTSPLANS

Die methodische Durchführung der Entwicklungsphasen wird anhand des Aktivitätsplans in Anhang A46 detailliert.

Zur praktischen Anwendbarkeit der Methodik ist darüber hinaus die Spezifikation fachlicher Ziele notwendig. Hierbei sollen die Entwicklungsbedarfe der Produktion und dessen Reifestufe der PPS in einen Kontext zusammengeführt werden. Der konzeptionelle Beitrag der zugehörigen Reifegradermittlung wird nachfolgend diskutiert.

## 6.5 REIFEGRADE

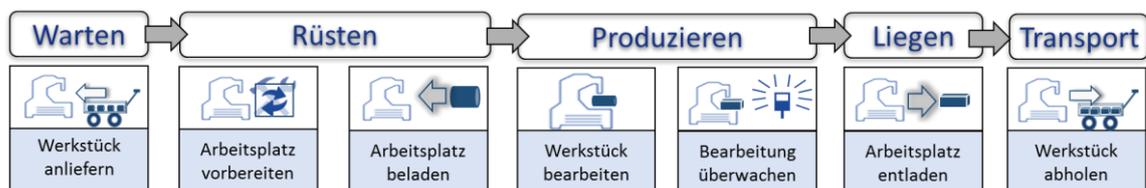
Der DRK soll auf Grundlage von Reifegraden entwickelt werden können (Kap. 5.2). Dazu empfiehlt sich eine Status- und Fortschrittsbewertung der aktuellen Umsetzungsstufe. Um die Abhängigkeit der Produktions- und Regelungsaufgabe im Kontext der Wertschöpfung zu spezifizieren, sollen dazu die Perspektiven

- Produktionsaufgabe
- Regelaufgabe
- Geschäftsprozess

eingenommen werden. Ausgehend vom Anspruch der SF, einen Beitrag zur betrieblichen Wertschöpfung zu leisten, werden zunächst Einflussgrößen der Wertschöpfung berücksichtigt. Als Grundlage empfiehlt sich hierzu die Einordnung der Leistungsanteile einzelner Wertschöpfungsaktivitäten am gewerblichen Arbeitsplatz.

Da die PPS-Zeitanteile der Durchlaufzeit eines AG (vgl. auch A21 und A22) den Lebenszyklus der Herstellung vollständig beschreiben, bieten diese eine geeignete Datenstruktur zur Vorgabe, Erfassung und Verarbeitung der Leistungsdaten der Wertschöpfung. Als kapazitätsverbrauchende Ressource (Ist.-Werte) und Teil des Arbeitsgangs (Soll.-Werte), erfüllt der gewerbliche Arbeitsplatz notwendige Rahmenbedingungen als Messpunkt zur Leistungsdatenerfassung.

Abbildung 33 systematisiert dazu die Leistungsanteile am gewerblichen Arbeitsplatz als in Form der AG-Zeitanteile der PPS:



**ABBILDUNG 33 - AKTIVITÄTEN PRO ZEITANTEIL IM ARBEITSGANG**

Eigene Darstellung abgeleitet aus (Wiendahl 2012, S. 111) und (Erlach 2010, S. 156)

Abbildung 33 zeigt eine sequentielle<sup>55</sup> Folge der Zeitanteile der AG in Verbindung mit den damit verbundenen Aktivitäten der Wertschöpfung.

<sup>55</sup> In der Realität werden die Aktivitäten (auch) parallel durchlaufen. Im Kontext der Leistungsermittlung, besteht hierbei der Bedarf reale Ressourceneinsätze für die Zeitanteile des AG zustandsabhängig zu erfassen

Aus Perspektive der PPS ist der AG das Datenobjekt mit der höchsten Granularität zur Detaillierung der Kapazität (vgl. Kurbel und Endres 2005, S. 82–87).<sup>56</sup>



ABBILDUNG 34 - LEGENDE

Abbildung 34 zeigt dazu den „Zeitanteil AG“ als Zusammenführung aus Vorgabezeit (Soll.-Wert) der Planung *Kapazitätsbedarf* und der realen Zeit (Ist.-Wert) am Arbeitsplatz *Kapazitätseinsatz*.

Die „Aktivität am Arbeitsplatz“ beschreibt dabei den gewerblichen Teilprozess, welcher die geplante Kapazität verbraucht. Durch die Fähigkeit des AG der PPS sowohl Kapazitätsbedarf als auch -leistung einzelner Aktivitäten zu repräsentieren, besitzt das Datenobjekt die formale Fähigkeit Informationen der Wertschöpfung digital zu verwalten.

D.h. durch kontinuierlichen Abgleich zwischen geplanter und eingesetzter Kapazität kann der Status der Wertschöpfung beurteilt werden. Um konkrete Störgrößen der Wertschöpfung datengestützt zu erkennen, ist parallel der Abgleich zwischen Führungsgröße (Kapazitätsbedarf pro Zeitanteil am AG) und der Regelgröße (Kapazitätseinsatz pro Zeitanteil am AG) notwendig (Kap.: 3.7.1). Die Abtastfrequenz definiert dabei die Genauigkeit des Abgleichs (max. online) aber auch den Aufwand zur Datenverarbeitung. Um den Reifegrad des DRK zu bestimmen, soll die Regelgüte (Kap.: 3.7.2) dienen. Da die Anordnung der Regelelemente und der zugrundeliegende Wirkprozess im DRK einer festen Struktur entsprechen, können die Regelelemente und dessen Funktionen gleichzeitig genutzt werden, um qualitätssteigernde Eigenschaften mit Hilfe der technischen Regelgüte abzuleiten.

Im simpelsten Anwendungsfall besteht kein Regelkreis und dieser soll aufgebaut werden. Dabei bestehen die ersten Reifestufen der Regelgüte darin einen Soll.-Wert und einen Ist.-Wert als Datengrundlage zu definieren. In höheren Reifestufen der Regelgüte werden dessen Abweichungen (Soll. vs. Ist.) dann zyklisch überwacht oder gar regelgebunden und automatisch angepasst.

Die maximale Reife der Regelgüte endet mit der Stabilisierung der Regelgröße durch die kontinuierliche und automatisierte Sicherung des Sollwertes im Toleranzbereich. Ein stabiles Gleichgewicht tritt ein. In Analogie zur technischen Regelung definiert in der SF die Wertschöpfung den Teil der Regelaufgabe sowie der gewerbliche Arbeitsplatz die (Teil-) Regelstrecke definiert. Nachfolgende Reifegrade übertragen dazu die

<sup>56</sup> Als Sonderform eines AG können „AG-Splitts“ die tiefere Detaillierung der Prozessinformation ermöglichen. Die generische Datenstruktur des AG bleibt dabei erhalten

Regelgüte des technischen Regelkreises auf die Entwicklung des DRK. Die Bewertung der Regelgüte soll anhand der nachfolgenden Stufen bewertet werden Tabelle 12:

Stufe	Die Leistung der Aktivität wird digital	Reifestufe
0	nicht abgebildet	gering
1	nicht erfasst	
2	erfasst	
3	ausgewertet	
4	bewertet	mittel
5	überwacht	
6	gesteuert	
7	reguliert	
8	geregelt	hoch

TABELLE 12 - REIFESTUFEN IM DIGITALEN REGELKREIS

Als grundlegende Annahme gilt, dass zur Erfüllung einer Regelaufgabe die Größen *Soll.-Wert* (Führungsgröße) und *Ist.-Wert* (Messwert) bekannt sein müssen (Stufe 1 und 2), um daraus Einflussfaktoren und Kontrollpunkte (Stufe 3 und 4) ableiten zu können. Zur Definition einer Kontrollstruktur sind dabei zunächst Grenzwerte der Verhaltensüberwachung zu definieren (Stufe 5), um für diese im Folgeschritt bedingte Maßnahmen abzuleiten (Stufe 6). Anschließend kann durch die bedingte Übertragung an ein Stellglied die Verhaltenssteuerung aktiviert werden (Stufe 7). Bei einem stabilen Zusammenspiel von Verhaltensüberwachung und bedingter Steuerung, kann das Verhalten automatisiert angepasst und damit geregelt werden (Stufe 8). Die genaue Einordnung und Detaillierung der Stufen 0-8 wird dazu im Anhang A42 beschrieben.

Stellt man die zu regelnde Wertschöpfungsaktivität am Arbeitsplatz in den Fokus der Regelaufgabe, so rückt die *L e i s t u n g* als Kennzahl in den Fokus der Betrachtung (vgl. Kap.: 2.5). Die Leistung (Produktivität) beschreibt das Verhältnis zwischen  $\frac{Output}{Input}$ .

Im Falle der SF wird dieses Verhältnis durch

$$\frac{Kapazitätseinsatz \textit{Ist} [Dauer/Menge]}{Kapazitätsbedarf \textit{Soll} [Dauer/Menge]} \textit{ in } \%$$

beschrieben.

Größe	Typ	Beschreibung	Dimension
Input	Kapazitätseinsatz (Ist)	Leistungsverluste oder Marktpotenzial <sup>57</sup> zur Steigerung der Wertschöpfung	Menge und/oder Zeit
Output	Kapazitätsbedarf (Soll)	Geplanter Teil der Herstellkosten, welcher durch den Erlös des Produktes gedeckt werden soll	

ABBILDUNG 35 - LEISTUNGSDATEN IN DER PRODUKTION

Abbildung 35 zeigt die Eingangsgrößen zur Berechnung der Leistung im Sinne der PPS. Durch den Abgleich geplanter und eingesetzter Kapazität ergeben sich jeweils Mengen- und/oder Zeit-Abweichungen von Material-<sup>58</sup> und Ressourcenkapazitäten<sup>59</sup>. Diese gilt es im Sinne der Wertschöpfung zu optimieren. Die normierten Zeitanteile des Datenobjekts AG bieten dazu die notwendige Datenstruktur.

Die Zeitanteile des AG bilden die Grundlage, um übergeordnete Produktionsziele in einem Datenobjekt zusammenzuführen. Sowohl die Produktivität der Kapazitätseinheit (Anlageneffizienz - OEE) als auch die des Fertigungsauftrags (Durchlaufzeit - PWG) können hierdurch bewertet werden.

Die **Gesamtanlageneffektivität** (RÜSTEN und PRODUZIEREN)<sup>60</sup> und der **Prozesswirkungsgrad** (WARTEN, LIEGEN, TRANSPORTIEREN) bilden dazu Kennzahlen für die Objekte Arbeitsplatz und Auftrag (VDMA-Einheitsblatt ICS 03.100.50) (vgl. auch Abbildung 33)

Durch den Vergleich der Ist.- und Soll.-Zeiten pro Aktivität kann gleichzeitig der Bezug hierarchischer Unternehmensziele sichergestellt werden. Zum einen, da der Arbeitsplan die Grundlage zur Kapazitätsplanung (vgl. Kap.: 3.4.3) bildet und zum anderen den Bezug zur Ermittlung der fertigungsabhängigen Selbstkosten sicherstellt (vgl.: Kap.: 2.6). Aus der Zusammenführung der beschriebenen Perspektiven *Geschäftsprozess*, *Produktionsaufgabe* und *Regelaufgabe* ergibt sich ein Bewertungsansatz zur Reifegraderfassung des DRK. Abbildung 36 zeigt dazu eine Matrix aus den AG-Zeitanteilen der Wertschöpfung (Zeilen: Aktivitäten I-VII) und den digitalen Reifestufen (Spalten: Regelgüte 0-8). Daraus ergibt sich der digitale Reifegrad der PPS-gestützten Wertschöpfungsaktivität im DRK: Die Matrix folgt dabei der sprachlichen Konvention:

„**Die Leistung der Aktivität** + <<Platzhalter Zeile>>  
**wird digital** +<<Platzhalter Spalte>>“

<sup>57</sup> Sollwertüberdeckungen beschreiben Potenziale einer optimierten Angebotsfähigkeit

<sup>58</sup> z.B. Verbrauchsmengen von RHB, WIP und UFE vs. Ausbringungsmengen für FE, UFE und WIP

<sup>59</sup> z.B. Betriebszeit für Betriebsmittel, Personal, Maschinen vs. Liege-, Warte-, Transportzeit für Produkt

<sup>60</sup> beinhaltet auch ungeplante Stillstände am Arbeitsplatz – fällt in die Aktivität „Bearbeitung überwachen“

Die Leistung der Aktivität		wird digital								
Symbol	Beschreibung	nicht abgebildet	nicht erfasst [1]	erfasst [2]	ausgewertet [3]	bewertet [4]	überwacht [5]	gesteuert [6]	reguliert [7]	geregelt [8]
	Arbeitsplatz vorbereiten	?								
	Werkstück anliefern	?								
	Arbeitsplatz beladen	?								
	Werkstück bearbeiten	?								
	Bearbeitung überwachen	?								
	Arbeitsplatz entladen	?								
	Werkstück abholen	?								

ABBILDUNG 36 - REIFEGRADMATRIX DES DIGITALEN REGELKREISES

Eigene Darstellung – Symbole in Anlehnung an (vgl. Erlach 2010, S. 156)

Exemplarisch ergibt sich der sprachliche Ausdruck:

„Die Leistung der Aktivität **Arbeitsplatz entladen** wird digital überwacht“.

Dieser Ausdruck beschreibt die Zusammenführung aus **Zeile VI** und **Spalte 5**. Durch die Zusammenführung wird der Zustand der Aktivität im Hinblick auf den digitalen Reifegrad zur Regelung der Wertschöpfung bewertet. Die Matrix ermöglicht dabei eine aktivitäts- und/oder produktbezogene Anwendung. Bei steigendem Reifegrad gewinnt die Harmonisierung der prozessbezogenen Attribute Leistungen, Funktionen, Organisation, Daten und Kontrollfluss zunehmend an Bedeutung.

Diese Attribute entsprechen den fünf Sichten aus ARIS (vgl. Kap. 3.4.1.2).

Vor diesem Hintergrund ist der methodische Ansatz des GPM elementar zur nachhaltigen Reifegradsteigerung (vgl. Kap.: 3.6).

Die Reifegradmatrix bewertet den Beitrag der digitalen Regelaufgabe zur Leistungssicherung der Wertschöpfung. Hierdurch ergeben sich *aktueller Status* und *Potenziale* zur Entwicklung des DRK. Die Eigenschaften der Reifestufen (0-8) werden dazu in Anhang A42 spezifiziert und detailliert.

Um zusätzlich zum Reifegrad auch den operativen Kontrollfluss im DRK beurteilen zu können, soll auch dieser bewertet werden. Dazu beschreibt das nachfolgende Kapitel den Ansatz zur Integration entsprechender Kontrollpunkte im Kontrollfluss des DRK.

### 6.6 KONTROLLPUNKTE

Um die Wirksamkeit potenzieller Entwicklungsmaßnahmen des DRK beurteilen zu können, sollen definierte Messpunkte im DRK genutzt werden. Die sogenannten Kontrollpunkte besitzen hierbei die Aufgabe den Zustand im Wirkprozess der Regelemente (RE) zu erfassen. Ein Datenpunkt nach (out) und vor (in) einem RE sollen dabei zur Beurteilung des lokalen Wirkprozesses dienen. Dazu werden bisheriger Wirkprozess und der um die Kontrollpunkte erweiterte Wirkprozess veranschaulicht (Abbildung 37). Die Kontrollpunkte verbinden jeweils die Ausgangsdaten (out) mit den Eingangsdaten (in) zwischen zwei RE. Hierdurch soll die Verarbeitungsgeschwindigkeit (KP-001) und Datenqualität (KP-002) an der Schnittstelle zweier Aktivitäten gemessen werden (Tabelle 13).

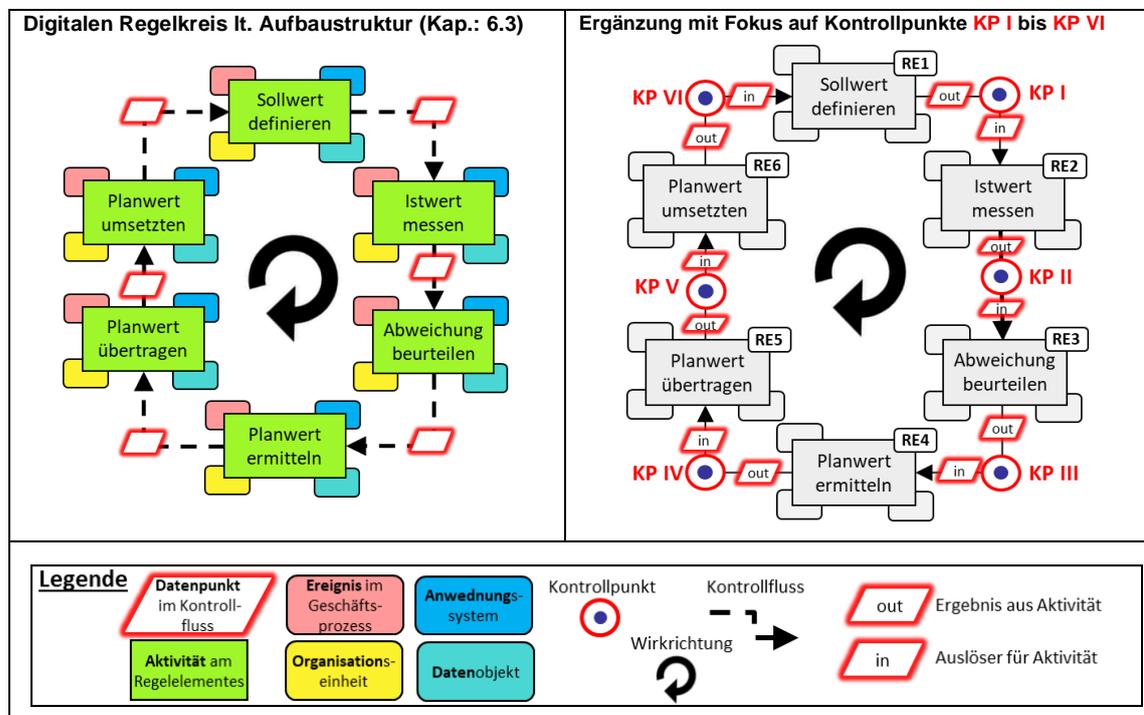


ABBILDUNG 37 - EINFÜHRUNG DER KONTROLLPUNKTE IN DEN DRK

Durch die Bildung der Differenz aus den Werten für Input und Output sollen Abweichungen im Wirkprozess der Datenverarbeitung sichtbar werden. Tabelle 13 zeigt dazu die Bewertungsmerkmale an den Kontrollpunkten

Merkmal	$RE_n$ (Output) Regelement OUT	$RE_{n+1}$ (Input) Regelement IN	Einheit am Datenpunkt
KP-001	Ausgangszeitpunkt	Eingangszeitpunkt	hh:mm:ss,000
KP-002	Ausgangsdatenwert	Eingangsdatenwert	(Mengen-) Einheit des Datensatzes

TABELLE 13 - MERKMALE DER KONTROLLPUNKTE

Nachfolgend wird exemplarisch eine Zeitverzögerung von 607001 ms und eine qualitative Wertabweichung von 2720 g an einem Kontrollpunkt festgestellt (Tabelle 14).

Diese Abweichungen quantifizieren Schwachstellen im Wirkprozess der digitalen Datenverarbeitung am KP III

Regelgröße: Komponentenverbrauchsmenge			Lokalität Datenpunkt: <b>KP III</b>	
Merkmal	RE <sub>3</sub> Output	RE <sub>4</sub> Input	Differenz	Einheit
KP-001	14:01:26,097	14:07:33,098	00:06:07,001	time
KP-002	27,280	30	+ 2,720	kg

TABELLE 14 - BEISPIEL ZUR BERECHUNG DER KONTROLLPUNKTE

Es werden Verluste der Verarbeitungsgeschwindigkeit (KP-001) und der Verarbeitungsqualität (KP-002) aufgezeigt.

Im Entwicklungsprozess des DRK sollen diese Differenzwerte zur Beurteilung der Schnittstellenfähigkeit beteiligter RE beitragen.

Die Differenzen können dabei hinsichtlich tolerierter und nicht-tolerierter Abweichungen und dessen Ursachen analysiert werden. Die Schnittstelle(n) im Wirkprozess können dadurch gekennzeichnet sein, dass organisatorische und/oder technische Schnittstelle zwischen Informationsträgern vorliegen. Im Falle des Einsatzes unterschiedlicher Anwendungssysteme zur Verwaltung der Datenobjekte an den Regelementen (RE I bis RE VI), kennzeichnen die Kontrollpunkte gleichzeitig potenzielle technische Schnittstelle der Anwendungssysteme. Organisatorische Schnittstellen sind durch abweichende Organisationseinheiten der RE in der Aufbaustruktur des DRK gekennzeichnet. Die Kontrollpunkte quantifizieren somit die Wirkung von Veränderungsmaßnahmen. Hierdurch soll der Beitrag (potenzieller) Maßnahmen zur Erfüllung der Regelaufgabe beurteilt werden. Potenziale und Schwachstellen im technischen Wirkprozess des DRK sollen hierdurch identifiziert werden.

## 6.7 KOMPETENZEN

Die Anforderungen RQ 02 und RQ 11 (Kap.: 5.3.3) fordern Eigenschaften zur Sicherung organisatorischer Rahmenbedingungen im Entwicklungszyklus der SF. Zudem wird als Teilaufgabe des Systementwurfs die Konzeption des MTO-Ressourceneinsatzes definiert (Kap.: 3.8). Um diesen Anforderungen gerecht zu werden, sollen Kompetenzen der Organisation in die Methodik einfließen. Diese sollen es ermöglichen persönliche, technische und organisatorische Schnittstellen im Sinne der SF interoperabel zu gestalten. In Kapitel 3.2.3 werden Dimensionen der organisatorischen Reife eines Unternehmens beschrieben. Hierdurch sollen beteiligte Interessenvertreter ermittelt und dessen Rollen im Entwicklungsumfeld der SF definiert werden können. Hierzu wird eine Orientierung in Richtung der Kompetenzen vorgenommen (Tabelle 16). Um den konkreten Bedarf einzelner Kompetenzen definieren zu können, wird das Vorhaben „Entwicklung der SF“ zunächst organisatorisch eingeordnet (Tabelle 15).

Nachfolgende Fragen klassifizieren das Vorhaben:

1. Um welche Art von unternehmerischem Vorhaben handelt es sich?			
eine Routineaufgabe		eine neuartige Aufgabe	
2. In welchem Anwendungsbereich liegt der Fokus der Aufgabe			
Investition	Organisation	F & E	Dienstleistung
3. Welches Fachgebiet im Anwendungsbereich ist vornehmlich betroffen?			
Tech. Produkte (Konstruktion)	IT (Software)	Verfahrenstechnik (Chemie)	Fertigungstechnik (Mechanik)

TABELLE 15 - AUFGABENKLASSIFIKATION

(vgl. Bergmann und Garrecht 2016, S. 232)

Tabelle 15 definiert die Klassifikation eines **IT-Entwicklungsprojektes**. Somit soll das IT-Rollenverständnis als Grundlage dienen, um Interessensgruppen zu identifizieren. Traditionelle IT-Rollen sind *Key-User*, *Projektleitung*, *Lenkungsausschuss* oder *Entwicklerteam* (vgl. Bergmann und Garrecht 2016, 240f.).

Da es sich bei dem Vorhaben „Entwicklung der SF“ nicht um ein klassisches IT-Projekt, sondern eher um eine „strategische Organisationsentwicklung“ handelt (vgl. Erner 2019), soll den Rahmenbedingungen zur Sicherung der Entscheidungssicherheit<sup>61</sup> entsprechende Aufmerksamkeit gewidmet werden.

Vor diesem Hintergrund empfiehlt sich die Definition unternehmensweiter Kompetenzbedarfe (Rinn et al. 2019).

Diese Art der Darstellung ermöglicht die Zuordnung und ggf. auch Anpassung von Aufgaben sowie der Rechten und Pflichten einzelner Rollen im Zeitverlauf der Entwicklung.

Berufliche Kompetenz		
Art	...ist das zielorientierte Anwenden von	Eigenschaft
fachliche Kompetenz		inhaltlichem Wissen
methodische Kompetenz		Problemlösungstechniken
legitimierende Kompetenz		Befugnissen
persönliche Kompetenz		Verhaltensvorlieben
soziale Kompetenz		Empathie

TABELLE 16 - ARTEN DER BERUFLICHEN KOMPETENZ

(Kauffeld 2014, 122 ff.)

Zur Ermittlung konkreter Kompetenzbedarfe wurden daher Aufgaben und Ziele der Entwicklung DRK aus Kapitel 6.4 mit der jeweils notwendigen Kompetenz zur Durchführung zusammengeführt. Durch die Kompetenzen sollen geeignete Rahmenbedingungen im Rollenverständnis sichergestellt werden.

<sup>61</sup> gleichbedeutend mit Minderung des Investitionsrisikos - vgl. Kapitel 3.2

Diese sollen die praktische Anwendbarkeit der Methodik unterstützen.

Die Übersicht der Kompetenzbedarfe ist dazu im Anhang A47 detailliert.

Bei der Vielzahl potenzieller Kompetenzen einer Organisation ist es wirtschaftlich dessen Einsatz bedarfsgerecht zu planen. Daher empfiehlt sich die Planung der Kompetenzbedarfe auf Grundlage der fokussierten Aufgaben im DRK.

Bspw. können Regelaufgaben zur Stabilisierung der *Produktqualität*, der *Materialverfügbarkeit* oder der *Termintreue* sehr unterschiedliche Fachkompetenzen erfordern.

Die jeweilige fachliche Expertise wird benötigt, um während der Entwicklung betroffene GP zu spezifizieren, Schwachstellen aktueller Aktivitäten zu identifizieren oder um inhaltliche Ziele und Anforderungen künftiger Arbeitsabläufe zu konzipieren.

Die fachlichen Kompetenzträger definieren dabei die Qualität inhaltlicher Ergebnisse für operative Arbeitspakete.

Zudem ist es notwendig zu definieren, welche Kompetenzen intern oder extern verfügbar sind.

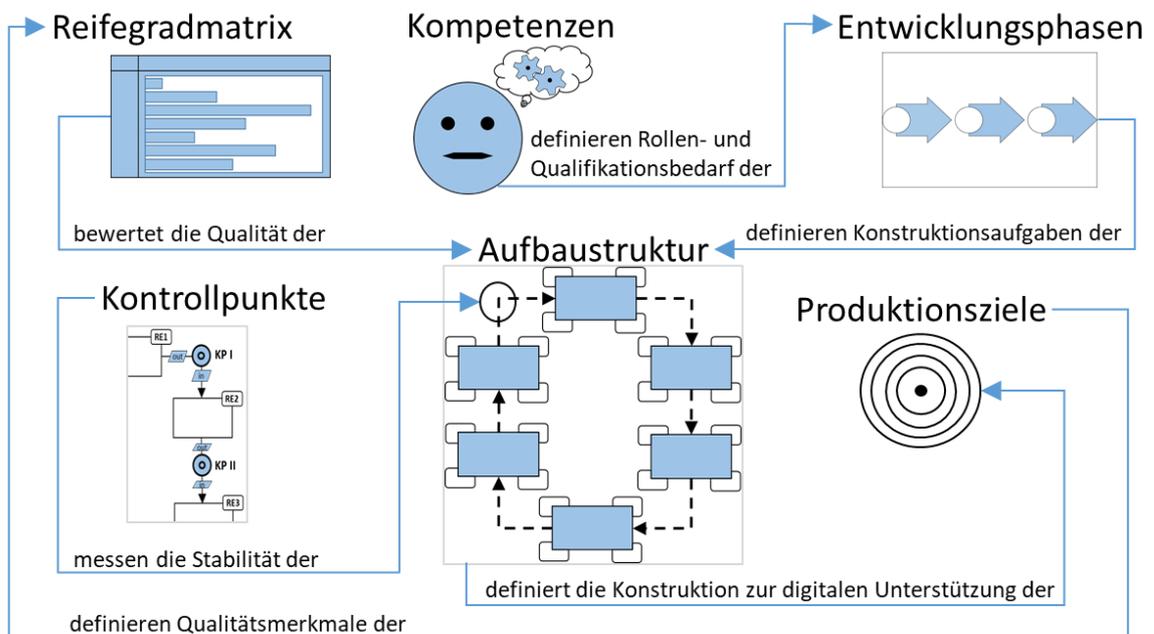
Sowohl eine **fehlende Quantität der Personalkapazität** als auch eine **fehlende Qualität der Personalqualifikation** können dazu führen, dass Kompetenzen zunächst intern aufgebaut/entwickelt oder auch extern bezogen werden müssen (vgl. Koch 2017). Gleichzeitig können Mischformen des Kompetenzeinsatzes notwendig sein.

Eine Übersicht der Kompetenzen zur Entwicklung DRK wurde erstellt und unterstützt hierzu die Analyse des Kompetenzbedarfs.

Zum Abschluss der Konzeption wird nun der Zusammenhang der einzelnen Elemente dargestellt und zusammengefasst.

## 6.8 ZUSAMMENFASSUNG

Der Ansatz des DRK führt unterschiedliche Perspektiven im Gestaltungsumfeld zusammen. Zum einen werden die konzeptionellen Rahmenbedingungen mit Hilfe der Zielsetzung und des Aufgabenverständnis (Kap.: 6.1) sowie der damit verbundenen Voraussetzungen (Kap.: 6.2) beschrieben. Zum anderen werden operativ-fachliche Elemente beschrieben, um einen inhaltlichen Lösungsbeitrag zur Problemstellung bereitzustellen. Hierzu wird die Aufbaustruktur (Kap.: 6.3) vorgestellt, eine Reifegradbeurteilung (Kap.: 6.5) ermöglicht und der Kompetenzeinsatz (Kap.: 6.7) entlang ablauforientierter Entwicklungsphasen (Kap.: 6.4) definiert. Darüber hinaus wird eine Struktur zur Aktivierung von Kontrollpunkten (Kap.: 6.6) im Wirkprozess des DRK beschrieben. Dieser ermöglicht auf einer eher mikroskopischen Ebene die lokale Verhaltensanalyse im Kontrollfluss des DRK.



**ABBILDUNG 38 - BEZIEHUNG DER KONZEPTIONSELEMENTE**

Abbildung 38 zeigt die Beziehung der Konzeptionselemente im Gesamtzusammenhang. Die Konzeption des DRK zielt auf die Erfüllung der Anforderungen aus Kapitel 5.3.3 ab. Bei Anwendung der Konzeption soll diese die methodische Entwicklung der Ziele der SF unterstützen und zur Beantwortung der Forschungsfragen beitragen. Zur Überprüfung der einzelnen Elemente und dessen Zusammenspiel im Gesamtansatz soll die Konzeption des DRK evaluiert werden. Dazu werden die Anforderungen aus Kapitel 5.3 im nachfolgenden Kapitel überprüft.

## 7. EVALUATION DES DIGITALEN REGELKREISES

Nachfolgend wird die Konzeption des DRK überprüft. Hierzu beschreibt Kapitel 7 Anforderung, Durchführung und Ergebnisse zur Evaluation der Konzeption.

Die Unterkapitel werden dabei als Elemente des Prüfverfahrens beschrieben.

Die Evaluation überprüft hierbei zwei Hypothesen:

H1 Der DRK ist zur Entwicklung der Selbststeuerung in der SF geeignet.

H2 Der DRK realisiert bisher nicht erfüllte Anforderungen zur Systemkonzeption der Selbststeuerung.

Durch die Überprüfung der Hypothesen, soll deren Fähigkeit zur Erfüllung der in Kapitel 1.3 beschriebenen Ziele erfolgen. Hierbei werden die Hypothesen darauf geprüft, ob diese zur Zielerfüllung beitragen, oder Mängel aufweisen.

Die Überprüfung der Anwendbarkeit (H1) erfolgt durch Verifikation und Falsifizierung der Konzeption des DRK.

Die Überprüfung des Lösungsbeitrages (H2) erfolgt durch die Fähigkeit zur Beantwortung der Forschungsfragen aus Kapitel 5.4 und deren Beitrag zur Erfüllung der definierten Anforderungen aus Kapitel 5.3.

Durch den Anspruch zur Überprüfung der Hypothesen ergeben sich wiederum Anforderungen an die Art und den Umfang der Überprüfung selbst. Die damit verbundenen Prüfziele und der Prüfungsaufbau werden im weiteren Verlauf vorgestellt.

### 7.1 ANFORDERUNGEN AN DIE ÜBERPRÜFUNG

Nachfolgend werden die Eingangsparameter zur Durchführung der Überprüfung beschrieben. Dabei werden Ziele, Rahmenbedingungen und Anforderungen an die Überprüfung definiert.

#### 7.1.1 PRÜFZIELE

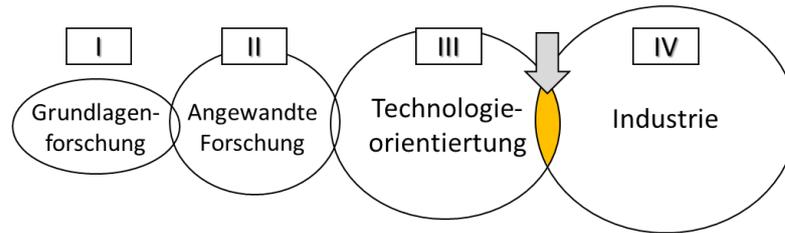
Um geeignete Anforderungen an den Prüfprozess zu definieren, werden zunächst die Ziele der Prüfung erläutert:

Bei der Konzeption des DRK handelt es sich um eine Methodik der gestaltungsorientierten Wirtschaftsinformatik.

Primäres Ziel besteht demnach im Beitrag zur Lösung praktischer Probleme (vgl. Abts und Mülder 2017, S. 5–6).

Im hier diskutierten Kontext wird das Problem zum Technologietransfer der Informatik adressiert. Diese Aufgabenstellung beinhaltet den Ausbau von Interoperabilität zwischen Forschung, Entwicklung und Praxis im Umfeld der PPS.

Abbildung 39 zeigt dazu den Problembereich der Wissensübertragung:



**ABBILDUNG 39 - MEHRSTUFIGER PROZESS DES TECHNOLOGIETRANSFERS**

Eigene Darstellung in Anlehnung an (Kurbel 1993, S. 66)

Zwischen den Bereichen I-IV besteht der Bedarf geeignete Rahmenbedingungen zu gestalten. Diese sollen die Nutzbarkeit des technologischen Beitrags für den jeweiligen Nachfolger sicherstellen.

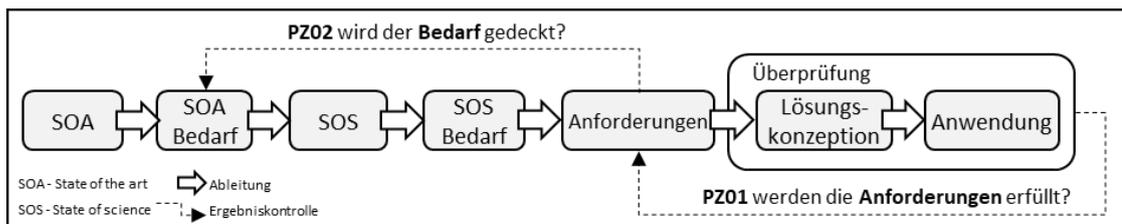
An der Schnittstelle zwischen *Technologieorientierung* und *Industrie* besteht dazu die spezielle Herausforderung, dass die Komplexität zur Gestaltung der Rahmenbedingungen am größten ist (Scheer 2015).

Inhaltlich fokussiert der DRK Technologie aus dem Forschungsumfeld der PPS und definiert hierzu Rahmenbedingungen der Überführung. Diese sollen die Anwendbarkeit im Sinne der Industrie sicherstellen. Der Mehrwert wird dabei durch die Erfüllung von Produktionszielen im Umfeld der SF definiert. Als Prüfziele (**PZ**) der Überprüfung soll somit bewertet werden, ob die Konzeption des DRK:

**PZ01** die Rahmenbedingungen zur Anwendbarkeit sicherstellt (Anforderungen)

**PZ02** durch die Anwendung ein praktischer Mehrwert erzeugt wird (Bedarf).

Abbildung 40 zeigt den Zusammenhang der Prüfziele zum Forschungsaufbau:



**ABBILDUNG 40 - PRÜFZIELE DER EVALUATION**

Im Verständnis der V+V (Abbildung 40) entsprechen:

**PZ01** der Erfüllung der abgeleiteten Anforderung der **Verifikation**

**PZ02** der Erfüllung praktischer Bedarfe bei erfüllten Anforderungen der **Validation**.

Durch die Prüfziele PZ01 und PZ 02 soll die Konzeption des DRK evaluiert werden.

### 7.1.2 PRÜFOBJEKT

Das Prüfobjekt beschreibt die zu überprüfende Einheit. Dabei ergibt sich dessen Qualität aus dem Erfüllungsgrad und dem Zusammenspiel der Merkmale zur Erfüllung zugesicherter Eigenschaften (DIN 1319).

Im Kontext des DRK beschreibt die Anwendung der Konzeption aus Kapitel 6 die zu überprüfende Einheit. Dabei werden dessen Merkmale durch die Elemente des DRK bereitgestellt. Diese Merkmale sollen zur Beurteilung des Prüfobjekts gemessen werden.

### 7.1.3 PRÜFMERKMALE

Da der DRK durch seine Teilobjekte charakterisiert wird, sollen diese als Prüfmerkmale dienen. Nachfolgend werden die Prüfmerkmale aufgeführt:

- (Kap.: 6.1) *PM01: **Produktionsziele erfüllen***
- (Kap.: 6.2) *PM02: **Voraussetzungen einhalten***
- (Kap.: 6.3) *PM03: **Aufbaustruktur anwenden***
- (Kap.: 6.4) *PM04: **Entwicklungsphasen durchlaufen***
- (Kap.: 6.5) *PM05: **Reifegrad bewerten***
- (Kap.: 6.6) *PM06: **Kontrollpunkte einführen***
- (Kap.: 6.7) *PM07: **Kompetenzorientierung vornehmen***

Für diese **Merkmale** soll bewertet werden, inwieweit dessen *Sollwerte* bei Anwendung der Konzeption eingehalten werden (können). Das Zusammenspiel der Merkmale soll dabei die Grundlage zur Bewertung der Prüfziele ermöglichen.

### 7.1.4 PRÜFMETRIK

Die Art der Bewertung soll eine Aussage über die Erfüllung der Prüfziele ermöglichen. Die Erfüllung soll dabei sowohl attributiv als auch variabel bewertet werden (Tabelle 17).

V+V	Zielsetzung	Art	Prüfmerkmal	Skalierung
Verifikation	Anforderungen einhalten	A	Konnte die <b>Aufbaustruktur</b> eingehalten werden?	ja/nein
		A	Konnten die <b>Entwicklungsphasen</b> durchlaufen werden?	ja/nein
		A	Konnte der <b>Reifegrad</b> bewertet werden?	ja/nein
		A	Konnte eine <b>Kompetenzorientierung</b> vorgenommen werden?	ja/nein
		A	Konnten die <b>Voraussetzungen</b> sichergestellt werden?	ja/nein
Validierung	Bedarf decken	A	Wurde der Beitrag zur Erfüllung der <b>Produktionsziele</b> bestätigt?	ja/nein
		V	Konnte die Veränderung der <b>Zielerfüllung in der Produktion</b> durch Einsatz des DRK gemessen werden?	in %
Legende: Typ: A: attributiv V: variabel				

**TABELLE 17 - PRÜFMETRIK**

Die Metrik referenziert jeweils die **S o l l w e r t e** der Prüfmerkmale und skaliert zugehörige Ausprägungen der Bewertung. Die Auswirkungen auf das Produktionsziel sollen dabei als prozentuale Veränderung zum Ausgangszustand variabel bewertet werden.

Alle anderen Prüfmerkmale werden anhand der attributiven Eigenschaften "erfüllt: ja/nein" bewertet.

Das Prüfziel ist damit (nicht) erreicht, wenn entweder

- a.) **nicht alle** Anforderungen vollständig **erfüllt**<sup>62</sup> wurden, oder
- b.) **alle Anforderungen** vollständig **erfüllt** wurden.

Somit ist es notwendig alle Anforderungen zu bewerten, um eine Aussage über zugesicherte Eigenschaften der Konzeption (Kap.: 6) treffen zu können.

<sup>62</sup> im Falle variabler Merkmale gilt eine negative Veränderung als nicht erfüllte Anforderung

### 7.1.5 PRÜFSCHÄRFE

Um dem Zielkonflikt zwischen der Übertragbarkeit der Ergebnisse und notwendigem Prüfaufwand zu optimieren, soll die Prüfschärfe dienen. Diese detailliert die Anforderung an die Prüfdatenverarbeitung zur Sicherung der späteren Prüfergebnisse.

Folgende Anforderungen beschreiben die Rahmenbedingungen der Prüfung:

- Konzeption des DRK soll in Industrie anwendbar sein<sup>63</sup>
- Aufbaustruktur soll dokumentiert werden
- Ergebnisse der Entscheidungspunkte sollen nachvollzogen werden können
- Probleme bei der Anwendung sollen nachvollzogen werden können
- Fehler der Anwendung sollen nachvollzogen werden können
- Ergebnisse der Anwendung sollen nachvollziehbar sein
- Rahmenbedingungen der tatsächlichen Anwendung sollen dokumentiert werden
- Generalisierbarkeit soll bewertet werden können

Zur Sicherung der Prüfschärfe soll die Kombination aus Prüfmittel und Prüfmethode die obigen Anforderungen erfüllen, um die Belastbarkeit der Ergebnisse sicherzustellen.

Dazu wird das Prüfmittel nachfolgend spezifiziert.

### 7.1.6 PRÜFMITTEL

Das Prüfmittel beschreibt das eingesetzte Werkzeug der Überprüfung. Zur Erfüllung der diskutierten Prüfziele besteht dabei der Bedarf, die Prüfung im praktischen Umfeld durchzuführen.

Dazu bietet eine Fallstudie einen geeigneten Forschungsrahmen (vgl. Wilde und Hess 2006).

Da die grundlegende Form der Fallstudie Schwächen in der Quantifizierbarkeit und Übertragbarkeit der Ergebnisse aufweist, sollen diese durch die Spezifikation definierter Prüfpunkte aufgewertet werden.

---

<sup>63</sup> konkrete Rahmenbedingungen werden dazu ab Kap.:7.1.7 in A48 definiert

### 7.1.7 PRÜFPUNKTE

Zu den Grundsätzen ordnungsgemäßer Fallstudien wird das Prinzip der Triangulation gezählt. Bei der Anwendung in Fallstudien wird hierdurch die Qualität der Ergebnisse sichergestellt (Göthlich 2003).

Hierbei soll die Bewertung der Prüfergebnisse auf Grundlage unterschiedlicher Daten- bzw. Prüfpunkte erfolgen. Vergleichbar zur Triangulation der Geodäsie<sup>64</sup> werden unterschiedliche Bezugspunkte zum Prüfobjekt genutzt, um die Genauigkeit der Messung zu sichern.

Wesentliche Gütekriterien sind Quantifizierbarkeit und Übertragbarkeit der Ergebnisse. Bspw. ließen sich hier erzielte Erfahrungen des DRK nicht auf ein Nonprofit-System übertragen, da dessen Ertragsfunktion die Gültigkeitsgrenze der Fallstudie (Industrie) verletzen.

Darüber hinaus ist nachvollziehbar, dass die Aussagekraft der Fallstudie durch voneinander unabhängige Datenquellen steigt.

Vor diesem Hintergrund sind in A48 die Anforderungen an die Fallstudie definiert. Hier werden geforderte Rahmenbedingungen sowie Art und Umfang unabhängiger Prüfpunkte (PP01 und PP02) als „Muss- und Kann-Kriterien“<sup>65</sup> aufgeführt. Diese Anforderungen dienen zur Sicherung der Objektivität und Übertragbarkeit der Ergebnisse für den Gültigkeitsbereich der SF.

---

<sup>64</sup> Wissenschaft von der Ausmessung und Abbildung der Erdoberfläche

<sup>65</sup> Abnahmekriterien der Anforderungen

### 7.1.8 PRÜFMETHODE

Um den bisherigen Anforderungen nachzukommen, werden nun Qualitätsschranken im zeitlichen Verlauf der Fallstudie eingeführt. Dabei werden drei Hauptphasen sowie zugehörige Teilphasen und Meilensteine für die Überprüfung definiert:

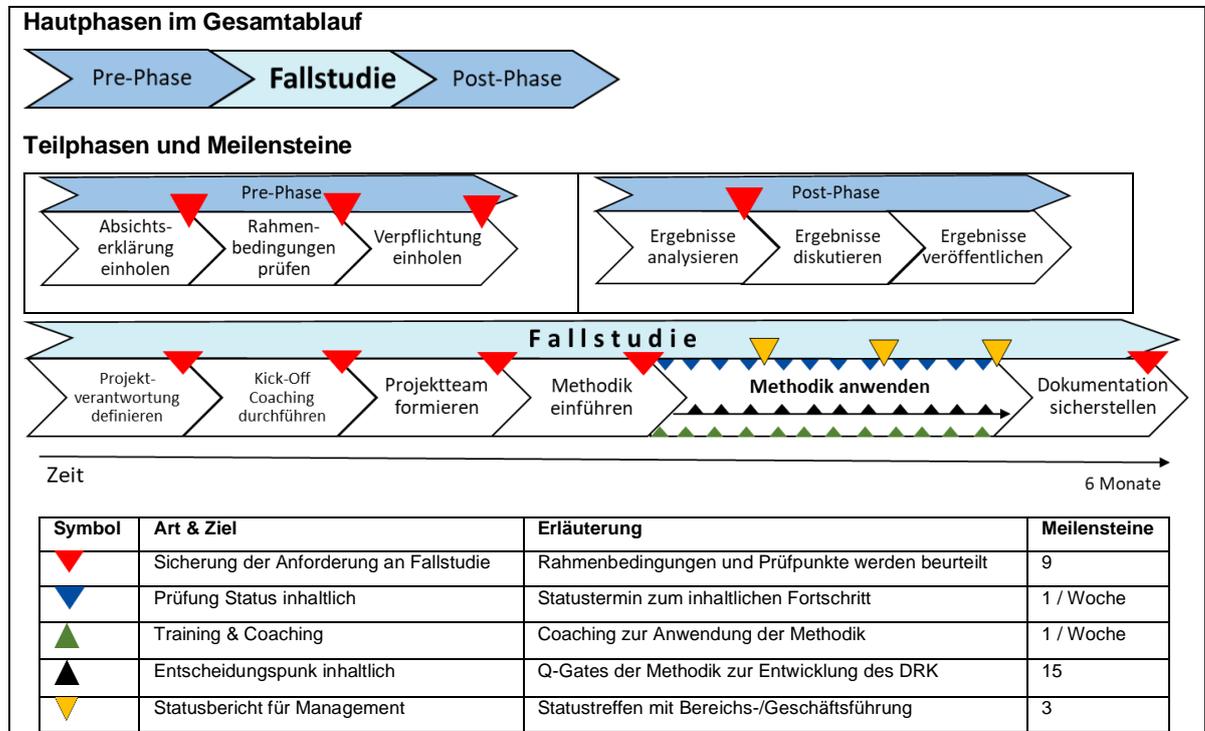


TABELLE 18 - PHASEN DER FALLSTUDIE

Tabelle 18 zeigt den Aufbau der Fallstudie schematisch. Pre- und Post-Phase dienen dabei zur Vor- bzw. Nachbereitung der Fallstudie. Innerhalb der Durchführung sollen die inhaltlichen Entscheidungspunkte aus 6.4 zur Anwendung der Methodik getestet werden. Parallel sollen Status- und Coaching-Termine die Methodenkompetenz zur Anwendung der Konzeption im Unternehmensumfeld sicherstellen. Um das Risiko eines fehlenden Stellenwerts der Fallstudie in der Organisation zu mindern, werden zudem drei Termine mit Entscheidungsträger des Top-Managements eingeplant. Hierdurch soll der Bedarf zur Kompetenzorientierung (vgl. Kap.: 6.7) bereits als Anforderung in die Pre-Phase einfließen und während der Durchführung Motivation und Legitimation der Teilnehmer sicherstellen. Als Zeithorizont der Fallstudie werden sechs Monate<sup>66</sup> eingeplant. Der Prüfablauf beginnt mit der Auswahl eines Partnerunternehmens und endet mit der Ergebnisdokumentation der Fallstudie. Nachgelagert sollen Prüfmerkmale bewertet und die Ergebnisse diskutiert werden.

<sup>66</sup> Die Dauer ist dabei als Ergebnis aus den Faktoren; „motiviert praktische Unternehmen zur Teilnahme“, „ist vereinbar mit Forschungsbudget“, „scheint angemessen, um geplanten Aufgaben in einer Organisation zu erarbeiten“, definiert kalkulierbaren Endtermine“, „ermöglicht angemessene Fortschrittskontrolle“, „beinhaltet Pufferzeiten“

## 7.2 DURCHFÜHRUNG DER ÜBERPRÜFUNG

Im weiteren Verlauf werden die Kerninhalte der Fallstudie zusammengetragen. Zunächst werden dazu die organisatorischen Rahmenbedingungen und der Ablauf beschrieben. Anschließend werden die Inhalte und Ergebnisse der Fallstudie dargestellt.

### 7.2.1 ABLAUF DER PRÜFUNG

Die Überprüfung der Konzeption wurde in der Firma OB Precision GmbH durchgeführt. Der Unternehmenssteckbrief ist dazu in A49 abgebildet. Zu Beginn der Fallstudie wurden die Motivation des Unternehmens, das Aufgabenumfeld der Fallstudie und die internen Beteiligten spezifiziert. Dazu wurde ein gemeinsamer Termin durchgeführt. Als Ergebnis wurden Projektteam und Aufgabenstellung spezifiziert. Innerhalb einer Kick-Off Veranstaltung wurden hierzu die Beteiligten vorgestellt und dessen Rollen zur Kompetenzerfüllung definiert.

Tabelle 19 zeigt die Hauptbeteiligten und dessen Rollen in der Fallstudie:

Das sogenannte *Projektboard* veranstaltete fortan eine wöchentliche Sitzung zur Sicherung des gemeinsamen Verständnisses der Konzeption im Anwendungsumfeld.

Funktion	Koordinationsaufgabe
Abteilungsleiter IT	Kompetenzen im Aufgabenbereich der <b>IT-Infrastruktur</b> abstimmen
Betriebsleiter	Kompetenzen für Ressourceneinsätze und <b>Entscheider</b> abstimmen
Coach	Konzeption und <b>Vorgehensmethodik</b> coachen
Leiter Fertigungsbereich	Kompetenzen im Aufgabenbereich <b>Produktionssteuerung</b> abstimmen
Mitarbeiter Arbeitsvorbereitung	Kompetenzen im Aufgabenbereich <b>Produktionsplanung</b> abstimmen
Werkstudent	Kompetenzen im Aufgabenbereich <b>Projektsteuerung</b> abstimmen

TABELLE 19 - PROJEKTBOARD DER FALLSTUDIE

Hierbei wurden geplante Aufgaben, laufende Arbeitspakete, Fortschritt, Engpässe, Rahmenbedingungen, operative Maßnahmen sowie Risiken zur Erfüllung der Aufgabenziele des DRK diskutiert. Als Ergebnis wurden den Mitgliedern des Projektboards jeweils operative Aufgaben zugewiesen. Diese galt es im Sinne der Konzeption des DRK zu lösen. Der Fortschritt wurde dazu durch eine projektbegleitende Überwachung dokumentiert.

Der Zeitraum der Fallstudie erstreckte sich vom 06.03.2019 bis zum 24.09.2019. Insgesamt wurden dabei vier persönliche Besuche im Unternehmen durchgeführt.

Zu den Vor-Ort-Besuchen wurden insgesamt drei Statustreffen mit der Geschäftsführung organisiert, um über die Fallstudie persönlich zu berichten. Alle anderen Kommunikationen wurden via E-Mail, Telefon oder Video gestaltet. Im Verlauf der Fallstudie wurden dabei die inhaltlichen Entwicklungsphasen des DRK durchlaufen und dokumentiert.

### 7.2.2 INHALTE DER FALLSTUDIE

Um die inhaltliche Ausrichtung der Fallstudie nachvollziehen zu können, wird diese zunächst in einem fachlichen Gesamtzusammenhang vorgestellt. Nachgelagert erfolgt in Kapitel 7.2.2 die konkrete Bewertung der Prüfmerkmale zur Evaluierung der einzelnen Prüfergebnisse.

Der DRK wurde in einem mittelständischen Industrieunternehmen auf seine Praxistauglichkeit getestet.

Innerhalb der ca. sechsmonatigen Fallstudie wurde dabei das Produktionsziel „Senkung der Fehlerkosten“ als Regelaufgabe definiert. Im Umfeld einer mehrstufigen Fertigung, für ein zerspanntes Präzisionsbauteil der Zulieferindustrie, wurde die Konzeption des DRK dazu praktisch angewandt. Dabei wurde das Konzept zur Anordnung der Regelemente und zur Gestaltung der Regelfunktionen genutzt. Die einzelnen Elemente des DRK wurden in einem gemeinsamen Anwendungsfall überprüft.

Als fachliches Ziel der Anwendung galt es, die Kennzahlen von Ausschuss und Nacharbeit zu verbessern. Zur Erfüllung der Regelaufgabe mussten dazu vertikale und horizontale Informationen in GP der Wertschöpfung integriert sowie persönliche und organisatorische Zusammenhänge konzipiert und spezifiziert werden.

Ausgehend von der Regelaufgabe wurde dazu eine Prozessanalyse durchgeführt. Diese identifizierte die einzelnen Regelemente und deren Funktionen in Form der Aktivitäten beteiligter GP.

In einem Folgeschritt der Analyse wurde die Qualität der aktuellen Regelaufgabe bewertet. Dabei diente die Regelgüte als Qualitätsmaß der Regelung. Qualitätsmerkmale wie die Anregelzeit, die Ausregelzeit, die Totzeit, das Antwortverhalten, bestehende Messfehler oder verbleibende Abweichung, wurden hierbei bewertet. Die Ausprägung der Merkmale der Regelgüte wurde durch die Messung einzelner Kontrollpunkte im Regelkreis erfasst.

Hierdurch ließen sich Regelgüte bewerten und Schwachstellen im Wirkprozess der Regelung belegen. Als Ergebnisse der Prozessanalyse ergaben sich gleichzeitig organisatorische Potenziale. Diese galt es im Sinne der Regelaufgabe zu konzipieren.

Ziel war es die bis dato geltenden Anregelzeit von 1 AT bis zu 14 AT und Ausregelzeiten von bis zu 3 Wochen auf maximal schichtbezogene Reaktions- und Anpassungszeiten der Fehlerursachen zu reduzieren. Dadurch sollten die produktbezogenen Fehlerkosten durch die anfallenden Ausschüsse und Nacharbeitsmengen gesenkt werden.

Nachfolgend werden konkrete Regelemente aus der Fallstudie beschrieben:

Als Eingangsgrößen der konzipierten Regelung wurden artikelbezogene Prüfmerkmale, Prüfmittel, Prüfzyklus und Toleranzen als Vorgabewerte ermittelt. Diese bildeten die Datenobjekte für die Aktivität „Sollwert definieren“. Zur Erfassung der Qualitätsausprägungen am Produkt wurden dazu visuelle Prüfungen der Produktoberflächen an Arbeitsplätzen der Fertigung implementiert. Diese bildeten die Eigenschaften der Aktivität „Istwert messen. Zum Zeitpunkt der Prüfung änderte der Arbeitsplatz dabei seinen virtuellen Status auf „in Prüfung“. Die erfassten Messwerte wurden anhand definierter Produktfehlerbilder/-arten klassifiziert und bewertet. Diese Aktivitäten beinhalteten die Aufgaben des Regelelementes „Abweichungen beurteilen“. Im Falle nicht tolerierter Qualität der Oberflächengüte wurde der virtuelle Status am betroffenen Arbeitsplatz auf „Prüfung n.i.O.“ geändert. Dieser Zustand charakterisierte eine verletzte Eingriffsgrenze als Ergebnis der bedingten Messwertüberwachung. Bei negativem Ergebnis der Aktivität „Abweichung beurteilen“ wurden parallel zum Messergebnis kontextbezogene Prozessdaten, als mögliche Ursachen, der Fehlerart zugeordnet. Diese Prozesswerte wurden im Zuge der Aktivität „Planwert ermitteln“ spezifiziert und kommuniziert. Daraufhin wurden diese Informationen an den verursachenden Arbeitsplatz übertragen. Durch die Aktivität „Planwert übertragen“ wurden die Kontextinformationen an die fehlerverursachende Stelle übertragen. Zu den Informationen gehörten Bewegungsdaten wie bspw. die Kontextinformationen zum Arbeitsplatz, Fertigungsauftrag, Arbeitsgang, Datum, Uhrzeit, Fehlerart, Chargennummer, Maschinenstatus, Menge, Mitarbeiter oder Werkzeug. Am empfangenden Industrie-PC (BDE-Terminal) der Planwerte wurden die übermittelten Fehlerinformationen durch einen Statuswechsel in „Maßnahme nach Prüfung“ gegengezeichnet. Auf Grundlage der übermittelten Planwerte wurden anschließend reale Maßnahmen eingeleitet, um die Fehlerursachen abzustellen. Diese wurden dabei durch einen Kommentar, z.B. über geänderte Einstellungen an der Geräteperipherie, gewechselte Verschleißkomponenten, angepasste Materialeigenschaften oder Mitarbeiterqualifizierung, digital dokumentiert. Die umgesetzten Maßnahmen entsprachen hierbei der Aktivität „Planwert umsetzen“ im DRK. Nachfolgend startete der operative Regelkreis mit der Aktivität „Prüfung durchführen“ erneut.

Die Datenobjekte der verwendeten Anwendungssysteme im Informationsfluss ermöglichten dabei die Dokumentation virtueller Zustände (Ereignisse) im DRK. Diese dienten zur Festlegung der Kontrollpunkte im DRK.

Aktivität im DRK	Aktivität im GP	Zustand im DRK
Sollwert definieren	Prüfzyklus abgelaufen	PRÜFUNG FÄLLIG
Istwert messen	Prüfung durchführen	IN PRÜFUNG
Abweichung beurteilen	Grenzwert überwachen	PRÜFUNG N.I.O
Planwert ermitteln	Fehler dokumentieren	FEHLERART ERMITTELN
Planwert übertragen	Abweichung kommunizieren	MASSNAHME NACH PRÜFUNG
Planwert umsetzen	Maßnahme durchführen	KOMMENTAR ERFASST

TABELLE 20 - AKTIVITÄTEN IM DRK DER FALLSTUDIE

Mit Hilfe der Kontrollpunkte und im Abgleich zu den Prozesszielen wurde die Regelgüte (Geschwindigkeit der Reaktion, Effektivität der Maßnahme, Abweichung vom Sollwert) überwacht und weiterentwickelt. Potenziale zur Steigerung der Reaktionsfähigkeit wurden transparent und konnten gezielt gefördert werden.

Die Umsetzung des digitalen Informationsflusses wurde dabei mit Hilfe eines Fertigungsleitsystems (MES) realisiert. Die Vorgabewerte der Regelung stammten aus dem Umfeld der Unternehmensleitebene (ERP/CAQ)

Die Verarbeitung der Informationen im konzipierten DRK erfolgte nahezu online. Die erzielte Reaktionsgeschwindigkeit zur Aktivierung realer (Gegen-) Maßnahmen kann als unmittelbar (~10min) bis schichtgenau (<8h) beschrieben werden. Schichtmodell, Fehlerart und Personalverfügbarkeit nahmen dabei Einfluss auf die reale Reaktionsfähigkeit im operativen Regelkreis.

Als quantifizierbares Ergebnis der Fallstudie konnte die Qualitätsrate der Wertschöpfung gesteigert werden. Die Produktionskennzahl des First Pass Yield wurde um > 2% verbessert. Der Umfang von Ausschuss und Nacharbeit wurde gesenkt und die Produktfehlerkosten entsprechend reduziert. Konkrete Ergebnisse werden dazu werden in Kapitel 7.2.3.1 dargestellt

Im Zuge der Entwicklung des DRK galt es einen zielorientierten Wirkprozess inklusive der notwendigen Motivation, Qualifikationen und Legitimation der Teilnehmer sicherzustellen. Die Entwicklung der digitalen Kompetenz (Wollen x Können x Dürfen) wurde durch die Spezifikation der Ressourceneinsätze zwischen Mensch, Technik und Organisation sichergestellt. Dabei wurden alternative Anordnungsbeziehungen zur Übernahme der Regelaufgaben bewertet. Als Ergebnis ergab sich die Erkenntnis, dass die GP im Sinne der Regelaufgabe angeordnet werden müssen (horizontale Ebene). Danach wurden konkrete Anforderungen an die digitale Regelgüte (vertikale Ebene) ermittelt. Geforderte Antwort- und Reaktionszeiten zur Sicherung des Produktionsziels konnten somit definiert werden.

Als Folge der definierten Ziele im GP wurden die Einflüsse menschlicher und organisatorischer Rahmenbedingungen analysiert und im Sinne der Regelaufgabe

konzipiert. Zur Umsetzung des geschlossenen Wirkprinzips im Informationsfluss wurden abschließend Anforderungen an technische Regelfunktionen spezifiziert. Diese wurden nachgelagert durch digitale Prozessaktivitäten und zugehöriger Datenobjekte der Anwendungssysteme realisiert.

Der konkrete DRK wurde durch GP der fertigungsbegleitenden Qualitätssicherung aktiviert.

Die Regelfunktionen wurden dabei durch die Eigenschaften der Aktivitäten der GP als Aufgaben des DRK detailliert. Anschließend konnte diese über betriebliche Anwendungssysteme horizontal vernetzt werden. Technische Schnittstellen zwischen der Unternehmensleitebene, der Fertigungsleitebene und der Fertigungsebene (vgl. ISA 95) wurden dabei genutzt, um den vertikalen Austausch zu realisieren.

Der inhaltliche Fokus des DRK galt der Reaktionszeit bei (drohender) Grenzwertverletzung zur Sicherung der Produktqualität. Unter dem Schlagwort „Fehlerfrüherkennung“ wurde ein DRK zur Sicherung des Ziels implementiert.

Der DRK steigert dabei die Geschwindigkeit zur Behebung von Leistungsverlusten (Produktionsfehler) und erhöht gleichzeitig die Transparenz der eigentlichen Fehlerursache. Kennzahlen wie Ausschuss und Nacharbeit, als Teil der übergeordneten Gesamtanlageneffektivität, bestätigen diesen Effekt.

Die konkreten Ergebnisse der Überprüfung der Konzeption des DRK werden dazu nachfolgend dargestellt.

### 7.2.3 ERGEBNISSE DER PRÜFUNG

Im weiteren Verlauf werden die Ergebnisse der Fallstudie anhand der prüfungsrelevanten Merkmale (PM01-PM07 aus Kap.: 7.1.3) zusammengefasst.

Eine ausführliche Dokumentation der Ergebnisse wird dazu in Anhang A51 beschrieben und wurde unter (Schwäke et al. 2020) veröffentlicht.

#### 7.2.3.1 PRODUKTIONSZIELE ERFÜLLEN

Als Ergebnis der Fallstudie wurden Kennzahlen<sup>67</sup> der Produktion (PM01) gemessen und im Zeitverlauf der Fallstudie verglichen. Durch den Einsatz des DRK wurden hierbei Ausschüsse gemindert. Das Produktionsziel zur Senkung der produktbezogenen Fehlerkosten (Qualität) konnte damit unterstützt werden.

Die gemessenen Produktionskennzahlen sind hierzu in Tabelle 21 aufgeführt:

Produktionskennzahl Produktbezogen	Datum der Messung		Veränderung		
	Erste Messung 15.05.2019	Letzte Messung 18.11.2019	absolut	prozentual	Trend
Qualitätsrate	11,20%	9,62%	-1,58	14,11%	↑
Ausschussquote	10,16%	8,90%	-1,26	12,40%	↑
Ausschussquote <sub>Fehlerbild</sub>	2,40 %	0,93%	-1,47	61,25%	↑
Nacharbeitsquote	2,24%	2,42%	+0,18	8,03 %	↓
First Pass Yield	87,60%	88,68%	+1,08	1,23%	↑
Fall of Rate	7,93 %	6,48%	-1,45	18,28%	↑
Buchungsgenauigkeit	85,12%	99,06%	+13,94	16,38	↑

TABELLE 21 - PRODUKTIONSKENNZAHLEN – ERGEBISSE DER FALLSTUDIE

<sup>67</sup> lt. VDMA-Einheitsblatt ICS 03.100.50.

### 7.2.3.2 VORAUSSETZUNGEN EINHALTEN

Durch die betriebliche IT-Infrastruktur des Unternehmens wurden die geforderten Voraussetzungen (PM02) zur Verarbeitung digitaler Daten erfüllt.

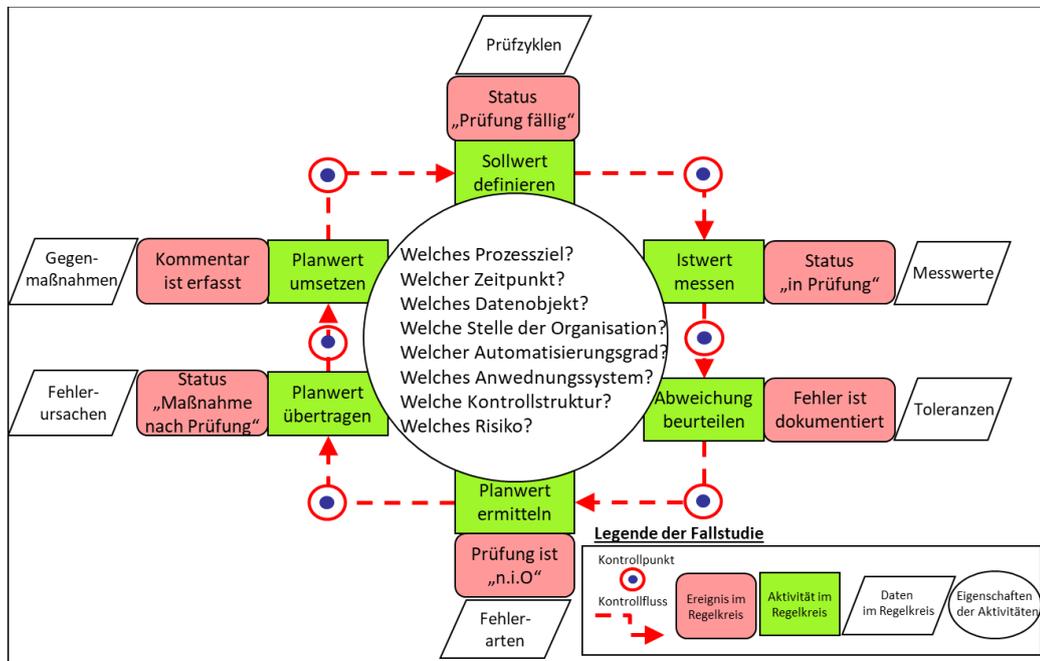
Die Ergebnisse zur Einhaltung der Voraussetzungen PR01-PR07 sind dazu in Tabelle 22 zusammengefasst:

ID	Ergebnisse und Ausprägungen im DRK der Fallstudie
PR01	Es wurden Nutzdaten betrieblicher Anwendungssysteme eingesetzt. Dabei wurden die Stammdatenobjekte Artikel, Fertigungsstückliste, Arbeitsplan und Prüfpläne als Grundlage zur Gestaltung der PPS Datenobjekte für CAQ, ERP, MES eingesetzt.
PR02	Es wurden Client-Anwendungen an kaufmännischen und gewerblichen Arbeitsplätzen der betrieblichen Anwendungssysteme genutzt, um die Schnittstelle zwischen Mensch-Maschine zu betreiben. Als Hardware wurden Büro- und Industrie-PCs und dessen GUI verwendet.
PR03	Die Steuerung des Zeitverhaltens im DRK erfolgte zeit- und ereignisgesteuert. Hierbei war der Prüfzyklus bspw. ein <i>zeitgesteuertes Ereignis</i> und der abhängige Statuswechsel eines Maschinenstatus ein <i>ereignisgesteuertes</i> . Darüber hinaus wurden manuelle Eingaben durch Bediener der MES Applikation (BDE-Terminal) durchgeführt (z.B. Anmeldung eines Prüfarbeitsgangs) und es wurden stetige Verarbeitungsroutinen in Form automatisierter Services (z.B. Dienste zum Datentransfer zwischen ERP und MES) verwendet.
PR04	Die Erfassungsdaten, Ereignisse und Messwerte im DRK wurden regelbasiert überwacht. Dazu wurden tabellarische Protokolltabellen (bspw. in Form von Buchungshistorien) im MES eingesetzt. Es wurden Grenzwerte zur Selektion relevanter Ausprägungen (Eintrittsbedingungen) definiert.
PR05	Durch bedingte Filterungen (Auslöser) und definierte Reaktionen (Maßnahme) erfüllter Bedingungen (Ereignis), wurde eine regelbasierte Kommunikation aktiviert. Digitale Ereignisse wurden dabei in unterschiedliche Empfängerkreise kommuniziert. Unterschiedliche Zustände waren bspw. die Änderung einer Kennzahl (Ausschussquote) oder die Änderung eines Arbeitsplatzstatus (Maschinenstatus == „In Prüfung“).
PR06	Durch die Einbindung von MDE-Signalen der Fertigungsebene in die Fertigungsleitebene (MES) wurde dem gewerblichen Maschinenbediener (Mensch) der Status des Arbeitsplatzes visuell dargestellt. Die Schnittstelle zwischen Maschine und Mensch wurde dabei über die Schnittstellen der technischen Komponenten: Maschinensteuerung (PLC) → OPC-Server → OPC-Client → MES-Applikation (Industrie-PC) per LAN realisiert. Als Ergebnis wurde dem menschlichen Terminalbediener bspw. der Betriebszustand der Maschine als „In Produktion“ (grün) oder „In Stillstand“ (gelb/rot) farbig angezeigt.
PR07	Die Schnittstelle der auftragsbezogenen Vorgabe- und Fortschrittsdaten am gewerblichen Arbeitsplatz wurde durch den Datenaustausch zwischen ERP und MES realisiert. Das PPS-Datenobjekt „Fertigungsauftrag“ diente hierbei als konzeptioneller Objektbezug im automatisierten Datentransfer der Bewegungsdaten.

**TABELLE 22 - VORAUSSETZUNGEN – ERGEBISSE DER FALLSTUDIE**

### 7.2.3.3 AUFBAUSTRUKTUR ANWENDEN

Die Aufbaustruktur (PM03) des DRK wurde als Grundlage zur Modellierung des Systementwurfs verwendet. Zur Entwicklung des Entwurfs diente die Aufbaustruktur des DRK in den Phasen 5 bis 15 als Vorlage. Abbildung 41 visualisiert den Entwurf als Ergebnis aus Systemkonzept und Anforderungsspezifikation zum Ende der Phase 15.



**ABBILDUNG 41 - AUFBAUSTRUKTUR – ERGEBISSE DER FALLSTUDIE**

(Schwäche et al. 2020)

Zur Spezifikation der Ereignisse, Datenobjekte und Funktionen wurde die Struktur der sequentiellen Aktivitätsfolge des DRK eingesetzt. Die Aktivitäten wurden dabei durch lokale Aufgaben der Regelelemente im Wirkprozess des DRK ausgerichtet.

Der Wirkprozess unterstützte dabei die Regelaufgabe zur „Fehlerfrüherkennung“ mit dem Ziel der produktbezogenen Fehlerkostensenkung. Die Aufbaustruktur diente hierbei als Design-Vorlage zur Konzeption des Systementwurfs.

Die Aufbaustruktur erlaubte die strukturierte Dokumentation, Analyse und Entwicklung der Eigenschaften einzelner Regelelemente im DRK. Weiterhin wurde hierdurch der übergreifende Wirkprozess im DRK ersichtlich und konnte mit Hilfe der Entwicklungsphasen (Kap.: 6.4) dimensioniert und dokumentiert werden.

#### 7.2.3.4 ENTWICKLUNGSPHASEN DURCHLAUFEN

In der Fallstudie wurden die Entwicklungsphasen des DRK (PM04) anhand der Entscheidungspunkt 1-15 dokumentiert. Tabelle 23 zeigt die Ergebnisse:

Gate	Ziel der Phase	Ergebnis/Output
1	Regelpotenzial identifizieren	Produktbezogene Fehlerkosten senken
2	Produktionsziel definieren	Kennzahl FPY verbessern
3	GP identifizieren	Fertigungsbegleitende Qualitätssicherung
4	Teilprozesse identifizieren	Prüfplan erstellen; Messwert erfassen; Prüfergebnis ermitteln; Fehlerart definieren; Fehlerursprung zuordnen; Gegenmaßnahme definieren; Maßnahme einleiten; Wirksamkeit beurteilen, Prüfzyklus überwachen, Prüfqualität beurteilen
5	Regelkreis identifizieren	Regelkreis zur Sicherung der produktbezogenen Qualitätsrate
6	Regelaufgabe bewerten	Regelaufgabe der fertigungsbegleitenden QS wurde für das Produktionsziel validiert
7	Regelgüte bewerten	Das vorliegende Regelverhalten wurde als instabil bewertet
8	Regelgüte definieren	Das geforderte Regelverhalten wurde als grenzstabil definiert
9	Globale Regelgüte definieren	Die Regelemente RE1-RE6 und Kontrollpunkte KP I – KP VI wurden im GP definiert
10	Ziele lokaler Regelemente spezifizieren	Die Merkmale des DRK wurden auf die RE1-RE6 im GP der fertigungsbegleitenden QS übertragen. Das lokale Verhalten der RE1-RE6 wurde hierzu konzipiert
11	Kontrollfluss definieren	Der Wirkprozess zwischen den KP I bis KP VI wurde durch die Definition von digitalen Ereignissen, Bedingungen und Soll.-Zuständen, in Form von Regeln, spezifiziert
12	Teilprozess analysieren	Für RE1-RE6 wurden die Merkmale Prozessziel, PPS-Aufgabe, Stelle, Datenobjekt, Kontrollfluss, Automatisierungsgrad und Art der Zustandsüberwachung <sup>68</sup> im Status Quo analysiert
13	Interoperabilität spezifizieren	Es wurden 10 Anforderungen an den gemeinsamen Wirkprozess der RE1-RE6 formuliert
14	Kompetenzeinsatz definieren	Die Funktionsbereiche spezifizierten den Entwurf des DRK durch die Konzeption fachlicher Teilaufgaben. Als Ziel der Überführung der Ressourceneinsätze wurde eine Teilautomatisierung der gesamten Regelaufgabe definiert
15	Anforderungsspezifikation	Funktionale Anforderungen (CR001-CR015) wurden zur Aktivierung des DRK definiert

**TABELLE 23 - ENTSCHEIDUNGSPUNKTE – ERGEBISSE DER FALLSTUDIE**

Die Ergebnisse der Entscheidungspunkte 1-15 wurden genutzt, um die Anforderungen zu spezifizieren und den Systementwurf zu gestalten

#### 7.2.3.5 REIFEGRAD BEWERTEN

Die Reifegradmatrix (PM05) wurde zu zwei Zeitpunkten (**ZP**) angewandt.

**ZP1:** in der *Entwicklungsphase 12 zur Analyse der Teilprozesse* (Datum: 25.06.2019)

*Frage: Welchen **Reifegrad** besitzt die **Ist-Regelung**?*

**ZP2:** nach **Implementierung** des Systementwurfs (Datum: 17.09.2019)

*Frage: Welcher **Reifegrad** wurde durch die **Soll-Regelung** erreicht?*

<sup>68</sup> beschreibt den aktuellen Prozess zur Kontrollflusssteuerung und zur Wirksamkeitsbeurteilung

Dabei wurde die Vorlage der Reifegradmatrix (Abbildung 42) verwendet, um die Aktivitäten zu bewerten. Das Produktionsziel zur Sicherung von Produkt- und Prozessqualität fokussierte die Aktivität<sub>(V)</sub> „**Bearbeitung überwachen**“.

Diese wurde im Verlauf der Fallstudie vom Reifegrad [2] „Die Leistung der der Aktivität<sub>(V)</sub> Bearbeitung überwachen wird digital **erfasst**“ in den Reifegrad [5]

„Die Leistung der Aktivität<sub>(V)</sub> Bearbeitung überwachen wird digital **überwacht**“ gesteigert.

Die Leistung der Aktivität		wird digital							
Symbol	Beschreibung	nicht abgebildet	nicht erfasst (1)	erfasst (2)	ausgewertet (3)	bewertet (4)	überwacht (5)	genutzt (6)	reguliert (6)
I	Arbeitsplatz vorbereiten	?							
II	Werkstück anliefern	?							
III	Arbeitsplatz beladen	?							
IV	Werkstück bearbeiten	?							
V	Bearbeitung überwachen	?							
VI	Arbeitsplatz entladen	?							
VII	Werkstück abholen	?							

ABBILDUNG 42 - VORLAGE REIFEGRA DMATRIX

Der Reifegrad der Aktivitäten I, II, III, IV, VI und VII (vgl. Kap.: 6.5) änderte sich im Verlauf der Fallstudie nicht. Die Merkmale der Regelgüte wurden gemessen, um die Reifegradentwicklung zu dokumentieren. Die Veränderung des Reifegrades ist dazu in Tabelle 24 dargestellt:

Bewertung am 25.06.2019 – ZP1										Bewertung am 17.09.2019 – ZP2										
Die Leistung der Aktivität		wird digital								Die Leistung der Aktivität		wird digital								
Symbol	Beschreibung	nicht abgebildet	nicht erfasst (1)	erfasst (2)	ausgewertet (3)	bewertet (4)	überwacht (5)	genutzt (6)	?	Symbol	Beschreibung	nicht abgebildet	nicht erfasst (1)	erfasst (2)	ausgewertet (3)	bewertet (4)	überwacht (5)	genutzt (6)	?	
I	Arbeitsplatz vorbereiten	?								I	Arbeitsplatz vorbereiten	?								
II	Werkstück anliefern	?								II	Werkstück anliefern	?								
III	Arbeitsplatz beladen	?								III	Arbeitsplatz beladen	?								
IV	Werkstück bearbeiten	?								IV	Werkstück bearbeiten	?								
V	Bearbeitung überwachen	?								V	Bearbeitung überwachen	?								
VI	Arbeitsplatz entladen	?								VI	Arbeitsplatz entladen	?								
VII	Werkstück abholen	?								VII	Werkstück abholen	?								

TABELLE 24 - REIFEGRADE UND REGELGÜTE - ERGEBISSE DER FALLSTUDIE

Die Kennzahlen der Regelgüte wurden zudem gemessen und bewertet. Diese bestätigen die Veränderung des Reifegrades (Tabelle 25).

Bewertung am 25.06.2019 – ZP1			Bewertung am 17.09.2019 – ZP2		
Merkmal der Regelgüte	Ausprägung	Einheit	Merkmal der Regelgüte	Ausprägung	Einheit
Anregelzeit	180 <sub>min</sub>   20160 <sub>max</sub>	min	Anregelzeit	0,5 <sub>min</sub>   15 <sub>max</sub>	min
Totzeit	~180	min	Totzeit	~1	min
Ausregelzeit	---	---	Ausregelzeit	~3	Tage
Stationäre Genauigkeit	85,38	%	Stationäre Genauigkeit	99,06	%
Analyseaufwand	3000 <sub>min</sub>   3600 <sub>max</sub>	min	Analyseaufwand	~3	min
Verbleibende	12,40	%	Verbleibende	1,96	%
Abweichung			Abweichung		

TABELLE 25 - REGELGÜTE - ERGEBISSE DER FALLSTUDIE

Die Ausprägungen der Merkmale quantifizieren dazu die Veränderung der Regelgüte zu den Zeitpunkten (ZP) ZP1 und ZP2.

### 7.2.3.6 KONTROLLPUNKTE EINFÜHREN

Ab der neunten Entwicklungsphase wurden Kontrollpunkte (PM06) zwischen den Aktivitäten der Regelemente definiert und dessen Ausprägungen erfasst. Diese dienten fortan zur Bewertung des Wirkprozesses der fertigungsbegleitenden Qualitätssicherung. Mit Hilfe der Kontrollpunkte, wurden nicht-tolerierte<sup>69</sup> Abweichungen für Zeitpunkte und Datenqualität im Kontrollfluss festgestellt (Tabelle 26).

KP	Fragen zur Beurteilung der Wirksamkeit	Daten am Kontrollpunkt		Informationsträger PPS-Datenobjekte
		Zeitpunkt KP-001	Datenqualität KP-002	
I.	Sind die Vorgabewerte am Prüfplatz verfügbar?	Prüffälligkeit	Prüfmerkmale	Prüfplan
II.	Werden Prüfzyklus und Prüfumfang eingehalten?	Prüfpunkt	Stichprobenumfang	Prüfauftrag
III.	Erfasst das Prüfmittel fehlerhafte Eigenschaften?	Messpunkt	Messwert	Prüfearbeitsgang
IV.	Wird im Fehlerfall eine Fehlerart zugeordnet?	Prüfentscheid	Prüfergebnis	Prüfearbeitsgang
V.	Wird eine Gegenmaßnahme ermittelt?	Maßnahmen- entscheid	Maßnahmen- auswahl	Arbeitsplatz (Historie)
VI.	Wird eine wirksame Gegenmaßnahme eingeleitet?	Maßnahmen- aktivierung	Maßnahmen- kommentar	Arbeitsplatz (Historie)

**TABELLE 26 - KONTROLLPUNKTE DER FALLSTUDIE**

Diese Abweichungen wurden hinsichtlich ihrer Ursachen untersucht. Hierbei wurde jeweils die Frage gestellt, „warum“ sich eine zeitliche (KP-001) und/oder qualitative (KP-002) Abweichung zur Weiterverarbeitung der Ausgangsdaten (out) als Eingangsdaten (in) an der Schnittstelle abhängiger Regelemente ergibt (Tabelle 27).

KP	Anwendungs- system	Informationsträger	Hauptgründe für Abweichungen am Kontrollpunkt	
			KP-001	KP0-002
I.	MS-Office	Ausdruck	Zeitstempel fehlt	Grenzmuster fehlen
II.	MES	BDE-Terminal	Keine Auswertung der Zeitpunkte	Stichprobenumfang fehlt
III.	---	Mitarbeiter	Zeitstempel fehlt	Messwert fehlt
IV.	---	Mitarbeiter	Zeitstempel fehlt	Fehlerkatalog fehlt
V.	---	Schichtbuch	Zeitstempel fehlt	Eintrag in Maschinenhistorie fehlt
VI.	---	Mitarbeiter	Zeitstempel fehlt	Beurteilung der Maßnahme fehlt

**TABELLE 27 - ABWEICHUNGEN AN DEN KONTROLLPUNKTEN**

Die Analyse der Output-Input Beziehung an den Kontrollpunkten gab Aufschluss über die Gründe fehlender Interoperabilität zwischen den Regelementen. Als Folge der Gründe wurden in den Entwicklungsstufen (Gate 13-15) potenzielle Maßnahmen, notwendige Rahmenbedingungen und geforderte Leistungen zur Steigerung der technischen und organisatorischen Interoperabilität spezifiziert. Diese wurden aus den Ergebnissen an den Kontrollpunkten abgeleitet und spezifiziert (A51). Im Systementwurf konnten diese Kontrollpunkte mit Hilfe eines Anwendungssystems in integrierter Form überwacht werden. Exemplarische Ansichten sind dazu in Anhang A52 dargestellt.

<sup>69</sup> gemessen an der Soll.-Regelgüte zur Sicherung der Produktionsziele

### 7.2.3.7 KOMPETENZORIENTIERUNG VORNEHMEN

Zur kompetenzorientierten Entwicklung des Systementwurfs (PM07) wurden im Zuge der vierten Entwicklungsphase Verantwortlichkeiten der PPS-Datenobjekte identifiziert. Die Fachkompetenzen wurden fortan genutzt, um Stammdaten (Artikel, Arbeitsplan, Stückliste, Prüfplan) und Bewegungsdaten (Fertigungsauftrag, Arbeitsgang, Prüfauftrag) sowie objektbezogene Protokollsätze (auftragsbezogene, maschinenbezogene, prüfbezogene Buchungsposten) zu analysieren. Im Anschluss zur Bewertung der Ist.-Regelgüte und einer nachgelagerten Anforderungsdefinition der Soll.-Regelgüte, wurden die Kompetenzen der Fachbereiche eingesetzt, um inhaltliche Aufgaben des Systementwurfs zu konzipieren. Hierbei wurden bspw. Aufgaben zur Erstellung neuer Stammdaten (Fehlerarten – QS; Arbeitsgang – Produktion; Maschinenstatus - IT) durch die Fachkompetenzen übernommen. Die Definition des Kompetenzbedarfs sowie die Fortschrittskontrolle operativer Aufgaben wurden dazu vom Projektboard übernommen. Hierbei wurden überwiegend nicht-fachlichen<sup>70</sup> Kompetenzen eingesetzt.

Der Konflikt zwischen den Zielen der Funktionsbereiche (Aufbauorganisation) und den Zielen des DRK (Ablauforganisation) konnte mit Hilfe der Kompetenzorientierung gelöst werden.

Als Maßnahmen des Projektboards wurden bspw. Eskalationen zur Entscheidungsfindung der Geschäftsführung angestoßen, Verantwortlichkeiten im operativen GP geändert, der Ausbau von Personalqualifikationen angewiesen oder Prioritäten operativer Aktivitäten, wie bspw. die der Prüffrequenz/-genauigkeit, angepasst. Die Kompetenzorientierung erfolgte dabei in Form der Analyse vorhandener Verantwortlichkeiten und bisheriger Arbeitsergebnisse betroffener Mitarbeiter, sowie dessen Veränderungsmotivation zum Kompetenzeinsatz im GP.

Über die Zuständigkeiten einzelner Aufgabenbereiche konnten die jeweiligen Ist.-Kompetenzträger im GP ermittelt werden.

Im Falle fehlender Zuständigkeiten oder bei Zielkonflikten der im GP-beteiligten Zuständigkeiten, wurden legitimierende Kompetenzen eingesetzt, um mit Hilfe der Aufbauorganisation Aufgabenziele zu kommunizieren und zu priorisieren.

Hierdurch wurden die Kompetenzbedarfe der Entwicklungsphasen durch das Kompetenzangebot der Organisation gedeckt. Die Definition der Soll-Kompetenzen orientierte sich dabei an den definierten Prozesszielen (Ablauforientierung) im Systementwurf.

---

<sup>70</sup> methodische, legitimierende, persönliche, soziale (vgl. A47)

### 7.3 BEWERTUNG DER ÜBERPRÜFUNG

Die durchgeführte Evaluation widerlegt die Hypothesen aus Kapitel 7 nicht.

Die Ergebnisse der Fallstudie werden nun verwendet, um die Evaluation der Konzeption vorzunehmen. Die Bewertung wird anschließend genutzt, um die Forschungsfragen aus Kapitel 5.3.3 zu beantworten. Die Erfüllung der Prüfmerkmale dient dabei zur Überprüfung der Konzeption (Tabelle 28):

Prüfmerkmal	Referenzen		Anforderung	
	Anforderung	Ergebnisse	Kurzbezeichnung	Beurteilung
PM01	Kap.: 6.1	Kap.: 7.2.3.1	Produktionsziele	wurden erfüllt
PM02	Kap.: 6.2	Kap.: 7.2.3.2	Vorraussetzungen	wurden eingehalten
PM03	Kap.: 6.3	Kap.: 7.2.3.3	Aufbaustruktur	wurde angewandt
PM04	Kap.: 6.4	Kap.: 7.2.3.4	Entwicklungsphasen	wurden durchlaufen
PM05	Kap.: 6.5	Kap.: 7.2.3.5	Reifegrad	wurde bewertet
PM06	Kap.: 6.6	Kap.: 7.2.3.6	Kontrollpunkte	wurden definiert
PM07	Kap.: 6.7	Kap.: 7.2.3.7	Kompetenzorientierung	wurden vorgenommen
PP01	Kap.: 7.1	Kap.: 7.2.1	Rahmenbedingungen	wurden eingehalten
PP02	Kap.: 7.1	Kap.: 7.2.3	Dokumentationsform	wurde teilweise eingehalten

TABELLE 28 - BEURTEILUNG DER PRÜFMERKMALE

Die Anforderungen an die Ergebnisse der Fallstudie wurden größtenteils (Tabelle 28 - grün) erfüllt. Die Dokumentationsform der Prüfpunkte (PP02) konnte dabei nicht allen Anforderungen gerecht werden (Tabelle 28 – gelb). Die abweichende Dokumentationsform der Aufbaustruktur (Kap.: 6.3) begründet die nicht ganzheitlich erfüllte Anforderung der Dokumentation. Die Auswirkung der fehlenden Dokumentation schränkte den Einsatz der Aufbaustruktur (PM03) allerdings nicht ein.

Durch die Komplexität der Regelaufgabe und der damit verbundenen Vielzahl an Teilprozessen, Aktivitäten, Ereignissen, Prozesszielen, Daten, IT-Systemen, Organisationseinheiten und Informationsträgern im DRK, wurde die Aufbaustruktur nicht als ganzheitliches Modell visualisiert. Abweichend von der Dokumentationsanforderung, wurden unterschiedliche Perspektiven des DRK erstellt, um kontextbezogene Inhalte in einzelnen Modellen zu visualisieren. Hierbei wurde bspw. die Struktur des technischen Regelkreises als Vorlage verwendet, um das Regelverhalten zu spezifizieren<sup>71</sup>. Weiterhin wurden mehrheitlich tabellarische Darstellungen verwendet, um Ereignisse, Aufgaben und Prozessziele der Regelemente zu dokumentieren. Die abweichende Art der Dokumentation ergab sich vornehmlich aus Vorteilen der Anwendbarkeit für betroffene Kompetenzträger. Die Komplexitätsreduzierung auf kontextrelevante Inhalte beschleunigte hierbei den Wissenstransfer für Status Quo und Sollzustand. Zudem

<sup>71</sup> vgl. Ergebnisdokumentation der Fallstudie A51

ergab sich ein geringerer Aufwand bei der Erstellung und Dokumentation, welcher Motivation und Produktivität der Beteiligten förderte. Die Aufbaustruktur der Konzeption (PM03) wurde dabei immer als oberste Abstraktionsebene zur Ausrichtung der Teilperspektiven eingesetzt. Da es sich bei der Visualisierung des DRK (PP02) um eine „Kann-Prüfung“ handelt, wurden keine ergebnisrelevanten Prüfbedingungen verletzt.

Somit gilt festzuhalten, dass die Anforderungen der Prüfmerkmale (PM01-PM07) und alle „Muss-Prüfungen“ der Konzeption (PP01-PP02) vollständig erfüllt wurden. Dazu gehören die Eigenschaften der Organisation und die Durchführung der Entwicklungsphasen sowie die zugehörigen Aufgaben und Ergebnisse im Zeitverlauf. Durch die nachgelagerte Implementierung des Systementwurfs konnte zudem der konkrete Ergebnisbeitrag des DRK zu den Produktionszielen validiert werden. Durch die Anwendung der Konzeption und die Erfüllung der Anforderungen des DRK, konnten die Prüfziele PZ01 (Verifikation) und PZ 02 (Validierung) erreicht werden.

Diese Bewertung wird nachfolgend zur Beantwortung der Forschungsfragen genutzt.

### 7.3.1 PRAKTISCHER EINSATZ

Nachstehend werden die Forschungsfragen aus Kapitel 5.3.3 referenziert und anhand der Ergebnisse der Evaluation des DRK beantwortet:

#### **RQ01 soll den praktischen Einsatz ermöglichen**

**Q01** Aus den Zielen der Entwicklungsphasen 1-15 ergeben sich konkrete Aufgaben im Einführungsprozess des DRK. Der Aktivitätsplan definiert und strukturiert hierzu die operativen Aktivitäten im Zeitverlauf der Entwicklung.

**Q02** Ausgehend von der Gesamtaufgabe wird dabei eine hierarchische Strukturierung der Teilziele und der daraus resultierenden Teilaufgaben vorgenommen. Es ergeben sich zielbezogene Aktivitäten mit konkretem Ergebnisanspruch. Diese Aktivitäten können durch terminierte Endzeitpunkte in Arbeitspakete überführt und anhand der Entscheidungspunkte kontrolliert werden.

**Q03** Die Kompetenzorientierung und das Rollenverständnis der Konzeption ermöglichen die Ermittlung konkreter Kompetenzbedarfe im Gestaltungsumfeld. Der Bedarf kann anhand der Kompetenzarten (Kap.: 6.7) unterschieden und den Aufgaben der Entwicklungsphasen (Kap.: 6.4) zugeordnet werden.

### 7.3.2 FÜHRUNGSUNTERSTÜTZUNG

#### **RQ02 soll die Unterstützung der Führung ermöglichen**

**Q04** Die Führungsziele fließen anhand der Leistungskennzahlen (KPI) in die Methodik ein. Entscheidungsträger werden anhand ihrer Verantwortung für Produktionsziele in das Rollenverständnis der Konzeption integriert.

**Q05** Zu den Entscheidungspunkten der Entwicklungsphasen werden erzielte Ergebnisse vor dem Phasenabschluss legitimiert. Die Entscheidungen fließen dabei als Grundlage in Folgephasen ein. Die Freigabe wird durch die legitimierende Kompetenz der Ressourceneinsätze zur Eröffnung der Folgephase erteilt.

**Q06** Die Motivation der Führungskräfte zur Sicherung von Commitment und Support erfolgt über die Integration der Führungsrolle in die Entwicklungsphasen.

Führungskräfte sind durch die Verantwortung des Ressourceneinsatzes und die Freigabe der Entscheidungspunkte in die Entwicklung des Systementwurfs integriert.

### 7.3.3 SCHRITTWEISE ANWENDUNG

#### **RQ03 soll die schrittweise Anwendbarkeit ermöglichen**

**Q07** Bei der Anforderungsspezifikation definiert das Wirkprinzip des DRK Anforderungen an das lokale Übertragungsverhalten der Regelemente. Als Elemente der GP werden deren Aktivitäten als Teilaufgaben zur Erfüllung der Regelgüte analysiert. Die gesamte Regelaufgabe wird dabei in einzelne Bestandteile zerlegt.

**Q08** Die Konzeption orientiert sich an der Hauptsequenz Status Quo → Soll.-Konzept. Ergebnisse und Entwicklungsphasen sind dabei stark abhängig. Die Teilphasen zur Definition des Status Quo können sowohl in einem Ist- als auch einem Soll-Zustand orientierten Verfahren (Kap.: 6.1) durchlaufen werden. In beiden Ansätzen werden abhängige und sequentielle Entwicklungsschritte zur Ergebnissicherung durchlaufen.

**Q09** Die Orientierung des DRK an den Aufgaben der PPS impliziert das Sukzessiv-Modell der betrieblichen Auftragsabwicklung (Kap.: 3.4.3). Datenobjekte der PPS dienen dabei zur Verwaltung beteiligter Nutzdaten. Durch die Definition der Anforderungen an die Regelgüte zur Erfüllung der Produktionsziele und der nachgelagerten Analyse relevanter Daten, werden abhängige Teilziele im Wirkprozess erkennbar. Diese können den Kompetenzträgern der Datenobjekte zugeordnet werden. Der GP der betrieblichen Auftragsabwicklung definiert dabei relevante Aktivitäten und Organisationseinheiten im Datenfluss der Regelemente.

#### 7.3.4 REIFEGRADE

##### **RQ 04 soll die Entwicklung von Reifestufen ermöglichen**

**Q10** Es wurden die Reifegrade 0 bis 8 definiert (Kap: 6.5). Diese orientieren sich am Wirkprozess des technischen Regelkreises mit Transfer zur Selbstorganisation der Wertschöpfung. Die datenbasierte Kontrollstruktur zur Senkung betrieblicher Leistungsverluste dient hierbei zur Skalierbarkeit der Reifewirkung. Der Wirkprozess wird anhand der Stabilität der Regelgröße, dessen Einfluss auf die Produktionsziele, sowie des vorliegenden Automatisierungsgrads der Datenverarbeitung bewertet.

**Q11** Die Eigenschaften der Reifestufen orientieren sich an der Aufgabenerfüllung der Regelelemente. Dabei werden die Eigenschaften zur Definition der Reifestufen durch den Bekanntheitsgrad der Regelgrößen beschrieben. Ausgehend von Führungsgröße (Soll) und Messwert (Ist) über die Bekanntheit von Störgrößen und dessen Ursachen sowie der Wirkintensität pro- und reaktiven Maßnahmen, wird die Bekanntheit von Eintrittsbedingungen und Regeln skaliert. Abschließend wird die automatisierte Regelanwendung und Maßnahmenaktivierung als maximale Reife zur digitalgestützten Selbstorganisation festgelegt.

**Q12** Die Reifestufen sind abhängig vom Kompetenzaufbau im Regelsystem. Mit zunehmenden Informationen über Führungsgröße, Messwerte, Ereignisse, Einflussgrößen, Maßnahmenwirkungen, Alternativen und Störursachen der Wertschöpfung, steigt hierbei die Fähigkeit Regelgrößen digital zu kontrollieren. Der Kompetenzaufbau wird durch Integration des Wissens in den DRK (z.B. durch Regeln) überführt. Software beschreibt dazu technisch-reproduzierbare Kausalitäten der GP. Dieser Transfer steigert die digitale Reife zur Erfüllung der Regelaufgabe.

### 7.3.5 PRODUKTIONSZIELE

#### **RQ05 soll die nachhaltige Sicherung der Produktionsziele ermöglichen**

**Q13** Der Aufgabenschwerpunkt des DRK fokussiert die Optimierung von Kapazitätseinsatz (Anlageneffizienz) und Wertschöpfung (Auftragseffizienz). Durch die Quantifizierung dieser Ziele in Form von Kennzahlen wird deren Analyse ermöglicht. Die Analyse betroffener Erfassungs- und Auswertungsprozesse zur Kennzahlenbildung diskutiert gleichzeitig dessen Einfluss-/Störgrößen. Diese Diskussion fordert kurzfristige und langfristige Maßnahmen im Umgang mit vorhandenen Störungen. Relevante Entscheidungsbedarfe zur Systemoptimierung werden dabei unmittelbar sichtbar.

**Q14** Die Wandlungsfähigkeit der Produktion wird durch die Orientierung an den PPS-Datenobjekten sichergestellt. Durch Verwendung semantischer Standards aus konzeptionellen Datenmodellen betrieblicher Anwendungssysteme, werden Wartungszyklen, Erweiterbarkeit und Änderbarkeit implementierter Anwendungen skalierbar. Die Aufnahme oder Änderung relevanter Informationen im DRK kann hierbei über das lokale Änderungsmanagement der Organisation erfolgen. Im Falle neuer oder geänderter Rahmenbedingungen unterstützt eine objektorientierte Datenstruktur Migrationsansätze oder technische Anforderungen zur Spezifikation der GP.

**Q15** Der Anspruch zur Regelung von Produktionskennzahlen bedingt die Messung wertmäßiger Einflüsse beteiligter GP. Die Ressourcen der GP werden dabei durch ihre Organisationseinheiten und dessen Aktivitäten charakterisiert. Im Zuge der Sollkonzeption ergeben sich Änderungsbedarfe der Aktivitäten zur Erfüllung der Regelaufgabe. Diese Änderungsbedarfe werden in Form von Aufgabenzielen den verantwortlichen Organisationseinheiten übertragen.

### 7.3.6 VERÄNDERUNGSBEDARF

#### **RQ06 soll Veränderungen in der Organisation fördern**

**Q16** Ziel der Konzeption ist es organisatorische Rahmenbedingungen und technische Funktionen für den Systementwurf zu konzipieren. Dabei werden alternative Anordnungsbeziehungen für die Ressourcen MTO betrachtet. Bei Auswahl einer Ressourceneinsatzkombination ergibt sich im Systementwurf die Verpflichtung zur Erfüllung menschlicher, technischer und organisatorischer Anforderungen. Die definierten MTO-Anforderungen im Abgleich zum Status Quo signalisieren dabei die Bedarfe an geänderte Ressourceneinsätze im GP.

**Q17** Mit Hilfe der Kontrollpunkte wird die Output-Input Beziehung der Regelemente quantifiziert. Der Kontrollfluss orientiert sich dabei am Wirkprozess des DRK. Hierdurch wird die Bewertung lokaler Regelgrößen im Zeitverlauf ermöglicht. Eigenschaften wie Angemessenheit, Aktualität, Genauigkeit, Geschwindigkeit, Konsistenz, und Wiederholbarkeit der Datenverarbeitung werden messbar. Wird im Zuge der Messung ein Bedarf zur Anpassung der Eigenschaften im Sinne der Regelaufgabe festgestellt, wird dieser als lokales Veränderungsziel betroffener Aktivitäten im GP definiert.

**Q18** Die Kontrollpunkte ermöglichen die Beurteilung der Auswirkungen einer Veränderungsmaßnahme auf den Wirkprozess im DRK. Hierbei werden Veränderungen anhand der Geschwindigkeit (KP-001) und der Genauigkeit (KP-002) beteiligter Daten gemessen und beurteilt.

### 7.3.7 ANFORDERUNGSSPEZIFIKATION

#### **RQ07 soll die Anforderungsspezifikation der Produktion ermöglichen**

**Q19** Die Konzeption kategorisiert Wertschöpfungsverluste anhand der Zeitanteile des PPS-Arbeitsgangs. Durch den parallelen Bezug zur Prozesswirkung (PWG) und zur Anlageneffizienz (OEE) bietet das PPS-Datenobjekt *Arbeitsgang* die relevanten Informationen zur Erfassung realer Leistungsverluste. Die Konzeption verweist dabei auf die Bedeutung der digitalen Auftragsinformationen als zentrales Datenobjekt der PPS (Kap.: 3.4.3 - A21). Der Arbeitsgang als dessen Bestandteil führt operative Vorgabedaten (Sollwerte) und Erfassungsdaten (Istwerte) zusammen.

Leistungsverluste beteiligter Ressourcen können somit spezifiziert werden (Kap.: 6.5). Reale Ereignisse als Gründe der Leistungsverluste werden dabei anhand digitaler Zustandsänderung mit Auswirkung auf die Zeitanteile des PPS-Arbeitsgangs konzipiert.

**Q20** Im Zuge der Auftragsabwicklungen werden Zustandsänderungen mit Hilfe der Bewegungsdaten der PPS-Datenobjekte ermittelt. Statusänderungen von Kapazitätseinheiten, Aufträgen, Materialien, Personen oder Betriebsmitteln können dabei mit geplanten Zuständen verglichen werden (Kap.: 3.4.4). Der DRK fordert hierzu die Vorgabe der Führungsgröße (Sollwert). Dieser Vorgabewert fließt als Referenz in den GP. Die Erfassung der Regelgröße (Istwert) bildet dazu den Vergleichswert. Der Bezug zu realen Ereignissen wird durch den Zustandswechsel der Regelgröße, in Form der Bewegungsdaten im GP, definiert.

**Q21** Als Ergebnis der Konzeption werden angenommene Rahmenbedingungen und geforderte Funktionalität auf Konsistenz geprüft. Die Rahmenbedingungen beschreiben die Aufgaben in Form von Lasten. Die Konzeption definiert dazu die Pflichten für den MTO-Ressourceneinsatz. Hierdurch werden technische und organisatorische Anforderungen für den Systementwurf spezifiziert.

### 7.3.8 ENTSCHEIDUNGSFINDUNG

#### **RQ08 soll die Entscheidungsfindung digital unterstützen**

**Q22** Die Orientierung an geltenden Standards (ISA 95) erlaubt den Datenaustausch zwischen Unternehmensebenen (Kap.: 3.4.4). Die Zuordnung wird dabei durch den Objektbezug betrieblicher Anwendungssysteme ermöglicht. Konzeptionelle Datenmodelle standardisieren dazu Anforderungen zur Integration betrieblicher Zustandsänderungen. Reale Ereignisse, wie Maschinenzustände, Materialverbräuche, Ausbringungsmengen, Personaleinsatzzeiten, Energieverbräuche, Qualitätsmängel usw. können (syntaktisch) **erfasst und** (semantisch) **zugeordnet** werden. Diese objektbezogene Perspektive überführt Ziele des Fachkonzepts in den Systementwurf.

**Q23** Im DRK definiert die Aktivität *Planwert ermitteln* am Regelement *Regelglied* den Entscheidungsfindungsprozess. Über die Kontrollpunkte wird hier die Leistung der Aktivität beurteilt. In der Analyse möglicher Schwachstellen werden Eingangsdaten (Input), bedingte Regelanwendung (Verarbeitung) und Ausgangsdaten (Output) betrachtet. Testfälle realer Eingangsdaten simulieren das Verhalten der Ausgangsdaten. Als Ergebnis können Maßnahmen zur Erweiterung geltender Bedingungen oder verarbeiteter Eingangszustände die Entscheidungsfindung unterstützen. Der Kompetenzaufbau wird dabei in Form von Regeln der digitalen Entscheidungsfindung dokumentiert. Die Kontrollpunkte ermöglichen wiederum die Beurteilung der Wirksamkeit der ergriffenen Maßnahmen im Kontrollfluss der Regelaufgabe.

**Q24** Die MTO-Analyse der GP ermittelt den Automatisierungsgrad im Datenfluss. Hierbei werden verwendete Informationsträger spezifiziert. Eine datenbasierte Entscheidungsfindung wird hierbei durch den Anspruch einer konzeptionellen IO der Informationsträger unterstützt. Erhöhte IO senkt dabei den Aufwand zur Integration entscheidungsrelevanter Daten. PPS-Datenmodelle bilden wiederum die Basis konzeptioneller IO.

### 7.3.9 ÜBERTRAGBARKEIT

#### **RQ09 soll die übergreifende Anwendbarkeit ermöglichen**

**Q25** Die Elemente des DRK referenzieren keine spezifischen GP. In der Konzeption werden Standards aus SOA und SOS verwendet, um relevante Perspektiven im Technologietransfer zu verbinden. Die Übertragbarkeit ist dabei auf den industriellen Wertschöpfungsprozess im Umfeld betrieblicher Anwendungssysteme eingegrenzt. Innerhalb dieses Geltungsbereichs ist das Prinzip des DRK (Kap.: 5.3.2) übertragbar. Voraussetzungen und Rahmenbedingungen wurden dazu in Kap.: 2.2; Kap.: 5.3.2; Kap.: 5.4.2 und Kap.: 6.2 definiert.

**Q26** Die Strukturelemente des DRK werden aus statischer und dynamischer Perspektive beschrieben. Die Aufbaustruktur definiert statische Regelemente und deren Aufgaben im Wirkprozess. Die Entwicklungsphasen beschreiben dynamische Aktivitäten und geforderte Ergebnisse der Vorgehensmethodik. Die zu gestaltenden Elemente und die damit verbundenen Aufgaben werden durch die Konzeption zusammengeführt.

**Q27** Die Analogie des Wirkprinzips eines technischen Regelkreises zur datenorientierten Ausrichtung der Wertschöpfung, entspricht dem abstrahierten Anwendungsfall der SF. Die Wiederverwendbarkeit des DRK wird dabei durch die prinzipielle Übertragbarkeit der technischen Regelung ermöglicht. Erfahrungen im Umgang fördern die Methodenkompetenz zum Wirkprinzip. Organisatorische Regelkreise, wie bspw. lessons learned Workshops tragen gleichzeitig zum Erkenntnisgewinn bei. Die Konzeption des DRK kann somit weiterentwickelt werden. Adaptierte Lösungstechniken können zudem spezifische Anwendungsfälle fokussieren.

### 7.3.10 SELBSTORGANISATION

#### **RQ10 soll den Ausbau zur Selbstorganisation fördern**

**Q28** Der Wirkprozess des Regelkreises legt für die Regelemente wiederkehrende Aktivitäten fest. Im Transfer zur Gestaltung der SF werden diese Elemente als Teil der GP identifiziert. Dessen Beitrag zur Stabilisierung der Regelaufgabe wird beurteilt. Die Teilaktivitäten der Regelemente bestehen im DRK aus der Erfassung, Verarbeitung und Übertragung (Ausgabe) von Daten. Die Output-Input Beziehung (Kap.: 6.6) beschreibt die konzeptionelle Aufgabenfolge an den Schnittstellen. Das auslösende Ereignis zu Messwerterfassung (Abtastrate/Datenrate) definiert dabei die Frequenz zur Aufgabenwiederholung im Wirkprozess des DRK.

**Q29** Die konkreten Aufgaben der Selbstorganisation werden durch die Aktivitäten der Regelemente definiert (Kap.: 6.3). Diese beschreiben Teilaufgaben und Anordnung im Wirkprozess der Datenverarbeitung. Deren Teilergebnisse dienen zur Erfüllung der ganzheitlichen Regelaufgabe.

**Q30** Aus den unterschiedlichen Aufgabenzielen der Regelemente (bspw. Sollwert definieren vs. Istwert messen) resultieren Bedarfe zur Organisation potenzieller Datenströme. Die Kontrollpunkte im DRK quantifizieren dazu den Datenfluss. Die Geschwindigkeit und Genauigkeit werden transparent. Der Ansatz Informationsträger im GP zu integrieren, bedingt gleichzeitig die Definition der Aufgabenziele der beteiligten Regelemente. Die Datenströme beschreiben hierzu die aktuellen Eigenschaften. Es ergeben sich Anforderungen an Datenraten (Dauer) und Datensätze (Qualität) zur Erfüllung der Aufgaben. Der operative Handlungsbedarf wird hierbei ersichtlich.

### 7.3.11 DIGITALE KOMPETENZ

#### **RQ11 soll die Entwicklung der digitalen Kompetenz ermöglichen**

**Q31** Der DRK nutzt PPS-Datenobjekte. Durch die Ausrichtung auf etablierte Produktionskennzahlen (International Standard 22400-2) besteht die Aufgabe, den Zusammenhang zwischen Produktionsziel und Regelaufgabe zu identifizieren. Die Datenobjekte aus dem CIM Ansatz (Kap.: 3.4.5) sind Bestandteil der PPS Anwendungssysteme (Kap.: 3.4.2). Die Datenobjekte orientieren sich dabei am Prozess der Auftragsabwicklung. Stamm-, Bewegungs- und Bestandsdaten können genutzt werden, um Prozessziele zu definieren und zu messen. Dieses Prinzip wird durch den Ansatz zur Integration der Informationsträger im Wirkprozess des DRK aufgenommen und im Sinne der Regelaufgabe optimiert. Um die Interoperabilität der Regelemente nachhaltig zu gestalten, müssen dabei Datenobjekte eingesetzt werden, welche einem konzeptionellen Objektmodell angehören. Diese Eigenschaft ist nur durch semantische Datenmodelle oder durch die konzeptionelle Entwicklung von Schnittstellen möglich. Die Datenobjekte der PPS unterstützen diese Semantik für die SF. Inhaltlich repräsentieren die Objekte bspw. Eigenschaften von Artikeln, Stücklisten, Arbeitsplänen, Aufträgen, Arbeitsplätzen, Betriebsmitteln, Prüfplänen, Lagerorten oder Personen.

**Q32** Durch die Erfassung von Bewegungsdaten und dessen Einbindung und Abgleich mit den Datenobjekten der PPS, werden zustandsabhängige Kontextdaten (Informationen) erzeugt. Diese Verbindung steigert die Transparenz im GP. Der GP kann damit anhand seiner Eigenschaften, Schwachstellen, (Un-) Regelmäßigkeiten, Leistung und Maßnahmenwirkung beurteilt werden. Kennzahlen können etabliert und die Stabilität der Prozessleistung bewertet werden.

**Q33** Die Prozessanalyse dient zur Identifikation potenzieller Zustandsänderungen als Ursache realer Leistungsverluste. Hierzu besteht der Kompetenzbedarf des IE. Wertschöpfungsverluste bieten die Grundlage zur Identifikation (Kap.: 3.5.). Die organisatorische Freigabe zur Analyse und Veränderung bestehender Schwachstellen wird dabei durch die Verantwortlichkeit hierarchischer Produktionskennzahlen legitimiert. Mit zunehmender Nähe zur Wertschöpfung steigt der Bedarf zur Detaillierung unproduktiver Zustände. Zur Entwicklung der SF ist daher die Dokumentation und Spezifikation der leistungsmindernden Ereignisse im GP notwendig. Die Ausgangslage zur Definition relevanter Zustände bildet dabei die hierarchisch höchste Leistungsstufe/-kennzahl (z.B. OEE). Im Erkenntnisfortschritt soll diese dann auf Ursachen tieferer Ebenen (z.B. Verluste der Verfügbarkeit, der Leistung oder der Qualität) und schlussendlich auf konkrete Zustände im GP (z.B. Dauer Rüstwechsel, Höhe Materialverbrauch, Eingriffsgrenzen für Toleranzen) untersucht werden. Die Konsistenz

hierarchischer Analysen unterstützt die Spezifikation und Legitimation der Optimierung. Der Einsatz zur wiederkehrenden Regelung im Sinne des DRK oder einer Prozessoptimierung durch das IE, definiert wiederum den Anteil des Kompetenzeinsatzes zur Problemlösung. Dieser spezifiziert den Anteil anpassungsfähiger (*smart*) und schlanker (*lean*) GP im Systementwurf (vgl. Kap.: 3.5.3).

### 7.3.12 INTEROPERABILITÄT

#### **RQ12 soll einen Beitrag zur Steigerung der Interoperabilität leisten**

**Q34** Die Zielstruktur des DRK orientiert sich am ISO 22400 Standard. In der ISO 22400 werden u.a. die Inhalte der Standards IEC 62264, VDMA 66412, DIN EN 61512, DIN EN 62890 zusammengeführt. Als Ergebnis der ISO 22400 werden digitale Produktionskennzahlen definiert. Diese bieten die semantische Datengrundlage zur Beschreibung der Produktionsziele in der Smarten Fabrik. Syntaktische Standards, wie bspw. OPC UA, MQTT, JSON etc. mindern den Integrationsaufwand zur Datenverarbeitung (IO Level 2), erfüllen aber nicht die Anforderung zur logischen Integration.

Der DRK verwendet semantische Standards (IO Level 3) durch die Orientierung an den Produktionszielen. Die Datenobjekte der PPS (IO Level 6) fördern dabei die konzeptionelle Integration der Aufbaustruktur.

**Q35** Der DRK adressiert den Bedarf zur Analyse und Synthese der auftragsbezogenen Wertschöpfung. Dabei wird das Ziel verfolgt leistungsmindernde Ereignisse zu identifizieren. Diese sollen in Folgeschritten digital erfasst und mit Hilfe der Regelemente kontrolliert werden. Im Überföhrungsprozess fachlicher Anforderungen in technische Spezifika, wird ARIS als Standard genutzt. ARIS definiert hierbei die relevanten Perspektiven und Modellierungsobjekte für den Systementwurf. Dieser spezifiziert Anforderungen und Rahmenbedingungen für die betroffenen GP.

**Q36** Der Ansatz zur konzeptionellen Zusammenarbeit fordert ein einheitliches Verständnis der Gesamtaufgabe. Beim Anspruch Interoperabilität zu fördern, ist die aufgabenrelevante Beschreibung der Schnittstellensemantik notwendig. Im DRK wird diese Beschreibung durch die Analyse aufgabenorientierter Informationsträger gefördert. Durch die Zerlegung der Gesamtaufgabe in einzelne Aktivitäten und Kontrollpunkte, werden **Beitrag und Bedeutung** einzelner Informationsträger erkennbar. Stabile und instabile Beiträge werden analysiert. Hierdurch wird die inhaltliche Relevanz (Semantik) einzelner Datenstrukturen transparent. Durch die semantische Beschreibung, die Objektorientierung und den Reifegradbezug der Aufgabe werden künftige Entwicklungsstufen im Integrationsansatz berücksichtigt.

## 8. ABSCHLUSS

Der DRK greift die Ziele der SF (Kap.: 2.1) auf und beschreibt eine Konzeption zu dessen Umsetzung. Dabei wird eine optimierte Entscheidungsaktivierung anhand der Eigenschaften Geschwindigkeit, Beitrag, Bedarf, Transparenz, Qualität, Aufwand, Nachhaltigkeit und Anwendung anhand einer konsistenten Entwicklung gefördert. Abschließend werden die Ergebnisse der Konzeption des DRK zusammengefasst und es wird ein Fazit gezogen.

### 8.1 ZUSAMMENFASSUNG UND FAZIT

Der interdisziplinäre Ansatz des DRK bietet eine ingenieurwissenschaftliche Vorgehensweise zur Erfüllung fachlicher Anforderungen im Umfeld der SF. Hierbei werden abhängige Perspektiven für den Systementwurf zielorientiert dimensioniert. Die Konzeption führt dabei die zu gestaltenden Elemente methodisch zusammen und stellt diese für eine bedarfsorientierte Entwicklung bereit. Dazu bestätigt die Evaluation die Fähigkeit der Konzeption zum Technologietransfer im Anwendungsfall der industriellen Wertschöpfung. Die übergeordnete Frage zu den Merkmalen eines zielgerichteten Analyseverfahrens, welches im Umfeld bestehender Prozesse, die Potenziale innovativer und optimierter Strukturen definiert, wird anhand der Konzeption aufgegriffen und beantwortet. Dabei liegt der Analysefokus auf bestehenden Schnittstellen. Als Ergebnis trägt deren interoperable Gestaltung zur Reifegradsteigerung der SF bei.

Der Ansatz diskutiert den Grundgedanken unterschiedliche Kompetenzbereiche, einer Domäne, zielorientiert in eine Methodik einzubinden. Hierzu wurden Anforderungen abgeleitet sowie Strukturen, Aufgaben und Entscheidungspunkte als Lösungsbeiträge konzipiert. Die Konzeption wurde in der Praxis getestet und liefert abschließend einen Erkenntnismehrwert im Technologietransfer.

Die übergeordnete Strategie verfolgt den Ansatz, das Design von Geschäftsprozessen, deren Ressourceneinsatz und technische Infrastruktur zielorientiert zu harmonisieren.

Dabei definiert die technische Infrastruktur der industriellen Anwendungssysteme die Ausgangslage im Umfeld der Informationsflüsse. Die Konzeption nimmt diese Rahmenbedingungen auf und entwickelt fortan Optimierungsmaßnahmen zur gezielten Unterstützung der Prozessziele im Umfeld der Produktion. Diese werden konsistent spezifiziert und bieten die Grundlage zum technisch-organisatorischen abgestimmten Systementwurf. Dazu werden die Optimierungsmaßnahmen unterschieden:

Zum einen in den hier inhaltlich vertieften Ansatz zum Auf- und Ausbau der dauerhaften Fähigkeit zur Selbststeuerung, aber auch durch die operativen Maßnahmen einer

kontinuierlichen Weiterentwicklung bestehender Rahmenbedingungen zur Förderung der Selbstorganisation.

Eine bedeutende Fähigkeit im Technologietransfer ist der Perspektivwechsel. Diese definiert die Grundlage der Schnittstellenkompetenz (Bornemann und Piecyk 2012).

Um Zusammenhänge und Wechselwirkungen logischer Schnittstellen zu analysieren, ist dazu ein Verbindungsaufbau der Perspektiven notwendig. Der Perspektivwechsel beschreibt dabei die Fähigkeit beide Seiten einer Schnittstelle zielorientiert erfassen und analysieren zu können. Diese Verbindungsfähigkeit gilt als notwendige Handlungskompetenz im Ausbau der IO.

Dabei gilt es den Reifegrad der organisatorischen und technischen Schnittstellenfähigkeit zu spezifizieren. Hierzu sind fachliche Kompetenzen der Beteiligten, in gleichem Maße von Bedeutung, wie sozial-kulturelle Rahmenbedingungen der Organisation. Gerade im Zuge der Harmonisierung von persönlichen und technischen Systemschnittstellen nimmt die Schnittstellenkompetenz einen großen Einfluss auf die Ergebnisse analytischer Fragestellungen.

Die Konzeption sensibilisiert diese Einflüsse durch die abhängigen Perspektiven Mensch, Technik und Organisation.

Die Wahrscheinlichkeit einer nicht-idealtypischen Anwendung der Konzeption bleibt dabei sehr groß. Vergleichbar zu bestehenden ingenieurwissenschaftlichen Ansätzen, wie bspw. V+V, OOP, FMEA, EPK o.ä. ist die Sicherstellung der konsistenten methodischen Anwendung eine große Herausforderung in der Praxis. Der Transfer theoretischer Ansätze in praktische Anwendungen ist stets mit Qualitätsverlusten der Ergebnisse verbunden. Im praktischen Einsatz besteht daher ein hohes Risiko, definierte Bedingungen nicht wie im DRK beschrieben einzuhalten. Die Gründe dafür sind vielfältig und reichen von simplen Dokumentationsfehlern bis hin zur persönlichen Antipathie, Führungsschwächen, fehlenden Ressourcen, oder gar politischen Machtkämpfen im Unternehmen. Durch die stetigen Perspektivwechsel adressiert der Ansatz des DRK diese Herausforderungen im Technologietransfer. Um den Rahmenbedingungen im Transfer zu begegnen empfiehlt sich die Frage, wie mit Abweichungen vom konzipierten Idealzustand umgegangen werden soll.

Wie kann die Agilität der realen Umsetzung berücksichtigt werden?

Dazu bedarf es interdisziplinärer Kompetenzen im methodischen Vorgehen (vgl. Cernavin et al. 2018, 159 ff.).

Um Bedürfnisse und Befindlichkeiten beteiligter Akteure zu berücksichtigen, bestehen dabei zwei grundsätzliche Gestaltungsalternativen:

1.) Kontrolle / Überwachung und 2.) Empathie / Vertrauen

Für 1.) können etablierte (teilweise antiquierte) Ansätze der Unternehmensführung als Methoden der Fortschrittskontrolle genutzt werden. Dabei besteht die Gefahr, dass ein Teil der Schatten-Organisation nicht vollständig kontrollierbar ist (Zimmermann 2018). Für 2.) können weniger ingenieurwissenschaftliche Ansätze zur Erfassung und Beschreibung der Zusammenhänge genutzt werden. Hier bedarf es der Kenntnisse aus sozialwissenschaftlichen Disziplinen, um vergangenes und künftiges Verhalten sowie mögliche Risiken im Einsatz der Akteure zu bewerten. Die Ressource *Mensch* definiert die Entwicklung im realen Produktionssystem

Persönliche Bedürfnisse, Ängste, Vorlieben, Lebenserfahrung, Bildungsgrad, Alter, Familienstand, Berufserfahrung, Charaktereigenschaften, Geschlecht, oder das Kommunikationsverhalten sind dabei einflussreiche Indikatoren zur Beurteilung der Chancen und Risiken im praktischen Gestaltungsumfeld.

Die innere Haltung und persönliche Präferenzen werden im Technologiefortschritt unter dem Begriff *New Work* zusammengefasst und adressieren die innovative, flexible und eigenmotivierte Denkweise beteiligter Akteure zur digitalen Systemgestaltung.

## 8.2 ÜBERTRAGBARKEIT

Die Konzeption definiert den Anwendungsbereich der industriellen Wertschöpfung. Durch dessen Spezifika der Produktionsziele ist der DRK nicht ohne weiteres auf andere Domänen übertragbar. Durch den Transfer des technischen Wirkprinzips als Grundlage des DRK, können Eigenschaften der Konzeption allerdings auch in weiteren Bereichen Anwendung finden. Hierzu könnten fachliche Inhalte der Umgebung anhand der dortigen Ziele adaptiert werden. Der grundlegende Ansatz einer prozessorientierten Verhaltenskontrolle findet in einer Vielzahl auch nicht-industrieller Organisationen eine Anwendung. Die Aufgabe zur semantischen Integration einer regelgebundenen Datenverarbeitung folgt dabei dem wiederkehrenden Wirkprinzip in Form der GP. Im Überführungsprozess gilt es die **Einflüsse der wirtschaftlichen Prozessleistung** zu identifizieren, um diese über domänenspezifische Datenobjekte zu verwalten und das Regelverhalten zu konzipieren. Dabei ist die Herausforderung, abhängige Einflussfaktoren der Domäne zu analysieren und diese zielorientiert für den Systementwurf zu spezifizieren. Die Regelbarkeit realer GP wird durch die Quantifizierbarkeit der Prozessleistungen sichergestellt. Die Identifikation der relevanten Ereignisse und Einflüsse ist dabei die Hauptaufgabe der Prozessanalyse.

Nicht wirtschaftlich motivierte Organisationen werden durch eine Adaption des DRK weniger unterstützt. Deren Prozessziele weichen zu stark von den Prinzipien der nutzenorientierten Konzeption ab.

### 8.3 AUSBLICK UND FORSCHUNGSBEDARF

Im Zuge der Konzeption und Evaluation des DRK ergaben sich Erkenntnisse zur Anwendung und Erweiterung der bestehenden Erkenntnisse. Diese werden nachfolgend erläutert. Der DRK kann dabei in zwei Hauptszenarien Anwendung finden:

#### Szenario1

Als Methodik, welche im Umfeld der internen Geschäftsprozessentwicklung angewandt wird. Hierbei wird die Zielgruppe der internen Berater, Systemarchitekten, Prozesseigentümer, Entwicklungsingenieure, Prozessmanager, Projektbeauftragten und Digitalisierungsverantwortlichen<sup>72</sup> fokussiert. Der DRK unterstützt dabei die strukturierte Analyse und Koordination interner Tätigkeiten, Ressourcen und Prioritäten.

#### Szenario2

Als Methodik im Umfeld der Unternehmensberatung. Hierbei wird die Zielgruppe der externen Berater, Projektmanager und Implementierungspartner fokussiert. Der DRK unterstützt hierbei die strukturierte Ableitung valider Anforderungen bei der Entwicklung fertigungsnaher Systemarchitekturen und -funktionen.

Da der DRK die inhaltliche Definition konsistenter und valider Anforderungen im Umfeld der digitalgestützten Wertschöpfung fokussiert, ergeben sich Anknüpfungspunkte weiterer Forschungsarbeiten:

#### **Anforderungsmanagement**

Zur Überprüfung von Softwareanforderungen werden in der Praxis überwiegend funktionale Eigenschaften als Kriterium der Validität getestet (Grande 2014).

Bereits im Zuge der fachlichen Definition der IT-Anforderungen wird das Prüfkriterium anhand der zu entwickelnden Eigenschaften definiert. Die Anforderung wird dabei häufig nicht systematisch auf Alternativen oder Voraussetzungen im GP geprüft. Es ergibt sich ein stetiger Zielkonflikt zwischen den Interessen der Anfordernden, Architekten und Designer. Zur Sicherung strategischer Architekturziele der SF ist ein kontinuierliches Anforderungsmanagement von besonderer Bedeutung, um den Reifeprozess nachhaltig zu gestalten. *Wie kann der Anforderungsprozess der SF für die den Produktionsbereich nachhaltig gestaltet werden?*

#### **Prozessentwurf**

Der DRK verwendet Modellierungskonventionen aus dem Umfeld GPM/BPM. Zur Aufwertung der Objektbedeutung der produktionsrelevanten Entitäten, wie die der PPS-Datenobjekte, besteht keine Modellierungssyntax. Zur Integration fachlicher Kompetenzträgern ist die Erstellung des Fachkonzepts notwendig. Hierbei ergeben sich

---

<sup>72</sup> z.B. die des CDO – Chief Digital Officer oder die des CIO – Chief Information Officer

große Potenziale, um die Überführung von fachlichen Beschreibungen in systematische Entwürfe zu fördern. *Wie kann die Modellierung von Prozessentwürfen zur Konzeption der SF für Kompetenzträger der Fachabteilungen anwendbar gemacht werden?*

### **Plattformansatz**

Die Entwicklung der SF wird durch semantische Standards gefördert. Dabei ergeben sich technologische Trends, gemeinschaftliche Datenmodelle in Form von plattformorientierten Datenstrukturen zu integrieren (Berres et al. 2018). *Wie kann der Plattformansatz der SF dazu beitragen die PPS-Datenobjekte einheitlich zu definieren, um eine anwendungssystemunabhängige Semantik zu realisieren?*

### **Funktionale Integration**

Die Integration digitaler Regelstrukturen ist in heutigen Anwendungssystemen nicht durchgängig konzipiert. Das Funktionsangebot bietet zwar alternative Möglichkeiten zur Konfiguration der Regelaufgaben (z.B. durch Eskalationsregeln, Workflowmanagement, Eingriffsgrenzen, dynamische Kontrollflüsse, Übergangsmatrizen etc.), aber die konzeptionelle Zusammenführung in einem geschlossenem Wirkprinzip bleibt weitgehend aus. Die Ermittlung der Regelgüte für wertschöpfungsorientierte Regelelemente wird funktional nicht unterstützt. Ein derartiges Funktionsangebot integrierter ERP oder MES-Aufgaben der PPS würden einen erheblichen Beitrag zur Entwicklung der Selbststeuerung in der SF leisten.

*Wie kann der Wirkprozess des DRK in integrierte Assistenzfunktionen überführt werden?*

### **Produktentwicklung**

Durch die Ausrichtung des DRK auf die operativen Leistungsverluste der Wertschöpfung, bleiben Potenziale der integrierten Produktentwicklung offen. Hierbei stellt sich die Frage, welche Aspekte zur digitalen Kontrollflussoptimierung der Entwicklungsleistung für die Produktentwicklung berücksichtigt werden müssten.

*Wie kann die Konzeption des DRK auf den Aufgabenbereich der F&E übertragen werden?*

## LITERATUR

### Literaturverzeichnis

Abts, Dietmar; Mülder, Wilhelm (2017): Grundkurs Wirtschaftsinformatik. Eine kompakte und praxisorientierte Einführung. 9., erweiterte und aktualisierte Auflage. Wiesbaden: Springer Vieweg. Online verfügbar unter

<http://dx.doi.org/10.1007/978-3-658-16379-2>.

acatech (2016): Kompetenzentwicklung Industrie 4.0. Erste Ergebnisse und Schlussfolgerungen. Hg. v. acatech. München.

Adam, D.; Rollberg, R.: Komplexitätskosten. 1995. In: DBW, 55, Bd. 5, S. 667–670.

Aichele, Christian; Schönberger, Marius (2014): IT-Projektmanagement. Effiziente Einführung in das Management von Projekten. Berlin: Springer Vieweg (essentials). Online verfügbar unter

[http://ebooks.ciando.com/book/index.cfm/bok\\_id/1869078](http://ebooks.ciando.com/book/index.cfm/bok_id/1869078).

Allweyer, Thomas (2012): Geschäftsprozessmanagement. Strategie, Entwurf, Implementierung, Controlling. 5. Nachdr. Herdecke, Bochum: W3L-Verl. (IT lernen).

Allweyer, Thomas; Knuppertz, Thilo (2009): EDEN – Reifegradmodell. EDEN – Reifegradmodell Prozessorientierung in Unternehmen. Hg. v. BPM Maturity Model EDEN e.V. Köln. Online verfügbar unter

[http://prozesswiki.inteamwork.org/lib/exe/fetch.php?media=bpm\\_maturity\\_model\\_edен\\_white\\_paper.pdf](http://prozesswiki.inteamwork.org/lib/exe/fetch.php?media=bpm_maturity_model_edен_white_paper.pdf), zuletzt geprüft am 06.09.2018.

Alpar, Paul; Grob, Heinz Lothar; Alt, Rainer; Weimann, Peter; Bensberg, Frank; Winter, Robert (2016): Anwendungsorientierte Wirtschaftsinformatik. Strategische Planung, Entwicklung und Nutzung von Informationssystemen. 8., überarbeitete Auflage. Wiesbaden: Springer Vieweg (Lehrbuch).

Appel, Alexander (2012): Planungsmethoden und -instrumente der Auftragsabwicklung. REFA-Seminar. REFA. Kassel. Online verfügbar unter <https://refa-weiterbildung.de/wp-content/uploads/2017/04/Arbeitsplanung-Pr%C3%A4sentation.pdf>, zuletzt geprüft am 19.10.2018.

Aßmann, Uwe (2015): Ablauforganisation mit Vorgehensmodellen.

Vorlesungsskript Softwaremanagement. Technische Universität Dresden.

Dresden. Online verfügbar unter <http://st.inf.tu->

dresden.de/files/teaching/ss15/swm/slides/14-sw-m-ablauforganisation.pdf,  
zuletzt geprüft am 28.02.2019.

International Standard 22400-2, 2014: Automation systems and integration —  
Key performance indicators (KPIs) for manufacturing operations management  
—.

Balzert, Helmut; Liggesmeyer, Peter (2011): Lehrbuch der Softwaretechnik.  
Entwurf, Implementierung, Installation und Betrieb. 3. Aufl. Heidelberg:  
Spektrum Akademischer Verlag (Lehrbücher der Informatik). Online verfügbar  
unter <http://site.ebrary.com/lib/alltitles/docDetail.action?docID=10494391>.

Barthelmes, Hans (2013): Handbuch Industrial Engineering. Vom Markt zum  
Produkt. 1. Aufl. München: Hanser. Online verfügbar unter <http://www.hanser-elibrary.com/isbn/978-3-446-42926-0>.

Bauer, Jürgen (2014): Produktionslogistik/Produktionssteuerung kompakt.  
Schneller Einstieg in die Produktionslogistik mit SAP-ERP. Wiesbaden,  
Germany: Springer Vieweg (essentials). Online verfügbar unter  
<http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&scope=site&db=nlebk&db=nlabk&AN=846192>.

Bauer, Steffen (2016): Produktionssysteme wettbewerbsfähig gestalten.  
Methoden und Werkzeuge für KMU's. München: Hanser (Hanser eLibrary).  
Online verfügbar unter <http://dx.doi.org/10.3139/9783446449671>.

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

Bauernhansl, Thomas (2015): Die Vierte Industrielle Revolution. Der Weg in ein  
wertschaffendes Produktionsparadigma. Hg. v. Fraunhofer IPA. Universität  
Stuttgart. Online verfügbar unter  
[https://link.springer.com/content/pdf/10.1007/978-3-662-53254-6\\_1.pdf](https://link.springer.com/content/pdf/10.1007/978-3-662-53254-6_1.pdf).

Bauernhansl, Thomas; Hompel, Michael ten; Vogel-Heuser, Birgit (Hg.)  
(2014a): Industrie 4.0 in Produktion, Automatisierung und Logistik. Anwendung,  
Technologien, Migration. Wiesbaden: Springer Vieweg (SpringerLink). Online  
verfügbar unter <http://dx.doi.org/10.1007/978-3-658-04682-8>.

Bauernhansl, Thomas; Hompel, Michael ten; Vogel-Heuser, Birgit (Hg.)  
(2014b): Industrie 4.0 in Produktion, Automatisierung und Logistik. Anwendung,

- Technologien, Migration. Wiesbaden: Springer Vieweg (SpringerLink). Online verfügbar unter <http://dx.doi.org/10.1007/978-3-658-04682-8>.
- BearingPoint (2018): Aktuelle Studie der Unternehmensberatung BearingPoint zeigt, dass Predictive Maintenance in der Industrie bisher eher diskutiert als umgesetzt wird. Unter Mitarbeit von Alexander Bock. BearingPoint GmbH. Frankfurt. Online verfügbar unter <https://www.bearingpoint.com/de-de/ueberuns/pressemitteilungen-und-medienberichte/pressemitteilungen/predictive-maintenance-pr/>.
- Becker, Horst (2002): Produktivität und Menschlichkeit. Organisationsentwicklung und ihre Anwendung in der Praxis. In: Horst Becker und Ingo Langosch (Hg.): Produktivität und Menschlichkeit: Organisationsentwicklung und ihre Anwendung in der Praxis. Berlin, Boston: De Gruyter Oldenbourg. Online verfügbar unter <http://dx.doi.org/10.1515/9783110511987>.
- Becker, J.; Schütte, R. (2004): Handelsinformationssysteme. 2. Aufl. Frankfurt am Main.
- Becker, Jörg; Kugeler, Martin; Rosemann, Michael (Hg.) (2012): Prozessmanagement. Ein Leitfaden zur prozessorientierten Organisationsgestaltung. Siebte, korrigierte und erweiterte Auflage. Berlin, Heidelberg: Springer Gabler.
- Becker, Jörg; Winkelmann, Axel; Beverungen, Daniel; Janiesch, Christian (2007): Bereitstellung von Artikelstammdaten. In: *HMD* 44 (6), S. 45–56. DOI: 10.1007/BF03341137.
- Beierle, Christoph; Kern-Isberner, Gabriele (2014): Methoden wissensbasierter Systeme. Grundlagen, Algorithmen, Anwendungen. 5., überarb. und erw. Aufl. Wiesbaden: Springer Vieweg (Computational Intelligence). Online verfügbar unter <http://dx.doi.org/10.1007/978-3-8348-2300-7>.
- Bergmann, Rainer; Garrecht, Martin (2016): Organisation und Projektmanagement. 2. Aufl. 2016. Berlin, Heidelberg: Springer Gabler (BA KOMPAKT). Online verfügbar unter <http://dx.doi.org/10.1007/978-3-642-32250-1>.

- Berres, Bernd; Kletti, Jürgen; Eckhardt, Henry; Strebel, Thorsten (2018): MIP - Manufacturing Integration Platform. Aufbruch zu neuen Horizonten in der Fertigungs-IT: NetSkill Solutions GmbH.
- Best, Eva (2010): Process Excellence. Wiesbaden: Springer Fachmedien. Online verfügbar unter <http://gbv.ebib.com/patron/FullRecord.aspx?p=747722>.
- Bichler, Klaus; Kalker, Peter; Wilken, Ernst (1992): Logistikorientiertes PPS-System. Konzeption, Entwicklung und Realisierung. Wiesbaden: Gabler Verlag; Imprint.
- Bick, Werner (2014): Warum Industrie 4.0 und Lean zwingend zusammengehören. Man kann auch schlechte Prozesse digitalisieren. VDI Verlag GmbH. Düsseldorf (156, 11-2014). Online verfügbar unter [https://www.roi.de/fileadmin/user\\_upload/presse/2014\\_11\\_VDI-ZB880\\_ROI-Management.pdf](https://www.roi.de/fileadmin/user_upload/presse/2014_11_VDI-ZB880_ROI-Management.pdf), zuletzt geprüft am 06.11.2018.
- Birkmann, Stephan (2016): Der Mensch und die Feinplanung. Fertigung, Manufacturing Execution System (MES), Personal, Personaleinsatzplanung, Personalabteilung. Hg. v. Digital Manufacturing. WIN-Verlag GmbH & Co. KG. Online verfügbar unter <https://www.digital-manufacturing-magazin.de/der-mensch-und-die-feinplanung/>, zuletzt geprüft am 21.08.2019.
- Bischoff, Jürgen (2015): „Erschließen der Potenziale der Anwendung von "Industrie 4.0 im Mittelstand“ Kurzfassung der Studie, Erscheinungsdatum: Juni 2015. Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi).
- Blanchard, Benjamin S.; Blyler, John E. (2016): System Engineering Management. Fifth edition. Hoboken: Wiley (Wiley Series in Systems Engineering and Management). Online verfügbar unter <http://onlinelibrary.wiley.com/book/10.1002/9781119178798>.
- Block, Christian; Freith, Sebastian; Kreggenfeld, Niklas; Morlock, Friedrich; Prinz, Christopher; Kreimeier, Dieter; Kühlenkötter Bernd: Industrie 4.0 als soziotechnisches Spannungsfeld. Ganzheitliche Betrachtung von Technik, Organisation und Personal. In: ZWF - Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb, Jahrg. 110 (2015) 10, S. 657–660, zuletzt geprüft am 26.02.2019.
- Bloech, Jürgen; Bogaschewsky, Ronald; Buscher, Udo; Daub, Anke; Götze, Uwe; Roland, Folker (2014): Einführung in die Produktion. 7., korr. u.

- aktualisierte Aufl. 2014. Berlin: Springer Gabler (Springer-Lehrbuch). Online verfügbar unter <http://dx.doi.org/10.1007/978-3-642-31893-1>.
- BMBF (2017): Industrie 4.0. Innovationen für die Produktion von morgen. Hg. v. Bundesministerium für Bildung und Forschung (Referat Produktion und Dienstleistung; Zukunft der Arbeit). Online verfügbar unter [https://www.bmbf.de/upload\\_filestore/pub/Industrie\\_4.0.pdf](https://www.bmbf.de/upload_filestore/pub/Industrie_4.0.pdf), zuletzt geprüft am 04.12.2019.
- Bogus, Kim; Stock, Patricia (2018): REFA-Checklisten Industrie 4.0. Ganzheitliche Gestaltung als Basis der Industrie 4.0. Hg. v. REFA-Institut e. V. REFA - Verband für Arbeitsstudien und Betriebsorganisation. Darmstadt. Online verfügbar unter <https://refa.de/images/downloads/de/refa-checkliste-industrie-40-interaktiv.pdf>, zuletzt geprüft am 23.01.2020.
- Bornemann, Siegmund; Piecyk, Roman. (2012): Schnittstellenkompetenz. Potenziale für Innovationsfähigkeit und Produktivität. Hg. v. REFA (Industrial Engineering, 1/2012).
- Bousonville, Thomas (2017): Logistik 4.0. Die digitale Transformation der Wertschöpfungskette. Wiesbaden: Springer Gabler (essentials). Online verfügbar unter <http://www.springer.com/>.
- Bracht, Uwe; Geckler, Dieter; Wenzel, Sigrid (2011): Digitale Fabrik. Methoden und Praxisbeispiele. Berlin, New York: Springer (VDI-Buch). Online verfügbar unter <http://lib.myilibrary.com/detail.asp?id=308242>.
- Bracht, Uwe; Geckler, Dieter; Wenzel, Sigrid (2018): Digitale Fabrik. Methoden und Praxisbeispiele. 2., aktualisierte und erweiterte Auflage. Berlin, Germany: Springer Vieweg (VDI-Buch).
- Brauckmann, Otto (2005): Integriertes Betriebsdaten-Management. Wie Sie ihre Wertschöpfung in IT-Regelkreisen optimieren. Nachdr. Wiesbaden: Gabler.
- Brauckmann, Otto (2015): Smart Production. Wertschöpfung durch Geschäftsmodelle. Berlin: Springer Vieweg. Online verfügbar unter <http://dx.doi.org/10.1007/978-3-662-45302-5>.
- Brucker-Kley, Elke; Kykalová, Denisa; Keller, Thomas (Hg.) (2018): Kundennutzen durch digitale Transformation. Business-Process-Management-Studie - Status quo und Erfolgsmuster. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin

Heidelberg. Online verfügbar unter

<https://link.springer.com/content/pdf/10.1007%2F978-3-662-55707-5.pdf>.

Brüggemann, Holger; Bremer, Peik (2015): Grundlagen Qualitätsmanagement.

Von den Werkzeugen über Methoden zum TQM. 2., überarb. und erw. Aufl.

Wiesbaden: Springer Vieweg (Lehrbuch). Online verfügbar unter

<http://dx.doi.org/10.1007/978-3-658-09221-4>.

Buchholz, Birgit; Ferdinand, Jan-Peter; Gieschen, Jan-Heinrich; Seidel, Uwe

(2017): Digitalisierung industrieller Wertschöpfung. Transformationsansätze für

KMU. Begleitforschung AUTONOMIK für Industrie 4.0 iit-Institut für Innovation

und Technik in der VDI/VDE Innovation + Technik GmbH. Berlin. Online

verfügbar unter <https://www.digitale->

[technologien.de/DT/Redaktion/DE/Downloads/Publikation/2017-04-](https://www.digitale-technologien.de/DT/Redaktion/DE/Downloads/Publikation/2017-04-27_AUT%20Studie%20Wertschöpfungsketten.pdf?__blob=publicationFile&v=2)

[27\\_AUT%20Studie%20Wertschöpfungsketten.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=2](https://www.digitale-technologien.de/DT/Redaktion/DE/Downloads/Publikation/2017-04-27_AUT%20Studie%20Wertschöpfungsketten.pdf?__blob=publicationFile&v=2).

Buhl, Hans Ulrich; Röglinger, Maximilian; Stöckl, Stefan; Braunwarth, Kathrin S.

(2011): Wertorientierung im Prozessmanagement. In: *Wirtschaftsinf* 53 (3), S.

159–169. DOI: 10.1007/s11576-011-0271-5.

Bullinger, H.-J. (1988): Produktionsforum '88. Die CIM-fähige Fabrik.

Zukunftssichernde Planung und erfolgreiche Praxisbeispiele. 8. IAO-

Arbeitstagung 4./5. Mai 1988 in Stuttgart. Berlin, Heidelberg: Springer (IPA-IAO

- Forschung und Praxis, Berichte aus dem Fraunhofer-Institut für

Produktionstechnik und Automatisierung (IPA), Stuttgart, Fraunhofer-Institut für

Arbeitswirtschaft und Organisation (IAO), Stuttgart, und Institut für Industrielle

Fertigung und Fabrikbetrieb der Universität Stuttgart, 9). Online verfügbar unter

<http://dx.doi.org/10.1007/978-3-662-01109-6>.

Bungard, Walter; Jöns, Ingela (1993): CIM-Aus und Weiterbildung.

Seminarkonzepte zum Themenschwerpunkt Organisation. Wiesbaden:

Vieweg+Teubner Verlag (Fortschritte der CIM-Technik, 6). Online verfügbar

unter <http://dx.doi.org/10.1007/978-3-322-96256-0>.

Bungartz, Hans-Joachim; Zimmer, Stefan; Buchholz, Martin; Pflüger, Dirk

(2013): Modellbildung und Simulation. Eine anwendungsorientierte Einführung.

2., überarbeitete Auflage. Berlin, Heidelberg: Springer Spektrum

(eXamen.press). Online verfügbar unter [http://dx.doi.org/10.1007/978-3-642-](http://dx.doi.org/10.1007/978-3-642-37656-6)

[37656-6](http://dx.doi.org/10.1007/978-3-642-37656-6).

Cernavin, Oleg; Schröter, Welf; Stowasser, Sascha (Hg.) (2018): Prävention 4.0. Analysen und Handlungsempfehlungen für eine produktive und gesunde Arbeit 4.0. 1. Auflage 2018. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden.

Chlupsa, Christian (2017): Der Einfluss unbewusster Motive auf den Entscheidungsprozess. Wie implizite Codes Managemententscheidungen steuern. Wiesbaden: Springer Gabler. Online verfügbar unter <http://dx.doi.org/10.1007/978-3-658-07230-8>.

Christen, Daniel Siegfried (2005): Praxiswissen der chemischen Verfahrenstechnik. Handbuch für Chemiker und Verfahreningenieure. Berlin: Springer (Verfahrenstechnik). Online verfügbar unter <http://lib.myilibrary.com/detail.asp?id=61559>.

Creusen, Utho; Gall, Birte; Hackl, Oliver (2017): Digital Leadership. Führung in Zeiten des digitalen Wandels. Wiesbaden: Springer Gabler. Online verfügbar unter <http://dx.doi.org/10.1007/978-3-658-17812-3>.

d.velop AG (2018): Branchenstudie Digitalisierungsstatus 2017. Online verfügbar unter <https://www.d-velop.de/blog/prozesse-gestalten/digitalisierungsprobleme-die-fuenf-haeufigsten-gruende-warum-projekte-scheitern/>.

Dangelmaier, Wilhelm (2017): Produktionsplanung und -steuerung. Vorlesung Universität Paderborn SS2017. Modul W 2332. Heinz Nixdorf Institut Universität Paderborn. Paderborn. Online verfügbar unter [https://www.hni.uni-paderborn.de/fileadmin/Fachgruppen/Wirtschaftsinformatik/Moduluebersicht/W2332\\_01\\_Produktionsplanung\\_und\\_steuerung/W2332-01\\_-\\_Teil\\_1.pdf](https://www.hni.uni-paderborn.de/fileadmin/Fachgruppen/Wirtschaftsinformatik/Moduluebersicht/W2332_01_Produktionsplanung_und_steuerung/W2332-01_-_Teil_1.pdf).

Davenport, Thomas H. (1997): Process innovation. Reengineering work through information technology. [Nachdr.]. Boston, Mass.: Harvard Business School Press.

Decker, Markus (2008): Entwicklung eines ganzheitlichen Prognosemodells zur Kompensation von Varianzen in Prozessfolgen mittels Support Vektor Maschinen. Zugl.: Stuttgart, Univ., Diss., 2007. Heimsheim: Jost-Jetter (IPA-IAO-Forschung und Praxis, 469).

Deflorin, Patricia; HTW Chur, Scherrer, Maïke; Universität St. Gallen; Amgarten, Janik (2017): Industrie 4.0 Geschäftsmodelle. Ein Analyseraster zum Erkennen von Industrie 4.0 Potenzialen und notwendigen Veränderungen. In: *Industrie 4.0 Management*, 2017 (5.2017), S. 21–24.

Deming, William Edwards (1998): Out of the crisis. 26. print. Cambridge, Mass.: Massachusetts Institute of Technology.

Dern, Gernot (2009): Management von IT-Architekturen. Leitlinien für die Ausrichtung, Planung und Gestaltung von Informationssystemen. 3., durchgesehene Aufl. Wiesbaden: Vieweg + Teubner (Vieweg Praxis).

Dickmann, Philipp (2009): Schlanker Materialfluss. Mit Lean Production, Kanban und Innovationen. 2. Aufl. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag (VDI-Buch). Online verfügbar unter <http://dx.doi.org/10.1007/978-3-540-79515-5>.  
DIN EN ISO 9004:2018-08, Qualitätsmanagement\_ - Qualität einer Organisation\_ - Anleitung zum Erreichen nachhaltigen Erfolgs (ISO\_9004:2018); Deutsche und Englische Fassung EN\_ISO\_9004:2018.

DIN/DKE (2018): Deutsche Normungsroadmap Industrie 4.0. Verion 3. Hg. v. DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik in DIN und VDE. DIN e.V. Frankfurt. Online verfügbar unter <https://www.din.de/blob/95954/97b71e1907b0176494b67d8d6d392c54/aktualisierte-roadmap-i40-data.pdf>, zuletzt geprüft am 27.02.2019.

DIN-VDE 351/1 (2011): Gebrauchstauglichkeit von Software. 1. Aufl., Stand d. abgedr. Normen: April 2011. Berlin, Wien, Zürich: Beuth (DIN-Taschenbuch, 354,1).

Dombrowski, Uwe (Hg.) (2015): Lean Development. Aktueller Stand und zukünftige Entwicklungen. Berlin, Heidelberg: Springer Vieweg (VDI-Buch). Online verfügbar unter <http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&scope=site&db=nlebk&AN=1065117>.

Dombrowski, Uwe; Richter, Thomas; Loerwald, Fabian (2019): Ganzheitliche Produktionssysteme und Industrie 4.0. Use-Case Analyse als Werkzeug zur Konfiguration von Industrie 4.0 Prozessen. Hg. v. Industrie 4.0 Management. GITO mbH Verlag. Berlin (35).

Dorner, Martin (2014): Das Produktivitätsmanagement des Industrial Engineering unter besonderer Betrachtung der Arbeitsproduktivität und der indirekten Bereiche. Dissertation. Universität Karlsruhe, Karlsruhe. Institut für Technologie (IKT).

- Dorner, Martin; Baszenski, Norbert (2013): Produktivität steigern. Auch in indirekten Bereichen erfolgreich mit industrial Engineering. Hg. v. Institut für angewandte Arbeitswissenschaft e. V. (ifaa). Düsseldorf.
- Dort, Sven (2018): Die SMART Methode: Ziele formulieren, die dein Projekt erfolgreich machen. Agile Master. Online verfügbar unter <https://www.agile-master.de/smart-ziele-projektmanagement/>, zuletzt aktualisiert am 05.09.2018.
- Droscha, H. (2014): Optimierung der Produktion durch Fertigungsregelung mit datenverarbeitendem "Real-Time"-System, S. 221–225.
- EFQM (2018): Dar Kriterienmodell. Leading Excellence. Online verfügbar unter <http://www.efqm.de/kriterienmodell.html>, zuletzt aktualisiert am 06.09.2018.
- Emmrich, Volkhard; Döbele, Mathias; Bauernhansl, Thomas; Paulus-Rohmer Dominik; Schatz, Anja; Weskamp, Markus (2015): Geschäftsmodell-Innovationen durch Industrie 4.0. Chancen und Risiken für den Maschinen- und Anlagenbau. Hg. v. Dr. Wieselhuber & Partner GmbH / Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung IPA.
- Erlach, Klaus (2010): Wertstromdesign. Der Weg zur schlanken Fabrik. 2., bearb. und erweiterte Aufl. Berlin, New York: Springer (VDI-Buch). Online verfügbar unter <http://site.ebrary.com/lib/alltitles/docDetail.action?docID=10408765>.
- Erlach, Klaus (2019): Wertstromdesign. Der Weg zur schlanken Fabrik. 3. Auflage 2019. Berlin: Springer Berlin; Springer Vieweg (VDI-Buch).
- Erner, Michael (Hg.) (2019): Management 4.0 - Unternehmensführung im digitalen Zeitalter. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg. Online verfügbar unter <https://doi.org/10.1007/978-3-662-57963-3>.
- European Union (2017): New European interoperability framework. Promoting seamless services and data flows for European public administrations. Luxembourg: Publications Office.
- Eversheim, Walter; Schuh, Günther (2005): Integrierte Produkt- und Prozessgestaltung. 1. Aufl. Berlin: Springer (VDI).
- Felkai, Roland; Beiderwieden, Arndt (2011): Projektmanagement für technische Projekte. Ein prozessorientierter Leitfaden für die Praxis. 1. Aufl. s.l.: Vieweg+Teubner (GWV). Online verfügbar unter <http://gbv.ebib.com/patron/FullRecord.aspx?p=748482>.

Fellmann, Michael (2013): Semantisches Prozessmanagement und E-Business. Lehrveranstaltung. Universität Osnabrück. Online verfügbar unter [http://www.mfellmann.net/content/slides/V01\\_Einfuehrung.pdf](http://www.mfellmann.net/content/slides/V01_Einfuehrung.pdf), zuletzt geprüft am 05.09.2018.

Finger, Jürgen (1996): Managementaufgabe PPS-Einführung. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg (Managementaufgabe PPS-Einführung).

Fink, Andreas; Schneiderei, Gabriele; Voß, Stefan (2005): Grundlagen der Wirtschaftsinformatik. Zweite, überarbeitete Auflage. Heidelberg: Physica-Verlag HD (Physica-Lehrbuch).

Fischäder, Holm (2007): Störungsmanagement in netzwerkförmigen Produktionssystemen. 1. Aufl. s.l.: DUV Deutscher Universitäts-Verlag (Schriften zum Produktionsmanagement). Online verfügbar unter <http://gbv.ebib.com/patron/FullRecord.aspx?p=748511>.

Fischermanns, Guido (2009): Praxishandbuch Prozessmanagement. 8., unveränderte Auflage. Gießen: Verlag Dr. Götz Schmidt (Ibo Schriftenreihe, Band 9).

FNP (2018): Adidas arbeitet am Schuh der Zukunft. Frankfurter neue Presse. Online verfügbar unter <http://www.fnp.de/nachrichten/wirtschaft/Adidas-arbeitet-am-Schuh-der-Zukunft;art139,2743496>.

Focke, Markus; Steinbeck, Jörn (2018): Steigerung der Anlagenproduktivität durch OEE-Management. Definitionen, Vorgehen und Methoden – von manuell bis Industrie 4.0. Wiesbaden: Springer Gabler (essentials). Online verfügbar unter <http://www.springer.com/>.

Föllinger, Otto; Roppenecker, Günter (1994): Optimale Regelung und Steuerung. 3. Aufl., 3., verb. Aufl. Reprint 2014. München: de Gruyter (Methoden der Regelungs- und Automatisierungstechnik). Online verfügbar unter [http://www.degruyter.com/search?f\\_0=isbnissn&q\\_0=9783486787306&searchTitles=true](http://www.degruyter.com/search?f_0=isbnissn&q_0=9783486787306&searchTitles=true).

Friedag, Herwig R.; Schmidt, Walter (2011): Balanced Scorecard. 4. Aufl. Freiburg: Haufe (Haufe TaschenGuide). Online verfügbar unter [http://www.wiso-net.de/document/HAUF,AHAU\\_\\_9783648019108127](http://www.wiso-net.de/document/HAUF,AHAU__9783648019108127).

Friedl, Gunther; Hilz, Christian; Pedell, Burkhard (2012): Controlling mit SAP®. Eine praxisorientierte Einführung - Umfassende Fallstudie - Beispielhafte Anwendungen. 6. Aufl. 2013. Wiesbaden: Springer. Online verfügbar unter <http://dx.doi.org/10.1007/978-3-8348-2159-1>.

Gadatsch, Andreas (2012): Grundkurs Geschäftsprozess-Management. Methoden und Werkzeuge für die IT-Praxis: Eine Einführung für Studenten und Praktiker. 7., akt. Aufl. 2012. Wiesbaden: Imprint Vieweg+Teubner Verlag. Online verfügbar unter <http://dx.doi.org/10.1007/978-3-8348-2428-8>.

Gadatsch, Andreas (2020): Grundkurs Geschäftsprozess-Management. Analyse, Modellierung, Optimierung und Controlling von Prozessen. 9. Aufl. Wiesbaden: Springer.

Gaitanides, Michael (1994): Prozeßmanagement. Konzepte, Umsetzungen und Erfahrungen des Reengineering ; mit 20 Tabellen. München: Hanser.

Gaitanides, Michael (2013): Prozessorganisation. Entwicklung, Ansätze und Programme des Managements von Geschäftsprozessen. 3. ed. München: Vahlen (Vahlens Handbücher der Wirtschafts- und Sozialwissenschaften). Online verfügbar unter <http://elibrary.vahlen.de/index.php?dokid=6639>.

García-Alcaraz, Jorge Luis; Opopesa-Vento, Midiala; Maldonado-Macías, Aidé Aracely (2017): Kaizen planning, implementing and controlling. Cham: Springer (Management and industrial engineering). Online verfügbar unter <http://www.springer.com/>.

Gómez, Jorge Marx; Junker, Horst; Odebrecht, Stefan (2009): IT-Controlling. Strategien, Werkzeuge, Praxis. s.l.: Erich Schmidt Verlag. Online verfügbar unter <http://gbv.ebib.com/patron/FullRecord.aspx?p=612493>.

Goschy, Wilhelm; Rohrbach, Thomas (2017): IN DUS TRIE 4.0. Deutscher Industrie 4.0 Index 2017. Hg. v. STAUFEN AG. Staufen Digital Neonex GmbH und Staufen AG. Köngen. Online verfügbar unter [http://www.staufen.ag/fileadmin/HQ/02-Company/05-Media/2-Studies/STAUFEN.-studie-deutscher-industrie-4.0-index-2017-de\\_DE.pdf](http://www.staufen.ag/fileadmin/HQ/02-Company/05-Media/2-Studies/STAUFEN.-studie-deutscher-industrie-4.0-index-2017-de_DE.pdf).

Göthlich, Stephan (2003): Fallstudien als Forschungsmethode: Plädoyer für einen Methodenpluralismus in der deutschen betriebswirtschaftlichen Forschung. Kiel. Online verfügbar unter

[https://www.econstor.eu/bitstream/10419/147639/1/manuskript\\_578.pdf](https://www.econstor.eu/bitstream/10419/147639/1/manuskript_578.pdf), zuletzt geprüft am 02.03.2020.

Gottmann, Juliane (2016): Produktionscontrolling. Wertströme und Kosten optimieren. 1. Aufl. 2016. Wiesbaden: Springer Gabler. Online verfügbar unter <http://dx.doi.org/10.1007/978-3-658-01951-8>.

Götz, Klaus (2008): Wissensmanagement. 3., erweiterte und völlig überarbeitete Auflage. Mering: Rainer Hampp Verlag. Online verfügbar unter [http://www.wiso-net.de/document/EBOK,AEBO\\_\\_9783879886104268](http://www.wiso-net.de/document/EBOK,AEBO__9783879886104268).

Grande, Marcus (2014): 100 Minuten für Anforderungsmanagement. Kompaktes Wissen nicht nur für Projektleiter und Entwickler. 2., aktualisierte Auflage. Wiesbaden: Springer Vieweg. Online verfügbar unter <http://dx.doi.org/10.1007/978-3-658-06435-8>.

Greinacher, Sebastian; Overbeck, Leonard; Kuhnle, Andreas; Krahe, Carmen; Lanza, Gisela (2020): Multi-objective optimization of lean and resource efficient manufacturing systems. In: *Prod. Eng. Res. Devel.* 107 (1), S. 223. DOI: 10.1007/s11740-019-00945-9.

Gronau, Norbert (2017): Architekturen betrieblicher Anwendungssysteme. Einführung in das Architekturmanagement. Vorlesung. Hg. v. Universität Potsdam. Lehrstuhl für Wirtschaftsinformatik. Online verfügbar unter [https://wi.uni-potsdam.de/homepage/lehrewi.nsf/0/864b1102a89b4f0bc1258114006fab0/\\$FILE/2%20-%20Einführung%20Architekturmanagement.key.002.002.pdf/2%20-%20Einführung%20Architekturmanagement.key.pdf](https://wi.uni-potsdam.de/homepage/lehrewi.nsf/0/864b1102a89b4f0bc1258114006fab0/$FILE/2%20-%20Einführung%20Architekturmanagement.key.002.002.pdf/2%20-%20Einführung%20Architekturmanagement.key.pdf), zuletzt geprüft am 05.03.2019.

Gronau, Norbert; Weber, Edzard (2018): Reigenfolgeplanung im Zeitalter von Industrie 4.0. Optimierung in der Werkstattfertigung. In: *Industrie 4.0 Management* (23), S. 23–26, zuletzt geprüft am 27.07.2018.

Grunau, Thomas (2002): Einführung von kybernetischen Regelkreisen zum Qualitätsmanagement in einem deutschen Unternehmen. Dissertation. Universität Bielefeld, Bielefeld. Fakultät für Psychologie und Sportwissenschaften, zuletzt geprüft am 27.06.2019.

Grundstein, Sebastian (2017): Fertigungsregelung flexibler Fließfertigungen und Werkstattfertigungen zur Einhaltung von Lieferterminen. Integration von

- Auftragsfreigabe, Arbeitsverteilung, Reihenfolgebildung und Kapazitätssteuerung unter Nutzung des Potenzials Cyber-Physischer Produktionssysteme. Dissertation. Universität Bremen, Bremen. Planung und Steuerung produktionstechnischer und logistischer Systeme (PSPS).
- Haberfellner, R.; Nagel, P.; Becker, M.; Büchel, A.; Massow, H. von (2012): Systems Engineering. Methodik und Praxis. 12., völlig neu bearb. u. erw. Auflage. Hg. v. Walter F. Daenzer. Zürich: Verl. Industrielle Organisation.
- Hahn, Hans-Werner (2011): Die Industrielle Revolution in Deutschland. 3., durchges. und um einen Nachtr. erw. Aufl. München: Oldenbourg Wissenschaftsverlag (Enzyklopädie deutscher Geschichte, 49). Online verfügbar unter <http://dx.doi.org/10.1524/9783486702491>.
- Heidel, Roland; Hoffmeister, Michael; Hankel, Martin; Döbrich, Udo (2017a): Industrie4.0 Basiswissen RAMI4.0. Referenzarchitekturmodell mit Industrie4.0-Komponente. 1. Auflage. Berlin, Berlin, Wien, Zürich: VDE Verlag GmbH; Beuth Verlag GmbH. Online verfügbar unter <https://content-select.com/de/portal/media/view/58a1b07c-9f54-4f96-80ea-0d61b0dd2d03>.
- Heidel, Roland; Hoffmeister, Michael; Hankel, Martin; Döbrich, Udo (2017b): Industrie4.0 Basiswissen RAMI4.0. Referenzarchitekturmodell mit Industrie4.0-Komponente. 1. Auflage. Berlin, Berlin, Wien, Zürich: VDE Verlag GmbH; Beuth Verlag GmbH. Online verfügbar unter <https://content-select.com/de/portal/media/view/58a1b07c-9f54-4f96-80ea-0d61b0dd2d03>.
- Heinrich, Berthold; Linke, Petra; Glöckler, Michael (2017): Grundlagen Automatisierung. Sensorik, Regelung, Steuerung. 2., überarbeitete und erweiterte Auflage. Wiesbaden: Springer Vieweg (Lehrbuch). Online verfügbar unter <http://www.springer.com/>.
- Henze, Lars (2008): Entwicklung einer Methode zum Aufdecken von potenziellen Fehlern in der Konstruktion. Dissertation. Technische Universität Chemnitz, Chemnitz. Fakultät für Maschinenbau. Online verfügbar unter <https://monarch.qucosa.de/api/qucosa%3A18947/attachment/ATT-0/>, zuletzt geprüft am 06.02.2020.
- Herrmann, Andrea; Knaus, Eric; Weißbach, Rüdiger (Hrsg.) (2012): Requirements Engineering und Projektmanagement. Dordrecht: Springer.

- Hische, Marja Christine; Hische, Volker (2019): Projekte leiten, Menschen führen. Führungswissen und Werkzeuge für die laterale Führung. 1st ed. 2019. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden.
- Hoff, Harald (2016): Anspruch und Wirklichkeit der digitalen Produktion. Umsetzungsstand in der Industrie. Automatisierungstreff. Böblingen, 2016.
- Homma, Norbert; Bauschke, Rafael (2010): Unternehmenskultur und Führung. Den Wandel gestalten - Methoden, Prozesse, Tools. Wiesbaden: Gabler Verlag / Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH Wiesbaden. Online verfügbar unter <http://dx.doi.org/10.1007/978-3-8349-6330-7>.
- Hoppe, Uwe (2018): Geschäftsprozessmanagement. 5. Prozessentwurf (2). Institut BWL/Organisation Wirtschaftsinformatik. Universität Osnabrück. Osnabrück.
- Hruschka, P. (2014): Requirements Engineering. In: E. Tiemeyer (Hg.): Handbuch IT-Projektmanagement. Vorgehensmodelle, Managementinstrumente, Good Practices. München: Carl Hanser Verlag GmbH & Co. KG, S. 421–452.
- IEEE (2016): Interoperability. Standard Glossary. Hg. v. IEEE Standard University. Online verfügbar unter <https://www.standardsuniversity.org/article/standards-glossary/>, zuletzt aktualisiert am 25.09.2018.
- ISA 95 (2010a): ANSI/ISA-95.00.01-2010. Enterprise control system integration—Part 1. models and terminology. Hg. v. American National Standard.
- ISA 95 (2010b): ANSI/ISA-95.00.01-2010. Enterprise control system integration—Part 3. activity model of production operations management. Hg. v. American National Standard.
- ISSE (2015): What is industrial an system engineering? ISSE official definition. Institute Industrial & Systems Engineers. Michigan. Online verfügbar unter <http://www.iise.org/details.aspx?id=716>, zuletzt aktualisiert am 05.11.2018.
- ISSE (2018): Course Schedule Industrial Engineering. ISSE Trainings. Institute Industrial & Systems Engineers. Michigan. Online verfügbar unter <http://www.iise.org/IIETrainingCenter/CourseSchedule.aspx>, zuletzt aktualisiert am 07.11.2018.

- Jacob, Michael (2013): Management und Informationstechnik. Eine kompakte Darstellung. Wiesbaden: Springer. Online verfügbar unter <http://dx.doi.org/10.1007/978-3-658-00783-6>.
- Kagermann, H., Wahlster, W., Helbig, J. (2013): Promotorengruppe Kommunikation der Forschungsunion Wirtschaft und Wissenschaft: Wissenschaft. Umsatzempfehlungen für das Zukunftsprojekt Industrie 4.0, Berlin: Stifterverband für die Deutsche. Frankfurt.
- Kauffeld, Simone (Hg.) (2014): Arbeits-, Organisations- und Personalpsychologie für Bachelor. Mit 44 Abbildungen und 36 Tabellen. 2., überarb. Aufl. Berlin: Springer (Springer-Lehrbuch). Online verfügbar unter <http://dx.doi.org/10.1007/978-3-642-42065-8>.
- Kese, David; Terstegen, Sebastian (2017): Industrie 4.0 - Reifegradmodelle. Hg. v. ifaa - Institut für angewandte Arbeitswissenschaften. Düsseldorf. Online verfügbar unter [https://www.arbeitswissenschaft.net/uploads/tx\\_news/Tool\\_I40\\_Reifegradmodelle.pdf](https://www.arbeitswissenschaft.net/uploads/tx_news/Tool_I40_Reifegradmodelle.pdf).
- Kiem, René (2016): Qualität 4.0. QM, MES und CAQ in digitalen Geschäftsprozessen der Industrie 4.0. München: Hanser (Praxisreihe Qualitätswissen). Online verfügbar unter <http://dx.doi.org/10.3139/9783446449862>.
- Kienbaum (2017): Die richtige Organisationsform zur digitalen Transformation. Eine bayme vbm Studie, erstellt von Kienbaum. Hg. v. Die bayrischen Metall- & Elektro-Arbeitgeber. Kienbaum Consulting International GmbH. Düsseldorf. Online verfügbar unter [http://assets.kienbaum.com/downloads/Die-richtige-Organisation-zur-digitalen-Transformation-\\_Key-Facts\\_Kienbaum\\_bayme-vbm\\_2017.pdf?mtime=20170829094757](http://assets.kienbaum.com/downloads/Die-richtige-Organisation-zur-digitalen-Transformation-_Key-Facts_Kienbaum_bayme-vbm_2017.pdf?mtime=20170829094757).
- Kiener, Stefan; Maier-Scheubeck, Nicolas; Obermaier, Robert; Weiß, Manfred (2018): Produktionsmanagement. Grundlagen der Produktionsplanung und -steuerung. 11., verbesserte und erweiterte Auflage. Berlin: De Gruyter Oldenbourg. Online verfügbar unter [http://www.degruyter.com/search?f\\_0=isbnissn&q\\_0=9783110443424&searchTitles=true](http://www.degruyter.com/search?f_0=isbnissn&q_0=9783110443424&searchTitles=true).

- Kletti, Jüregen (2016): Industrie 4.0 konkret. Wie Sie in vier Schritten zur Smart Factory gelangen. ZulieferMarkt.
- Kletti, Jürgen (2007): Konzeption und Einführung von MES-Systemen. 1. Aufl. s.l.: Springer-Verlag. Online verfügbar unter <http://gbv.ebib.com/patron/FullRecord.aspx?p=323913>.
- Kletti, Jürgen (Hg.) (2015): MES - Manufacturing Execution System. Moderne Informationstechnologie unterstützt die Wertschöpfung. 2. Auflage. Berlin, Heidelberg: Springer Vieweg. Online verfügbar unter <http://dx.doi.org/10.1007/978-3-662-46902-6>.
- Kletti, Jürgen (2019): Die Geschichte der digitalen Produktion – von den Anfängen, über CIM bis zum modernen MES der Gegenwart. Forum Produktion & IT. Vortrag. IT-Achse Ems. Nordhorn, 2019.
- Kletti, Jürgen; Brauckmann, Otto (2006): Manufacturing Scorecard. Prozesse effizienter gestalten, mehr Kundennähe erreichen - mit vielen Praxisbeispielen. Wiesbaden: Gabler.
- Kletti, Jürgen; Deisenroth, Rainer (2019): MES-Kompodium. Ein Leitfaden am Beispiel von HYDRA. 2nd ed. 2019. Online verfügbar unter <https://doi.org/10.1007/978-3-662-59508-4>.
- Kletti, Jürgen; Schumacher, Jochen (2014): Die perfekte Produktion. Manufacturing Excellence durch Short Interval Technology (SIT). 2. Aufl. Berlin: Springer Vieweg. Online verfügbar unter [http://ebooks.ciando.com/book/index.cfm/bok\\_id/1880176;B:CIANDO](http://ebooks.ciando.com/book/index.cfm/bok_id/1880176;B:CIANDO).
- Kneuse, Beate (1992): Mit CIM wurde viel Schindluder getrieben. Hg. v. Computerwoche. IDG Business Media GmbH. München. Online verfügbar unter <https://www.computerwoche.de/a/mit-cim-wurde-viel-schindluder-getrieben,1136566>, zuletzt geprüft am 11.04.2018.
- Knoll, Matthias (2018): Unternehmensarchitekturen aus Sicht von IT-Risikomanagement und IT-Revision. In: *HMD* 55 (5), S. 964–983. DOI: 10.1365/s40702-018-00460-y.
- Koch, Jonas Maximilian (2017): Kompetenzen des Industriearbeiters 4.0. Hg. v. Claus Schuster. Fachhochschule Südwestfalen. Meschede. Online verfügbar unter <https://www4.fh->

swf.de/media/downloads/meschedestandort/hochschulschriften/pdfs\_2/02\_2017/MHS\_2.pdf, zuletzt geprüft am 10.03.2020.

Koch, Susanne (2015): Einführung in das Management von Geschäftsprozessen. Six Sigma, Kaizen und TQM. 2. Aufl. Berlin: Springer Vieweg. Online verfügbar unter [http://ebooks.ciando.com/book/index.cfm/bok\\_id/1883137](http://ebooks.ciando.com/book/index.cfm/bok_id/1883137).

Kopp, Johanna Christine (2015): Entwicklung eines Konzepts zur Nutzung von Traceability für die Optimierung von Produktions- und Logistikprozessen mit Hilfe von ereignisdiskreter Simulation. Masterarbeit. IT ind Produktion und Logistik. Technische Universität Dortmund. Online verfügbar unter [http://www.itpl.mb.tu-dortmund.de/publikationen/files/MA\\_2015\\_Kopp.pdf](http://www.itpl.mb.tu-dortmund.de/publikationen/files/MA_2015_Kopp.pdf).

Korge, Axel (2015): Ein Verfahren zur Generierung von Fertigungsstücklisten im Rahmen von Anpassungsplanungen. Stuttgart, Universität Stuttgart, Diss., 2014 (Schriftenreihe zu Arbeitswissenschaft und Technologiemanagement, Band 19). Online verfügbar unter <http://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:bsz:93-opus-104517>.

Kostka, Claudia; Kostka, Sebastian (2017): Der kontinuierliche Verbesserungsprozess. Methoden des KVP. 7. Auflage. München: Hanser. Online verfügbar unter <http://dx.doi.org/10.3139/9783446452411>.

Kötter, Wolfgang; Schwarz-Kocher, Martin; Zanker, Christoph (Hg.) (2016): Balanced GPS. Ganzheitliche Produktionssysteme mit stabil-flexiblen Standards und konsequenter Mitarbeiterorientierung. 1. Auflage. Fachmedien: Springer Gabler. Online verfügbar unter <http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&scope=site&db=nlebk&AN=1077053>.

Krämer, Michael (2012): Grundlagen und Praxis der Personalentwicklung. 2., durchges. und erg. Aufl. Göttingen: Vandenhoeck & Ruprecht (UTB Arbeits- und Organisationspsychologie, 2906). Online verfügbar unter <http://www.utb-studi-e-book.de/9783838536224>.

Kreutzer, Ralf T.; Neugebauer, Tim; Pattloch, Annette (2017): Digital Business Leadership. Digitale Transformation - Geschäftsmodell-Innovation - agile Organisation - Change-Management. Wiesbaden: Springer Gabler. Online verfügbar unter <http://dx.doi.org/10.1007/978-3-658-11914-0>.

- Kreutzer, Ralf T.; Sirrenberg, Marie (2019): Künstliche Intelligenz verstehen. Grundlagen – Use-Cases – unternehmenseigene KI-Journey. Online verfügbar unter <https://doi.org/10.1007/978-3-658-25561-9>.
- Kudernatsch, Daniela; Rotter, Holger (2017): Shopfloor Management. Schaffung einer langfristig erfolgreichen Unternehmenskultur. KUDERNATSCH Consulting & Solutions. Online verfügbar unter [https://www.awf.de/wp-content/uploads/2017/01/2017\\_01\\_17\\_Doku\\_AK\\_SFM.pdf](https://www.awf.de/wp-content/uploads/2017/01/2017_01_17_Doku_AK_SFM.pdf), zuletzt geprüft am 01.03.2018.
- Kuhrmann, Marco; Ternité, Thomas; Friedrich, Jan (2011): Das V-Modell® XT anpassen. Anpassung und Einführung kompakt für V-Modell® XT Prozessingenieure. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag Berlin Heidelberg (Informatik im Fokus). Online verfügbar unter <http://site.ebrary.com/lib/alltitles/docDetail.action?docID=10440003>.
- Kurbel, Karl (1993): Wirtschaftsinformatik '93. Innovative Anwendungen, Technologie, Integration 8. - 10. März 1993, Münster. Heidelberg: Physica-Verlag HD.
- Kurbel, Karl (2016): Enterprise Resource Planning und Supply Chain Management in der Industrie. Von MRP bis Industrie 4.0. 8., vollst. überarb. und erw. Auflage. Berlin/Boston: de Gruyter (De Gruyter Studium). Online verfügbar unter <http://dx.doi.org/10.1515/9783110441697>.
- Kurbel, Karl; Endres, Albert (2005): Produktionsplanung und -steuerung. Methodische Grundlagen von PPS-Systemen und Erweiterungen. 6., völlig überarb. Aufl. München: Oldenbourg (Handbuch der Informatik Anwendungen in Naturwissenschaften, Technik und Medizin, ; 2).
- Lass, Sander; Gronau, Norbert (2020): A factory operating system for extending existing factories to Industry 4.0. In: *Computers in Industry* 115, S. 103128. DOI: 10.1016/j.compind.2019.103128.
- Lauer, Thomas (2014): Change Management. Grundlagen und Erfolgsfaktoren. 2. Aufl. 2014. Berlin: Springer/Gabler. Online verfügbar unter <http://dx.doi.org/10.1007/978-3-662-43737-7>.
- Laurence, Peter (1981): Measuring MRP Effectiveness. In: *Int Jrrnl of Op & Prod Managemnt (International Journal of Operations & Production Management)* 1 (3), S. 145–150. DOI: 10.1108/eb054667.

- DIN EN ISO 19011:2018: Leitfaden zur Auditierung von Managementsystemen.
- Liggesmeyer, Peter (2017): Alles 4.0! Oder manchmal doch 3.5? In: *Informatik Spektrum* 40 (2), S. 210–215. DOI: 10.1007/s00287-017-1034-5.
- Liggesmeyer, Peter; Trap, Mario (2017): Safety in der Industrie 4.0. Herausforderungen und Lösungsansätze. In: Birgit Vogel-Heuser, Thomas Bauernhansl und Michael ten Hompel (Hg.): Handbuch Industrie 4.0. Bd. 4: Allgemeine Grundlagen, Bd. 2. 2. Auflage. Berlin: Springer Vieweg (Springer Reference Technik), S. 107–112.
- Lödding, Hermann (2016): Verfahren der Fertigungssteuerung. Grundlagen, Beschreibung, Konfiguration. 3. Auflage. Berlin, Heidelberg: Springer Vieweg (VDI-Buch). Online verfügbar unter <http://dx.doi.org/10.1007/978-3-662-48459-3>.
- Loebich, Matthias; Penthin, Stefan (2015): Digitalisierung der Produktion. Manufacturing Execution Systeme (MES) als Basis für Transparenz in Produktionsprozessen und Grundlage für Industrie 4.0. Red Paper | Digitalisierung der Produktion - Studie. Hg. v. BearingPoint GmbH. Frankfurt.
- Lucke, D.; Görzig, D.; Kacir, M.; Volkmann, J. W.; Haist, C.; Sachsenmaier, M.; Rentschle, H. Bauernhansl (2014): Strukturstudie „Industrie 4.0 für Baden-Württemberg. Baden-Württemberg auf dem Weg zu Industrie 4.0. Hg. v. Ministerium für Finanzen und Wirtschaft. Fraunhofer IPA. Stuttgart.
- Lukas, Uwe Freiherr von; Stork, Andre; Behr, Johannes (2014): Industrie 4.0 – Evolution statt Revolution. Visual Computing beflügelt die Industrie der Zukunft. Industrie 4.0, Virtual Reality, PPS (Produktionsplanung/-steuerung). Hg. v. Springer - VDI - Verlag. Fraunhofer (104). Online verfügbar unter [https://www.werkstattstechnik.de/library/news/2014/04/255\\_78143.pdf](https://www.werkstattstechnik.de/library/news/2014/04/255_78143.pdf).
- Lunze, Jan (2016): Regelungstechnik 1. Systemtheoretische Grundlagen, Analyse und Entwurf einschleifiger Regelungen : mit 425 Abbildungen, 76 Beispielen, 179 Übungsaufgaben sowie einer Einführung in das Programmsystem MATLAB. 11., überarbeitete und ergänzte Auflage. Berlin: Springer (Lehrbuch). Online verfügbar unter <http://dx.doi.org/10.1007/978-3-662-52678-1>.
- Luszczak, Andreas (2012): Grundkurs Microsoft Dynamics AX. Die Business-Lösung von Microsoft in Version AX 2012. 4., aktualisierte und erweiterte

- Auflage. Wiesbaden: Springer Vieweg. Online verfügbar unter <http://site.ebrary.com/lib/alltitles/docDetail.action?docID=10605542>.
- VDMA-Einheitsblatt ICS 03.100.50, 2009: Manufacturing Execution Systems (MES) Kennzahlen.
- Martin, Heinrich (2014): Transport- und Lagerlogistik. Planung, Struktur, Steuerung und Kosten von Systemen der Intralogistik. 9., vollst. überarb. und aktualisierte Aufl. Wiesbaden: Springer Vieweg. Online verfügbar unter <http://dx.doi.org/10.1007/978-3-658-03143-5>.
- Matthes, Dirk (2011): Enterprise Architecture Frameworks Kompendium. Über 50 Rahmenwerke für das IT-Management. Berlin: Springer-Verl. (Xpert.press). Online verfügbar unter <http://dx.doi.org/10.1007/978-3-642-12955-1>.
- Maximini, Dominik (2018): Scrum - Einführung in der Unternehmenspraxis. Von starren Strukturen zu agilen Kulturen. 2. Aufl. 2018. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.
- Mayring, Philipp (2010): Qualitative Inhaltsanalyse. Grundlagen und Techniken. Neuauflage. s.l.: Beltz Verlagsgruppe. Online verfügbar unter [http://www.content-select.com/index.php?id=bib\\_view&ean=9783407291424](http://www.content-select.com/index.php?id=bib_view&ean=9783407291424).
- Mertens, Peter; Bodendorf, Freimut; König, Wolfgang; Schumann, Matthias; Hess, Thomas; Buxmann, Peter (2017): Grundzüge der Wirtschaftsinformatik. 12., grundlegend überarbeitete Auflage. Berlin: Springer Gabler. Online verfügbar unter <http://dx.doi.org/10.1007/978-3-662-53362-8>.
- Meudt, Tobias; Rößler, Markus; Böllhoff, Jörg (2016): Wertstromanalyse 4.0. Ganzheitliche Betrachtung von Wertstrom und Informationslogistik in der Produktion. 111. Aufl. Hg. v. ZWF. Technische Universität Darmstadt - PTW.
- Meurer, Rene (2015): Shop floor Management. Führungskräfte kommen in die Produktion. Hg. v. Business Wissen Information Service. Online verfügbar unter <https://www.business-wissen.de/artikel/shopfloor-management-fuehrungskraefte-kommen-in-die-produktion/>, zuletzt geprüft am 18.06.2018.
- Meyer auf der Heide, Friedhelm; Trächtler, Ansgar; Gausemeier, Jürgen; Dressler, Falko; Dumitrescu, Roman; Bodden, Eric; Scheytt, Christoph (Hg.) (2017): Wissenschaftsforum Intelligente Technische Systeme (WInTeSys) 2017. 11. und 12. Mai 2017 Heinz Nixdorf MuseumsForum, Paderborn. Wissenschaftsforum Intelligente Technische Systeme. Paderborn: Heinz

Nixdorf Institut, Universität Paderborn (Verlagsschriftenreihe des Heinz Nixdorf Instituts, Band 369).

mpdv (2019): Smart Factory Elements. Ein Modell für innovative Fertigungs-IT. Hg. v. MPDV Mikrolab GmbH. Mosbach. Online verfügbar unter <https://www.mpdv.com/de/innovation-vision/mes-industrie-40/smart-factory-elements/>.

MPDV-BDE (2016): Basic Application Training MES. Hydra-Betriebsdaten. Mosbach.

MPDV-DNC (2016): Basic Application Training MES. Hydra-DNC Datentransfer. Mosbach (8.1).

MPDV-EMG (2016): Basic Application Training MES. Hydra-Energiemanagement. Mosbach (8.1).

MPDV-ESK (2015): Extended Application Training. Hydra-Eskalationsmanagement. Mosbach (8.1).

MPDV-HLS (2016): Basic Application Training MES. Hydra-Leitstand. Mosbach (8.1).

MPDV-HR (2016): Basic Application Training MES. Hydra-Personalmanagement. Mosbach (8.1).

MPDV-LLE (2015): Basic Application Training. Hydra-Leistungslohnermittlung. Mosbach (8.1).

MPDV-MDE (2016): Basic Application Training MES. Hydra-Maschinendaten. Mosbach (8.1).

MPDV-MF (2015): Basic Application Training Manufacturing. Anwenderschulung MES Hydra. Hg. v. MPDV Mikrolab GmbH.

MPDV-MF (2016): Basic Application Training MES. Hydra-Manufacturing. Mosbach (8.1).

MPDV-MLE (2015): Extended Application Training. Hydra-MES Link Enabling Kommunikation. Mosbach (8.1).

MPDV-MPL (2016): Basic Application Training MES. Hydra-Materialmanagement. Mosbach (8.1).

MPDV-PCC (2015): Extended Application Training. Hydra-Process Communication Controller. Mosbach (8.1).

- MPDV-PDV (2016): Basic Application Training MES. Hydra-Prozessdatenverarbeitung. Mosbach (8.1).
- MPDV-PEP (2016): Basic Application Training MES. Hydra-Personaleinsatzplanung. Mosbach (8.1).
- MPDV-QMG (2016): Basic Application Training MES. Hydra-Qualitätsmanagement. FEP/WEP/WAP. Mosbach (8.1).
- MPDV-WRM (2016): Basic Application Training MES. Hydra-Werkzeug- und Ressourcenmanagement. Mosbach (8.1).
- Mussbach-Winter, Ute (2017): IT-Systeme für das Supply Chain Management. Konzepte und Methoden des Supply Chain Management. Modul Produktionslogistik SS 2017. Hg. v. Heinz Nixdorf Institut Universität Paderborn. Universität Paderborn. Paderborn. Online verfügbar unter [https://www.hni.uni-paderborn.de/fileadmin/Fachgruppen/Wirtschaftsinformatik/Moduluebersicht/W2332\\_02\\_Konzepte\\_und\\_Methoden\\_des\\_SCM/W2332-02\\_6\\_SCM\\_IT-Systeme\\_SS2017.pdf](https://www.hni.uni-paderborn.de/fileadmin/Fachgruppen/Wirtschaftsinformatik/Moduluebersicht/W2332_02_Konzepte_und_Methoden_des_SCM/W2332-02_6_SCM_IT-Systeme_SS2017.pdf), zuletzt geprüft am 17.10.2018.
- Nayyar, Anand; Kumar, Akshi (2020): A roadmap to industry 4.0. Smart production, sharp business and sustainable development. Cham: Springer (Advances in Science, Technology & Innovation).
- Nebi, Theodor (2011): Produktionswirtschaft, 7., vollständig überarbeitete und erweiterte Auflage: de Gruyter.
- Nichols, Andy (2018): Total Quality Management Principles. What is Quality Management? Online verfügbar unter <https://www.smartsheet.com/total-quality-management>, zuletzt aktualisiert am 10.09.2018.
- Nissen, Volker; Klauk, Bruno (2012): Studienführer Consulting. Studienangebote in Deutschland, Österreich und der Schweiz. Wiesbaden: Springer. Online verfügbar unter <http://site.ebrary.com/lib/alltitles/docDetail.action?docID=10603543>.
- North, K.; Friedrich, P. (2002): Kompetenzentwicklung zur Selbstorganisation. Forschungsbericht des ABWF. Hg. v. Edition QUEM. Darmstadt.
- North, Klaus; Reinhardt, Kai; Sieber-Suter, Barbara (2013): Kompetenzmanagement in der Praxis. Mitarbeiterkompetenzen systematisch identifizieren, nutzen und entwickeln; mit vielen Fallbeispielen. 2., überarb. u.

- erw. Aufl. 2013. Wiesbaden: Gabler Verlag. Online verfügbar unter <http://dx.doi.org/10.1007/978-3-8349-3696-7>.
- Obermaier, Robert (Hg.) (2017): Industrie 4.0 als unternehmerische Gestaltungsaufgabe. Betriebswirtschaftliche, technische und rechtliche Herausforderungen. 2., korrigierte Auflage. Wiesbaden: Springer Gabler. Online verfügbar unter <http://dx.doi.org/10.1007/978-3-658-16527-7>.
- Ohm, Christof; Bürger, Michael (2015): Ausblicke auf Industrie 4.0 und ihr Kybertariat. Online verfügbar unter [www.s-gs.de/wordpress/wpcontent/uploads/2015/06/OhmCh-u.-B%C3%BCrgerM-2015-Ausblicke-auf-Industrie-4.0-und-ihr-Kybertariat.pdf](http://www.s-gs.de/wordpress/wpcontent/uploads/2015/06/OhmCh-u.-B%C3%BCrgerM-2015-Ausblicke-auf-Industrie-4.0-und-ihr-Kybertariat.pdf).
- Ōno, Taiichi; Bodek, Norman (2008): Toyota production system. Beyond large-scale production. [Reprinted]. New York, NY: Productivity Press.
- Ōno, Taiichi; Hof, Wilfried; Rother, Mike (2013): Das Toyota-Produktionssystem. 3. erweitert und aktualisiert Auflage. Frankfurt, New York: Campus. Online verfügbar unter [http://www.content-select.com/index.php?id=bib\\_view&ean=9783593423753](http://www.content-select.com/index.php?id=bib_view&ean=9783593423753).
- Osterloh, Margit (2009): Prozessmanagement als Kernkompetenz. Wiesbaden: Springer Fachmedien (uniscop. Die SGO-Stiftung für praxisnahe Managementforschung). Online verfügbar unter <http://gbv.ebib.com/patron/FullRecord.aspx?p=750570>.
- Pawellek, Günther (2014): Ganzheitliche Fabrikplanung. Grundlagen, Vorgehensweise, EDV-Unterstützung. 2. Aufl. Berlin: Springer Vieweg (VDI-Buch). Online verfügbar unter <http://dx.doi.org/10.1007/978-3-662-43728-5>.
- Pawellek, Günther (2016): Integrierte Instandhaltung und Ersatzteillogistik. Vorgehensweisen, Methoden, Tools. 2. Auflage. Berlin, Heidelberg: Springer Vieweg (VDI-Buch). Online verfügbar unter <http://gbv.ebib.com/patron/FullRecord.aspx?p=4409707>.
- Pfeifer, Tilo; Schmitt, Robert (2010): Fertigungsmesstechnik. 3., überarb. und erw. Aufl. München: Oldenbourg. Online verfügbar unter <http://www.oldenbourg-link.com/isbn/9783486592023>.
- Pfohl, H., Krings, M., Betz, G.: Techniken der prozessorientierten Organisationsanalyse. In: Zeitschrift Führung und Organisation, Bd. 65, S. 246–251.

- Plinke, Wulff; Rese, Mario; Utzig, B. Peter (2015): Industrielle Kostenrechnung. Eine Einführung. 8. Auflage. Berlin, Heidelberg: Springer Vieweg (Springer-Lehrbuch). Online verfügbar unter <http://dx.doi.org/10.1007/978-3-662-46854-8>.
- Pohl, Klaus (2002): Produktionsmanagement mit SAP R/3. Mit 19 Tabellen. Berlin: Springer.
- Pröpster, Markus Hubert (2015): Methodik zur kurzfristigen Austaktung variantenreicher Montagelinien am Beispiel des Nutzfahrzeugbaus. Dissertation. Herbert Utz Verlag GmbH.
- Puchan, Jörg; Seif, Heiko; Mayer, Dennis (2015): Bestimmung des Stands deutscher produzierender Unternehmen auf dem Weg zu Industrie 4.0 und Verwendung der Ergebnisse für ein Industrie-4.0-Reifegradmodell. In: Thomas Barton, Burkhard Erdlenbruch, Frank Herrmann, Konrad Marfurt, Christian Müller und Christian Seel (Hg.): Prozesse, Technologie, Anwendungen, Systeme und Management 2015. Angewandte Forschung in der Wirtschaftsinformatik. 1. Aufl., neue Ausg. Heide, Holst: mana-Buch, 58 ff. 9001:2015-11, 2015-11: Qualitätsmanagementsysteme - Anforderungen.
- REFA (1991): Methodenlehre der Betriebsorganisation. 1. Aufl. München, Wien: Hanser.
- Reinheimer, Stefan (Hg.) (2017): Industrie 4.0. Herausforderungen, Konzepte und Praxisbeispiele. Wiesbaden, Germany: Springer Vieweg (Praxis der Wirtschaftsinformatik, 2366-1135).
- Reiss, Volker (2012): CMMI und Scrum/Agile. (1) zwei bewährte Frameworks (2) erfolgreich in einer Organisation einführen. Mannheim. Online verfügbar unter [http://mi.informatik.hs-mannheim.de/download/HS-Mannheim\\_Vortrag\\_CMMI-Scrum\\_v1.0.pdf](http://mi.informatik.hs-mannheim.de/download/HS-Mannheim_Vortrag_CMMI-Scrum_v1.0.pdf), zuletzt geprüft am 06.09.2018.
- Rinn, Thomas; Vollmer, Patrick; Veit Eberhard (2019): Ein neuer Weg zur Digitalisierung. Wie deutsche Unternehmen mit der Digitalisierung richtig vorankommen. Ergebnisse der accenture Studie in 2018 zu Schwierigkeiten in Digitalisierungsprojekten. accenture.
- Rost, Detlef H. (2009): Intelligenz. Fakten und Mythen. 1. Aufl. Weinheim: Beltz (Grundlagen Psychologie). Online verfügbar unter [http://www.content-select.com/index.php?id=bib\\_view&ean=9783621279086](http://www.content-select.com/index.php?id=bib_view&ean=9783621279086).

- Roth, Armin (Hg.) (2016): Einführung und Umsetzung von Industrie 4.0. Grundlagen, Vorgehensmodell und Use Cases aus der Praxis. Berlin: Springer Gabler.
- Roth, Richard (2011): Personal und Organisation. Vorlesungsfolien 5-7. PuO\_Teil4\_WS1011. Fachhochschule Giesen Friedberg. Gießen.
- SAP (2016): Erweiterte Rückwärtsplanung. Einschränkungen bei Mehrstufiger Rückwärtsplanung. SAP SCM 7.0. Hg. v. SAP help. Online verfügbar unter [https://help.sap.com/doc/saphelp\\_scm70/7.0/de-DE/4e/dd507089fb2afee10000000a42189e/content.htm?no\\_cache=true](https://help.sap.com/doc/saphelp_scm70/7.0/de-DE/4e/dd507089fb2afee10000000a42189e/content.htm?no_cache=true).
- SAP (2018a): SAP Dokumentation. Fertigungsaufträge ändern. Auftragskopf. SAP Deutschland SE & Co. KG. Online verfügbar unter [https://help.sap.com/saphelp\\_erp60\\_sp/helpdata/de/40/01b753128eb44ce1000000a174cb4/frameset.htm](https://help.sap.com/saphelp_erp60_sp/helpdata/de/40/01b753128eb44ce1000000a174cb4/frameset.htm), zuletzt geprüft am 19.10.2018.
- SAP (2018b): SAP Dokumentation ABAP. ABAP Programmierung (BC-ABA). Datentypen und Datenobjekte. Hg. v. SAP Deutschland SE & Co. KG. Online verfügbar unter [https://help.sap.com/saphelp\\_nw70ehp2/helpdata/de/fc/eb2fb2358411d1829f0000e829fbfe/frameset.htm](https://help.sap.com/saphelp_nw70ehp2/helpdata/de/fc/eb2fb2358411d1829f0000e829fbfe/frameset.htm), zuletzt geprüft am 08.08.2018.
- Satzger-Simon, Marion: Wenn die Business-Partnerschaft zur Qual wird Coaching eines Führungsduals. Praxisbericht. In: Organisationsberatung – Supervision – Coaching, Heft 4/2002, S. 341–349.
- Schallmo, Daniel; Rusnjak, Andreas; Anzengruber, Johanna; Werani, Thomas; Jünger, Michael (Hg.) (2017): Digitale Transformation von Geschäftsmodellen. Grundlagen, Instrumente und Best Practices. Wiesbaden: Springer Gabler (Schwerpunkt). Online verfügbar unter <http://dx.doi.org/10.1007/978-3-658-12388-8>.
- Scheer, August-Wilhelm (1987): CIM Computer Integrated Manufacturing. Der computergesteuerte Industriebetrieb. Zweite, durchgesehene Auflage. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg. Online verfügbar unter <http://dx.doi.org/10.1007/978-3-642-97050-4>.
- Scheer, August-Wilhelm (1990a): CIM. Computer integrated manufacturing ; der computergesteuerte Industriebetrieb. 4., neu bearb. und erw. Aufl. Berlin:

Springer. Online verfügbar unter

<http://www.loc.gov/catdir/enhancements/fy0827/90140617-d.html>.

Scheer, August-Wilhelm (1990b): EDV-orientierte Betriebswirtschaftslehre. Grundlagen für ein effizientes Informationsmanagement. Vierte, völlig neu bearbeitete Auflage. Berlin, Heidelberg: Springer (Springer-Lehrbuch). Online verfügbar unter <http://dx.doi.org/10.1007/978-3-662-06830-4>.

Scheer, August-Wilhelm (1991): Architektur integrierter Informationssysteme. Grundlagen der Unternehmensmodellierung. Berlin, Heidelberg, s.l.: Springer Berlin Heidelberg. Online verfügbar unter <http://dx.doi.org/10.1007/978-3-642-97333-8>.

Scheer, August-Wilhelm (2002): ARIS - vom Geschäftsprozess zum Anwendungssystem. 4., durchges. Aufl. Berlin: Springer.

Scheer, August-Wilhelm (2012): CIM. Computer integrated manufacturing ; towards the factory of the future. Softcover repr. of the hardcover 3rd ed. 1994. Berlin [u.a.]: Springer.

Scheer, August-Wilhelm (2015): GASTVORTRAG: Industrie 4.0: Prozessdigitalisierung mit Scheer BPaaS. Minute 10:21 bis Minute 16:30. Erläuterung des geschichtlichen Werdegang des SAP-Datenmodells. Hochschule für angewandte Wissenschaften München. München, 2015. Online verfügbar unter <https://www.youtube.com/watch?v=SWTnBLoef6w>, zuletzt geprüft am 18.05.2018.

Scheer, August-Wilhelm (2018): Der zweite Aufguss ist stärker. Dinerspeech anlässlich der Feier des 30-jährigen Bestehens des Deutschen Forschungszentrums für künstliche Intelligenz. DFKI. Berlin. Online verfügbar unter <https://www.aws-institut.de/im-io/allgemein/der-zweite-aufguss-ist-staerker/>.

Scheer, August-Wilhelm; Jost, Wolfram; Wagner, Karl (Hg.) (2005): Von Prozessmodellen zu lauffähigen Anwendungen. ARIS in der Praxis ; mit 6 Tabellen. Berlin: Springer. Online verfügbar unter <http://lib.myilibrary.com/detail.asp?id=62311>.

Schiersmann, Christiane; Thiel, Heinz-Ulrich (2018): Organisationsentwicklung. Prinzipien und Strategien von Veränderungsprozessen: VS Verlag.

- Schleipen, Miriam (2013): Adaptivität und semantische Interoperabilität von Manufacturing Execution Systemen. Zugl.: Karlsruhe, Karlsruher Institut für Technologie, KIT, Diss., 2012. Print on demand. Hannover, Karlsruhe: Technische Informationsbibliothek u. Universitätsbibliothek; KIT Scientific Publishing (Karlsruher Schriften zur Anthropomatik, 12). Online verfügbar unter <http://edok01.tib.uni-hannover.de/edoks/e01fn13/766640787.pdf>.
- Schlick, Christopher; Luczak, Holger; Bruder, Ralph (2010): Arbeitswissenschaft. Heidelberg: Springer. Online verfügbar unter <http://site.ebrary.com/lib/alltitles/docDetail.action?docID=10361974>.
- Schlick, J.; Stephan, P.; Loskyll, M.; Lappe, D.: Industrie 4.0 in praktischen Anwendungen. In: Industrie 4.0 in Produktion, Automatisierung und Logistik. Anwendungen, Technologien, Migration, S. 57–84.
- Schließmann, A-W: Die Mensch-Maschine Kommunikation in der Smart Factory. eProduction. In: Vogel-Heuser, Bauernhansl et al. (Hrsg.) 2014 – Industrie 4.0 in Produktion. Automatisierung und Logistik, S. 453–455.
- Schloske, Alexander (2014): Qualitätsmanagement und Qualitätssicherung in der Produktion und Montage. Lernfabrik, Institut für Industrielle Fertigung und Fabrikbetrieb, Universität Stuttgart. Fraunhofer IPA. Stuttgart. Online verfügbar unter <http://publica.fraunhofer.de/documents/N-290542.html>, zuletzt geprüft am 18.10.2018.
- Schmid, Dietmar (1991): CIM. Lehrbuch zur Automatisierung der Fertigung ; mit Übungen zu CAD und zur NC-Programmierung. 1. Aufl., 1. Dr. Haan-Gruiten: Verl. Europa-Lehrmittel (Bibliothek des Technikers).
- Schmieder, Matthias; Regius, Bernd von; Leyendecker, Bert (2018): Qualitätsmanagement im Einkauf. Vermeidung von Produktfehlern in der Lieferkette. Wiesbaden: Springer Gabler. Online verfügbar unter <http://dx.doi.org/10.1007/978-3-658-04755-9>.
- Schneider, Herfried M.; Buzacott, John A.; Rücker, Thomas (2005): Operative Produktionsplanung und -steuerung. Konzepte und Modelle des Informations- und Materialflusses in komplexen Fertigungssystemen. München: Oldenbourg (Lehr- und Handbücher der Betriebswirtschaftslehre). Online verfügbar unter <http://www.oldenbourg-link.com/doi/book/10.1524/9783486700312>.

Schröder, Dierk (2015): Elektrische Antriebe - Regelung von Antriebssystemen. 4. Auflage. Berlin, Heidelberg: Springer Vieweg. Online verfügbar unter <http://dx.doi.org/10.1007/978-3-642-30096-7>.

Schuh, Günther (2012): Innovationsmanagement. Handbuch Produktion und Management 3. 2., vollst. neu bearb. und erw. Aufl. Berlin, Heidelberg: Springer (VDI-Buch). Online verfügbar unter <http://dx.doi.org/10.1007/978-3-642-25050-7>.

Schuh, Günther; Gausemeier Jürgen; Hompel, Michael ten (2017): Industrie 4.0 Maturity Index. Die digitale Transformation von Unternehmen gestalten. (acatech STUDIE). Hg. v. Wolfgang Wahlster. Herbert Utz Verlag. München. Online verfügbar unter [http://www.acatech.de/fileadmin/user\\_upload/Baumstruktur\\_nach\\_Website/Acatech/root/de/Publikationen/Projektberichte/acatech\\_STUDIE\\_Maturity\\_Index\\_WEB.pdf](http://www.acatech.de/fileadmin/user_upload/Baumstruktur_nach_Website/Acatech/root/de/Publikationen/Projektberichte/acatech_STUDIE_Maturity_Index_WEB.pdf), zuletzt geprüft am 23.05.2018.

Schuh, Günther; Kampker, Achim (2011): Strategie und Management produzierender Unternehmen. Handbuch Produktion und Management 1. 2., vollst. neu bearb. und erw. Aufl. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag Berlin Heidelberg (VDI-Buch). Online verfügbar unter <http://dx.doi.org/10.1007/978-3-642-14502-5>.

Schuh, Günther; Potente, Till; Bachmann, Fabian; Froitzheim, Thomas (2012): Aufbauorganisation und Office-Layout. In: *ZWF* 107 (10), S. 731–735. DOI: 10.3139/104.110780.

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

Schuh, Günther; Stich, Volker (Hg.) (2012a): 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>.

Schuh, Günther; Stich, Volker (Hg.) (2012b): Produktionsplanung und -steuerung 2. Evolution der PPS. 4., überarb. Aufl. Berlin: Springer (VDI-Buch). Online verfügbar unter <http://dx.doi.org/10.1007/978-3-642-25427-7>.

Schüle, Hubert (2015): Wirtschaftsinformatik. Berlin: BWV Berliner Wissenschafts-Verlag (Management Basics, BWL für Studium und Karriere ; Band 15).

Schulte-Zurhausen, Manfred (2014): Organisation. 6. Aufl. München: Vahlen (Vahlens Handbücher der Wirtschafts- und Sozialwissenschaften). Online verfügbar unter <http://elibrary.vahlen.de/index.php?dokid=224>.

Schumacher, Jochen (2018): Wissen ist Trumpf – was der Digitalisierung noch im Wege steht. Ergebnisse der Perfect Production Umfrage in 2017 zur Nutzung von Industrie 4.0-Modellen. In: *productivITy* (23), S. 16–18. Online verfügbar unter

<http://www.productivity.de/sites/productivity.de/files/pdf/productivity1-18-e-journal.pdf>, zuletzt geprüft am 26.07.2018.

Schwäke, Dennis; Fürstenau, Frank; Hahn, Axel (2020): Der Digitale Regelkreis der Smarten Fabrik. GITO mbH Verlag. Industrie 4.0 Management Heft 2, 2020 (02/2020).

Schwäke, Dennis; Hahn, Axel (2018): Organisationsform des digitalen Wandels. Strukturen bei der Prozesseinführung orientieren sich am Reifegrad der digitalen Fabrik - GITO mbH Verlag. Industrie 4.0 Management, Heft. 4, 2018, S. 43-47. Berlin (04/2018).

Seibel, Felix; Theobald, Carolin (2017): Industrie 4.0: MES – Voraussetzung für das digitale Betriebs- und Produktionsmanagement. Hg. v. ZVEI - Zentralverband Elektrotechnik und Elektroindustrie e.V. Fachverband Automation. Frankfurt. Online verfügbar unter <https://docplayer.org/64001042-Industrie-4-0-mes-voraussetzung-fuer-das-digitale-betriebs-und-produktionsmanagement.html>, zuletzt geprüft am 26.07.2018.

Senden, Manfred J.; Dworschak, Johannes (2012): Erfolg mit Prozessmanagement. Nicht warten bis die "Gurus" kommen. 1. graph. Darst. Freiburg: Haufe-Lexware GmbH & Co. KG.

Sendler, Ulrich; Wawer, Volker (2008): CAD und PDM. Prozessoptimierung durch Integration. 2., aktualisierte und erw. Aufl. München: Hanser (EDITION CAD.DE). Online verfügbar unter [http://deposit.d-nb.de/cgi-bin/dokserv?id=2948287&prov=M&dok\\_var=1&dok\\_ext=htm](http://deposit.d-nb.de/cgi-bin/dokserv?id=2948287&prov=M&dok_var=1&dok_ext=htm).

SER Group (2017): Marktforschung ECM Insights 2017. Unter Mitarbeit von Phil Binz. Bonn. Online verfügbar unter <http://ap-verlag.de/heterogene-it-landschaften-erschweren-den-informationsaustausch/36697/>, zuletzt geprüft am 21.05.2019.

Shingo, Shigeo; Bodek, Norman (1986): Zero quality control. Source inspection and the poka-yoke system. Cambridge/Mass.: Productivity Pr.

Sihn, Wilfried; Sunk, Alexander; Nemeth, Tanja; Kuhlmann, Peter; Matyas, Kurt: Produktion und Qualität. Organisation, Management, Prozesse (Praxisreihe Qualitätswissen). Online verfügbar unter <http://dx.doi.org/10.3139/9783446449916>.

Sinsel, Alexander (2020): Das Internet der Dinge in der Produktion. Smart Manufacturing für Anwender und Lösungsanbieter. 1st ed. 2020. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.

Software AG (2016): ARIS-Methode. ARIS Version 9.8 - Service Release 3. Handbuch. Darmstadt.

Sommerville, Ian (2012): Software engineering. 9., aktualisierte Auflage. München: Pearson (Always learning). Online verfügbar unter <http://lib.myilibrary.com/detail.asp?id=505946>.

Sontow, Karsten (2018): Anwenderzufriedenheit Nutzen Perspektiven. ERP in der Praxis 2018/19. Hg. v. Trovarit. FIR - RWTH Aachen. Aachen.

Spath, Dieter (Hg.) (2013): Produktionsarbeit der Zukunft - Industrie 4.0. [Studie]. Fraunhofer-Institut für Arbeitswirtschaft und Organisation. Stuttgart: Fraunhofer-Verl. Online verfügbar unter <http://web.archive.org/web/20140729000428/http://www.iao.fraunhofer.de/images/iao-news/produktionsarbeit-der-zukunft.pdf>.

Staufen (2016): 25 Jahre Lean Management. Lean gestern, heute morgen. Köngen. Online verfügbar unter [https://www.staufen.ag/fileadmin/HQ/02-Company/05-Media/2-Studies/STAUFEN.-studie-25-jahre-lean-management-2016-de\\_DE.pdf](https://www.staufen.ag/fileadmin/HQ/02-Company/05-Media/2-Studies/STAUFEN.-studie-25-jahre-lean-management-2016-de_DE.pdf), zuletzt geprüft am 11.09.2018.

Stein, Torsten (1996): PPS-Systeme und organisatorische Veränderungen. Ein Vorgehensmodell zum wirtschaftlichen Systemeinsatz. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg. Online verfügbar unter <http://dx.doi.org/10.1007/978-3-642-80112-9>.

Steven, Marion; Dörseln, Jan Niklas; Pollmeier, Inga; Schade, Sonja; Stetzka, Robin Maximilian; Gerhard, Detlef et al. (2020): Smart Factory. Einsatzfaktoren - Technologie - Produkte. Stuttgart: Kohlhammer Verlag.

Stroessenreuther, Stefan (2018): Zertifizierung nach ISO 9001. SMCT-MANAGEMENT. Hg. v. Unternehmensberatung für Qualitätsmanagement Systeme. Selb. Online verfügbar unter <https://www.smct-management.de/project/iso-9001-zertifizierung/>.

Strohm, Oliver; Escher, Olga Pardo (Hg.) (1997): Unternehmen arbeitspsychologisch bewerten. Ein Mehr-Ebenen-Ansatz unter besonderer Berücksichtigung von Mensch, Technik und Organisation. Zürich: vdf Hochschulverl. an der ETH Zürich (Mensch, Technik, Organisation, 10).

Terstegen, Sebastian; Hennegriff, Simon; Dander, Holger; Adler, Patrick (2019a): Vergleichsstudie über Vorgehensmodelle zur Einführung und Umsetzung von Digitalisierungsmaßnahmen in der produzierenden Industrie. 65. Kongress der Gesellschaft für Arbeitswissenschaften. Hg. v. GfA.

Technische Universität Dresden. Online verfügbar unter [www.arbeitswissenschaft.net/fileadmin/Downloads/Angebote\\_und\\_Produkte/Publikationen/GfA\\_2019\\_C-3-13\\_Terstegen\\_et\\_al.pdf](http://www.arbeitswissenschaft.net/fileadmin/Downloads/Angebote_und_Produkte/Publikationen/GfA_2019_C-3-13_Terstegen_et_al.pdf), zuletzt geprüft am 23.04.2020.

Terstegen, Sebastian; Hennegriff, Simon; Stowasser, Sacha; Dander, Holger; Adler, Patrick (2019b): Vorgehensmodelle für Industrie 4.0. Strukturierte Einführung und Umsetzung von Digitalisierungsmaßnahmen in der produzierenden Industrie. Heft 3. Hg. v. Industrie 4.0 Management. ifaa - Institut für angewandte Arbeitswissenschaften. Berlin.

Theiss, Sebastian (2015): Echtzeitfähige Softwareagenten zur Realisierung cyber-physischer Produktionssysteme. Dissertation. TU Dresden, Dresden. Fakultät Informatik.

Thiel, Klaus (2011): MES - integriertes Produktionsmanagement. Leitfaden, Marktübersicht und Anwendungsbeispiele. München: Hanser.

Thiel, Klaus; Meyer, Heiko G.; Fuchs, Franz (2008): MES - Grundlage der Produktion von morgen. [effektive Wertschöpfung durch die Einführung von Manufacturing Execution Systems]. München: Oldenbourg. Online verfügbar

unter [http://deposit.d-nb.de/cgi-](http://deposit.d-nb.de/cgi-bin/dokserv?id=3013755&prov=M&dok_var=1&dok_ext=htm)

[bin/dokserv?id=3013755&prov=M&dok\\_var=1&dok\\_ext=htm](http://deposit.d-nb.de/cgi-bin/dokserv?id=3013755&prov=M&dok_var=1&dok_ext=htm).

Tolk, Andreas; Bair, Lisa Jean; Diallo, Saikou Y. (2013): Supporting Network Enabled Capability by extending the Levels of Conceptual Interoperability Model to an interoperability maturity model. In: *Journal of Defense Modeling & Simulation* 10 (2), S. 145–160. DOI: 10.1177/1548512911428457.

TÜV SÜD (2015): Qualität auf einen Blick. Zertifizierung nach DIN EN ISO 9001:2015. Hg. v. TÜV SÜD Management Service GmbH. München (MKT/MS/55.0/de/DE). Online verfügbar unter <https://www.tuev-sued.de/uploads/images/1448283809266222580763/broschuere-iso-9001.pdf>.

Ullrich, André; Vladova, Gergana; Thim, Christof; Gronau, Norbert (2015): Akzeptanz und Wandlungsfähigkeit im Zeichen der Industrie 4.0. In: *HMD* 52 (5), S. 769–789. DOI: 10.1365/s40702-015-0167-8.

Urbach, Nils; Smolnik, Stefan; Riempp, Gerold (2009): Der Stand der Forschung zur Erfolgsmessung von Informationssystemen. In: *Wirtschaftsinf* 51 (4), S. 363–375. DOI: 10.1007/s11576-009-0181-y.

VDI 2619: Richtlinie 2619. Prüfplanung. DK 620.1:65.012.2 658.56:681.3 (083.132). Verein Deutscher Ingenieure. Berlin (VDI 2619). Online verfügbar unter [https://www.vdi.de/uploads/tx\\_vdirili/pdf/1367648.pdf](https://www.vdi.de/uploads/tx_vdirili/pdf/1367648.pdf), zuletzt geprüft am 23.10.2018.

VDI 3633: Richtlinie 3633. Simulation von Logistik-, Materialfluß- und Produktionssystemen Grundlagen. ICS 03.100.10. Verein Deutscher Ingenieure. Berlin (VDI 3633).

VDI 4004 (1986): Richtlinie 4004. Zuverlässigkeitskenngrößen Verfügbarkeitskenngrößen. DK 62-192-18: 658.562 (083.132). Verein Deutscher Ingenieure. Berlin (VDI 4004).

VDI 5600: Richtlinie 5600. Fertigungsmanagementsysteme (Manufacturing Execution Systems - MES). ICS 35.240.50. Verein Deutscher Ingenieure. Berlin (VDI 5600). Online verfügbar unter [https://www.vdi.de/uploads/tx\\_vdirili/pdf/2436698.pdf](https://www.vdi.de/uploads/tx_vdirili/pdf/2436698.pdf), zuletzt geprüft am 26.07.2018.

- VDI-GMA (1992): Modellbildung für Regelung und Simulation. Methoden - Werkzeuge - Fallstudien ; GMA-Aussprachetag ; Tagung Langen, 25. und 26. März 1992. Düsseldorf: VDI-Verl. (VDI-Berichte, 925).
- Veit, Martin (2010): Modelle und Methoden für die Bestandsauslegung in Heijunka-nivellierten Supply Chains. Zugl.: Karlsruhe, KIT, Diss., 2010. Print on demand. Hannover, Karlsruhe: Technische Informationsbibliothek u. Universitätsbibliothek; KIT Scientific Publ (Wissenschaftliche Berichte des Institutes für Fördertechnik und Logistiksysteme des Karlsruher Instituts für Technologie, 74). Online verfügbar unter <http://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:0072-187726>.
- Vogel-Heuser, Birgit; Bauernhansl, Thomas; Hompel, Michael ten (Hg.) (2017a): Handbuch Industrie 4.0. Bd. 1: Produktion. 2., erweiterte und bearbeitete Auflage. Berlin: Springer Vieweg (Springer Reference Technik). Online verfügbar unter <http://dx.doi.org/10.1007/978-3-662-45279-0>.
- Vogel-Heuser, Birgit; Bauernhansl, Thomas; Hompel, Michael ten (Hg.) (2017b): Handbuch Industrie 4.0. Bd. 4: Allgemeine Grundlagen. 2. Auflage. Berlin: Springer Vieweg (Springer Reference Technik). Online verfügbar unter <http://dx.doi.org/10.1007/978-3-662-53254-6>.
- Völker, Michael (2015): Industrie 4.0. Ziele - Konzepte - Potenziale. Technische Universität Dresden - Fakultät Maschinenwesen. Dresden. Online verfügbar unter [https://senak.inf.tu-dresden.de/wordpress/wp-content/uploads/2012/02/Vortrag\\_Industrie\\_4-0\\_Voelker\\_veroeffentlichte\\_Version.pdf](https://senak.inf.tu-dresden.de/wordpress/wp-content/uploads/2012/02/Vortrag_Industrie_4-0_Voelker_veroeffentlichte_Version.pdf).
- Wagner, Karl Werner; Lindner, Alexandra (2017): Wertstromorientiertes Prozessmanagement. Effizienz steigern, Verschwendung reduzieren, Abläufe optimieren. 2., überarbeitete Auflage. München: Hanser. Online verfügbar unter <http://www.hanser-elibrary.com/doi/book/10.3139/9783446452398>.
- Walchshofer, Manuela; Riedl, René (2017): Der Chief Digital Officer (CDO). Eine empirische Untersuchung. In: *HMD* 54 (3), S. 324–337. DOI: 10.1365/s40702-017-0320-7.
- Waurick, Timo (2014): Prozessreorganisation mit Lean Six Sigma. Eine empirische Analyse. Wiesbaden: Springer Gabler. Online verfügbar unter

<http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&scope=site&db=nlebk&db=nlabk&AN=870091>.

Wegner, Ullrich; Wegner, Kirsten (2017): Prozesse der Logistik. In: Ullrich Wegner und Kirsten Wegner (Hg.): Einführung in das Logistik-Management. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden, S. 17–118.

Weinert, Benjamin (2018): Framework zur Architekturbeschreibung von sozio-technischen maritimen Systemen. 1. Auflage. Fredesdorf: MBSE4U - Tim Weilkiens.

Weinert, Nils; Plank, Martin; Ullrich, André (Hg.) (2017): Metamorphose zur intelligenten und vernetzten Fabrik. Ergebnisse des Verbundforschungsprojekts MetamoFAB. Berlin: Springer Vieweg. Online verfügbar unter <http://dx.doi.org/10.1007/978-3-662-54317-7>.

Weise, C. (2018): Der digitale Zwilling in der Prozessindustrie - prädiktive Wartung durch Simulation. In: *Chemie Ingenieur Technik* 90 (9), S. 1298. DOI: 10.1002/cite.201855359.

Wenzel, Paul (Hg.) (2001): Betriebswirtschaftliche Anwendungen mit SAP R/3®. Eine Einführung inklusive Customizing, ABAP/4, Accelerated SAP (ASAP), Projektsystem (PS). Wiesbaden: Vieweg+Teubner Verlag (Edition Business Computing). Online verfügbar unter <http://dx.doi.org/10.1007/978-3-322-89793-0>.

Werdich, Martin (Hg.) (2012): FMEA - Einführung und Moderation. Durch systematische Entwicklung zur übersichtlichen Risikominimierung (inkl. Methoden im Umfeld). 2., überarbeitete und verbesserte Auflage. Wiesbaden: Springer Vieweg. Online verfügbar unter <http://dx.doi.org/10.1007/978-3-8348-2217-8>.

Westkämper, Engelbert; Spath, Dieter; Constantinescu, Carmen; Lentos, Joachim (2013): Digitale Produktion. Berlin, Heidelberg, s.l.: Springer Berlin Heidelberg.

Wheeler, Tom (1993): Offene Systeme. Ein grundlegendes Handbuch für das praktische DV-Management. Wiesbaden, s.l.: Vieweg+Teubner Verlag. Online verfügbar unter <http://dx.doi.org/10.1007/978-3-322-86005-7>.

Wiendahl, Hans-Hermann (2012): Auftragsmanagement der industriellen Produktion. Grundlagen, Konfiguration, Einführung. 2011. Aufl. Berlin,

- Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg (VDI-Buch). Online verfügbar unter <http://dx.doi.org/10.1007/978-3-642-19149-7>.
- Wilde, Thomas; Hess, Thomas (2006): Methodenspektrum der Wirtschaftsinformatik. Überblick und Profoliobildung. Arbeitsbericht 02/2006. Institut für Wirtschaftsinformatik und Neue Medien der Ludwig-Maximilians-Universität München. München.
- Willinges, Stephan; Stricker, Harald (2018): Digital Transformation Cycle;. Schritt für Schritt den Wandel meistern. Ismaning. Online verfügbar unter <https://www.msg-advisors.com/news/digital-transformation-cycle-schritt-fuer-schritt-den-wandel-meistern>.
- Winde, Markus (2009): Systematische Bewertung und Ertüchtigung von industriellen Regelkreisen in verfahrenstechnischen Komplexen. Dissertation. Ruhr-Universität, Bochum. Maschinenbau. Online verfügbar unter <http://www-brs.ub.ruhr-uni-bochum.de/netahtml/HSS/Diss/WindeMarkus/diss.pdf>.
- Witt, Andreas (2014): Grundkurs SAP APO. Eine Einführung mit durchgehendem Fallbeispiel. Wiesbaden: Springer Vieweg. Online verfügbar unter <http://dx.doi.org/10.1007/978-3-658-03654-6>.
- Woratschek, Herbert; Schröder, Jürgen; Eymann, Torsten; Buck, Moike (Hg.) (2015): Wertschöpfungsorientiertes Benchmarking. Logistische Prozesse in Gesundheitswesen und Industrie. Berlin: Springer Vieweg (Xpert.press). Online verfügbar unter <http://dx.doi.org/10.1007/978-3-662-43718-6>.
- Zacher, Serge; Reuter, Manfred (2017): Regelungstechnik für Ingenieure. Analyse, Simulation und Entwurf von Regelkreisen. 15., korrigierte Auflage. Wiesbaden: Springer Vieweg (Lehrbuch). Online verfügbar unter <http://dx.doi.org/10.1007/978-3-658-17632-7>.
- Zankovsky, Anatoly; Heiden, Christiane von der (2015): Leadership mit Synercube. Eine dynamische Führungskultur für Spitzenleistungen. Berlin: Springer Vieweg. Online verfügbar unter <http://dx.doi.org/10.1007/978-3-662-45689-7>.
- Ziel, Franz GmbH (2020): Referenzbericht. CAD-/PLM Kompetenzcenter in NRW. CIM Database PLM (CONTACT Software GmbH) & Solidwork. Hg. v. Top CAD Center. Dortmund.

Zimmermann, Stephan (2018): Der Umgang mit Schatten-IT in Unternehmen. Eine Methode zum Management intransparenter Informationstechnologie. Unter Mitarbeit von Carsten Felden. Wiesbaden: Springer Gabler (Research).

**ABBILDUNG**

ABBILDUNG 1 - INDUSTRIELLE ENWTICKLUNG	14
ABBILDUNG 2 - AUFBAU DER FORSCHUNG	19
ABBILDUNG 3 - ELEMENTE DER SMARTEN FABRIK	24
ABBILDUNG 4 - DIE SMARTE FABRIK ALS TEIL DER ISA 95	25
ABBILDUNG 5 - ZIELE DER DIGITALISIERUNG	26
ABBILDUNG 6 - PRODUKTIONSZIELE	28
ABBILDUNG 7 - LEISTUNGSVERLUSTE ALS TEIL DER GEMEINKOSTEN	32
ABBILDUNG 8 - EINZELPERSPEKTIVEN DER SMARTEN FABRIK I	34
ABBILDUNG 9 - PERSPEKTIVEN DER PRODUKTION	35
ABBILDUNG 10 - WIRKUNG VON INTEROPERABILITÄT	38
ABBILDUNG 11 - REFERENZARCHITEKTURMODELL INDUSTRIE 4.0 RAMI	40
ABBILDUNG 12 - ARIS-METHODE ALS PROZESSSICHT	54
ABBILDUNG 13 - BETRIEBLICHE ANWENDUNGSSYSTEME	55
ABBILDUNG 14 - ANWEDNUNGSSYSTEME IM PRODUKTLEBENSZYKLUS	56
ABBILDUNG 15 - ABLAUF UND DATENOBJEKTE DER PPS	58
ABBILDUNG 16 - PPS-DATENOBJEKTE ALS TEIL DER MES-AUFGABEN	60
ABBILDUNG 17 - AUFGABEN UND EINORDNUNG VON MES	62
ABBILDUNG 18 - AUFBAU- UND ABLAUFORGANISATION	72
ABBILDUNG 19 - HIERARCHIE VON GESCHÄFTSPROZESSEN	73
ABBILDUNG 20 - MERKMALE DER REGELGÜTE	76
ABBILDUNG 21 - MTO DIMENSIONEN	83
ABBILDUNG 22 - AUFGABEN ZUR SPEZIFIKATION DER MTO-RESSOURCEN	84
ABBILDUNG 23 - EINZELPERSPEKTIVEN IN DER SMARTEN FABRIK II	87
ABBILDUNG 24 - WIRKUNGSZUSAMMENHANG DER PERSPEKTIVEN	88
ABBILDUNG 25 - HÄUFIGKEITSVERTEILUNG DER ANFORDERUNGSERFÜLLUNG	100
ABBILDUNG 26 - RANKING BESTEHENDER ANSÄTZE	101
ABBILDUNG 27 - AUSZUG V-MODELL	112
ABBILDUNG 28 - ANFORDERUNGSSPEZIFIKATION	112
ABBILDUNG 29 - PROBLEMLÖSUNGSZYKLUS	112
ABBILDUNG 30 - ENTWURF DES DIGITALEN REGELKREISES	118
ABBILDUNG 31 - AUFBAUSTRUKTUR DES DIGITALEN REGELKREISES	119
ABBILDUNG 32 – AUSZUG AUS AKTIVITÄTSPLAN	121
ABBILDUNG 33 - AKTIVITÄTEN PRO ZEITANTEIL IM ARBEITSGANG	122
ABBILDUNG 34 - LEGENDE	123
ABBILDUNG 35 - LEISTUNGSDATEN IN DER PRODUKTION	125
ABBILDUNG 36 - REIFEGRADMATRIX DES DIGITALEN REGELKREISES	126
ABBILDUNG 37 - EINFÜHRUNG DER KONTROLLPUNKTE IN DEN DRK	127
ABBILDUNG 38 - BEZIEHUNG DER KONZEPTIONSELEMENTE	131

ABBILDUNG 39 - MEHRSTUFIGER PROZESS DES TECHNOLOGIETRANSFERS	133
ABBILDUNG 40 - PRÜFZIELE DER EVALUATION	133
ABBILDUNG 41 - AUFBAUSTRUKTUR – ERGEBISSE DER FALLSTUDIE	146
ABBILDUNG 42 - VORLAGE REIFEGRADMATRIX	148
ABBILDUNG 43 - LATENZEN DER ENTSCHEIDUNGSAKTIVIERUNG	212
ABBILDUNG 44 - STEIGERUNG DES NUTZEN EINES ANPASSUNGSPROZESSES	212
ABBILDUNG 45 - SCHNITTSTELLE ALS BLACK BOX	221
ABBILDUNG 46 - EIGENSCHAFTEN VON INFORMATIONSTRÄGERN	223
ABBILDUNG 47 - REGELAUFGABEN DER PPS	225
ABBILDUNG 48 - INFORMATIONSDATEN INTEGRATION VERTIKAL UND HORIZONTAL	231
ABBILDUNG 49 - AUFTRAGSINFORMATIONEN	235
ABBILDUNG 50 - ZEITANTEILE EINES PPS-ARBEITSGANGS	251
ABBILDUNG 51 - Y-MODELL NACH A.W. SCHEER	266
ABBILDUNG 52 - ZUORDNUNG PDM-DATEN IM PPS-UMFELD	267
ABBILDUNG 53 - AUFBAU- VS. ABLAUFORGANISATION	268
ABBILDUNG 54 - STRUKTURDARSTELLUNG CAM INTEGRATION	269
ABBILDUNG 55 - ABLAUF PRÜFPLANERSTELLUNG	271
ABBILDUNG 56 - AUFGABEN DER PRÜFDATENAUSWERTUNG	272
ABBILDUNG 57 - MENSCHLICHEN RESSOURCENEINSATZ SPEZIFIZIEREN	282
ABBILDUNG 58 - TECHNISCHE RESSOURCENEINSATZ SPEZIFIZIEREN	282
ABBILDUNG 59 - ORGANISATORISCHEN RESSOURCENEINSATZ SPEZIFIZIEREN	283
ABBILDUNG 60 - REGELKREIS KLASSISCH -GROB	300
ABBILDUNG 61 - REGELKREIS KLASSISCH	300
ABBILDUNG 62 - ALLGEMEINER AUFBAU DIGITALER REGELKREISE	306
ABBILDUNG 63 - SCHAUBILD - PERSONALEINSATZ REGELN	307
ABBILDUNG 64 - SCHAUBILD - KAPAZITÄTSEINSATZ REGELN	308
ABBILDUNG 65 - SCHAUBILD MATERIALEINSATZ REGELN	309
ABBILDUNG 66 - SCHAUBILD - BETRIEBSMITTELEINSATZ REGELN	310
ABBILDUNG 67 - SCHWIERIGKEITEN IN DIGITALISIERUNGSPROJEKTEN	322
ABBILDUNG 68 - KRITIK AN BESTEHENDEN MODELLEN	322
ABBILDUNG 69 - REGELELEMENTE IM REGELKREIS	323
ABBILDUNG 70 - AUFGABEN DER REGELELEMENTE MENSCH VS. MASCHINE	325
ABBILDUNG 71 - PRODUKT-BILD PUMPENGEHÄUSE	335
ABBILDUNG 72 - HERSTELLPROZESS VISUELL	336

## TABELLEN

TABELLE 1 - SEMANTIK VON CAX-ATTRIBUTEN.....	64
TABELLE 2 - ANALYSEKOMPETENZEN IN DER SMARTEN FABRIK .....	90
TABELLE 3 - SCHWIERIGKEITEN IN DIGITALISIERUNGSPROJEKTEN .....	92
TABELLE 4 - BEWERTUNG VORHANDENER INTEGRATIONSMODELLE.....	93
TABELLE 5 - DEFINITION DIGITALER REGELKREIS.....	95
TABELLE 6 - ANFORDERUNGEN UND FORSCHUNGSFRAGEN .....	98
TABELLE 7 - VORAUSSETZUNGEN - DIGITALER REGELKREIS .....	115
TABELLE 8 - EIGENSCHAFTEN UND ANFORDERUNGEN IM DIGITALEN REGELKREIS..	117
TABELLE 9 - REGELELEMENTEN IM GESCHÄFTSPROZESS.....	118
TABELLE 10 - PHASEN UND ENTSCHEIDUNGSPUNKTE DER METHODIK .....	120
TABELLE 11 - EIGENSCHAFTEN DES AKTIVITÄTSPLANS .....	121
TABELLE 12 - REIFESTUFEN IM DIGITALEN REGELKREIS.....	124
TABELLE 13 - MERKMALE DER KONTROLLPUNKTE .....	127
TABELLE 14 - BEISPIEL ZUR BERECHNUNG DER KONTROLLPUNKTE .....	128
TABELLE 15 - AUFGABENKLASSIFIKATION.....	129
TABELLE 16 - ARTEN DER BERUFLICHEN KOMPETENZ.....	129
TABELLE 17 - PRÜFMETIRK .....	135
TABELLE 18 - PHASEN DER FALLSTUDIE .....	138
TABELLE 19 - PROJEKTBOARD DER FALLSTUDIE .....	139
TABELLE 20 - AKTIVITÄTEN IM DRK DER FALLSTUDIE .....	142
TABELLE 21 - PRODUKTIONSKENNZAHLEN – ERGEBISSE DER FALLSTUDIE .....	144
TABELLE 22 - VORAUSSETZUNGEN – ERGEBISSE DER FALLSTUDIE.....	145
TABELLE 23 - ENTSCHEIDUNGSPUNKTE – ERGEBISSE DER FALLSTUDIE .....	147
TABELLE 24 - REIFEGRADE UND REGELGÜTE - ERGEBISSE DER FALLSTUDIE .....	148
TABELLE 25 - REGELGÜTE - ERGEBISSE DER FALLSTUDIE .....	148
TABELLE 26 - KONTROLLPUNKTE DER FALLSTUDIE .....	149
TABELLE 27 - ABWEICHUNGEN AN DEN KONTROLLPUNKTEN.....	149
TABELLE 28 - BEURTEILUNG DER PRÜFMERKMALE .....	151
TABELLE 29 - ZIELE UND EIGENSCHAFTEN DER SMARTEN FABRIK.....	207
TABELLE 30 - ENTSCHEIDUNGSPROZESSE IN DER PRODUKTION .....	209
TABELLE 31 - KENNZAHLEN OPERATIVER PRODUKTIONSZIELE .....	211
TABELLE 32 - AUSZUG EFQM-MODELL .....	214
TABELLE 33 - AUSZUG TQM-MODELL .....	215
TABELLE 34 - AUSZUG EDEN-MODELL .....	216
TABELLE 35 - AUSZUG DIN/ISO 9001.....	217
TABELLE 36 - AUSZUG CMMI .....	218
TABELLE 37 - LEISTUNGSVERLUSTE IN DER PRODUKTION .....	220
TABELLE 38 - ARIS-BESCHREIBUNGSEBENEN .....	226

TABELLE 39 - ARIS BESCHREIBUNGSSICHTEN .....	227
TABELLE 40 - INTEGRIERTER ARBEITSGANGSTATUS .....	231
TABELLE 41 - HOMOGENES FUNKTIONSGEBOT VON ANWENDUNGS SOFTWARE .....	232
TABELLE 42 - IDEALTYPISCHE AUFGABEN DER PPS .....	234
TABELLE 43 - MATZIERALVERBRÄUCHE IN ANWENDUNGSSYSTEMEN .....	253
TABELLE 44 - MES DATENOBJEKTE FEINPLANUNG .....	255
TABELLE 45 - MES DATENOBJEKTE BETRIEBSMITTELMANAGEMENT .....	257
TABELLE 46 - MES DATENOBJEKTE MATERIALLMANAGEMENT .....	258
TABELLE 47 - MES DATENOBJEKTE PERSONALMANAGEMENT .....	259
TABELLE 48 - MES DATENOBJEKTE - DATENERFASSUNG .....	261
TABELLE 49 - MES DATENOBJEKTE LEISTUNGSANALYSE .....	262
TABELLE 50 - MES DATENOBJEKTE QUALITÄTSMANAGEMENT .....	263
TABELLE 51 - MES DATENOBJEKTE INFORMATIONSMANAGEMENT .....	264
TABELLE 52 - MES-DATENOBJEKTE ENERGIEMANAGEMENT .....	265
TABELLE 53 - ZUSAMMENHANG PPS-ARBEITSPLAN UND CAQ-PRÜFPLAN .....	273
TABELLE 54 - ARTEN DER VERSCHWENDUNGEN IN DER PRODUKTION .....	276
TABELLE 55 - METHODEN DES INDUSTRIAL ENGINEERING .....	279
TABELLE 56 - GLAUBENS SÄTZE DER FÜHRUNG IM KVP DER FERTIGUNG .....	281
TABELLE 57 - AUFBAUSTRUKTUR ANFORDERUNGSKATALOG .....	284
TABELLE 58 - ANFORDERUNGSGRUPPEN .....	284
TABELLE 59 - ANFORDERUNGSKATALOG .....	292
TABELLE 60 - ANFORDERUNGSANALYSE .....	295
TABELLE 61 - METHODEN DES GESCHÄFTSPROZESSMANAGEMENTS .....	299
TABELLE 62 - REGELGRÖSSEN TABELLARISCH .....	304
TABELLE 63 - PERSPKTIVEN UND KOMPETENZEN .....	321
TABELLE 64 - KOMPETENZORIENTIERUNG .....	331
TABELLE 65 - ANFORDERUNGEN AN DIE FALLSTUDIE .....	332
TABELLE 66 - PRÜFPUNKTE IN DER FALLSTUDIE .....	333
TABELLE 67 - RAHMENBEDINGUNGEN IM UNTERNEHMEN .....	334
TABELLE 68 - RAHMENBEDINGUNGEN HERSTELLPROZESS .....	335
TABELLE 69 – ARBEITSPLAN .....	336

## ANHANG

### A01. SPEZIFIKATION DER SMARTEN FABRIK

<b>Merkmal</b>	<b>Merkmalsausprägung</b>
<i>Entscheidungs-...</i>	
<i>Bereich</i>	industrielle Wertschöpfung gestalten
<i>Beitrag</i>	Produktionsziele unterstützen
<i>Bedarf</i>	Kenntnis über fehlende/fällige Entscheidungen erhöhen
<i>Geschwindigkeit</i>	Dauer zwischen Entscheidungsbedarf und Entscheidung verkürzen
<i>Transparenz</i>	getroffene Entscheidungen dokumentieren und veröffentlichen
<i>Wirkung</i>	Kausalitäten zwischen Entscheidung und Folge bilden
<i>Qualität</i>	Mehrwert zur Aufgabenerfüllung der Produktion liefern
<i>Stabilität</i>	Wahrscheinlichkeit der geplanten Entscheidungswirkungen erhöhen
<i>Aufwand</i>	Ressourceneinsatz zur Entscheidungsaktivierung senken
<i>Nachhaltigkeit</i>	Langlebigkeit von Systemeigenschaften fördern
<i>Anwendung</i>	Entscheidungen in Maßnahmen/Handlungen überführen

TABELLE 29 - ZIELE UND EIGENSCHAFTEN DER SMARTEN FABRIK

## A02. POTENZIALE DER SMARTEN FABRIK

<i>Potenziale</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Geschwindigkeit</b> bis zur Entscheidungsaktivierung erhöhen</li> <li>• <b>Aufwand</b> zur Entscheidungsfindung senken</li> <li>• <b>Qualität</b> der Entscheidungsgenauigkeit erhöhen</li> </ul>		
<b>Kennzahl Produktion</b>	<b>Fertigungsaufgabe</b>	<b>Produktionsziel</b>	<b>Entscheidungs- prozess</b>
Auslastung	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Identifikation von Ressourcen-verfügbarkeiten</li> <li>▪ Zusammenführung von Kapazitäts-angebot &amp; -nachfrage</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Minderung von Überlastung /Unterlastung</li> <li>▪ Steuerung der Fremdvergabe</li> </ul>	Vorbereitung (Planung) und Anpassung (Steuerung) der Auftrags- / Ressourcen-zuordnung (Auftragsdurchlauf)
Bestände	Ermittlung von Losgrößen im Auftrags-durchlauf	Minderung von Lagerbeständen unter Berücksichtigung der Kundenbedarfe	Ermittlung und Anpassung von primär, sekundär und tertiär Bedarfen
Durchlaufzeit	Minderung von Leistungsverlusten im Auftragsdurchlauf	Senkung von Stillständen, Warte- und Liegezeiten als nicht wertschöpfende Tätigkeiten	Definition des optimalen Ressourceneinsatzes zur Behebung von Verschwendungen
Flexibilität	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Änderung von Ressourceneinsätzen</li> <li>▪ Koordination von Informationsflüssen</li> </ul>	Senkung der Fertigungs-gemeinkosten	Reaktion auf geänderte Produktionsziele, Störungen und Engpässe
Herstellkosten	Optimierung des Ressourceneinsatzes zur Produktherstellung	Senkung von Einzel- und Gemeinkosten der Herstellung	Definition der optimalen Ressourcen-kombination im Auftragsdurchlauf
Lieferfähigkeit	Sicherstellung des Produktangebotes	Bedarfsgerechte Produktion	Definition des Produktions-programms

<i>Potenziale</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Geschwindigkeit</b> bis zur Entscheidungsaktivierung erhöhen</li> <li>• <b>Aufwand</b> zur Entscheidungsfindung senken</li> <li>• <b>Qualität</b> der Entscheidungsgenauigkeit erhöhen</li> </ul>		
<b>Kennzahl</b>	<b>Fertigungsaufgabe</b>	<b>Produktionsziel</b>	<b>Entscheidungsprozess</b>
Liefertreue	Sicherstellung der Terminziele vorhandener Kundenbedarfe	Termingerechte Auftragsbearbeitung	Ressourcenbezogene Ermittlung von Start- & Endzeitpunkten im Auftragsdurchlauf
Lieferzeit	Erfüllung der Kundenerwartung zur Wiederbeschaffungszeit	Reaktionsfähigkeit bei geändertem Produktionsablaufplan (Flexibilität)	Ermittlung des Produktionsablaufes anhand der Kundenbedarfe
Materialkosten	Senkung von Beschaffungskosten	Materialversorgung für Fertigungsbedarfe sicherstellen	Ermittlung des optimalen Materialeinsatzes zwischen Lager- und Beschaffungskosten
Produktivität	Steigerung der Leistung am Arbeitsplatz	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Herstellmenge erhöhen und/oder</li> <li>▪ Kapazitätseinsatz senken</li> </ul>	Ermittlung von Leistungspotenzialen der Arbeitsplätze
Produktqualität	Senkung der Qualitätskosten	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Fehlerkosten senken</li> <li>▪ Fehlervermeidungskosten senken</li> </ul>	Ermittlung des optimalen Ressourceneinsatzes zur Sicherung der Produktqualität
Termintreue	Steigerung pünktlich gelieferter Kundenaufträge	Einhaltung des geplanten Endtermins der Aufträge	Ermittlung der optimalen Auftragsreihenfolge zur Sicherung der Endtermine
Wiederbeschaffungszeit	Senkung der Dauer zur Beschaffung von Vorprodukten (intern/extern)	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Sicherung der Materialverfügbarkeit</li> <li>▪ Senkung von Materialkosten, Beständen</li> </ul>	Ermittlung der optimalen Lieferfrequenz (intern/extern)

TABELLE 30 - ENTSCHEIDUNGSPROZESSE IN DER PRODUKTION

### A03. KENNZAHLEN DER PRODUKTION

in Anlehnung an (Erlach 2010, S. 13–31)

Kennzahl	Formel	Beispiel
Verfügbarkeit	Verfügbarkeit = Hauptbetriebszeit <sup>73</sup> / Plankapazität	8 h Schichtzeit entsprechen der geplanten Kapazität eines Arbeitsplatzes im Betrachtungshorizont. Während 5 h werden hierbei Produkte produziert und in 3 h werden auf Grund von Rüst- und Wartungsarbeiten keine Produkte hergestellt. Verfügbarkeit = 5/8 h → 0,625 (62,5 %)
Leistung	Leistung = Vorgabezeit / Bearbeitungszeit	In den 5 h Hauptbetriebszeit produziert der Arbeitsplatz eine Menge von 250 Stück. Die Vorgabezeit pro Stück ( $t_e$ ) liegt laut Arbeitsplan bei einer Minute pro Stück (1/min) Leistung = 250 <sub>(Ist)</sub> /300 <sub>(Soll)</sub> ST → 0,83 (83,3 %)
Qualitätsquote	Qualität = Gutteile / Vorgabemenge	8 Stück der produzierten Produkte müssen entweder nachgearbeitet, oder aus Qualitätsmängeln verschrottet werden. Qualitätsquote = 242 / 250 ST → 0,968 (96,8 %)
Gesamtanlagen-effizienz (OEE)	OEE = Verfügbarkeit x Leistung x Qualität	Für den betrachteten Arbeitsplatz ergibt sich im Betrachtungshorizont (8 h Schicht) eine Gesamtanlageneffizienz von: OEE = 0,625 * 0,833 * 0,968 = 0,503 (50,3%) D.h., dass ca. die Hälfte (50,3%) der geplanten Kapazität produktiv genutzt werden konnte, um verkaufsfähige Produkte herzustellen.
Prozesswirkungs-grad (PWG)	Wertschöpfung = Hauptbetriebszeit /Durchlaufzeit	Ein Fertigungsauftrag beinhaltet drei Arbeitsgänge (AG). Der erste AG startet <i>montags morgens</i> um 07:30 Uhr und der letzte AG endet am <i>mittwochs nachmittags</i> um 16:30 Uhr (Durchlaufzeit = 57 h) Über alle drei AG ist eine Hauptbetriebszeit von 16 h angefallen PWG = 16 / 57 h → 0,281 (2,81 %) für den FA D.h., dass weniger als 3% der Durchlaufzeit verwendet wurden, um einen Kundennutzen zu schaffen.

1/2

<sup>73</sup> Teil der Betriebszeit während dessen ein tatsächlicher Wertzuwachs am zu bearbeitenden Produkt erfolgt vgl. REFA 1991.

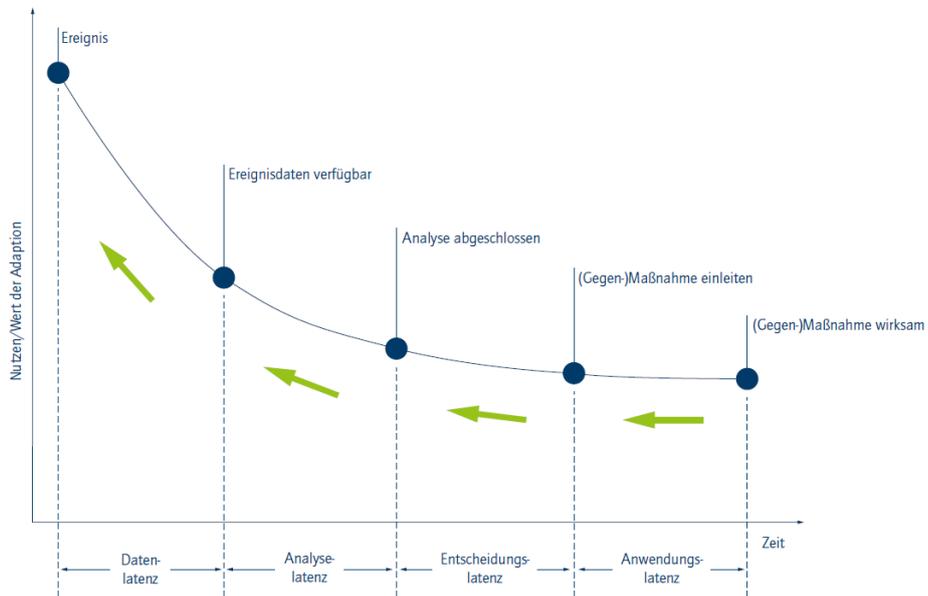
Kennzahl	Formel	Beispiel
Lieferfähigkeit (LFF)	Zugesagter Liefertermine / Angefragte Liefertermine	In der laufenden Kalenderwoche (KW) wurden 56 neue Anfragen zur Primärbedarfen gestellt. Es konnten 23 direkt ab Lager befriedigt werden sowie 26 Anfragen in Form von Auftragsbestätigungen zum angefragten Termin zugesagt werden.  LFF = 49/56 Lieferanfragenquote → 0,875 (87,5%)
Liefertermintreue <sup>74</sup> (LTT)	Eingehaltener Liefertermine / Zugesagte Liefertermine (intern und extern)	Für eine KW wurden für 278 Fertigungsaufträge (FA) Endtermin zur Fertigstellung bestätigt. Es wurden dabei 243 FA termingerecht produziert.  LTT = 243/278 Termine → 0,874 (87,4%)
Geplante Produktivität (GPD)	Plan- Hauptbetriebszeit / Plan-Kapazität	Aus der Maschinenbelegung einer 8h Schicht (480 min) ergibt sich eine Soll-Rüstzeit von 45 min durch eingeplante Artikelwechsel am betroffenen Arbeitsplatz  GPD = 100 - (100/480*45) → 90,62 %
Herstellkosten- quote (HKQ)	Ist.-Kosten / Soll.- Kosten der Fertigung	Für einen nachkalkulierten FA, wurden geplante Soll.-Kosten von 7.300 € vorkalkuliert Die Ist.-Kosten liegen bei 7.928 €  HKQ = 100 - (7.300/7928) → 108,60 % (+8,6%)  Die Abweichungen ergeben sich aus nicht kalkulierten (ungeplanten) Material- und Kapazitätseinsätzen

TABELLE 31 - KENNZAHLEN OPERATIVER PRODUKTIONSZIELE

<sup>74</sup> In der Betrachtung werden Logistikzeiten für Warenausgang und Distribution als neutrale Zeiten zur Erfüllung der Liefertermine angesehen

**A04. POTENZIALE DIGITALER ENTSCHEIDUNGSUNTERSTÜTZUNG**

*Ausgangslage mit vorhandenen Latenzverlusten der Reaktionsgeschwindigkeit*

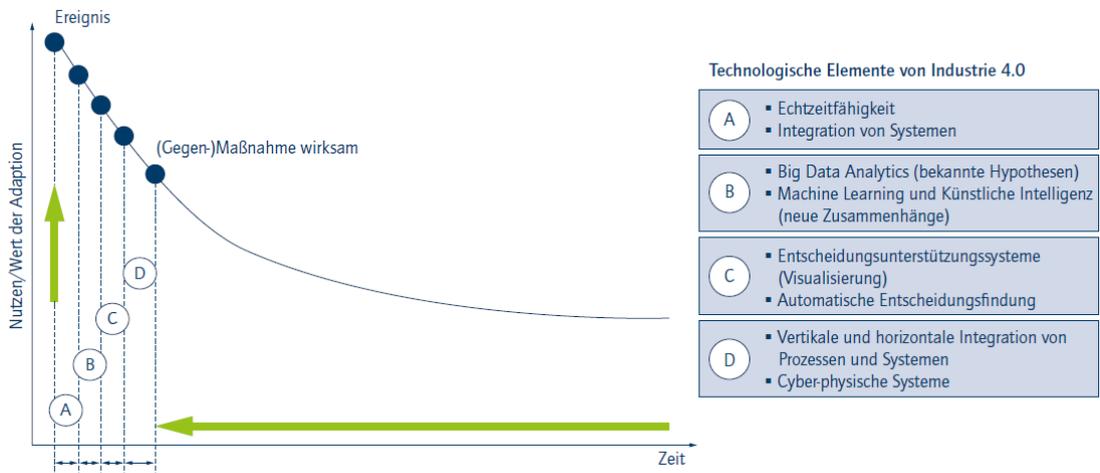


**ABBILDUNG 43 - LATENZEN DER ENTSCHEIDUNGSAKTIVIERUNG**

Darstellungen aus acatech STUDIE „Industrie 4.0 Manurity Index“ 2017

Quelle: (Schuh et al. 2017, S. 11–12)

*Optimierungspotenzial durch Senkung der Latenzverluste*



**ABBILDUNG 44 - STEIGERUNG DES NUTZEN EINES ANPASSUNGSPROZESSES**

Darstellungen aus acatech STUDIE (Schuh et al. 2017, S. 11–12)

## **A05. DIMENSIONEN ORGANISATORISCHER REIFEGRADMODELLE**

Quelle: in Anlehnung an EDEN (Allweyer und Knuppertz 2009)

(vgl. auch EFQM, TQM, CMMI und DIN ISO 9000 in Anhang A06)

### Management

Die Fähigkeit der Führung mittel- und langfristige Ziele zu formulieren und diese als Anforderung operativer Prozessleistungen nutzenbringend zur Verfügung zu stellen.

### Prozessziele

Die Fähigkeit der Organisation Zielen zu definieren und messen zu können, sowie Leistungen zu bewerten und Kenngrößen zu entwickeln.

### Stabilität der Organisation

Beschreibung der Unternehmensstruktur in Auf- und Ablauforganisation.

Verantwortlichkeiten, Prozessorientierung, Rollenverständnis, Machtstruktur und Prozesskultur sind einzelne Dimensionen, welche unter dem Begriff Organisation betrachtet werden.

### Methodenreife

Stand der Organisation bzgl. der Anwendung methodischer Grundlagen (SOA). Welche Standards werden in dem Themen Projektmanagement, Terminplanung, Prozesskostenrechnung, Prozessanalyse, Personalentwicklung, Anforderungsmanagement, Service-Management usw. nutzenbringend angewandt?

### Dokumentationsumfang

Status der kollektiv-verfügbaren Dokumentation von Unternehmensprozessen, IT-Architekturen, Stellenbeschreibungen, Softwareprogrammen, Verantwortlichkeiten, Besprechungsergebnisse etc. als Informationsträger der Organisation

### IT-Integration

Der Stand zur Integration der IT-Ziele auf die Prozessziele der GP.

Werden Prozessziele durch die Umsetzung der IT-Strategie aktiv unterstützt?

### Kompetenzen

Bewertung der benötigten und verfügbaren Mitarbeiterqualifikation bzgl. fachlicher, methodischen und quantitativen Erfüllung der Prozessziele. Entscheidung über interne und externe Kompetenzen auf Grundlage von Kernkompetenzen der Organisation.

### Zielmessung

Art der Datenerfassung; Bewertung und Reaktion von Ist-Situationen im GP; Geschwindigkeit und Genauigkeit zur Bildung der Kennzahlen.

### Kommunikation

Art der Unternehmensstruktur im Informationsaustausch zu GP, Veränderungen, Ziele, Aufbau, Visionen und Verhaltensweisen.

## A06. ORGANISATORISCHE INTEROPERABILITÄT

Vergleich von Modellen zur Erfassung organisatorischen Reifegrade

EFQM<sup>75</sup>, TQM<sup>76</sup>, EDEN<sup>77</sup>, CMMI<sup>78</sup> oder die ISO 9000 Reihe<sup>79</sup>

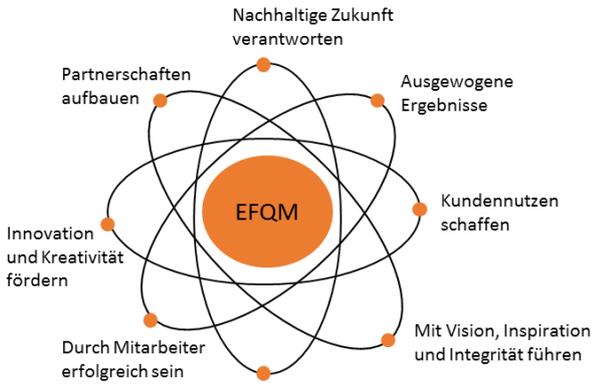
<b>EFQM</b>	Quelle: (EFQM 2018)
Ziel	Ganzheitliche Organisationsentwicklung
Art	Verbindung von angestrebten Ergebnissen und notwendigen Voraussetzungen (Befähigern)
Dimensionen	<u>Schaubild</u>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Führung</li> <li>• Politik und Strategie</li> <li>• Ressourcen und Partner</li> <li>• Mitarbeiter</li> <li>• Prozesse, Produkte und Dienstleistungen</li> <li>• Lernen</li> <li>• Ergebnisse für Kunden, Mitarbeiter und Gesellschaft</li> <li>• Schlüsselergebnisse</li> </ul>	

TABELLE 32 - AUSZUG EFQM-MODELL

<sup>75</sup> European Foundation for Quality Management – (EFQM 2018).

<sup>76</sup> Total Quality Management – (Brüggemann und Bremer 2015, S. 179–199).

<sup>77</sup> Erfolgreich, durchgängig, effizient und nachhaltig – (Allweyer und Knuppertz 2009).

<sup>78</sup> Capability Maturity Model Integration – (Reiss 2012, S. 7–16).

<sup>79</sup> International Organization of Standardization – Qualitätsmanagementnorm 9000ff. – (TÜV SÜD 2015).

<b>TQM</b>	Quelle: (Nichols 2018)
Ziel	Verbesserung der Qualität im Unternehmen
Art	Methode zur Gestaltung der Unternehmensorganisation Unterschiedlicher Perspektiven der Qualität werden berücksichtigt
Dimensionen	<u>Schaubild</u>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Führung und Zielkonsequenz</li> <li>• Management mit Prozessen und Fakten</li> <li>• Mitarbeiterentwicklung und Beteiligung</li> <li>• Kontinuierliches Lernen, Innovation und Verbesserung</li> <li>• Aufbau von Partnerschaften</li> <li>• Verantwortung gegenüber der Öffentlichkeit</li> <li>• Ergebnisorientierung</li> <li>• Kundenorientierung</li> </ul>	<pre> graph TD     TQM((TQM)) --&gt; EffectiveCommunications((Effective Communications))     TQM --&gt; ProcessThinking((Process Thinking))     TQM --&gt; CustomerSatisfaction((Customer Satisfaction))     TQM --&gt; TotalEmployeeCommitment((Total Employee Commitment))     TQM --&gt; StrategicThinking((Strategic Thinking))     TQM --&gt; IntegratedSystem((Integrated System))     TQM --&gt; DecisionsBasedOnFact((Decisions Based on Fact))     TQM --&gt; ContinuousImprovement((Continuous Improvement)) </pre>

TABELLE 33 - AUSZUG TQM-MODELL

<b>EDEN</b>	Quelle: (Allweyer und Knuppertz 2009)
Ziel	Reifegradanalyse / Standortbestimmung / Status Quo
Art	Kriterienkatalog und Expertenmeinung
Dimensionen	Schaubild
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ziele</li> <li>• Strategie</li> <li>• Methoden</li> <li>• Organisation</li> <li>• Messen</li> <li>• Kompetenzen</li> <li>• Kommunikation</li> <li>• Dokumentation</li> <li>• IT</li> </ul>	<p>The radar chart, titled 'Reifegradanalyse', displays maturity levels across eight dimensions: Ziele, Strategie, Methoden, Organisation, Messen, Kompetenzen, Kommunikation, and Dokumentation. The radial scale ranges from 0 to 100. Three data series are plotted: Status (red), Mittelfristiges Ziel (yellow), and Langfristiges Ziel (green). The Status line is the innermost, followed by the Mittelfristiges Ziel, and the Langfristiges Ziel is the outermost. The chart is titled 'Reifegradanalyse' and includes a legend at the bottom.</p>

TABELLE 34 - AUSZUG EDEN-MODELL

<b>DIN/ISO 9001</b>	Quelle: (Stroessenreuther 2018)																																																																
Ziel	Zertifizierung nach Standard/Norm																																																																
Art	Vorlage/Handbuch zur Dokumentation von Qualitätsanforderungen; Audit																																																																
<b>Schaubild</b>																																																																	
<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="4">PLAN</th> <th>DO</th> <th>CHECK</th> <th>ACT</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>4 Kontext der Organisation</td> <td>5 Führung</td> <td>6 Planung</td> <td>7 Unterstützung</td> <td>8 Betrieb</td> <td>9 Bewertung der Leistung</td> <td>10 Verbesserung</td> </tr> <tr> <td>Verstehen der Organisation und des Kontext</td> <td>Führung und Verpflichtung</td> <td>Maßnahmen für Risiken und Chancen</td> <td>Ressourcen</td> <td>Betriebliche Planung u. Ablauflenkung</td> <td>Überwachung, Messung, Analyse u. Bewertung</td> <td>Nichtkonformität Korrekturmaßnahmen</td> </tr> <tr> <td>Erfordernisse und Erwartung der int. Parteien</td> <td>Qualitätspolitik</td> <td>Q-Ziele und Planung zur Zielerreichung</td> <td>Kompetenzen</td> <td>Markterfordernisse und Kundenkontakt</td> <td>Internes Audit</td> <td>Fortlaufende Verbesserung</td> </tr> <tr> <td>Anwendungsbereich des QM Systems</td> <td>Rollen, Verantwortung und Befugnisse in der Organisation</td> <td>Planung und Veränderung</td> <td>Bewusstsein</td> <td>Entwicklung von Produkten u. Dienstleistungen</td> <td>Managementbewertung</td> <td></td> </tr> <tr> <td>QM System und Prozessansatz</td> <td></td> <td></td> <td>Kommunikation</td> <td>Lenkung v. extern gelieferten Produkten</td> <td><b>Planen:</b> Festlegen von Zielen des Systems und der Teilprozesse sowie Festlegen von Ressourcen, die zum Erzielen von Ergebnissen in Übereinstimmung mit den Kundenanforderungen und den Politiken der Organisation notwendig sind.</td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td>Dokumentierte Information</td> <td>Herstellung v. Produkten und Dienstleistungen</td> <td><b>Durchführen:</b> Umsetzen der Pläne</td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>Freigabe von Produkten und Dienstleistungen</td> <td><b>Prüfen:</b> Überwachen und (sofern zutreffend) Messen von Prozessen und den daraus resultierenden Produkten und Dienstleistungen anhand der Politiken, Ziele und Anforderungen sowie Berichterstattung über die Ergebnisse</td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>Steuerung v. nicht konformen Produkten u. Dienstleistungen</td> <td><b>Handeln:</b> Ergreifen von Maßnahmen zur Verbesserung der Prozessleistung, soweit notwendig.</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>			PLAN				DO	CHECK	ACT	4 Kontext der Organisation	5 Führung	6 Planung	7 Unterstützung	8 Betrieb	9 Bewertung der Leistung	10 Verbesserung	Verstehen der Organisation und des Kontext	Führung und Verpflichtung	Maßnahmen für Risiken und Chancen	Ressourcen	Betriebliche Planung u. Ablauflenkung	Überwachung, Messung, Analyse u. Bewertung	Nichtkonformität Korrekturmaßnahmen	Erfordernisse und Erwartung der int. Parteien	Qualitätspolitik	Q-Ziele und Planung zur Zielerreichung	Kompetenzen	Markterfordernisse und Kundenkontakt	Internes Audit	Fortlaufende Verbesserung	Anwendungsbereich des QM Systems	Rollen, Verantwortung und Befugnisse in der Organisation	Planung und Veränderung	Bewusstsein	Entwicklung von Produkten u. Dienstleistungen	Managementbewertung		QM System und Prozessansatz			Kommunikation	Lenkung v. extern gelieferten Produkten	<b>Planen:</b> Festlegen von Zielen des Systems und der Teilprozesse sowie Festlegen von Ressourcen, die zum Erzielen von Ergebnissen in Übereinstimmung mit den Kundenanforderungen und den Politiken der Organisation notwendig sind.					Dokumentierte Information	Herstellung v. Produkten und Dienstleistungen	<b>Durchführen:</b> Umsetzen der Pläne						Freigabe von Produkten und Dienstleistungen	<b>Prüfen:</b> Überwachen und (sofern zutreffend) Messen von Prozessen und den daraus resultierenden Produkten und Dienstleistungen anhand der Politiken, Ziele und Anforderungen sowie Berichterstattung über die Ergebnisse						Steuerung v. nicht konformen Produkten u. Dienstleistungen	<b>Handeln:</b> Ergreifen von Maßnahmen zur Verbesserung der Prozessleistung, soweit notwendig.	
PLAN				DO	CHECK	ACT																																																											
4 Kontext der Organisation	5 Führung	6 Planung	7 Unterstützung	8 Betrieb	9 Bewertung der Leistung	10 Verbesserung																																																											
Verstehen der Organisation und des Kontext	Führung und Verpflichtung	Maßnahmen für Risiken und Chancen	Ressourcen	Betriebliche Planung u. Ablauflenkung	Überwachung, Messung, Analyse u. Bewertung	Nichtkonformität Korrekturmaßnahmen																																																											
Erfordernisse und Erwartung der int. Parteien	Qualitätspolitik	Q-Ziele und Planung zur Zielerreichung	Kompetenzen	Markterfordernisse und Kundenkontakt	Internes Audit	Fortlaufende Verbesserung																																																											
Anwendungsbereich des QM Systems	Rollen, Verantwortung und Befugnisse in der Organisation	Planung und Veränderung	Bewusstsein	Entwicklung von Produkten u. Dienstleistungen	Managementbewertung																																																												
QM System und Prozessansatz			Kommunikation	Lenkung v. extern gelieferten Produkten	<b>Planen:</b> Festlegen von Zielen des Systems und der Teilprozesse sowie Festlegen von Ressourcen, die zum Erzielen von Ergebnissen in Übereinstimmung mit den Kundenanforderungen und den Politiken der Organisation notwendig sind.																																																												
			Dokumentierte Information	Herstellung v. Produkten und Dienstleistungen	<b>Durchführen:</b> Umsetzen der Pläne																																																												
				Freigabe von Produkten und Dienstleistungen	<b>Prüfen:</b> Überwachen und (sofern zutreffend) Messen von Prozessen und den daraus resultierenden Produkten und Dienstleistungen anhand der Politiken, Ziele und Anforderungen sowie Berichterstattung über die Ergebnisse																																																												
				Steuerung v. nicht konformen Produkten u. Dienstleistungen	<b>Handeln:</b> Ergreifen von Maßnahmen zur Verbesserung der Prozessleistung, soweit notwendig.																																																												
<b>Dimensionen</b>																																																																	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Qualitätsmanagement-system</li> <li>• KVP</li> <li>• Verantwortung der Leitung</li> <li>• Management der Ressourcen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Produktrealisierung</li> <li>• Messung, Analyse und Verbesserung</li> <li>• Aufbau- und Ablauforganisation</li> <li>• Zertifizierung/Standards</li> </ul>																																																																

TABELLE 35 - AUSZUG DIN/ISO 9001

<b>CMMI</b>	Quelle: (Reiss 2012)
Art	Anforderungskatalog für Reifegradmessung
Ziel	Steigerung der Prozess-, Projekt-, Entwicklungs- und Unterstützungs-kompetenzen im Fokus von IT-Entwicklungsaufgaben
<p>Schaubild</p> <p>Level 5 <b>Optimizing</b> Focus on process improvement</p> <p>Level 4 <b>Quantitatively Managed</b> Processes measured and controlled</p> <p>Level 3 <b>Defined</b> Processes characterized for the organization and is proactive. (Projects tailor their processes from organization's standards)</p> <p>Level 2 <b>Managed</b> Processes characterized for projects and is often reactive.</p> <p>Level 1 <b>Initial</b> Processes unpredictable, poorly controlled and reactive</p>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ursachen- und Problemlösung (5)</li> <li>• Konfigurations-Management (2)</li> <li>• Entscheidungsanalyse und -findung (3)</li> <li>• Integriertes Projektmanagement (3)</li> <li>• Messung und Analyse</li> <li>• Organisationsweites (2)</li> <li>• Prozessfähigkeits-management (5)</li> <li>• Organisationsweite Prozessdefinition (3)</li> <li>• Organisationsweiter Prozessfokus (3)</li> <li>• Organisationsweite zur Prozessfähigkeit (4)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Projektverfolgung und -steuerung (2)</li> <li>• Projektplanung (2)</li> <li>• Qualitätssicherung von Prozessen und Produkten (2)</li> <li>• Quantitatives Projektmanagement (4)</li> <li>• Anforderungsentwicklung (3)</li> <li>• Anforderungsmanagement (2)</li> <li>• Risikomanagement (3)</li> <li>• Management von Lieferantenvereinbarungen (2)</li> <li>• Technische Umsetzung (3)</li> <li>• Validierung (3)</li> <li>• Verifizierung (3)</li> <li>• Organisationsweites Training (3)</li> <li>• Produktintegration (3)</li> </ul>

TABELLE 36 - AUSZUG CMMI

**A07. LEISTUNGSVERLUSTE ALS TEIL DER GEMEINKOSTEN**

Bestandteil	Erläuterung	Beispiel
Mehrbedarf	Aufwand für den Verbrauch von Roh-, Hilfs- und Betriebsstoffen, welche durch Prozessstörungen, wie Ausschüsse und Nacharbeit entstehen	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Erhöhter Materialeinsatz bei der Herstellung fehlerhafter Produkte</li> <li>• Werkzeugverschleiß für Nacharbeit</li> </ul>
Disposition	Aufwand für Personal welches zur Organisation und Koordination der Fertigung benötigt wird.	Personalbedarf für die Planung und Steuerung von Fertigungsaufträgen, der Personaleinsätze, oder der Betriebsmittel sowie Managementaktivitäten
Ressourceneinsatz	Aufwand der durch falsche Vorgaben der Soll-Konzepte entsteht	Produkt/Prozess-Over-Engineering; Unnötige Qualität der Produkte; Unnötige Sicherheitsvorschriften; unnötige Bearbeitungsschritte; falsche Dokumentation; zu viele QS-Prüfungen etc.
Stillstand, Warte- und Liegezeiten	Aufwand der durch die fehlende Austaktung des Fertigungsprozesses entsteht	Rüstwechsel oder Maschinenausfall der zur Unterbrechung der Bearbeitung am Arbeitsplatz führt. Nicht wertschöpfende Zeiten im Auftragsdurchlauf (Lagerung)

Bearbeitungs- dauer	Aufwand der durch einen unnötigen und/oder einen gestörten Bearbeitungsvorgang entsteht	Kurzzeitstörungen und/oder Taktverluste am Arbeitsplatz (Ergonomie, Reinigung, Materialstau); erhöhter Personaleinsatz; verlängerte Bearbeitung
Qualitätsfehler	Aufwand der durch nicht eingehaltene Qualitätsvorgaben entsteht	Herstellung fehlerhafter Produkte führt zu Mehrarbeit oder Ertragsausfall
Materialpuffer	Aufwand für den Kapazitätseinsatz und die Lagerung von Umlaufbeständen sowie Endprodukten	Hohe Umlaufbestände, hohe Lagerbestände lange Durchlaufzeiten führen zur Kapitalbindung
Transport	Aufwand für die Bewegung von Roh-, Hilfs-, Betriebsstoffen sowie Work in Process (WIP) und fertigen Produkten	Ausfallzeit der aktiven Produktbearbeitung zwischen zwei Arbeitsplätzen; z.B. Gabelstaplerfahrt eines Transportmittels (Europalette)

TABELLE 37 - LEISTUNGSVERLUSTE IN DER PRODUKTION

## A08. INTEROPERABILITÄT – REIFEGRADE

Beschreibung der Fähigkeit zur Zusammenarbeit von Systemen nach (Tolk et al. 2013)

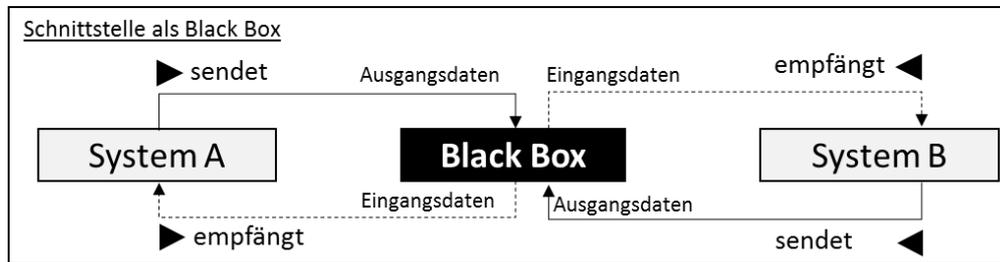


ABBILDUNG 45 - SCHNITTSTELLE ALS BLACK BOX

### Level 0

Stand alone: Die betroffenen Systeme tauschen keine Daten aus

### Level 1

Technische Verbindung: Die betroffenen Systeme sind technisch in der Lage Daten auszutauschen. Daten werden gesendet (Export) – Daten können empfangen (Import) werden.

### Level 2

Syntaktische Verbindung: Die Systeme nutzen eine Datenstruktur im Austausch. Ein gemeinsames Datenformat und eine eindeutige Syntax werden genutzt. Der Aufbau einzelner Datensätze (Beginn, Ende) ist einheitlich definiert.

### Level 3

Semantische Verbindung: Die Systeme kennen die Relevanz und den Bezug (Kontext) der ausgetauschten Daten. Die ausgetauschten Inhalte können beim Empfänger als Informationen weiterverarbeitet werden.

### Level 4

Pragmatische Verbindung: Die Systeme kennen die gegenseitigen Methoden, Bedarfe und operativen Funktionen im Austausch. Die Bedeutung und Relevanz der beteiligten Schnittstellentransaktionen sind gegenseitig bekannt. Plausibilitätsprüfungen beim Senden und Empfangen von Daten sind definiert.

### Level 5

Dynamische Verbindung: Im Falle geänderter Arbeitsweisen zwischen den Systemen (geänderten Rahmenbedingungen im Zeitverlauf) sind die Systeme in der Lage operative Auswirkungen der Strukturänderung nachzuvollziehen. Hieraus können Anforderungen an zu adaptierende Arbeitsweise im Austausch abgeleitet werden.

### Level 6

Konzeptionelle Verbindung: Die Beziehung zwischen den Systemen beruht auf einem gemeinsamen und vollständigen Modell der aufgabenrelevanten Aspekte der Realität. Alle beteiligten Systemkomponenten folgen dabei den gleichen Prinzipien innerhalb des Informationsaustausches. Das zugrundeliegende Systemmodell ist dabei von der konkreten Implementierung unabhängig. Auch unbeteiligte Systemteilnehmer können anhand der verwendeten Standards den Aufbau nachvollziehen und daran teilhaben.

### A09. KOMPETENZBEITRAG VON INFORMATIONSTRÄGERN

Abbildung 46 vergleicht Eigenschaften von Informationsträgern im Kontext der technischen Interoperabilität. Dabei werden neun konkrete Eigenschaften und zwei Kategorien unterschieden. Die Eigenschaften unterscheiden

- 1.. die **Art des Zugriffs** auf Informationen (zentral vs. dezentral)
- 2.. semantische Integration zum **Datenmodell der PPS**<sup>80</sup> (ja/nein)
- 3.. **Orientierung der Datenverarbeitung** bei Anwendung des Informationsträgers (aufgabenorientiert vs. objektorientiert)
- 4.. die **technische Verfügbarkeit der Informationsausgabe** (lokal vs. global)
- 5.. die Fähigkeit mit Hilfe des Informationsträgers **IT-gestützte Prozessautomatisierung** zu realisieren (ja/nein)
- 6.. die Fähigkeit einen **skalierbaren Beitrag** zur Erfüllung der PPS-Aufgaben zu leisten (ja/nein)
- 7.. das Verhalten zur **Verarbeitung von Eingangsdaten** (dynamisch vs. statisch vs. gesteuert vs. geregelt)
- 8.. die grundlegende **Form der Eingangssignalverarbeitung** (analog/digital).
- 9.. die Schnittstellenfähigkeit, bewertet anhand des Reifegrades der **Interoperabilität** (1 bis 6) nach (Tolk et al. 2013)

Zudem wird jeweils ein Beispiel zur realen Verwendungen des Informationsträgers aufgeführt. In Anlehnung an das Wissensmanagement nach (North und Friedrich 2002) und dessen Merkmale werden zutreffende Elemente in den Kategorien der Wissensselemente markiert. Aus den Ausprägungen der Wissensselemente wird nachgelagert die Reifestufe des Kompetenzbeitrags des Informationsträgers nach (North et al. 2013) abgeleitet. Die Reifestufe beschreibt dabei den Nutzen des Informationsträgers zur kollektiven Entscheidungsaktivierung (Kompetenz). Die Übersicht in Abbildung 46 zeigt insgesamt 17 Informationsträgern zur technischen Informationsverarbeitung in Geschäftsprozessen. Abbildung 46 bietet die Möglichkeit Informationsträgern und dessen Eigenschaften zu vergleichen. Hierdurch können Potenziale, Korrelationen und Wendepunkte des Verhaltens analysiert werden. Bei der Gestaltung von Geschäftsprozessen können diese Eigenschaften als Kriterien zur Auswahl geeigneter Informationsträger dienen.

---

<sup>80</sup> vgl. Kapitel 3.3 - *Informatik in der Produktion* - Beispiele für Datenobjekte sind Arbeitspläne, Stücklisten, Fertigungsaufträge, Materialbewegungen, Kapazitätsposten etc.

Informationsträger	Art des Zugriffs	Bezug zum Datenmodell der PPS	Orientierung der Ausführung	Verfügbarkeit der Ausgabe	Potenzial zur Prozess Automatisierung durch IT	Skalierbare Erweiterbarkeit für PPS-Aufgabe	Verhalten zur Verarbeitung der Eingangsinformation	Signalverarbeitung	Beispiel	IO Level	Wissenselement							Reifestufe						
											Zeichen	Syntax	Semantik	Vernetzung	Kontext	Erfahrung	Erwartung	Anwendung	Zieleinfluss	Information	Wissen	Handlung	Kompetenz	
1 Mensch als Experte	dezentral	nein	Aufgabe	lokal	nein	nein	dynamisch	analog	Telefongespräch	0					X	X	X			●				
2 Organisation als kollektiv	dezentral	nein	Aufgabe	global	nein	nein	dynamisch	analog	Brauchtum für Verhalten	0				X	X	X	X	X	X	●				
3 Stationäres Gerät ohne SPS	dezentral	nein	Aufgabe	lokal	nein	ja	statisch	analog	Drehzahlmesser	0	X	X	X		X				X	X	●			
4 Stationäres Gerät mit SPS	dezentral	nein	Aufgabe	lokal	ja	ja	gesteuert	digital	SPS via seriellem Bus	0	X	X	X		X				X	X	●			
5 Ausdruck privat	dezentral	nein	Aufgabe	lokal	nein	ja	statisch	analog	Arbeitsplatzbeschreibung	0	X	X	X		X	X			X			●		
6 Dokument lokal	dezentral	nein	Aufgabe	lokal	nein	ja	statisch	digital	Checkliste in MS-Word	0	X	(X)	(X)		X	X	X		X			●		
7 Makro-Dokument privat	dezentral	nein	Aufgabe	lokal	ja	nein	gesteuert	digital	Dokumentenvorlage in MS-Word	0	X	X			X	X	X	X	X				●	
8 Makro-Benutzeranwendung	dezentral	nein	Aufgabe	lokal	ja	nein	regelbasiert	digital	Wartungskalender in MS-Excel	0	X	X	(X)		(X)	X	X	X	X					●
9 Aushang	dezentral	nein	Aufgabe	global	nein	ja	statisch	analog	Information am schwarzen Brett	1	X	X	X	X	X							●		
10 Ausdruck öffentlich	dezentral	nein	Aufgabe	lokal	nein	ja	statisch	analog	Materialbegleitschein	1	X	X	X		X							●		
11 Dokument öffentlich	zentral	nein	Aufgabe	global	nein	ja	statisch	digital	Technische Zeichnung in Archiv	2	X	X	X	X	X								●	
12 Makro-Gruppenanwendung	zentral	nein	Aufgabe	global	ja	nein	regelbasiert	digital	Arbeitsplan in MS-Excel via Cloud	3	X	X	(X)	X	(X)	X	X	X	X					●
13 Makro-Dokument öffentlich	zentral	nein	Aufgabe	lokal	ja	nein	gesteuert	digital	Antragsformular in MS-Word	4	X	X		X	X	X	X	X	X					●
14 Kollaborative Anwendung	zentral	nein	Aufgabe	global	ja	nein	regelbasiert	digital	KPI-Dashboard in MS-SharePoint	4	X	X	(X)	X	X	X	X	X	X					●
15 Betriebliche Anwendung	zentral	ja	Objekt	global	ja	ja	regelbasiert	digital	Auftragsübersicht in ERP-System	5	X	X	X	X	X	X	X	X	X					●
16 Technischer Client	zentral	ja	Aufgabe	lokal	ja	ja	regelbasiert	digital	SPS in LAN via OPC DA	5	X	X	X	X	X	X	X	X	X					●
17 Technischer Standard Client	zentral	ja	Objekt	lokal	ja	ja	regelbasiert	digital	SPS in LAN via OPC UA	6	X	X	X	X	X	X	X	X	X					●

ABBILDUNG 46 - EIGENSCHAFTEN VON INFORMATIONSTRÄGERN

Abbildung 46 zeigt, dass eine hohe Reifestufe zur Wissensaktivierung (Kompetenz) nicht im kausalen Zusammenhang zu einem hohen IO-Level steht. Die Informationsträger 5-8 zeigen hierbei die größten Divergenzen zwischen hoher Reifestufe der Wissensaktivierung bei niedrigerem IO-Level. Aus der Perspektive des Geschäftsprozesses handelt es sich bei den Informationsträgern 5-8, um dezentrale Lösungen zur Verwaltung von Expertenwissen. Im Allgemeinen besitzen diese nicht die Fähigkeit durch konzeptionelle Verbindungen (IO-Level 6) in den betrieblichen Geschäftsprozess eingebunden zu werden. Daraus ergibt sich ein erhöhtes Risiko zum nachhaltigen Einsatz dieser Informationsträger. Gleichzeitig bieten diese ein hohes Potenzial, um deren Schnittstellenfähigkeit im Sinne einer prozessorientierten Informationsverfügbarkeit auszubauen.

## **A10. IT UND ORGANISATION IM GESCHÄFTSPROZESS**

Exemplarische Darstellung einer wechselseitigen Anhängigkeit von IT und Prozessorganisation in der Phase des Systementwurfs (Szenarien 1+2)

1. Ein Fertigungsbetrieb führt die digitale Erfassung von Ausschussgründen in den Herstellprozess ein. Die Mengen werden fortan digital dokumentiert. Die tägliche Produktionsbesprechung dient zur Analyse der erfassten Daten durch unterschiedliche Kompetenzträger der Fachabteilungen. Als Ergebnis ist erkennbar, dass vornehmlich die Kombination einer bestimmten Rüstreihenfolge (z.B. Farbwechsel der Artikel) zu Qualitätsproblemen führt. Ein erhöhter Reinigungsbedarf nach definierten Produktwechseln (Farbumstellung) wird als Maßnahme zur Qualitätssicherung und Ausschussreduktion verabschiedet.
  - Die Erfahrungskurve (Farbkombination erhöht Rüstzeit) soll nun in die Planungslogik der Auftragsfeinplanung einfließen, um die Ausschussquote proaktiv zu senken und die verlängerte Rüstzeit für die Terminplanung zu berücksichtigen. Der Erkenntnisgewinn soll digital berücksichtigt werden.

**Hierbei erfolgt die IT-Anforderungsspezifikation den Prozesszielen im Status Quo im Geschäftsprozess (GP)**

Die funktionale Anforderung zur Berechnung einer dynamischen Rüstzeit für die definierte Farbkombination, erhöht damit die Prozessqualität zur Sicherung von Termin- und Qualitätszielen.

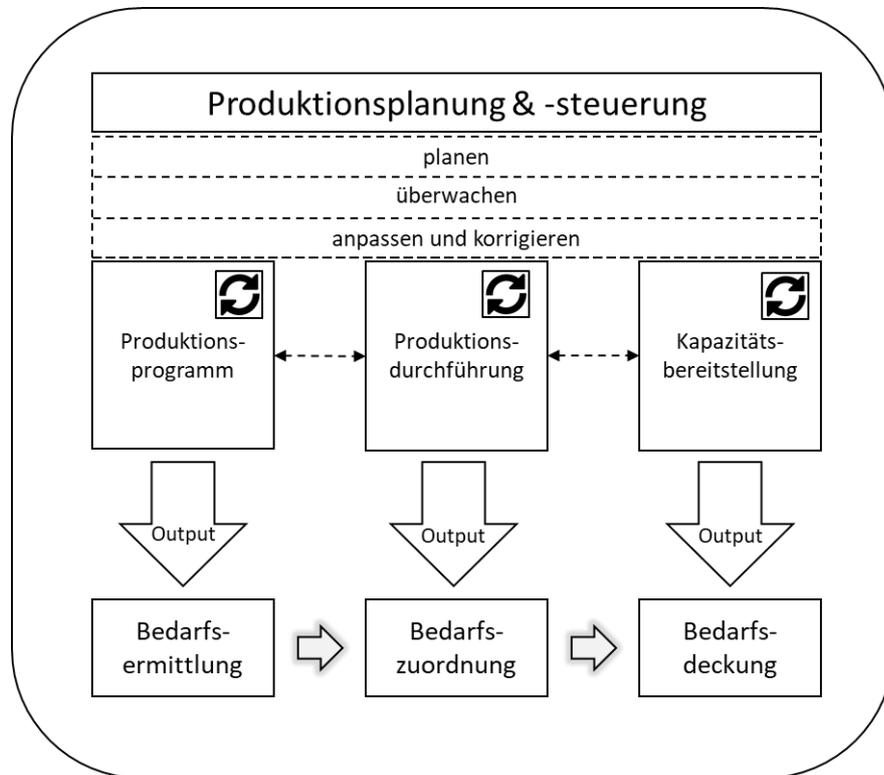
2. Ein Fertigungsbetrieb strebt die Verkürzung von Liegezeiten für WIP Bestände an. Die Vernetzung von Informationen im GP soll dabei den Transportbedarf steuern. Hierzu werden die Transporteinheiten (z.B. Gabelstapler) mit mobilen Endgeräten ausgestattet. Diese sollen künftig eine nach Priorität sortierte Reihenfolge von Transportaufträgen mit den Kerninformationen Materialpuffer (Abholung) und Materialpuffer (Ziel) und Termin anzeigen.
  - Zur nutzenbringenden Aktivierung der Datenintegration, ist organisatorische IO notwendig. Die bisherige Organisationform für den Materialtransport (z.B. keine, Milk-run, Ad-Hoc, First come-First Serve, LIFO, Bringschuld, Sammelgutroute usw.) muss in jedem Fall an die integrierten Daten des GP (z.B. in Form einer Liste digital-sortierter und priorisierter Transportaufträge) angepasst werden.

**Hierbei folgt die organisatorische Spezifikation des GP dem funktionalen IT-Angebot zur Sicherung der Prozessziele.**

In beiden Fällen (1.+2.) müssen die Anforderungen aufeinander abgestimmt werden, um einen Mehrwert zu erzielen.

## A11. PPS ALS REGELAUFGABE

PPS Phasen und dessen Zusammenhang zum Regelbedarf



**ABBILDUNG 47 - REGELAUFGABEN DER PPS**

Eigene Darstellung in Anlehnung an (Bloech et al. 2014, 95 ff)

## A12. BESCHREIBUNGSEBENEN IN ARIS

### Ebenen in der Architektur integrierter Informationssysteme

<b>Merkmal</b>	<b>Fachkonzept</b>	<b>DV-Konzept</b>	<b>Implementierung</b>
Voraussetzung Modellierung	Sachkenntnis und/oder Fachwissen	Methodenkompetenz	Fachkompetenz
Modellierungsmethoden (Auswahl)	Funktionsbaum, EPK, ERM, Organigramm	Relationen, Topologien, Strukturdiagramme, Verhaltensdiagramme	Programmcode, Protokolle, Lizenzen, Datenbankschema, Funktionsbeschreibung, Klassenbibliothek
Inhaltlichen Beitrag durch	Fachexperten, Prozessbeteiligte, Stelleninhaber, Abteilungsvertreter	Systemarchitekt, IT-Analytiker, Anwendungsberater, Prozessexperte	Anwendungsentwickler, Anwendungsberater,
Analogie Softwaretechnik	Analysephase	Entwurfsphase	Implementierungsphase
Notwendige Expertise	Kenntnis über betrieblichen IST-Zustand	Verallgemeinerung fachlicher Funktionen in softwaretechnische Transaktionen und ausführende Module	Umsetzung von spezifizierten Anforderungen in ausführbare Softwarefunktionen
Ergebnis	Formale Dokumentation der Sicht in der Semantik einer Fachabteilung	Allgemeingültige Beschreibung des Leistungsverhaltens der Anwendung	Testfähige Softwarefunktionen in einer nutzergerechten Anwendungsumgebung

**TABELLE 38 - ARIS-BESCHREIBUNGSEBENEN**

in Anlehnung an (Software AG 2016)

### A13. BESCHREIBUNGSSICHTEN ARIS

Sichten in der Architektur integrierter Informationssysteme

<b>Merkmal</b>	<b>Leistung</b>	<b>Funktion</b>	<b>Organisation</b>	<b>Daten</b>	<b>Prozess</b>
Unternehmensobjekte	Dienst-, Sach-, Finanz-, Prozess-, Informationsleistung	Kern, Unterstützungs- und Führungsprozesse	Stellen, Inventar, Hardware, Betriebsmittel, Informationsträger	Stamm-, Bewegungs-, Bestands-, Konfigurationsdaten	Geschäftsprozesse, Vorgangsketten
Inhaltlicher Fokus	Darstellung der Objektzustände und Wertströme	Darstellung von zielbezogenen Aktivitäten	Darstellung des Aufbaus und der Beziehung von Organisationseinheiten	Darstellung der Beziehung zwischen Datenobjekten	Zeitlicher Ablauf einzelner von Prozessinhalten
Modellierungsmethoden (Auswahl)	Produktbaum, Vorgangskette, Zustandsdiagramm	Funktionsbaum, Funktionshierarchie, Vorgangskette	Organigramm	ERM	EPK
Modellierungsinhalte	Ereignisse, Ergebnisse,	Aktivitäten, Tätigkeiten, Vorgänge, Arbeitsschritte	Ressourcen	Informationen	Objektbeziehungen im Zeitverlauf (Leistung, Daten, Organisation, Funktion)

**TABELLE 39 - ARIS BESCHREIBUNGSSICHTEN**

in Anlehnung an (Software AG 2016)

## A14. PPS-HAUPHASEN UND ERGEBNISSE

Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an (Kiener et al. 2018)

Nachfolgend werden die geforderten Ergebnisse der PPS-Aufgaben anhand von zu ermittelnden Vorgabe- und Sollwerten pro Planungsperiode dargestellt:

### **Bedarfsermittlung** (Programmplanung) – Zyklus: **wöchentlich bis jährlich**

- Erstellung der Fertigungsaufträge (FA) und Bestellaufträge (BA) durch
- Definition der quantitativen Bedarfe für
  - **Material (MRP I)** - Art und Menge der (Vor-) Produkte  
(primär, sekundär und tertiäre Bedarfe)  
→ **Stücklistenauflösung** für Sollmengen der FA und BA
  - **Fertigungsressourcen (MRP II)** – Kapazitätsbedarfe pro FA  
→ **Durchlaufterminierung** anhand des Arbeitsplans pro FA
- Klassifikation der Auftragsarten (Kunden-/Lager-/Rahmenaufträge)
- Definition der Rahmenendtermine (FAZ und SEZ)
- Statuswechsel für erstellte FA von „erstellt“ auf „eingeplant“

### **Bedarfszuordnung** (Durchführungsplanung) **Zyklus: täglich bis monatlich**

- Definition qualitativer Bedarfe für
  - digitale Auftragsinformationen im Auftragsablauf  
(vgl. *Digitale Auftragsinformationen* in A21)
  - Arbeitsplatzbelegung der Kapazitätsbedarfe pro Arbeitsgang
- Reservierung von Engpassressourcen der Fertigung (intern/extern)
- Statuswechsel für FA von „eingeplant“ in „freigegeben“

### **Bedarfsdeckung** (Bereitstellungsplanung) **Zyklus: sekundlich bis täglich**

- Ermittlung der Plantermine für primäre Fertigungsressource  
(Geplanter Start- und Endtermin pro AG am Arbeitsplatz)
- Einsatzplan für sekundären Ressourcen pro FA  
(z.B. Werkzeug, Personal, Material, Energie, Transport, Prüfmittel etc.)
- Aktualisierung der Plantermine pro AG/FA  
(Anpassung der Laufzeit an aktuellen Auftragsfortschritt)
- Änderung der Ressourcenzuordnung pro Arbeitsgang  
(Erhöhung, Minderung Wechsel von Ressourceneinsätzen)
- Statuswechsel für FA von „freigegeben“ auf „Ressourceneinsatz eingelastet“
- Folgesequenz FA-Status: „in Bearbeitung“, → (ggf. „unterbrochen“) → „beendet“

**A15. SOFTWAREQUALITÄT****Eigenschaften nach DIN ISO 25010**

1. Benutzbarkeit
2. Betriebssicherheit
3. Beweisbarkeit
4. Brauchbarkeit
5. Erweiterbarkeit
6. Geheimhaltung
7. Genauigkeit
8. Installierbarkeit
9. Integrität
10. Interoperabilität
11. Kommunikationsfähigkeit
12. Kompatibilität
13. Konformität
14. Leistung
15. Nachverfolgbarkeit
16. Portabilität
17. Sicherheit
18. Skalierbarkeit
19. Standardisierbarkeit
20. Verfügbarkeit
21. Verifizierbarkeit
22. Verlässlichkeit
23. Vertraulichkeit
24. Vollständigkeit
25. Wartbarkeit
26. Wiederverwendbarkeit
27. Zuverlässigkeit

(Balzert und Liggesmeyer 2011, S. 112)

## A16. PPS-AUFGABEN UND MEILENSTEINE

Legende: *Aufgabe* → **Meilenstein**

Eigene Darstellung in Anlehnung an (Kiener et al. 2018, S. 126)

### Produktionsplanung

1. *Ermittlung der zu produzierenden Produkte*

→ **Produktionsprogramm**

2. *Ermittlung der notwendigen Kapazität von Maschinen und Betriebsmitteln*

→ **Kapazitätsgrobbedarf**

3. *Ermittlung der Beschaffungsartikel und Zwischenartikel (Vorprodukte)*

→ **Materialbedarf**

4. *Ermittlung interner und externer Kapazitätsbedarfe*

→ **Kapazitätsbedarf**

5. *Ermittlung mengen- und terminorientierten Einzelbedarfe (Lose)*

→ **Fertigungs- und Bestellaufträge**

6. *Ermittlung auftragsbezogener Ecktermine der Fertigungsbedarfe*

→ **Durchlaufterminierung**

### Produktionssteuerung

7. *Ermittlung AG-bezogener Termine der Fertigungsbedarfe*

→ **Kapazitätsbelastungsrechnung**

8. *Aktualisierung, Optimierung und Freigabe terminierter Arbeitsgänge*

→ **Arbeitsplatz-/Maschinenbelegung**

9. *Auslegung der Ressourcenbelastung*

→ **Werkstattsteuerung und Qualitätssicherung**

10. *Erfassung und Kontrolle der Leistungsdaten*

→ **Überwachung von Auftragsfortschritt und Kapazitätseinsatz**

11. *Ressourceneinsätze anpassen und priorisieren*

→ **Störungsmanagement**

**A17. HORIZONTALE UND VERTIKALE INTEGRATION**

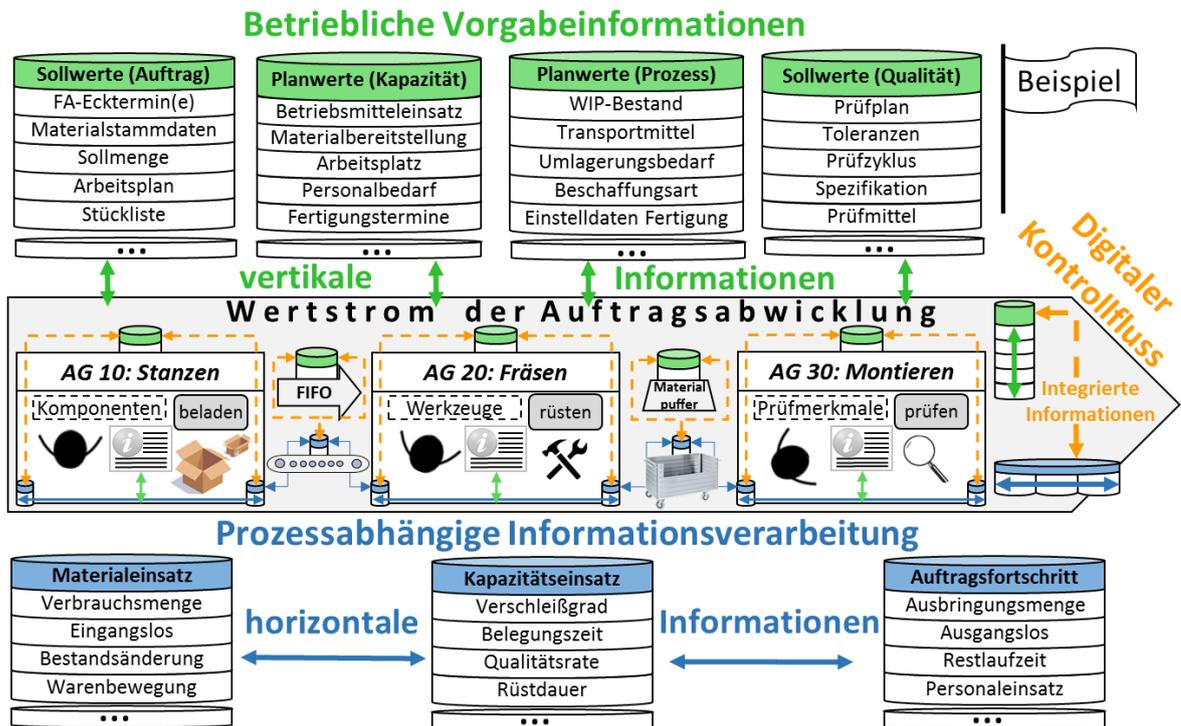


ABBILDUNG 48 - INFORMATIONSGRUNDLAGEN VERTIKAL UND HORIZONTAL

(Schwäke et al. 2020)

**A18. AG-STATUSWECHSEL ALS INTEGRIERTE ZUSTANDSÄNDERUNG**

Darstellung der integrierten Verarbeitung einer FA-Zustandsänderung zum Zeitpunkt des *Statuswechsels für einen Arbeitsgang* (Vorgänger-AG) und dessen Wirkung auf sequentiell abhängige *Arbeitsgänge* (Nachfolge-AG)

Vorgänger-AG		⇒	Nachfolge-AG
<b>Statuswechsel auf:</b>	<b>Horizontale Information</b>		<b>Vertikale Information</b>
ist <b>freigegeben</b>	spätester Endzeitpunkt des AG ist definiert		Vorgabewert zur Kapazitätsreservierung des AG ist verfügbar
ist <b>vorbereitet</b>	geplanter Arbeitsplatz des AG ist definiert		Vorgabewert für den Bezugslagerort der Eingangskomponenten des AG ist definiert
wird <b>bearbeitet</b>	verbleibende Restlaufzeit des AG kann für Belegung ermittelt werden		Vorgabewert für den frühesten (FAZ) Anfangszeitpunkt des AG kann aktualisiert werden
wurde <b>unterbrochen</b>	eingesetzte Kapazität des AG wird dokumentiert		Vorgabewerte zur Anpassung der Kapazitätsauslastung ist definiert
wurde <b>fertiggestellt</b>	fertiggestellte Menge des AG ist definiert		Vorgabewert zum geplanten Materialeinsatz des AG ist definiert

TABELLE 40 - INTEGRIERTER ARBEITSGANGSTATUS

## A19. ANWENDUNGSFUNKTIONEN MIT GLEICHEM BEITRAG

Beispiele für gleiche Anwendungsfunktionen in unterschiedlichen Systemtypen

Prozessleistung	Interne Schnittstelle	Systemtyp	Anbieter	Quellen zum Funktionsangebot
Verwaltung von technischen Zeichnungen	Konstruktion-Produktion	1 DMS 2 PDM 3 MES	1. ELO 2. DESSAULT Systems 3. MPDV	1 → <a href="https://www.elo.com/de-de/loesungen.html">https://www.elo.com/de-de/loesungen.html</a> 2 → <a href="https://www.3ds.com/de/events/single-eseminar/strukturierte-dokumentenablage/">https://www.3ds.com/de/events/single-eseminar/strukturierte-dokumentenablage/</a> 3 → <a href="https://www.mpdv.com/media/Brochures/DE/Brochure_WRM_DE.pdf">https://www.mpdv.com/media/Brochures/DE/Brochure_WRM_DE.pdf</a>
Abwicklung einer Kundenreklamation	QS-Produktion	1 ERP 2 MES 3 CAQ	1. SAP 2. MPDV 3. Boehme & Weihs	1 → <a href="https://help.sap.com/saphelp_crm700_ehp03/helpdata/de/46/40a420a4185fa9e1000000a1553f7/frameset.htm">https://help.sap.com/saphelp_crm700_ehp03/helpdata/de/46/40a420a4185fa9e1000000a1553f7/frameset.htm</a> 2 → <a href="https://www.mpdv.com/de/produkte-loesungen/mes-hydra/reklamationsmanagement/">https://www.mpdv.com/de/produkte-loesungen/mes-hydra/reklamationsmanagement/</a> 3 → <a href="https://www.boehme-weihs.de/software/casq-it-moduluebersicht/ruf/">https://www.boehme-weihs.de/software/casq-it-moduluebersicht/ruf/</a>
Dokumentation einer Produkt- oder Prozess FMEA	QS-Produktion	1 CAQ 2 ERP 3 MES	1. Boehme & Weihs 2. SAP 3. Carl Zeiss MES Solutions	1 → <a href="https://www.boehme-weihs.de/software/casq-it-moduluebersicht/fmea/">https://www.boehme-weihs.de/software/casq-it-moduluebersicht/fmea/</a> 2 → <a href="https://help.sap.com/erp_hcm_ias_2013_01/helpdata/de/49/2175004ab514cde1000000a42189b/frameset.htm">https://help.sap.com/erp_hcm_ias_2013_01/helpdata/de/49/2175004ab514cde1000000a42189b/frameset.htm</a> 3 → <a href="https://www.guardus-mes.de/loesungen/qualitaets-management-caq/fmea/">https://www.guardus-mes.de/loesungen/qualitaets-management-caq/fmea/</a>
Feinplanung von AG-terminen	AV-Produktion	1 MES 2 ERP 3APS	1. Industrie Informatik 2. SAP 3. INFORM	1 → <a href="https://www.industrieminformatik.com/de/produkte/cronetwork-module/feinplanung_fcs.html">https://www.industrieminformatik.com/de/produkte/cronetwork-module/feinplanung_fcs.html</a> 2 → <a href="http://www.ruehrer.com/dateien/ppp.pdf">http://www.ruehrer.com/dateien/ppp.pdf</a> 3 → <a href="https://www.inform-software.de/produkte/felios">https://www.inform-software.de/produkte/felios</a>
Bereitstellung von Produktstammdaten	Vertrieb-AV-Produktion	1 PDM 2 ERP 3 CAM	1. Siemens 2. Microsoft NAV 3. Autodesk	1 → <a href="https://www.plm.automation.siemens.com/global/de/products/teamcenter/">https://www.plm.automation.siemens.com/global/de/products/teamcenter/</a> 2 → <a href="https://www.faveo.com/felder-im-artikelstamm_microsoft-dynamics-nav/">https://www.faveo.com/felder-im-artikelstamm_microsoft-dynamics-nav/</a> 3 → <a href="https://www.autodesk.de/products/autocad-1t/features">https://www.autodesk.de/products/autocad-1t/features</a>
Übergabe von maschinellen Einstelldaten	AV-Produktion	1 CAM 2 MES 3 PDM	1. Dassault Systems 2. MPDV 3. Siemens	1 → <a href="https://www.dps-software.de/fileadmin/content/dps_software/pdfs/Datenblaetter/SWX_CAM_Datenblatt.pdf">https://www.dps-software.de/fileadmin/content/dps_software/pdfs/Datenblaetter/SWX_CAM_Datenblatt.pdf</a> 2 → <a href="https://www.mpdv.com/media/Brochures/DE/Brochure_DNC_DE.pdf">https://www.mpdv.com/media/Brochures/DE/Brochure_DNC_DE.pdf</a> 3 → <a href="https://www.plm.automation.siemens.com/global/de/products/manufacturing-planning/cam-software.html">https://www.plm.automation.siemens.com/global/de/products/manufacturing-planning/cam-software.html</a>
Personalzeitplanung	Personal-Produktion	1 ERP 2 MES 3 HR	1. SAP 2. MPDV 3. LESSOR	1 → <a href="https://www.plm.automation.siemens.com/global/de/products/manufacturing-planning/cam-software.html">https://www.plm.automation.siemens.com/global/de/products/manufacturing-planning/cam-software.html</a> 2 → <a href="https://www.mpdv.com/media/Brochures/DE/Brochure_PEP_DE.pdf">https://www.mpdv.com/media/Brochures/DE/Brochure_PEP_DE.pdf</a> 3 → <a href="https://lessor.de/loesungen/">https://lessor.de/loesungen/</a>

Letzter Zugriff auf Quellen: 16.10.2018

TABELLE 41 - HOMOGENES FUNKTIONSANGEBOT VON ANWENDUNGS SOFTWARE

**A20. IDEALTYPISCHE FUNKTIONEN IN ANWENDUNGSSYSTEMEN**

Aufgaben der PPS inkl. der Zuordnung idealtypischer Anwendungssystemfunktionen

<b>PPS Aufgabe</b>	<b>Ziel</b>	<b>Funktionsfokus</b>	<b>Idealtypisches Anwendungssystem</b>
Personaleinsatzplanung	Zuordnung von quantitativen und qualitativen Personalressourcen zu Arbeitsplätzen	Verwaltung von Personal-daten	Personalmanagement / PZW / PZE / HR
Arbeitsplatzbelegung	Reihenfolgeplanung von Arbeitsgängen und dessen Terminen auf Kapazitätseinheiten	Verwaltung der Auftragsplan-terme und Kapazitäts-belegung	APS / MES
Materialverfügbarkeitsprüfung	Dispositive Bestands- und Bedarfsermittlung für feingeplante Fertigungsaufträge	Verwaltung von Material-beständen und -bedarfen	ERP
Werkzeugeinsatzplanung	Terminierte Betriebsmittelbereitstellung anhand AG-Terminen	Verwaltung von technischen Werkzeug-daten der Fertigungs-technik	CAM
Prüfanforderungsplanung	Terminierte Qualitätsprüfungen anhand Fertigungsfeinplan	Verwaltung der Fertigungs-begleitenden Qualitäts-prüfung	CAQ
Transportmittelplanung	Kapazitätsplanung von Transportbedarfen anhand Auftragsfortschritt	Transport-logistik und Umlage-rungen	ERP

1/2

<b>PPS-Aufgabe</b>	<b>Ziel</b>	<b>Funktionsfokus</b>	<b>Idealtypisches Anwendungssystem</b>
Verpackungsmittelprüfung	Verfügbarkeits-sicherung von Verpackungsmitteln anhand Produktionsmix	Verwaltung von Materialbeständen und -bedarfen	ERP
Einstelldaten-bereitstellung	Verfügbarkeitssicherung von DNC und Einstelldaten als maschinelle Vorgabewerte der Fertigungstechnik	Verwaltung von geometrische und/oder prozesssteuernde Vorgabewerte der Automatisierung	CAM
Sicherstellung der Fertigungs-informationen	Verfügbarkeitssicherung von Auftrags- und Produktspezifikationen, Kundenanforderungen, Technische Zeichnung, Verpackungsvorschriften Fertigungschecklisten Prozessstandards (Checklisten, LPA, DIN FDA-Level, IEC etc.)	Verwaltung von Fertigungsbegleitenden Dokumenten	DMS

TABELLE 42 - IDEALTYPISCHE AUFGABEN DER PPS

2/2

## A21. Auftragsinformationen in der Produktion

### Detaillierung von Auftragsinformationen

Auftragsinformationen							
Auftragsvorgabe							
Fertigungshilfsmittel ①	Stückliste / Rezeptur ②	Bedarfe ③	Auftragsdetails ④	Qualität ⑤	Termine ⑥	Arbeitsplan ⑦	Artikel ⑧
Werkzeuge & Fertigungsmittel	Komponentenartikel	Maschinenkapazität	Hinweistexte	Prüfmerkmale	Auftrag	Arbeitsgang Administration	Produkt-eigenschaften
Transportmittel		Arbeitsplatzkapazität	Spezifikation & Anweisungen	Steuerungs- & Regelwerte	Arbeitsgang	Zeitanteile der Durchlaufzeit	Prüfmerkmale
Einstellenden / NC-Programme	Komponenteninformationen	Fertigungshilfsmittel	Prozessdetails	Toleranzen & Eingriffsgrenzen	Plantermine	Vorgabemengen	Artikelstammdaten
Lagermittel							
Datenträger (Dokumente, Zeichnungen, Dateien)	Stücklisteninformationen	Personaleinsatz	Auftrags-eigenschaften	Prüfzyklen & -ereignisse	Übergangszeiten und Puffer	AG Anordnungsbeziehung Folgen/Alternativen	Logistikdaten
Prüfmittel							Objektverbindungen
Anonyme Betriebsmittel	Einsatzmengen / -anteile (Soll)						
Auftragsergebnis							
Betriebsdaten							
Auftragsfortschritt (Status, Menge, Termin)		Kapazitätseinsatz und Auftragsleistung	Produkt- und Prozessqualität		Produkt- und Prozessdokumentation	Einsatzmengen und Verbräuche	

ABBILDUNG 49 - AUFTRAGSINFORMATIONEN

Eigene Darstellung

<p>Beschreibung der potenziellen Informationen des digitalen (Fertigungs-) Auftrags</p> <p>Das Verständnis der Relevanz digitaler Auftragsinformationen samt ihrer potenziellen Eigenschaft als Datenquelle (Kontextobjekt der Soll-/Vorgabewerte) und als Datensammler (Kontextobjekt der Ist-Werte), ist im Umfeld der PPS von zentraler Bedeutung. Die Bewegungsdaten eines konkreten (Fertigungs-) Bedarfs bilden die Grundlage zur Bereitstellung der Steuerungselemente im Geschäftsprozess der PPS. Die Verfügbarkeit entscheidungsrelevanter Informationen fördert die selbstregelnde Auftragsabwicklung in der Produktion und/oder koordiniert den Bedarf nicht-wertschöpfender Tätigkeiten, wie bspw. Reparaturen, Produktentwicklung oder Inspektionen. Der Auftrag beschreibt dabei das bedarfsverursachende Datenobjekt der Produktion. Zugleich besitzt der Auftrag die Eigenschaft die Leistungseigenschaften eingesetzter Bedarfsdecker zu dokumentieren. Die konkreten Informationselemente des Auftrags werden dazu nachfolgend detailliert.</p> <p>Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an (Schuh und Stich 2012b), (Kurbel 2016), (Wiendahl 2012), (Eversheim und Schuh 2005), (Thiel et al. 2008), (Kletti und Deisenroth 2019)</p> <p><b>Legende</b></p> <p>Erläuterung des Zusammenhangs zwischen der Aufbaustruktur (Abbildung 49) und der nachfolgenden textlichen Beschreibung der dargestellten Elemente:</p> <p><b>Klasse:</b> Auftragsinformation (Vorgabe-/Sollwerte) und Auftragsergebnis (Istwerte)</p> <p><b>Kategorien:</b> Obergruppen 1-8</p> <p><b>Objekt:</b> Kontextbezogener Datenbereich der Obergruppe / Klasse</p>
--

Auftragsinformation	
Klasse:	Auftragsvorgabe (Soll-/Vorgabewerte)
Obergruppe	Fertigungshilfsmittel
Objekt	<b>Fertigungsmittel und Werkzeuge</b>
<b>Erläuterung</b>	
<p>Ist im Zuge eines Bearbeitungsschrittes an einer Arbeitsstation (Arbeitsplatz, Maschine, Prozessschritt) zusätzliches Equipment notwendig, ohne welches die physikalische Bearbeitung nicht störungsfrei ablaufen kann, handelt es sich um ein Fertigungshilfsmittel. Im Allgemeinen werden hierunter formgebende Werkzeuge, Peripheriegeräte, Handling-Einheiten, Einrichtungen, Montagehilfen etc. verstanden. Im Falle begrenzter Verfügbarkeit eines Fertigungshilfsmittels handelt es sich um eine Engpassressourcen. Im Zuge der Auftragsplanung muss der Bedarf identifiziert werden.</p>	
<b>Quelle:</b> Eigene Darstellung in Anlehnung an (Thiel 2011)	

Auftragsinformation	
Klasse:	Auftragsvorgabe (Soll-/Vorgabewerte)
Obergruppe	Fertigungshilfsmittel
Objekt	<b>Transportmittel</b>
<b>Erläuterung</b>	
<p>Transportmittel besitzen vergleichbare Eigenschaften eines Fertigungshilfsmittels (Engpassressource und störungsfreier Ablauf der betrieblichen Auftragsabwicklung)</p> <p>Der Aufgabenfokus des Transportmittels liegt dabei nicht auf der störungsfreien Bearbeitung an einer Arbeitsstation, sondern auf dem Materialfluss zwischen zwei Materialpuffern. Dabei handelt es sich um einen Transportfluss der Kombinationsvariante aus Arbeitsplatz (AP) und/oder Lagerplatz (LA) (AP→AP; AP→LA; LA→AP; LA→LA)</p>	
<b>Quelle:</b> Eigene Darstellung in Anlehnung an (Bousonville 2017, S. 40–41)	

Auftragsinformation	
Klasse:	Auftragsvorgabe (Soll-/Vorgabewerte)
Obergruppe	Fertigungshilfsmittel
Objekt	<b>Einstelldaten/NC-Programme</b>
<b>Erläuterung</b>	
<p>Können Vorgabewerte als direkte Übergabe von fertigungstechnischen Steuerungsparametern an eine speicherprogrammierbare Maschinensteuerung (SPS) in Form von Einstelldaten der Fertigung bzw. (D)NC-Programmen übergeben werden, charakterisieren diese Fertigungsressourcen. Im Falle noch zu bearbeitender Vorgabewertparameter (Erstellung, Freigabe, Kontrolle, Änderung) fertigungstechnischer Einstellparameter, handelt es sich um Engpassressource im Auftragsdurchlauf. Deren Bedarf ist Bestandteil AG abhängiger Kapazitätsbedarfe</p>	
<b>Quelle</b> Eigene Darstellung in Anlehnung an (Schmid 1991)	

Auftragsinformation	
Klasse:	Auftragsvorgabe (Soll-/Vorgabewerte)
Obergruppe	Fertigungshilfsmittel
Objekt	<b>Lagermittel</b>
<p>Verbunden mit dem Bedarf Fertigungslose nicht in jedem Auftragsdurchlauf ohne Zwischenlagerung zu fertigen, ergibt sich der Bedarf an Lagermitteln. Darunter fallen aus Sicht der Produktionsplanung Ressourcen, welche es ermöglichen hergestellte Ausbringungsmengen anforderungsgerecht zwischenzulagern oder zu transportieren. Produktspezifische Anforderungen an Lagermitteln wie bspw. Boxen, Paletten können zur Erfüllung von Lagerungsvorschriften beitragen. Lagermittel sind im Bedarfsfall planungsrelevant und gehen als Ressourcenbedarf in den AG ein.</p>	
<b>Quelle:</b> Eigene Darstellung in Anlehnung an (Martin 2014)	

Auftragsinformation	
Klasse:	Auftragsvorgabe (Soll-/Vorgabewerte)
Obergruppe	Fertigungshilfsmittel
Objekt	<b>Datenträger</b> (Dokumente, Zeichnungen, Dateien)
<p><b>Erläuterung</b></p> <p>Der Teil an Auftrags- und Produktinformationen, welcher nicht direkt aus dem digitalen Fertigungsauftrag eines ERP-Systems abgeleitet werden kann, wird in Form abweichender Datenträger gespeichert. Im Falle von technischen Zeichnungen bspw. handelt es sich um eine grafische Darstellung der Bauteilgeometrie. Darüber hinaus können Kundenspezifikationen, Arbeitsanweisungen, Checklisten, Dokumentationsvorlagen etc. als Text-/Bild-, Video oder 3D-Formate usw. als Dokumente/Dateien in den Fertigungsablauf einfließen (müssen). Diese bilden im Fertigungsprozess eine Grundlage zur Entscheidungsfindung und stellen somit ein Fertigungshilfsmittel dar.</p>	
<b>Quelle:</b> Eigene Darstellung in Anlehnung an (Wiendahl 2012, S. 82–83)	

Auftragsinformation	
Klasse:	Auftragsvorgabe (Soll-/Vorgabewerte)
Obergruppe	Fertigungshilfsmittel
Objekt	<b>Prüfmittel</b>
<p><b>Erläuterung</b></p> <p>Besteht im Zuge qualitätssichernder Maßnahmen der Bedarf zur fertigungsbegleitenden Prüfung, ergibt sich der Planungsbedarf von Prüfmitteln. Sind Prüfmittel nicht in unbegrenzten Umfang nutzbar stellen diese gleichzeitig eine Ressource der Fertigung dar. Dabei kann es sich um physikalisches Equipment, wie Messgeräte und/oder um eine prüfungsrelevante Qualifikation/Kompetenz handeln. Beide Formen entsprechen auftragsabhängigen Bedarfen der Fertigungsunterstützung.</p>	
<b>Quelle:</b> Eigene Darstellung in Anlehnung an (Schloske 2014)	

Auftragsinformation	
Klasse:	Auftragsvorgabe (Soll-/Vorgabewerte)
Obergruppe	Fertigungshilfsmittel
Objekt	<b>Anonyme Betriebsmittel</b>
<b>Erläuterung</b>	
<p>Handelt es sich um keine direkten Engpassressourcen im Bearbeitungsprozess, kann von Durchlaufressourcen gesprochen werden. In diesem Fall besteht kein direkter Verfügbarkeitskonflikt. Betroffene Fertigungshilfsmittel sind aus Bedarfssicht ausreichend vorhanden (bspw. bei Verschleißmaterialien oder Inventar mit hohen Bestandsmengen, wie Justierschrauben, Gestängen, genormten Haltevorrichtungen o.ä.). Zur Arbeitsplatzvorbereitung ist die Bedarfsdefinition der Betriebsmittelart und Menge dennoch notwendig, um Verzögerungen in der Auftragsbearbeitung auszuschließen. Diese anonymen Ressourcen gehen somit als Planungsparameter in den Fertigungsablauf ein.</p>	
<b>Quelle:</b> Eigene Darstellung in Anlehnung an (Erlach 2010, S. 142–143)	

Auftragsinformation	
Klasse:	Auftragsvorgabe (Soll-/Vorgabewerte)
Obergruppe	Stückliste/Rezeptur
Objekt	<b>Komponentenartikel</b>
<b>Erläuterung</b>	
<p>Als Teil der Fertigungsstückliste oder Rezeptur detailliert der Komponentenartikel eine konkrete Stücklistenposition. Der Komponentenartikel fließt als sekundärer Materialbedarf anteilig oder ganzteilig in den herzustellenden Artikel ein.</p>	
<b>Quelle:</b> Eigene Darstellung in Anlehnung (Korge 2015)	

Auftragsinformation	
Klasse:	Auftragsvorgabe (Soll-/Vorgabewerte)
Obergruppe	Stückliste/Rezeptur
Objekt	<b>Komponenteninformationen</b>
<b>Erläuterung</b>	
<p>Gleichzusetzten mit Stammdateninformationen des zu fertigenden Endartikels, bedarf es der Detaillierung von zu verarbeitenden Komponentenartikel, wie Rohwaren, Baugruppen, Einkaufsartikel, WIP- und Restbeständen mittels Eigenschaften, Merkmalen und Attributen aus dem Artikel-/Materialstamm.</p>	
<b>Quelle:</b> Eigene Darstellung in Anlehnung an (Luszczak 2012, S. 223–227)	

Auftragsinformation	
Klasse:	Auftragsvorgabe (Soll-/Vorgabewerte)
Obergruppe	Stückliste/Rezeptur
Objekt	<b>Stücklisteninformationen</b>
<b>Erläuterung</b>	
<p>Informationen welche ablaufrelevanten Eigenschaften der gesamten Stückliste (ohne Positionsbezug einer Komponente) wiedergeben, werden im Stücklistenkopf definiert. Darunter können Daten, wie der Stücklistenstatus, Verwaltungsdaten (letzter Bearbeiter etc.), Gültigkeit, Berechtigung zur Pflege, oder Gültigkeitsgrenzen fallen. Handelt es sich um entscheidungsrelevante Informationen im Auftragsablauf, so gilt es diese Informationen im Zuge der Auftragserstellung als Vorgabewerte bereitzustellen.</p>	
<b>Quelle:</b> Eigene Darstellung in Anlehnung an (Witt 2014, S. 46–57)	

Auftragsinformation	
Klasse:	Auftragsvorgabe (Soll-/Vorgabewerte)
Obergruppe	Stückliste/Rezeptur
Objekt	<b>Einsatzmenge(n)</b>
<b>Erläuterung</b>	
<p>Die Definition der Einsatzmenge pro Stücklistenposition ist elementarer Bestandteil der operativen Materialdisposition. Pro Arbeitsstation ist es notwendig die einzuarbeitende Menge (in Form der Basismengeneinheit [z.B. Stück, KG, Liter, Meter etc.] oder als Anteil der Gesamtmenge [%] zu definieren. Materialbedarfe, Materialverfügbarkeiten und Verbrauchsabweichungen werden im Auftragsdurchlauf anhand geplanten Einsatzmengen pro Basiseinheit der Ausbringungsmenge ermittelt und koordiniert. Die Grundlage dazu wird durch die Einsatzmenge(n) der jeweiligen Stücklistenpositionen definiert.</p>	
<b>Quelle:</b> Eigene Darstellung in Anlehnung an (Kurbel und Endres 2005, S. 120–142)	

Auftragsinformation	
Klasse:	Auftragsvorgabe (Soll-/Vorgabewerte)
Obergruppe	Ressourcenbedarfe
Objekt	<b>Maschinenkapazität</b>
<b>Erläuterung</b>	
<p>Die Planung von maschinellen Kapazitätsbedarfen erfolgt als variabler und fixer Anteil der Durchführungszeit eines Fertigungsloses. Hierbei werden innerhalb des Arbeitsplans statische und dynamische Belegungszeiten unterschieden. Einmalige Zeitanteile, wie Rüstvorgänge, Wartezeiten, Liegezeiten und wiederkehrende stückbezogene Planzeiten, wie die Werkstückbearbeitung, definieren den geplanten Kapazitätsbedarf eines Arbeitsgangs zur maschinellen Bearbeitung.<sup>81</sup></p>	
<b>Quelle:</b> Eigene Darstellung in Anlehnung an (Wiendahl 2012, S. 111)	

<sup>81</sup> Die Zeitanteile des Arbeitsgangs sind dazu in A22 Abbildung 50 dargestellt

Auftragsinformation	
Klasse:	Auftragsvorgabe (Soll-/Vorgabewerte)
Obergruppe	Ressourcenbedarfe
Objekt	<b>Arbeitsplatzkapazität</b>
<b>Erläuterung</b>	
<p>Vergleichbar zum Kapazitätsbedarf eines maschinellen Arbeitsplatzes, werden Belegungszeiten an manuellen Arbeitsplätzen, wie bspw. Montageplätzen, Fertigungszellen oder Gruppenarbeitsplätzen definiert. Im Falle von abweichenden kapazitätsrelevanten Entscheidungsgrößen, wie bspw. dem AG-anhängigen Raumbedarf (Maschinenbau), einer konkreten Teamqualifikation, der variabler Anordnungsbeziehungen der AG-Reihenfolge, fließt die Unterscheidung von maschinellen und manuellen Kapazitätseinheiten als Planungsgröße ein.</p>	
<b>Quelle:</b> Eigene Darstellung in Anlehnung an (Decker 2008, S. 96–98)	

Auftragsinformation	
Klasse:	Auftragsvorgabe (Soll-/Vorgabewerte)
Obergruppe	Ressourcenbedarfe
Objekt	<b>Fertigungshilfsmittel</b>
<b>Erläuterung</b>	
<p>Zur Ermittlung und Terminierung quantitativen Bedarfe der Fertigungshilfsmittel (FHM), werden dessen Einsatzmengen pro Bearbeitungsschritt definiert. Je nach Einsatzzweck des FHM, unterstützen die mengenmäßigen Bedarfe die arbeitsgangbezogene Koordination von Verfügbarkeit und Bereitstellung. Der FHM Einsatz erfolgt dabei vor, während oder nach der Durchführung des Arbeitsgangs.</p>	
<b>Quelle:</b> Eigene Darstellung in Anlehnung an (Appel 2012)	

Auftragsinformation	
Klasse:	Auftragsvorgabe (Soll-/Vorgabewerte)
Obergruppe	Ressourcenbedarfe
Objekt	<b>Personaleinsatz</b>
<b>Erläuterung</b>	
<p>In Abhängigkeit der durchzuführenden Aktivitäten eines AGs, besteht der Bedarf personelle Kapazitäten zu planen. Hierbei werden quantitative und qualitative Kapazitätsbedarfe durch Bezug der Personaleinsatzzeiten /-qualifikationen zu Arbeitsgängen gebildet. Diese schaffen die Grundlage einer belastungsorientierten Personaleinsatzplanung</p>	
<b>Quelle:</b> Eigene Darstellung in Anlehnung an (Jacob 2013, S. 65–67)	

Auftragsinformation	
Klasse:	Auftragsvorgabe (Soll-/Vorgabewerte)
Obergruppe	Auftragsdetails
Objekt	<b>Hinweistexte</b>
<b>Erläuterung</b>	
<p>Als Ergänzung standardisierter Prozessinformationen (Attributwerte der Stamm- und Bewegungsdaten eines Fertigungsauftrages) werden Hinweistexte zur individualisierten Auftragsabwicklung ergänzt. Als zusätzliche, teils dynamische, Arbeitsinformationen beschreiben diese qualitäts-, zeit- oder kostenrelevante Fertigungsdaten. Bspw. fließen vergangene Reklamationsgründe des Kunden, einmalige Verpackungsanforderungen der Logistik oder manuelle Einstelldaten aus der Verfahrenstechnik als Textinformationen in den Herstellprozess ein</p>	
<b>Quelle:</b> Eigene Darstellung in Anlehnung an (Kopp 2015)	

Auftragsinformation	
Klasse:	Auftragsvorgabe (Soll-/Vorgabewerte)
Obergruppe	Auftragsdetails
Objekt	<b>Spezifikation &amp; Anweisungen</b>
<b>Erläuterung</b>	
<p>Ergänzende Dokumente in Form von verbindlichen Arbeitsunterlagen stellen einen Informationsbedarf im Herstellprozess dar. Sicherheitsdatenblätter, Montageanweisungen, Abfallvorschriften, Rüstanleitungen oder Checklisten tragen zur strukturierten Auftragsabwicklung bei. Diese Informationsträger werden als Bedarfe des Herstellprozesses definiert.</p>	
<b>Quelle:</b> Eigene Darstellung in Anlehnung an (Kopp 2015) und (Pröpster 2015)	

Auftragsinformation	
Klasse:	Auftragsvorgabe (Soll-/Vorgabewerte)
Obergruppe	Auftragsdetails
Objekt	<b>Prozessdetails</b>
<b>Erläuterung</b>	
<p>Im Falle einer getakteten, (halb-) automatisierten Arbeitsstationen, besteht der Bedarf zur Definition von AG-spezifischen Entscheidungsparametern. Durch den Bedarf einer ereignisabhängigen Prozesssynchronisation im Fertigungstakt, ist die Definition von Arbeitsschritten und deren Eingriffsgrenzen erforderlich. Die ausführliche Untergliederung eines AG in einzelne Arbeitsschritte, deren geplante Ergebnisse sowie Steuerungsbedingungen für mögliche Prozessstörungen (Ausschuss, Stillstand, Geschwindigkeit, Messwert, Sensorsignal/Prozesswert, Materialeigenschaft etc.) bilden die Voraussetzung zur sensorgestützten Prozessüberwachung mittels Automatisierungstechnik. Diese Prozessdetails sind Teil der auftragsbezogenen Vorgabedaten.</p>	
<b>Quelle:</b> Eigene Darstellung in Anlehnung an (Pröpster 2015)	

Auftragsinformation	
Klasse:	Auftragsvorgabe (Soll-/Vorgabewerte)
Obergruppe	Auftragsdetails
Objekt	<b>Auftragseigenschaften</b>
<b>Erläuterung</b>	
<p>Informationen des Auftragskopfes detaillieren allgemeingültige Vorgabewerte des gesamten Fertigungsauftrages. Diese Auftragseigenschaften beinhalten bspw. Kundenstammdaten, Prioritätskennzahlen, Auftragsstypen (Lager-, Rahmen, Abruf-, Kunde- etc.) interne Zuständigkeiten oder abhängige Fertigungsaufträge.</p>	
<b>Quelle:</b> Eigene Darstellung in Anlehnung an (Luszczak 2012) und (SAP 2018a)	

Auftragsinformation	
Klasse:	Auftragsvorgabe (Soll-/Vorgabewerte)
Obergruppe	Qualität
Objekt	<b>Prüfmerkmale im Prozess</b>
<b>Erläuterung</b>	
<p>Prüfmerkmale dienen als Bewertungskennzeichen zur Erfassung und Überprüfung der Prozessqualität im Herstellprozess. Hierunter können bspw. chargen-, maschinen-, qualifikations- oder zeitbezogene Eigenschaften im Auftragerstellungsprozess mit Hilfe definierter Prüfereignisse definiert werden. Die Realwerte werden im Zuge der Auftragerstellung erfasst (manuell oder automatisiert), um die Zuverlässigkeit von Prozessen sicherzustellen.</p>	
<b>Quelle:</b> Eigene Darstellung in Anlehnung an (Brüggemann und Bremer 2015) und (Pfeifer und Schmitt 2010, S. 107–126)	

Auftragsinformation	
Klasse:	Auftragsvorgabe (Soll-/Vorgabewerte)
Obergruppe	Qualität
Objekt	<b>Steuerungs- &amp; Regelwerte</b>
<b>Erläuterung</b>	
<p>Im Falle erfolgskritischer Prüfmerkmale und einem erhöhtem Prozesswissen sichern konkrete Steuerungswerte (Soll.-Werte) die Überwachungsfähigkeit des Prozesses. Diese dienen zum Zeitpunkt einer Messung (Prüfpunkt) als Grundlage zur Abweichungsanalyse der Qualitätsvorgabe. In einem Reifegrad der aktiven Qualitätssicherung, werden Regelwerte (im weitesten Sinne) dazu genutzt, um nicht tolerierte Messwerte (Ist.-Werte) regelbasiert zu kontrollieren. Regelwerte, können bspw. Bedingungen, Eskalationsereignisse, konkrete Stellwerte eines technischen Fertigungsprozesses, Maßnahmen zur Mitarbeiterqualifikation, Eingriffsbedingungen eines Planungslaufes, oder ganz allgemein „digitale Plausibilitätsregeln“ zum Auslösen von Eingriffsmaßnahmen der Prozessführung sein. Zielsetzung ist hierbei die geforderte Prozessqualität sicherzustellen.</p>	
<b>Quelle:</b> Eigene Darstellung in Anlehnung an (Kiem 2016)	

Auftragsinformation	
Klasse:	Auftragsvorgabe (Soll-/Vorgabewerte)
Obergruppe	Qualität
Objekt	<b>Toleranzen &amp; Eingriffsgrenzen</b>
<b>Erläuterung</b>	
<p>Im Zuge einer aktiven Qualitätssicherung (regelbasierter Eingriff in die fertigungsbegleitende Qualitätsprüfung) definierten quantitative Schwellwerte Grenzwerte im Falle drohender Qualitätsschwankungen. Diese Grenzwerte unterstützen nachgelagerte Fehlerschwerpunktanalysen, oder dienen zum unmittelbaren Auslösen direkter Steuerungsereignisse im Herstellprozess.</p>	
<b>Quelle:</b> (Pfeifer und Schmitt 2010)	

Auftragsinformation	
Klasse:	Auftragsvorgabe (Soll-/Vorgabewerte)
Obergruppe	Qualität
Objekt	<b>Prüfzyklen &amp; Prüfereignisse</b>
<b>Erläuterung</b>	
<p>Um die tatsächlichen Werte qualitätsrelevanter Prüfmerkmale für Prozess und Produkt beurteilen zu können, dient die Definition zyklischer, terminierter, ereignisorientierter oder kontinuierlicher Messereignisse pro Prüfmerkmal. Der Zeitpunkt wird in Form von Prüfpunkten (was soll eine Prüfung auslösen?) pro Prüfmerkmal definiert. Prüfpunkte können dabei zeit- oder ereignisgesteuert ausgelöst werden. Bspw.:</p> <p><i>alle 10 Stück oder alle 10 Minuten:</i> Chemische Eigenschaften (Viskosität, Magnetismus)  <i>bei Schichtwechsel</i> Maschinelle Prozesswerte (Druck, Temperatur, Vorschub)  <i>pro Auftrag</i> Prozesseigenschaften (Fehlersammelkarte, Abnahmeprüfzeugnis)  <i>pro Chargenwechsel</i> Materialeigenschaften der Eingangskomponente</p>	
<b>Quelle:</b> Eigene Darstellung in Anlehnung an (Kletti und Schumacher 2014, S. 146–150)	

Auftragsinformation	
Klasse:	Auftragsvorgabe (Soll-/Vorgabewerte)
Obergruppe	Termine
Objekt	<b>Auftragstermine</b>
<b>Erläuterung</b>	
<p>Zur Terminierung konkreter Material- und Kapazitätsbedarfe werden Fertigungsaufträge mit Terminzielen ausgestattet. Dabei definieren die Bedarfs-/Fertigstellungstermine des Auftrages gleichzeitig die Bezugsgröße der AG und mehrstufiger Auftragsbeziehungen. Terminvorgaben der Durchlaufterminierung beinhalten Meilensteine zur Ressourcenplanung und Fortschrittskontrolle (Ressourcensteuerung). Etablierte Meilensteine der Auftragstermine sind:</p> <p>FAZ, FEZ, SAZ, SEZ, Angefragter Liefertermin, Zugesagter Liefertermin</p>	
<b>Quelle:</b> Eigene Darstellung in Anlehnung an: (Wegner und Wegner 2017, S. 62–84)	

Auftragsinformation	
Klasse:	Auftragsvorgabe (Soll-/Vorgabewerte)
Obergruppe	Termine
Objekt	<b>Termine des Arbeitsgangs (AG)</b>
<b>Erläuterung</b>	
<p>Auf der nächsttieferen Ebene der Auftragsstruktur, werden die arbeitsplan-abhängigen Ecktermine der Arbeitsgänge definiert. Durch die Definition von FAZ und SEZ pro AG ergibt sich der Handlungsspielraum (Puffer) der PPS. Die Durchlauftermine pro AG definieren die notwendigen Bedingungen der Terminziele zur auslastungsorientierten Auftragsabwicklung.</p>	
<b>Quelle:</b> Eigene Darstellung in Anlehnung an (Kurbel 2016)	

Auftragsinformation	
Klasse:	Auftragsvorgabe (Soll-/Vorgabewerte)
Obergruppe	Termine
Objekt	<b>Plantermine</b>
<b>Erläuterung</b>	
<p>Als Ergebnis der Terminierung ergeben sich der Start- und End-Zeitpunkt als Vorgabewerte der AG. Die Methoden zur Terminermittlung können in belastungsorientierte und belastungsfreie Verfahren unterschieden werden. Die Durchlaufterminierung (belastungsfrei) errechnet anhand der vorgegebenen Ecktermine ein vor- oder rückwärtsgerichtetes, lückenloses Szenario der Auftragsdurchführung. Im Falle einer belastungsorientierten Feinterminierung wird die geplante Auslastung der Kapazitäten in der Terminfindung berücksichtigt. Dabei ergibt sich ein lückenhaftes Planungsszenario. Die Plantermine der Arbeitsgänge beinhalten dabei sowohl Terminpuffer als auch die geplante Belastungssituation betroffener Kapazitäten im Planungshorizont.</p>	
<b>Quelle:</b> Eigene Darstellung in Anlehnung an (Kurbel und Endres 2005, S. 143–164)	

Auftragsinformation	
Klasse:	Auftragsvorgabe (Soll-/Vorgabewerte)
Obergruppe	Termine
Objekt	<b>Übergangszeiten und AG-Puffer</b>
<b>Erläuterung</b>	
<p>Der Zeitanteil zwischen FAZ und SEZ abzüglich der geplanten Durchführungszeiten (bearbeiten, rüsten, transportieren liegen, warten) definieren den Puffer zu Erfüllung der Terminziele. Diese Übergangszeiten quantifizieren die Planungsflexibilität und die Robustheit/Störanfälligkeit im Zuge von Terminkonflikten.</p>	
<b>Quelle:</b> Eigene Darstellung in Anlehnung an (Kiener et al. 2018)	

Auftragsinformation	
Klasse:	Auftragsvorgabe (Soll-/Vorgabewerte)
Obergruppe	Arbeitsplan
Objekt	<b>Arbeitsgang Administration</b>
<b>Erläuterung</b>	
<p>Zur Administration einzelner AG ist die Spezifikation dessen Steuerungsparameter notwendig. Hierbei handelt es sich bspw. um die eindeutige Nummer des AG oder administrative Konfigurationsdaten, wie bspw. Buchungsmethoden, Typisierung der Verarbeitung, Zugriffsberechtigungen oder Schlüsselwerte der Auswertung. Diese Parameter dienen der konsistenten Verbuchung späterer Auftragsergebnisse sowie der Verhaltensspezifikation nachgelagerter Verarbeitungsfunktionen. Die Parameter bilden die Steuerungsgrundlagen zur anwendungsseitigen Verwaltung der AG innerhalb der PPS-seitigen Anwendungssysteme.</p>	
<b>Quelle:</b> Eigene Darstellung in Anlehnung an: (Appel 2012) und (Bauer 2014)	

Auftragsinformation	
Klasse:	Auftragsvorgabe (Soll-/Vorgabewerte)
Obergruppe	Arbeitsplan
Objekt	<b>Zeitanteile der Durchlaufzeit</b>
<b>Erläuterung</b>	
<p>Im Rahmen der belastungsorientierten Kapazitätsplanung bilden die einzelnen Elemente der <u>geplanten</u> Auftragsdurchlaufzeit die Entscheidungsbasis. Hierbei werden produktive und unproduktive Zeiten unterschieden. Die Zeitanteile der Durchlaufzeit gliedern sich in</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- <b>Bearbeitungszeit</b> pro Ausbringungsmenge am Arbeitsplatz (Zeit pro Stück/Charge/Gewicht) - statische oder dynamische</li> <li>- <b>Rüstzeit</b> (fixe Dauer oder flexible Dauer zur Auftragsvorbereitung am Arbeitsplatz)</li> <li>- <b>Wartezeiten, Liegezeiten, Transportzeiten</b><sup>82</sup>.</li> </ul>	
<b>Quelle:</b> Eigene Darstellung in Anlehnung an (Wiendahl 2012)	

---

<sup>82</sup> Eine detaillierte Darstellung der Zeitanteile sind in A22 in Abbildung 50 dargestellt

Auftragsinformation	
Klasse:	Auftragsvorgabe (Soll-/Vorgabewerte)
Obergruppe	Arbeitsplan
Objekt	<b>Sollmengen</b>
<b>Erläuterung</b>	
<p>Zur Klassifikation mengenbezogener Aufgabengrößen werden für Auftrag und Arbeitsgänge Sollwerte definiert. Diese dienen zur Beschreibung der Sollwerte unterschiedlicher Mengendimensionen. Für Ausbringungsmengen, Losgrößen oder Transporteinheiten werden Sollwerte vorgegeben. Zugehörige Mengenformate können dabei in unterschiedlichen Einheiten definiert werden. Bspw. ist eine Unterscheidung in primäre, sekundäre oder tertiäre Mengeneinheit als Sollvorgabe unterschiedlicher AG-Inhalte (produzieren vs. wiegen vs. messen) notwendig:</p> <p>1 Stück (primär) <math>\triangleq</math> 74 KG (sekundär) <math>\triangleq</math> 3,3 m<sup>3</sup>(tertiär)</p> <p>Die zusätzliche Klassifikation von Mengenqualitäten unterstützt dabei die Bewertbarkeit der Auftragsergebnisse. Die Einteilung der Sollmengen anhand möglicher Qualitätsgraden <i>Gutmenge</i>, <i>Ausschuss</i>, <i>Nacharbeit</i> spezifiziert dazu den Ressourcenbedarf des Kapazitäts- und Materialeinsatz und unterstützt zugehörige Analysen störungsbedingter Abweichungen.</p>	
<b>Quelle:</b> Eigene Darstellung in Anlehnung an (Schuh und Schmidt 2014)	

Auftragsinformation	
Klasse:	Auftragsvorgabe (Soll-/Vorgabewerte)
Obergruppe	Arbeitsplan
Objekt	<b>Anordnungsbeziehung</b> (AG-Folge)
<b>Erläuterung</b>	
<p>Die Abhängigkeitsstruktur eines Fertigungsauftrags und dessen Arbeitsgängen kann unter dem Begriff Anordnungsbeziehung zusammengefasst werden. Die enthaltenen Vorgabewerte beschreiben die Anforderungen der auftrags- und AG-abhängigen Reihenfolge einer Bearbeitungssequenz. Hierbei werden Eigenschaften, wie bspw. Vorgänger-Nachfolger Beziehungen, Parallelitäten, Alternativen, Abhängigkeiten oder Übergangsbedingungen zwischen Arbeitsgängen (Arbeitsplätzen) definiert. Weiterhin ist die Bedarfskontextbildung (Bedarfsverursacher <math>\Leftrightarrow</math> Bedarfsdecker), die Verbindung mehrstufiger Auftragsnetze sowie die Beschreibung mehrdimensionaler Endartikelbeziehungen (z.B. ein Halbfabrikat dient als Eingangskomponente für mehrere Endartikel) Bestandteil der Anordnungsbeziehung.</p>	
<b>Quelle:</b> Eigene Darstellung in Anlehnung an (Schuh und Stich 2012a, S. 252–273)	

Auftragsinformation	
Klasse:	Auftragsvorgabe (Soll-/Vorgabewerte)
Obergruppe	Artikel
Objekt	<b>Produkteigenschaften</b>
<b>Erläuterung</b>	
<p>Unter den Produkteigenschaften werden alle artikelspezifischen Merkmale und Attribute zur Beschreibung des herzustellenden Endproduktes zusammengefasst. Hierbei werden fertigungsrelevante Einzelmerkmale, wie bspw. Farbe, Abmessung, Gewicht, Oberfläche oder auch Typisierungen (Gruppe, Kategorie, Art, Variante, Form, Klasse) als Eigenschaften des Produktes beschrieben.</p>	
<b>Quelle:</b> Eigene Darstellung in Anlehnung an (Bauer 2014)	

Auftragsinformation	
Klasse:	Auftragsvorgabe (Soll-/Vorgabewerte)
Obergruppe	Artikel
Objekt	<b>Prüfmerkmale</b>
<b>Erläuterung</b>	
<p>Vergleichbar zu den prozessbezogenen Objekten der Obergruppe 5 (Qualität), dienen die artikelbezogenen Prüfmerkmale auch dem Ziel der fertigungsbegleitenden Qualitätssicherung. Artikelstammdaten und Produkteigenschaften (bspw. Abmessung, Festigkeit, Farbe etc.) definieren hierzu die Sollwerte der produktbezogenen Prüfmerkmale. Die allgemeinen Charakteristika der artikelbezogenen Prüfmerkmale sind identisch zu denen Objekten der Obergruppe 5 (Qualität). Artikelprüfmerkmale orientieren sich gemeinhin an der Produktspezifikation.</p>	
<b>Quelle:</b> Eigene Darstellung in Anlehnung an (Brüggemann und Bremer 2015) und (VDI 2619)	

Auftragsinformation	
Klasse:	Auftragsvorgabe (Soll-/Vorgabewerte)
Obergruppe	Artikel
Objekt	<b>Artikelstammdaten</b>
<b>Erläuterung</b>	
<p>Artikelstammdaten umfassen nicht nur herstellungsrelevante Merkmale in Form von Produkteigenschaften, sondern auch logistische, vertriebliche oder finanzwirtschaftliche Vorgabewerte der Auftragsabwicklung. Informationen über den Produktempfänger (Kunde), die kalkulierten Herstellkosten, Einstandspreise, Lagerorte, Kostenstellen oder dispositive Informationen (zuständiger Disponent, letzte Bearbeitung) werden dabei als Beziehungsdaten des Artikelstamms in den Prozess der Auftragsabwicklung übertragen. Hier dienen sie als Bewegungsdaten zur Ablaufsteuerung der operativen und dispositiv-administrativen Aktivitäten der GP.</p>	
<b>Quelle:</b> Eigene Darstellung in Anlehnung an (Becker et al. 2007)	

Auftragsinformation	
Klasse:	Auftragsvorgabe (Soll-/Vorgabewerte)
Obergruppe	Artikel
Objekt	<b>Logistik und Lagerhaltung</b>
<b>Erläuterung</b>	
<p>Zur Materialflusssteuerung werden lager- und transportrelevante Logistikdaten definiert. Diese beschreiben bspw. Lagerplatzinformationen, Eigenschaften der Kommissionierung, Behältergrößen, KANBAN Mengen, Formel zur Verbrauchsprognose, Distributionseigenschaften, Bezugs- und Lieferzeiten, Verfallszeiten der Produkte. Sie beschreiben Eigenschaften der Aktivitäten im Kontext von Materialbewegungen.</p>	
<b>Quelle:</b> Eigene Darstellung in Anlehnung an (Mussbach-Winter 2017)	

Auftragsinformation	
Klasse:	Auftragsergebnis (Istwerte)
Obergruppe	Betriebsdaten
Objekt	<b>Auftragsfortschritt</b>
<b>Erläuterung</b>	
<p>Abweichend von den zukunftsorientierten Soll-/Vorgabewerten dient die Klasse „Auftragsergebnisse“ zur Darstellung vergangener Auftragsleistungen. Hierbei beschreibt das Objekt Auftragsfortschritt den Zustand der Betriebsdaten. Ist.-Mengen, Bearbeitungsstatus und Ist-Zeiten werden für Arbeitsgänge und Auftrag dokumentiert. Der Fertigstellungsgrad der Ausbringungsmengen (Gutmenge, Ausschuss, Nacharbeit, zu prüfende Menge, Restmenge etc.) sowie Restlaufzeiten spezifizieren den aktuellen Auftragsfortschritt und bestehende Abweichungen.</p>	
<b>Quelle:</b> Eigene Darstellung in Anlehnung an (Kletti und Deisenroth 2019)	

Auftragsinformation	
Klasse:	Auftragsergebnis (Istwerte)
Obergruppe	Betriebsdaten
Objekt	<b>Kapazitätseinsatz</b>
<b>Erläuterung</b>	
<p>Als Gegenstück zum Objekt Auftragsfortschritt beschreibt der Kapazitätseinsatz den zeitmäßigen Kapazitätsverbrauch im Lebenszyklus der Auftragsabwicklung. Hierbei werden Nutzungszeiten von Maschinen, Arbeitsplätzen, Personen und Ressourcen im Zuge der Auftragserstellung dokumentiert. Zur Klassifikation der Zeitartern werden produktive und unproduktive unterschieden. Die Perspektive des Kapazitätseinsatzes dokumentiert dabei die Leistung einzelner Arbeitsplätze in einer Periode.</p>	
<b>Quelle:</b> Eigene Darstellung in Anlehnung an (Schuh und Stich 2012a)	

Auftragsinformation	
Klasse:	Auftragsergebnis (Istwerte)
Obergruppe	Betriebsdaten
Objekt	<b>Auftragsleistung</b>
<b>Erläuterung</b>	
<p>Durch den Vergleich von Soll-, Plan- und Vorgabewerten zum Auftragsfortschritt und Kapazitätseinsatz ergeben sich Messgrößen zur Ergebnisbeurteilung. Kennzahlen, wie Ausschussquote, Geschwindigkeit, Durchsatz, Durchlaufzeit, Belegungsgrad, Liegezeiten, Stillstände, Nutzgrad, Personaleinsatz, Rüstgrad etc. bewerten dabei die Produktivität des Auftrags.</p>	
<b>Quelle:</b> Eigene Darstellung in Anlehnung an (Gottmann 2016)	

Auftragsinformation	
Klasse:	Auftragsergebnis (Ist.-Werte)
Obergruppe	Betriebsdaten
Objekt	<b>Produktqualität</b>
<b>Erläuterung</b>	
<p>Zur Sicherung der Qualität werden fertigungsbegleitende Messwerte ausgewertet. Die ermittelte Prüfdaten sollen die Produktqualität und Fabrikationspflicht während der Herstellung sicherstellen. Hierbei ergeben sich Kennzahlen, welche geplante Produkteigenschaften (Soll.-Werte der Prüfmerkmale) mit den realisierten Merkmalswerten (Ist.-Werte der Messung) abgleichen. Merkmalsbezogene Qualitätsregelkarten definieren das Qualitätsniveau für das Produkt.</p>	
<b>Quelle:</b> Eigene Darstellung in Anlehnung an (Pfeifer und Schmitt 2010, S. 375–434)	

Auftragsinformation	
Klasse:	Auftragsergebnis (Istwerte)
Obergruppe	Betriebsdaten
Objekt	<b>Prozessqualität</b>
<b>Erläuterung</b>	
<p>Vergleichbar zur Produktqualität, stellt die Prozessqualität bewerte Ergebnis der bisherigen Aktivitäten im Auftragserstellungsprozess dar. Abweichend zur Produktqualität fokussiert die Prozessqualität dabei Kennzahlen arbeitsteiliger oder stetiger Prozessaktivitäten. Trendverläufe, Echtzeitdaten oder statistische Qualitätsregelkarten beschreiben das Qualitätsniveau für den betroffenen Prozess.</p>	
<b>Quelle:</b> Eigene Darstellung in Anlehnung an (Pfeifer und Schmitt 2010, S. 375–434)	

Auftragsinformation	
Klasse:	Auftragsergebnis (Ist.-Werte)
Obergruppe	Betriebsdaten
Objekt	<b>Einsatzmengen und Verbräuche</b>
<b>Erläuterung</b>	
<p>Zur Ermittlung dispositiver Materialbestände, müssen verarbeitete Materialeinsätze der Fertigung dokumentiert werden. Materialentnahmen der Herstellung senken verfügbare Materialbestände. Erfasste Materialbewegung der auftragsbezogenen Eingangskomponenten jeweiliger Fertigungsstücklistenpositionen beeinflussen somit als Materialverbräuche die betrieblichen Bestände. Die Art der Verbrauchsbuchung definiert dabei die Genauigkeit der virtuellen Materialbestände. Eine Übersicht formaler Buchungsarten zur Abbildung von Materialverbräuchen der Anwendungssysteme ist in A23 verdeutlicht</p>	
<b>Quelle:</b> Eigene Darstellung in Anlehnung an (Laurence 1981)	

## A22. ZEITANTEILE DER DURCHLAUFZEIT

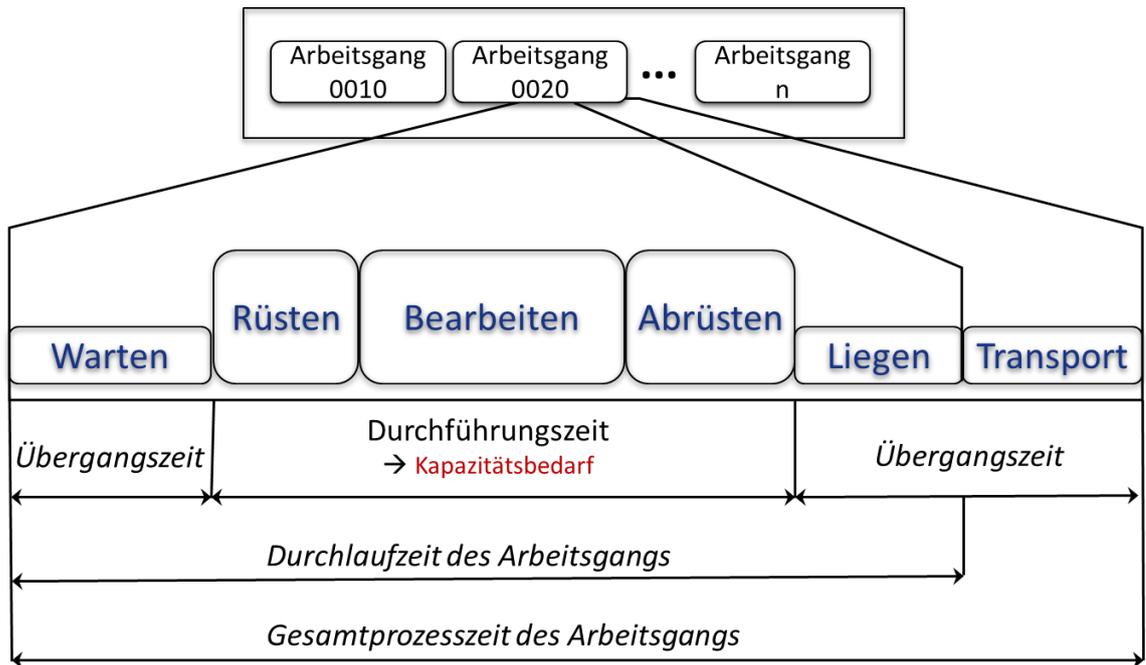


ABBILDUNG 50 - ZEITANTEILE EINES PPS-ARBEITSGANGS

(vgl. Wiendahl 2012, S. 111)

## A23. MATERIALVERBRAUCH IN DER FERTIGUNG

### Arten der Materialverbrauchsbuchung für Fertigungsaufträge

<b>Methode</b>	Inventur	<b>Auslöser</b>	zyklisch / terminiert
<b>Anwendungsfall</b> Für betroffene Komponenten werden keine Materialbewegungen im operativen Herstellungsprozess erfasst. Im Zuge von Inventurtätigkeiten, werden aktuelle Bestandsdaten erhoben und anschließend die Materialbestände (Differenzen) im Anwendungssystem erfasst.	<b>Verbrauchsnachweis</b>	anonym	
	<b>Automatisierung der Verbrauchsbuchung</b>	keine (manuell)	
	<b>Bestandsgenauigkeit</b>	IST-Werte werden im Rahmen der Inventur erfasst. Die Bestandsabweichung steigt zwischen den Inventurzeitpunkten mit der Auftragsfrequenz für betroffene Artikel	

<b>Methode</b>	rückwärts I	<b>Auslöser</b>	ereignisorientiert
Nach Beendigung eines Fertigungsauftrages werden die zugehörigen Materialeinsätze lt. Fertigungsstückliste als Materialverbräuche erfasst.	<b>Verbrauchsnachweis</b>	Auftragsbezug	
	<b>Automatisierung der Verbrauchsbuchung</b>	automatisiert	
	<b>Bestandsgenauigkeit</b>	Es werden Soll-Werte lt. Stückliste/Rezeptur verbraucht. Mehr- und/oder Minderbedarfe der Materialeinsätze aus Über-/Unterproduktion oder Ausschuss, werden nicht erfasst und führen u.U. zu Bestandsdifferenzen	

<b>Methode</b>	rückwärts II	<b>Auslöser</b>	zyklisch
<b>Anwendungsfall</b> pro Schicht werden alle bis dato angefallenen Materialeinsätze lt. Fertigungsstückliste für einen Verantwortungsbereich, eine Artikelgruppe oder eine Bestandskategorie durchgeführt	<b>Verbrauchsnachweis</b>	Auftrag	
	<b>Automatisierung der Verbrauchsbuchung</b>	manuell / automatisiert	
	<b>Bestandsgenauigkeit</b>	vgl. Methode: rückwärts I	

<b>Methode</b>	vorwärts I	<b>Auslöser</b>	zeitpunktorientiert
<b>Anwendungsfall</b> Im Zuge der Auftragsfreigabe oder zu Beginn der AG-seitigen Bearbeitung, werden die zugehörigen Materialeinsätze lt. Fertigungsstückliste verbucht	<b>Verbrauchsnachweis</b>	Auftrag	
	<b>Automatisierung der Verbrauchsbuchung</b>	manuell / automatisch	
	<b>Bestandsgenauigkeit</b>	vgl. Methode: rückwärts I	

<b>Methode</b>	vorwärts II	<b>Auslöser</b>	ereignisorientiert
<b>Anwendungsfall</b>	Zur Deckung von auftragsbezogenen Komponentenbedarfsmengen, werden Materialeinsätze vorbereitet (Kommissionierung/Materialausgabe. Magazin) Die entnommenen Mengen gehen vor Auftragsbeginn als Ist-Verbräuche in den auftragsbezogenen Materialbedarf ein.	<b>Verbrauchsnachweis</b>	Auftrag
		<b>Automatisierung der Verbrauchsbuchung</b>	manuell / (teil-) automatisiert
		<b>Bestandsgenauigkeit</b>	Ist-Wert. Anfallende Restmengen bilden dabei u.U. Mehrverbräuche zum Materialeinsatz.

<b>Methode</b>	Losbezug Soll	<b>Auslöser</b>	ereignisorientiert
<b>Anwendungsfall</b>	Nach Herstellung einer definierten Ausbringungsmenge (z.B. Transportmenge, Losgröße oder auch pro Stück) wird der zugehörige Materialverbrauch als Materialeinsatz lt. Sollvorgabe der Fertigungsstückliste durchgeführt.	<b>Verbrauchsnachweis</b>	Auftragsmenge
		<b>Automatisierung der Verbrauchsbuchung</b>	manuell /automatisch
		<b>Bestandsgenauigkeit</b>	Soll-Wert lt. Stückliste/Rezeptur mit zeitlicher Nähe zum realen Verbrauchszeitpunkt

<b>Methode</b>	Losbezug Ist	<b>Auslöser</b>	ereignisorientiert
<b>Anwendungsfall</b>	Nach Herstellung einer definierten Ausbringungsmenge (z.B. Transportmenge, Losgröße oder auch pro Stück) wird der zugehörige Materialverbrauch als Ist-Wert erfasst. Dieser Wert wird als Materialeinsatz für den FA verbucht	<b>Verbrauchsnachweis</b>	Auftragsmenge
		<b>Automatisierung der Verbrauchsbuchung</b>	manuell/(teil-)automatisch
		<b>Bestandsgenauigkeit</b>	Ist-Wert im Fertigungsprozess

<b>Methode</b>	Auftragsende Ist	<b>Auslöser</b>	Ereignis
<b>Anwendungsfall</b>	Nach Beendigung eines Fertigungsauftrages werden die zugehörigen Materialeinsätze als gemessene Ist.-Werte verbucht. Durch Zählen, Messen, Wiegen im Herstellprozess wird der auftragsbezogene Materialverbräuche nachträglich systemseitig dokumentiert.	<b>Verbrauchsnachweis</b>	Auftrag
		<b>Automatisierung der Verbrauchsbuchung</b>	manuell/automatisiert
		<b>Bestandsgenauigkeit</b>	Auftragsbezogene Ist.-Werte im Fertigungsprozess nach Auftragsende. Bei kurzen Durchlaufzeiten ist die Genauigkeit hoch. Bei langen Durchlaufzeiten entsprechend klein(er)

TABELLE 43 - MATZIERALVERBRÄUCHE IN ANWENDUNGSSYSTEMEN

(Eigene Darstellung)

## **A24. AUFGABEN UND DATENOBJEKTE EINES MES**

### **1. Auftragsmanagement**

Hauptaufgaben:

- I. Transport der auftragsbezogenen Soll-, Vorgabe- und Planwerte während der Auftragsabwicklung nach Auftragsfreigabe.
  - ➔ Datenobjekte des Auftragsmanagements werden zur Verwaltung von Auftragsdaten und Auftragsvorgabewerten (Sollwerten) genutzt.
- II. Erfassung, Dokumentation und Bewertung aller auftragsbezogenen Ergebnisse während der Auftragsabwicklung
  - ➔ Datenobjekte des Auftragsmanagements werden zur Übernahme von Soll-Werten sowie zur Erfassung, Bewertung und Archivierung von Ist.-Werten der Produktionsaufträge<sup>83</sup> genutzt.

Die konkreten Auftragsinhalte des Auftragsmanagements orientieren sich dabei an der Struktur A21. Das Auftragsmanagement im MES bildet die Basis für regelgebundene Prozessfunktionen. Das Datenobjekt „Auftrag“ bildet das Verbindungselement zwischen Ressourcenbedarf (Mengen- und Kapazitätsbedarf) und dem Ressourcenverbrauch (Mengen- und Zeitenverbrauch). Der (Fertigungs-)Auftrag vereint dabei als „Datensammler“ Soll.- und Ist,-Werte zur Bewertung der Leistung und definiert Planwerte zur situationsangepassten Vorgabe der Prozessziele (MPDV-MF 2016), (MPDV-BDE 2016) (Thiel et al. 2008), (Kletti 2007).

---

<sup>83</sup> Beinhaltet Fertigungs-, Kommissionier, Transport-, Instandhaltungs-, Reparatur, Projekt-, Prüf-, Wartung-, Gemeinkosten-, Kapazitäts-, Sonstige Aufträge in fertigungsnahen GP

## 2. Feinplanung

Hauptaufgaben:

- I. Gestaltung der logistischen Prozessstabilität in der Fertigung
  - Datenobjekte zur Verwaltung von Plan-, Überwachungs-, Anpassungs- und Analysewerten zur Gestaltung der arbeitsplatzbezogenen Auftragsreihenfolge
- II. Harmonisierung des Planungskonflikts der dispositiven Produktionsziele (Termintreue ↔ Auslastung ↔ Durchlaufzeit)
  - Datenobjekte zur Auflösung von Planungskonflikten

Die Tabelle strukturiert die Datenobjekte der Feinplanung

<b>Feinplanung</b>			
<b>Richtlinien</b>	<b>Angebote</b>	<b>Bedarfe</b>	<b>Status- informationen</b>
Prioritätsziele	Plankapazitäten	geplante Aufträge/AG	Aufträge
Planbedingungen	Überkapazitäten	ungeplante Aufträge/AG	Maschinen
Regelmethode	Unterkapazitäten	Kapazitätspuffer	Material
Intensität der Planung	Plan-Bestand	Materialpuffer	Betriebsmittel
	Bestandsabweichungen	Energie	Personal
<b>Planungskonflikte</b>			
Überlastung	Verspätung	Planbedingung	Ressourcen- verfügbarkeit
Unterlastung	Verfrühung	Prioritätsziel(e)	Material- verfügbarkeit

**TABELLE 44 - MES DATENOBJEKTE FEINPLANUNG**

Die Aufgabe der Feinplanung wird durch einen regelbasierten Ausgleich zwischen Angebot (Kapazität) und Bedarf (AG) geschaffen (Gronau und Weber 2018). Mit Hilfe des Zugriffs auf aktuelle Status planungsrelevanter Datenobjekte, werden bestehende Planungskonflikte der Belegungsplanung (Auftragsreihenfolge) zielgetrieben aufgelöst. Anpassungsfunktionen zur Optimierung bestehender Konflikte können als Handlungsalternativen genutzt werden. Funktionen zur Lösung von Planungskonflikten sind dabei:

Umplanen / Ressourcenwechsel, Splitten / Mengenteilung, Zusammenführen / Mengenvereinigung, Verschieben / Planterminänderung, Parallelisieren / Mengen- & Ressourcenteilung, Verkürzen / Stillstandssenkung, Verlängern / Verlangsamung, Beschleunigen / Durchsatzerhöhung, Auslagern / Fremdvergabe, Überspringen / Auslassen, Ergänzen / Hinzufügen.

Die Lösungsfindung einer zielgetriebenen Planung wird dabei durch Intensität und Automatisierungsgrad der Planungsaktivitäten definiert. Der Automatisierungsgrad kann manuell, unterstützt, halbautomatisch oder automatisch durchgeführt

werden. Dabei nimmt der Einsatz der menschlichen Planungsarbeit zunehmend ab. Die Intensität der Planung definiert die Anzahl realer Einflussgrößen, welche im Rahmen des virtuellen Planungsprozesses berücksichtigt werden. Bspw. ist die Planungsintensität im Falle berücksichtigter Personalverfügbarkeiten zur AG-Durchführung (Anzahl/Qualifikation) größer als ohne. Weiterhin können Größen wie Restlaufzeiten, Werkzeugverfügbarkeiten, dynamische Rüstwechselzeiten, geplante Stillstände, Aktivitäten der Materialbereitstellung, oder Transport- und Übergangszeitenzeiten als Eingangsparameter die Planungsintensität zu erhöhen.

(MPDV-HLS 2016)

## Betriebsmittelmanagement

### Hauptaufgaben

- I. Abbildung der Eigenschaften, Verfügbarkeiten und Kapazitäten von Ressourcen im Fertigungsumfeld
  - Datenobjekte zur Verwaltung aller Nutzdaten der Betriebsmittel
- II. Unterstützung der betrieblichen Instandhaltung
  - Datenobjekte zur Sicherung von Inspektion, Wartung, Reparatur und Optimierung von Betriebsmitteln wie z.B. Maschinen, Werkzeuge

<b>Nutzdaten der Betriebsmittel</b>				
<b>Stammdaten</b>	<b>Bewegungsdaten</b>	<b>Konfigurationsdaten</b>	<b>Bestandsdaten</b>	<b>Änderungsdaten</b>
Eigenschaften	Status	Aktivitätenkalender	Einsatzbelege	Lagerort
Stückliste	Kapazität / Verfügbarkeit	Instandhaltungsmaßnahmen	Wartungsbelege	Zuordnung
Zuordnung	Anzahl	Verschleißtyp	Historie	Reservierung
Typ	Objektbezug	Überwachungstyp	Lebenslauf	Bedarfe

TABELLE 45 - MES DATENOBJEKTE BETRIEBSMITTELMANAGEMENT

Als Gegenpart des Auftrages bilden Betriebsmittel das bedarfsdeckende Datenobjekt im Fertigungsprozess eines Produktes. Der Einsatz betrieblicher Ressourcen verursacht zudem einen eigenen Bedarf im Sinne von Instandhaltungstätigkeiten. Dieser wird durch einmalige oder zyklische Maßnahmen gedeckt. Aktivitäten der geplanten oder ungeplanten Zustandspflege sowie der damit verbundene Ressourceneinsatz werden durch die Datenobjekte der Betriebsmittel überwacht, koordiniert und dokumentiert.

(MPDV-WRM 2016)

## Materialmanagement

### Hauptaufgaben

- I. Sicherstellung Rückverfolgbarkeit des Herstellungsprozesses
  - Datenobjekte zur Verwaltung der Merkmalsinformationen von Fertigungslosen
- II. Unterstützung der Transportlogistik
  - Datenobjekte zum Ausgleich von Materialangebot und –nachfrage

<b>Materialinformationen (Fertigungslose im Lebenszyklus)</b>		
Entstehung	Bestand	Verwendung
Eigenschaft	Einsatzbedarf	Eigenschaften
Status	Reichweite	Status
Beziehung	Materialpuffer / Lager	Beziehung
Menge	Transportbedarf	Menge
Historie	Transportangebot	Historie

TABELLE 46 - MES DATENOBJEKTE MATERIALLMANAGEMENT

Der Begriff *Material* beschreibt eine bedarfsauslösende **und** -deckende Ressource des Fertigungsauftrages gleichermaßen. Zum einen als Output oder eben als Input eines Bearbeitungsschrittes. Aus Perspektive des Materials gilt es drei grundlegende Zustände der Entstehung, Pufferung/Bestand und Verwendung (des Verbrauchs) pro Fertigungsschritt zu unterscheiden. Dieser Lebenszyklus wird für Eingangs- und Ausgangsmaterialein geplant, überwacht und dokumentiert, um materialbezogene Ereignisse im Zeitverlauf zu koordinieren. Spezifische Materialeigenschaften, wie bspw. Beziehungen zu vorgelagerten oder nachfolgenden Bearbeitungsschritten (Rückverfolgbarkeit, Chargendokumentation, Seriennummern Tracking & Tracing) werden im Rahmen der Historienbildung dokumentiert. Zudem werden Materialbewegungen und Bestandinformationen zu (WIP)-Beständen verwaltet.

(MPDV-MPL 2016)

## Personalmanagement

### Hauptaufgaben

- I. Darstellung der Eigenschaften, Qualifikationen und Verfügbarkeiten von Personen
  - Datenobjekte zur Verwaltung personenbezogenen Informationen
- II. Unterstützung der Personalzeitwirtschaft
  - Datenobjekte zur Planung, Überwachung und Dokumentation der Anwesenheit, des Einsatzes, des Aufwands und der Entwicklung von (Fertigungs-) Personal.

Personalinformationen		
Personalstamm	Personalbedarf	Personalentwicklung
Personaleigenschaften	Schichtplan	Personalqualität
Qualifikationen	Einsatzplan	Personalquantität
Arbeitszeitmodelle	Anwesenheit	Personalaufwand
Entlohnungsmodelle	Abwesenheit	Personalzuordnung

TABELLE 47 - MES DATENOBJEKTE PERSONALMANAGEMENT

Zusammen mit Betriebsmitteln und Material bilden Personen die dritte Säule des Kapazitätsangebots im Fertigungsprozess. Die Spezifika der Ressource Personal sind dabei die Variabilität der Verfügbarkeit, die des Einsatzes sowie der Kosten (Vergütung). Darüber hinaus wird die Ressourceneffizienz durch Maßnahmen zur Sicherung und/oder Steigerung der individuellen Leistung<sup>84</sup> beeinflusst. Aktivitäten zur operativen und strategischen Zuordnung von Personalkapazitäten werden durch die Datenobjekte des Personalmanagements unterstützt. Diese haben als Ziel die Personalleistung der Fertigung dauerhaft sicherzustellen. Dazu werden die Bestandteile Qualifikation (Kompetenz), Motivation (Anreize) und Legitimation (Berechtigung) als Schlüsselfaktoren genutzt.<sup>85</sup>

(MPDV-HR 2016), (MPDV-PEP 2016), (MPDV-LLE 2015)

<sup>84</sup> Leistung = Kompetenz x Motivation x Möglichkeit (Legimitation) North et al. 2013, S. 49.

<sup>85</sup> Weitere Inhalte außerhalb der fertigungsdienlichen Personalfunktionen (Lohnbuchhaltung, Abrechnung etc.) werden nicht detailliert

## Datenerfassung

### Hauptaufgaben

- I. Semantisches Informationsmodell zur Integration der Datenstationen im Fertigungsprozess
  - Datenobjekte zur Integration physischer und virtuellen Prozessteilnehmern der Fertigung
- II. Erfassung von Daten aus dem Prozess der Auftragsbearbeitung sowie Bereitstellung von Bearbeitungsprogrammen und Einstellwerten für Arbeitsstationen
  - Datenobjekte zum Austausch von Prozessinformationen für Arbeitsplätze, Maschinen, Personen, Produkte, Material, Messwerte und Prozesse

Die Datenerfassung und –verarbeitung verbindet Inhalte realer Fertigungsprozesse mit denen betrieblicher Anwendungssysteme. Zielsetzung hierbei ist der Zugriff und die Verteilung von Informationen zur Bildung von technisch-organisatorischen Regelkreisen der Fabrik. Die Datenerfassung ordnet den Eingabe- und Ausgabedaten eine fachliche Bedeutung (Semantik) zu. Als klassisches Beispiel kann hierbei die Verarbeitung eines Sensorsignals zur Ableitung eines realen Maschinenzustandes (Maschine im Betrieb oder im Stillstand) genannt werden. Die technische Anbindung und logische Übersetzung ermöglicht die Integration von Prozessinformationen und ermöglicht die Feinplanung und Zustandsüberwachung. Die dargestellten Verarbeitungsebenen des Integrationskanals, der Datenobjekte, der Informationsobjekte und der Objektdetails sind dabei Bestandteil der Anwendungslogik eines MES. Sie übernehmen eine Übersetzungsfunktion von kontextfreien Daten hin zu entscheidungstauglichen Informationen des GP. Die Bewertung der Informationen wird dabei in Form der Leistungsanalyse vorgenommen.

<b>Produktionsdatenintegration</b>			
<i>automatische / manuelle Verarbeitung</i>			
Integrationskanal (Technische Quelle)	Datenobjekt (Logische-Syntax)	Informationsobjekt (Prozess-Semantik)	Objektdetail (Prozess-Kontext)
Lokale Datenträger	Mengenzähler	Lagerort	Auftragsstatus
	Digitaler Input	Los	Maschinen-/Arbeitsplatzstatus
API Application Programming Interface	Digitaler Output	Arbeitsplatz/Maschine	Zykluszeit
Serielle Kommunikation	Mengentakt	Ereignis	Mengenqualität
	Messwert	Material	Messwert Prozessqualität
HMI Human Maschine Interface Industrie-PC	Status	Auftrag / AG	Messwert Produktqualität
OPC Open Platform Communications	Ereignis-Trigger	Qualitätsmerkmal	Personenstatus
PLC Programmable Logic Controller (SPS)	Dateitransfer	Person	Bearbeitungsprogramm / DNC / Einstellung
Auto-ID		Energie	Ressourcenstatus
Individuelle Protokollbausteine und Industrie- Standards (MQTT, JSON etc.)	Einzelwert	Ressource	Verbrauchs- / Ausbringungsmenge
	Manuelle Eingabe	Transport	Prozessereignis

TABELLE 48 - MES DATENOBJEKTE - DATENERFASSUNG

(MPDV-MDE 2016), (MPDV-PCC 2015), (MPDV-PDV 2016), (MPDV-DNC 2016)

## Leistungsanalyse

### Hauptaufgaben

- I. Abbildung des Wertschöpfungsstatus der Produktion
  - Datenobjekte zur Abbildung eines hierarchischen Überwachungssystems
- II. Detaillierung oder Verdichtung von Produktionsdaten
  - Datenobjekte zur Überwachung und Analyse von Produktionszielen

Leistungsanalyse		
Qualität	Kosten	Zeit
Produktqualität	Herstellkosten	Reaktionsfähigkeit
Prozessqualität	Produktivität	Durchlaufzeit
Ressourcenqualität	Auslastung	Termintreue
Systemqualität	Verfügbarkeit	Bestand

TABELLE 49 - MES DATENOBJEKTE LEISTUNGSANALYSE

Durch die Zusammenführung vergangener und aktueller Bezugsgrößen sowie künftiger Plangrößen werden die drei Hauptziele der Produktion Qualität, Aufwand/Kosten und Zeit gemessen. Die Granularität der Ergebnisse wird dabei durch die perspektivische Entfernung zum realen Prozess definiert (Einzelwerte vs. Verdichtung). Überwachung und Analyse der Leistung fokussieren den Informationstransfer aus Erfahrungen (Historie), Vernetzung (Korrelation), Kontext (Zielbezug) und Erwartung (Prognose) zur Unterstützung des Wissensausbaus im Fertigungsmanagement. Der Detaillierungsgrad erstreckt sich vom einzelnen Prozessereignis (Buchungsposten) bis hin zur verdichteten und korrelierten Zustandsbewertung (Kennzahl). Die Leistungs-bewertung fokussiert dabei die Aufgaben der Regelkreiselemente „Überwachung“ und „Vergleich“.

(MPDV-BDE 2016; MPDV-EMG 2016; MPDV-HLS 2016; MPDV-MDE 2016; MPDV-MPL 2016; MPDV-QMG 2016; MPDV-WRM 2016)

## Qualitätsmanagement

### Hauptaufgaben

- I. Dokumentation und Korrelation fertigungsrelevanter Qualitätswerte  
→ Datenobjekte zur Verwaltung prüfungsrelevanter Qualitätsmerkmale
- II. Integration qualitätsorientierter Maßnahmen in den Herstellprozess  
→ Datenobjekte zur Gestaltung von Prüfaufwand und Prüfertrag

<b>Fertigungsqualität</b>			
Strukturelement	Objektbezug	Ergebnis	Aufgaben
Prüfmerkmal	Auftrag	Messwert	Dokumentation
Prüfplan	Prozess	Prozessereignis	Überwachung / Analyse
Prüfanforderung	Ressource	Prüfaufwand	Reaktion
Erfassungsart	Artikel	Qualitätsgrad	Entwicklung

**TABELLE 50 - MES DATENOBJEKTE QUALITÄTSMANAGEMENT**

Qualitätsbezogenen Objekte greifen auf Informationen aus dem Fertigungsprozess zu. Das Erfassen und Bewerten von Messdaten (Prüfdaten der Prüfmerkmale) dient als Grundlage zur Sicherung und Entwicklung der Qualität. Der regelnde Eingriff in nicht tolerierte Messergebnisse wird durch das Qualitätswesen zum Ausbau stabiler und effizienter Produktionsprozesse genutzt. Dabei wird vornehmlich die Qualitätssicherung sowie –steigerung der Prozess- und Produktqualität verfolgt. Gleichzeitig besteht das Ziel die entstehenden Qualitätskosten zu senken. Dazu können Qualitätsertrag und Qualitätsaufwand in ein bewertbares Verhältnis gestellt und analysiert werden.

(MPDV-QMG 2016)

## Informationsverteilung

### Hauptaufgaben

- I. Sicherstellung des horizontalen und vertikalen Datentransportes zum Austausch von Informationen zwischen den Teilnehmern der Unternehmensebenen in der Automatisierungspyramide
  - ➔ Datenobjekte zum Aufbau, dem Betrieb, der Überwachung und der Pflege von Informationsschnittstellen für Systemteilnehmer und GP
- II. Senkung nicht wertschöpfender Auftragszeiten, durch Steigerung der operativen Reaktionsgeschwindigkeit bei Prozessstörungen
  - ➔ Datenobjekte zur regelbasierten Verarbeitung von Prozessereignissen. Semantische Integration von Zustandsänderungen im GP

Informationsverteilung		
Prozessinstanz	Prozessinhalt	Aufgaben
Planungssystem	Ereignis	Reaktion
Erfassungssystem	Ergebnis	Anpassung
Mobiler Client	Regel / Bedingung	Dokumentation
Lokaler Client	Planwert	Info-Transport
Maschine/Arbeitsplatz	Ist.-Wert	Überwachung
Freie Datenstation	Nutzdaten	Darstellung

TABELLE 51 - MES DATENOBJEKTE INFORMATIONS MANAGEMENT

Die Ereignisse einzelner Datenstationen werden aufgabenorientiert überwacht. Durch Definition von Bedingungen und zugehörigen Verarbeitungsregeln werden Ad-hoc Entscheidung sowie Informationsaustausch zwischen Datenstationen ermöglicht. Operative Ergebnisse aus dem Informationsprozess dienen dabei als Anlass Prozessinformationen darzustellen, zu korrigieren, zu dokumentieren, diese zu transportieren oder auf diese zu reagieren. Das Informationsmanagement sichert die regelbasierte Datenverteilung zwischen dem System und Systemteilnehmern. Zur Anwendung der Businesslogik stellt das Informationsmanagement die Infrastruktur aus Perspektive der Datenverarbeitung bereit. Die semantische Integration wird hierzu unterstützt.

(MPDV-MLE 2015), (MPDV-ESK 2015), (MPDV-PCC 2015)

## Energiemanagement

### Hauptaufgaben

- I. Analyse von Energiebedarfen und –verbräuchen im Umfeld der Produktion
  - Semantische Integration von Plan- und Leistungsdaten für Energieressourcen
- II. Aktive Gestaltung des Ressourceneinsatzes durch Dokumentation und Planung der energetischen Verbräuche im Herstellprozesses
  - Datenobjekte zur Korrelation von Energieverbräuchen und Produktionsereignissen

Energiedatenverwaltung		
Art Verbrauchsbeleg	Ressourceneinsätze	Ermittlungsaufgaben
manuell	für Auftrag / Artikel	Leistung
berechnet	an Arbeitsplatz / Maschine	Einsatz/Verbrauch
kumuliert	aus Zähler-Hierarchie	Planwert
automatisiert	in Abhängigkeit von Messwert (Prüfmerkmal) und/oder Output	Einflussgröße/Störgröße

TABELLE 52 - MES-DATENOBJEKTE ENERGIEMANAGEMENT

Als erweiterte Objekte des Betriebsmittelmanagements stellen Energie-ressourcen ihre Leistung zur Versorgung der Fertigungsressourcen bereit. Mittels Produktionsdatenintegration werden Verbrauchs- und Leistungsdaten (Energiedaten) erfasst. Als konkrete Aufgabe besitzt das Energiemanagement die Analyse zwischen abhängigen und unabhängigen Energieverbräuche der Produktion. Analyseergebnis werden zur Gestaltung energetischer Ressourceneinsätze genutzt. Dabei können bspw. Verbrauchswerte von Strom-, Wasser-, Druckluft-, Gas-, Temperaturquellen verarbeitet werden. Durch die hohe Abhängigkeit der Fertigung und den starken Einfluss auf die Herstellkosten ist hierdurch die Sonderstellung der Ressource *Energie* begründet. Die Planbarkeit der Bedarfe und die Bewertung der Aufwände unterscheiden sich dabei von denen anderer Betriebsmittel. Als grundlegendes Ziel wird im Energiemanagement die Ermittlung leistungsbezogener Bedarfe verfolgt. Der Einsatz soll hierzu dokumentiert, analysiert und optimiert werden (MPDV-EMG 2016) (MPDV-WRM 2016).

## A25. Y-MODELL

Y-Modell des CIM-Ansatzes nach (Scheer 1987)

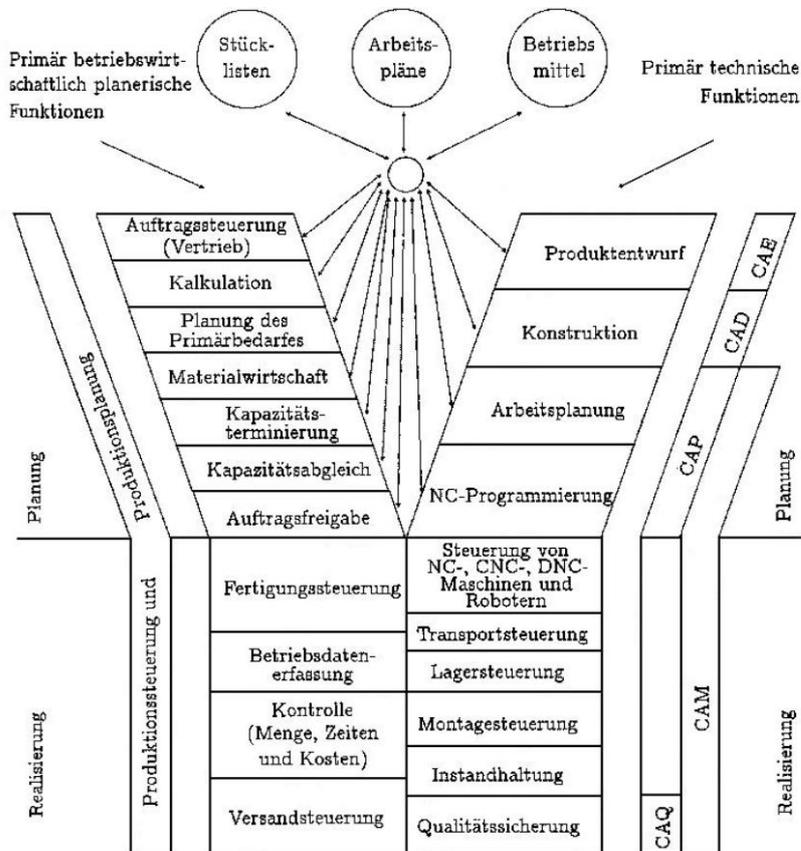


ABBILDUNG 51 - Y-MODELL NACH A.W. SCHEER

Das sogenannte Y-Modell beschreibt den Integrationsansatz zwischen betriebswirtschaftlich-technischen Arbeitsinhalten eines Industriebetriebs. Die Namensgebung Y wird dabei aus der optischen Ähnlichkeit zum dem Buchstaben Y abgeleitet. Die beiden oberen Schenkel des Buchstaben münden bei zunehmender Nähe zueinander in einer gemeinsamen Verbindung. Die Grundidee verbindet dabei, einen Schenkel betriebswirtschaftlicher Aufgaben mit denen der technischen. Die zunehmende Verbindung symbolisiert gleichzeitig den zunehmenden Fortschritt im Prozess der Produktentstehung. Darüber hinaus wird einzelnen Phasen der Produktentstehung wie bspw. der Konstruktion, der Arbeitsplanung, der Fertigungssteuerung oder der Qualitätssicherung ein Anwendungssystemtyp zur Funktionsunterstützung zugeordnet. Die CIM Vision einer vollständig computergestützten Produktentstehung fokussiert dabei eine integrierte Datenhaltung und definierte Schnittstellen im GP. Als datentechnische Grundlagen werden die betrieblichen Nutzdaten der Stückliste und Arbeitspläne sowie die der Betriebsmittel aufgeführt. Diese Datenobjekte der PPS bilden die Grundlage einer integrierten Auftragsabwicklung im Austausch mit den beteiligten Datenstationen im GP der Wertschöpfung.

**A26. PRODUKTIONS DATENMANAGEMENT**

Beitrag der Produktdatenverwaltung mit Hilfe von PDM-Systemen zu den PPS-Aufgaben in der fertigungsnahen Auftragsabwicklung

<b>Aufgabe im Rahmen der PPS</b>	<b>Datengrundlage aus PDM</b>
Bereitstellung der Artikelinformationen im Fertigungsprozess	Artikelmerkmale, Stücklistenpositionen, Komponenteninformationen
Durchführung von Qualitätsprüfungen am Produkt	Artikelmaße, Toleranzwerte, Passformate
Erstellung und Einhaltung von Arbeitsanweisung	Überführung von Funktionseigenschaften zur Ableitung von Verfahrensspezifikation und messbaren QFD-Inhalten
Bereitstellung und Nutzung von NC/DNC-Programmen	3D-Modelle als geometrische Datenbasis zur Überführung der Vorgabewerte für Bearbeitungsprozesse von Werkzeugmaschinen
Übernahme von Maschineneinstellenden	Einstellenden für maschinellen Arbeitsplätzen in den Fertigungsverfahren Urformen, Umformen und Stoffeigenschaften ändern als Einflussparameter der Fertigungstechnik übernehmen. (Druck, Temperatur, Heizkurve, Kühlstrecke, Vorschub, Haltezeit etc.)
Berechnung von Bearbeitungszeiten pro AG	Die Fertigungszyklen der Bearbeitungsschritte ergeben sich bei automatisierten Fertigungsprozessen aus den Vorgabeparametern der Maschinensteuerung (SPS). Nach Übergabe der produktbezogenen geometrisch-/verfahrenstechnischen Einstellenden des PDM und der Überführung in ein steuerungslesbares Format ergeben sich gleichzeitig die Soll-Zyklen pro Ausbringungsmengeneinheit

ABBILDUNG 52 - ZUORDNUNG PDM-DATEN IM PPS-UMFELD

## A27. AUFGABENKOORDINATION IN DER ORGANISATION

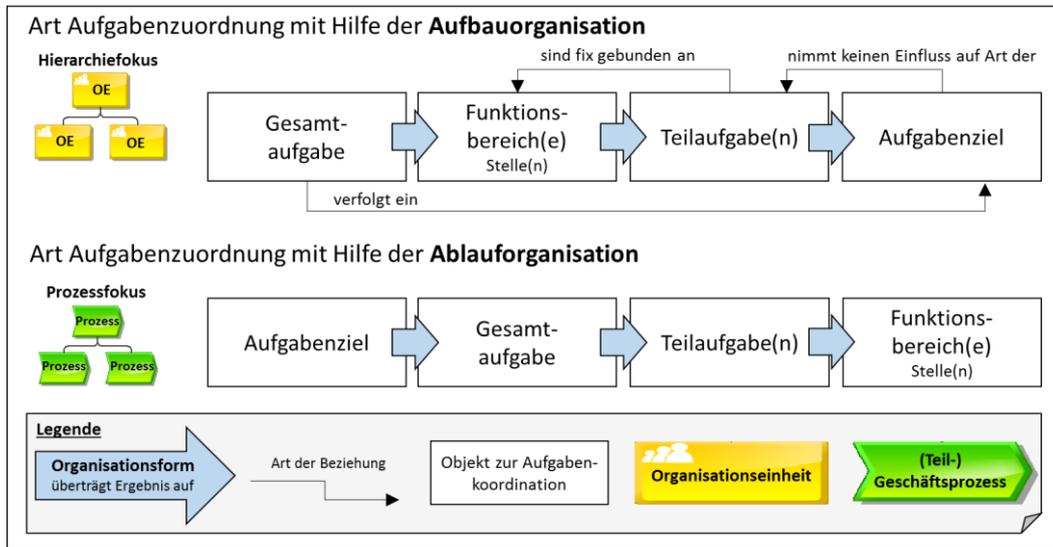


ABBILDUNG 53 - AUFBAU- VS. ABLAUFORGANISATION

Eigene Darstellung in Anlehnung an (vgl. Becker et al. 2012, S. 4–12)

Abbildung 53 beschreibt zwei unterschiedliche Organisationsformen zur Koordination arbeitsteiliger Aufgaben im Unternehmen. Als Ergebnis der unterschiedlichen Organisationsformen wird hierbei die prinzipielle Art der Arbeitsteilung definiert. Das Ergebnis der Arbeitsteilung beschreibt dabei, welche Aufgaben (Inhalt und Umfang) und Kompetenzen (Qualifikation, Verantwortung und Motivation) von welcher Organisationseinheit (Bereich, Abteilung, Stelle, Person) übernommen wird. Dabei ist zu berücksichtigen, dass die Anzahl der sich ergebenden Organisationsschnittstellen einen direkten Einfluss auf die Qualität, den Aufwand und die benötigte Zeit der Prozessleistung nimmt. Im Kontext der SF ergibt sich dabei eine direkte Auswirkung der Organisationsform, auf die Art der arbeitsteiligen Aufgabenkoordination (Aufbau vs. Ablauf) und zu den Potenzialen der SF (vgl. A04). Die Ausgangslage der dargestellten Latenz zur Entscheidungsaktivierung wird dabei unmittelbar durch die Art der Organisationsformen in Abbildung 53 beeinflusst.

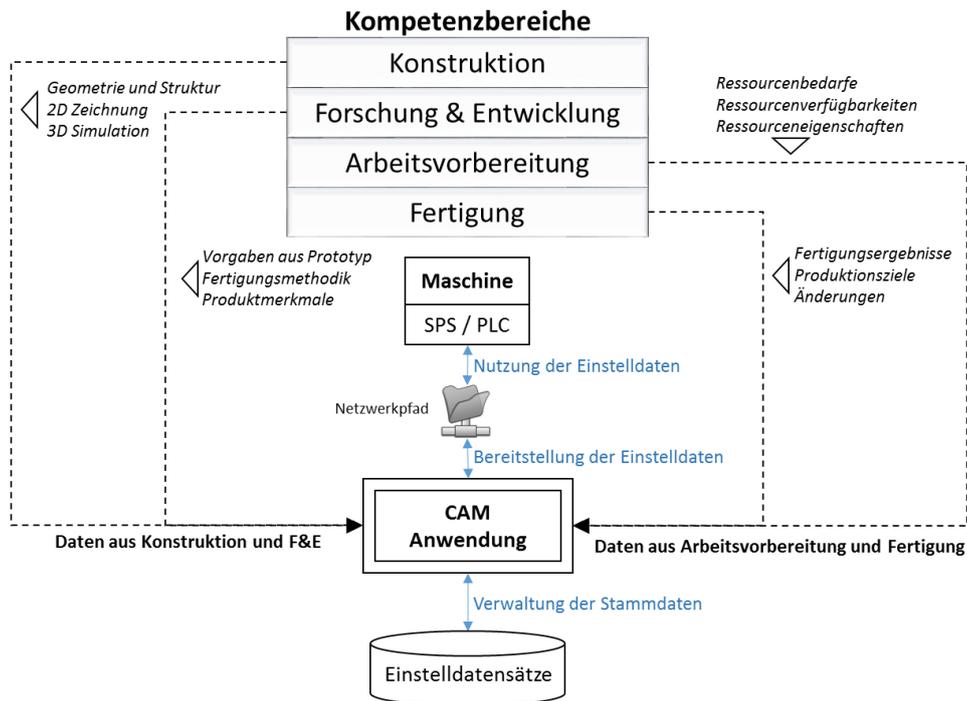
### Begriffe im Umfeld des GPM

Ein **Prozess** ist ein Satz von in Wechselbeziehung stehenden Mitteln und Tätigkeiten, die Eingaben (Input) in Ergebnisse (Output) umwandelt. Zu den im Ablauf verwendeten Mitteln (Ressourcen) können Personen, technische Anlagen, Technologien, Wissen, Material oder Entscheidungen gehören.

(vgl. 9001:2015-11)

Ein **GP** ist darüber hinaus dadurch gekennzeichnet, dass die inhaltlich abgeschlossene, zeitlich und sachlogische Folge der Aktivitäten zur Bearbeitung einer betriebswirtschaftlichen Fragestellung notwendig ist (vgl. Becker und Schütte 2004).

## A28. INTEGRATIONSANSATZ CAM



**ABBILDUNG 54 - STRUKTURDARSTELLUNG CAM INTEGRATION**

Eigene Darstellung in Anlehnung an (Sendler und Wawer 2008)

In Abbildung 54 wird der Informationsfluss einer CAM Integration schematisch dargestellt. Die CAM-Integration besitzt dabei die Aufgabe Einstellwerte als Ressourcen der Fertigungstechnik einheitlich und vollständig zu verwalten.

Ein Teil der Integrationsaufgabe besteht dabei in Richtung der Systemanwender. Hier wird die Pflege und Bereitstellung der Stammdaten durch die Benutzerschnittstelle (GUI) funktional unterstützt. Aufgaben zur Datenverwaltung, wie bspw. die Transformation einer CAD-Datei in eine NC-Datei wird mit Hilfe der CAM-Anwendung durchgeführt. Ein weiterer Teil der Integrationsaufgabe besteht in Richtung der Maschinensteuerung. Hierbei sollen Einstelldaten und Programmabläufe zur Ausführung der fertigungstechnischen Bearbeitung integriert werden. Lokale Maschinensteuerungen greifen hierbei über die Infrastruktur des Unternehmensnetzwerks (LAN) auf zentrale Einstelldaten zu.

Weitere Verwaltungsfunktionen zur Programmoptimierung, Versionierung, Upload/Download oder Berechtigungsprüfung der Einstelldatensätze sind dabei Bestandteil.

Im Falle einer bedarfsorientierten CAM Integration ist die logische Zuordnung von Einstelldaten zu auftragsbezogenen Ressourcendaten notwendig.

Der Begriff Direct Numerical Control (DNC) beschreibt die technische Fähigkeit Einstellparameter einer Fertigungsstation direkt in dessen Steuerung zu übermitteln.

Dabei wird vornehmlich die durchgängige Datenaustauschfähigkeit zwischen den Anwendungssystemen (CAD→CAM oder CAM→CAD) bis zur lokalen Maschinensteuerung (CAM→SPS oder SPS→CAM) beschrieben. Diese wird durch das Unternehmensnetzwerk (LAN) und die technische Schnittstellenfähigkeit der einzelnen Systemteilnehmer realisiert.

Für eine umfangreiche CAM Integration mit höherem Prozessreifegrad<sup>86</sup> werden darüber hinaus Logiken und Funktionen genutzt, um eine Verbindung zwischen den Ressourcenbedarfen eines Fertigungsauftrages (geplante Maschine, geplante(s) Werkzeug(e), zu produzierendes Bauteil, Zeichnung) und den spezifizierten Einstell Datensätzen herzustellen. DNC beschreibt diese Art der logischen Integration hingegen nicht.

Bei einer umfangreichen CAM Integration wird das Ziel verfolgt den Fertigungsprozess automatisiert mit den für den AG notwendigen Bearbeitungsparametern bedarfsgerecht zu versorgen. Zu den technischen Aufgaben sind hierbei auch organisatorische und strukturelle Integrationsaufgaben notwendig. Die Unterscheidung zwischen DNC und einer umfangreichen CAM-Integration ergibt sich dabei auch im Reifegrad der technischen und organisatorischen Interoperabilität (vgl. Kapitel 3.2)

Um einige Beispiele im Anwendungsfeld von CAM zu nennen werden nachfolgend Fertigungsressourcen aufgelistet, welche im praktischen Einsatz als Empfänger von DNC-Einstell Daten dienen: Bearbeitungszentren, Dreh-/Fräs-Schleifmaschinen (CNC), Pressen, Werkzeugmaschinen, Transportsysteme, Montage- und Schweißroboter, Abfüllanlagen, Öfen Brennkessel, Spritzgussmaschinen, Lagerverwaltungssysteme, Mühlen, etc. Als Teil der Industrialisierung ist der Einsatz digitaler Einstell Daten stark verbreitet und Teil der Automatisierung.

---

<sup>86</sup> Anwendungsszenarien im Vergleich:

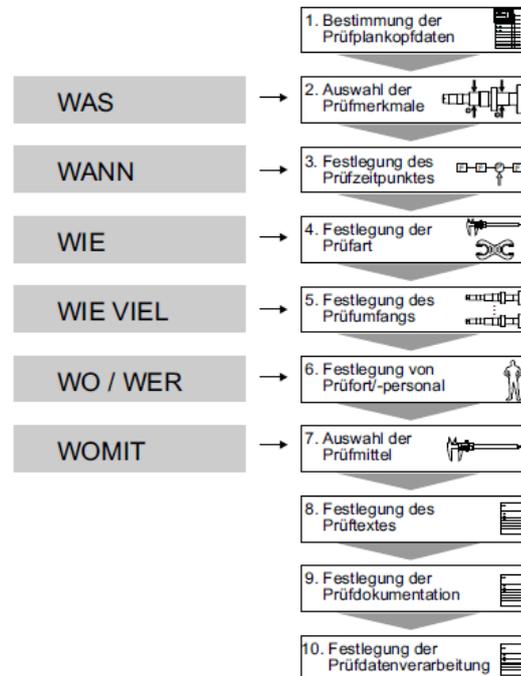
Vergleich einer halbautomatischen Einstell Datenverwaltung (DNC) durch Eingriff des Maschinenbedieners (Programmauswahl→Download→Ausführung→Upload) und einer prozessgetriebenen sowie schnittstellenfreien Vollintegration der automatischen Einstell Datenbereitstellung im Zuge des auftragsbezogenen Fertigungsprozesses (umfangreiche CAM Integration).

Der Prozessreifegrad kann in diesem Fall aus Kennzahlen wie Fehleranfälligkeit, Automatisierungsgrad, Wiederholgenauigkeit, Geschwindigkeit, Ergebnisqualität, Flexibilität, Abhängigkeit von implizitem Wissen, Betreuungsaufwand oder Einarbeitungsaufwand bewertet werden. Grundlage zur Entwicklung bildet dabei die organisatorische Interoperabilität

## A29. CAQ IM RAHMEN DER PPS

Fertigungsbegleitende Qualitätssicherung durch CAQ

*Darstellung der Aktivitäten zur Prüfplanerstellung*



**ABBILDUNG 55 - ABLAUF PRÜFPLANERSTELLUNG**

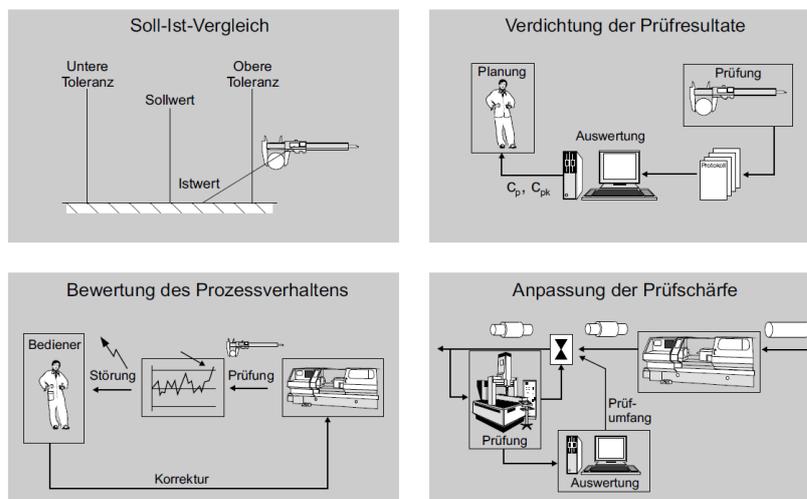
Quelle: (Pfeifer und Schmitt 2010) und (VDI 2619)

Abbildung 55 zeigt den normierten Ablauf zur Erstellung eines vollständigen Prüfplans. Innerhalb der einzelnen Aktivitäten werden Stammdaten zur Steuerung der künftigen Messwerterfassung vorgegeben. Vergleichbar zum Arbeitsplan des Fertigungsauftrages dient der Prüfplan als Vorlage zur Koordination des künftigen Prüfauftrages, der sogenannten Prüfanforderungen. Innerhalb der nachfolgenden Prüfdatenverarbeitung werden dann die vorgegebenen Stammdaten des Prüfplans genutzt, um Messwerte aus dem Herstellprozess zu erfassen. In Abhängigkeit von den merkmalsbezogenen Eigenschaften dienen hierbei variable Ausprägungen (z.B. die Länge [mm] als numerischer Größenwert) oder attributive Ausprägungen (Farbestufe [a-b-c] in einer definierten Skalierung) zur Bewertung der Qualität. Im CAQ-Umfeld werden unterschiedliche Automatisierungsgrade der Prüfdatenverarbeitung funktional unterstützt. Diese können grob in manuell – halbautomatisiert und vollautomatisiert unterschieden werden. So können manuelle Prüfungen als Messwerte per Bildschirmeingabe an einem Erfassungs-Client (Erfassungsbildschirm am Prüfplatz, im Labor, am Fertigungsarbeitsplatz) vom Prüfer eingetragen werden. Weiterhin können Prüfmittel (z.B. Messschieber) mittels direkter Datenwertübertragung (WLAN, RFID) von

Messwerten als halbautomatische Anbindungsvariante in der personengebundenen Messwerverfassung dienen.

Bei einer vollautomatisierten Messwerverfassung können maschinelle Sensorwerte die Grundlage der schnittstellenfreien Prüfdatenverarbeitung bieten. Die Erfassungsart und die damit verbundenen Spezifika zur Prozesssteuerung (Stichprobenumfang, Zyklus, Toleranzen, Sollwerte, Fehlerereignisse, Auswertart, Prüfort, Prüfobjekt etc.) werden dabei als Stammdaten im zugrundeliegenden Prüfplan festgelegt.

Die nachgelagerte Prüfdatenauswertung wird dann wiederum unabhängig vom Automatisierungsgrad der Erfassungsart vorgenommen. Die Aufgaben der Prüfdatenauswertung werden in Abbildung 56 dargestellt:



**ABBILDUNG 56 - AUFGABEN DER PRÜFDATENAUSWERTUNG**

(Pfeifer und Schmitt 2010)

Im Rahmen der Prüfdatenauswertung bieten CAQ-Anwendungen statistische Auswertemethoden zur Datenaufbereitung und Verdichtung.

Dabei werden die operativen Aufgaben:

- **Dokumentation**

(Prozessfähigkeit  $c_{pk}$ , Abnahmeprüfzeugnis Kunden, Gesetzliche Vorgaben)

- **Abweichungsanalyse**

(Differenz von Soll und Ist-Qualität feststellen)

- **Abweichungsgrundanalyse**

(Einflussgrößen von Qualitätsgrad/-abweichungen feststellen)

- **Abweichungsgrundbehebung**

(Maßnahmen zur Kontrolle von Einflussgrößen des Qualitätsgrades einleiten)

funktional unterstützt.

Eine konkrete Unterstützung finden diese Aufgaben im Umfeld der CAQ bspw. durch Anwendungsmasken in Form digitaler Qualitätsregelkarten, Korrelationsanalysen,

Formularvorlagen für Prüfberichte und Prüfbescheinigung<sup>87</sup>, Auswertediagramme (Balken, Linien Histogramm etc..) z.B. für Fehlergründe/-häufigkeiten, Pivot-Tabellen zu Ausschuss- und Nacharbeitsmengen, AQL-Vergleichswerte für WE-Prüfungen usw. Als Ergebnis einer Prüfdatenauswertung ergibt sich ein bewerteter Qualitätsgrad im Verhältnis zum betriebenen Aufwand. Im Falle von Änderungsaktionen mit dem Ziel der Qualitätssicherung/-steigerung oder Aufwandssenkung, müssen operative Maßnahmen ausgelöst werden. Die Verwaltung der damit verbundenen Informationen wird funktional unterstützt. Dabei kann es sich bspw. um eine kurzfristige Erhöhung der Reaktionsgeschwindigkeiten (Eingriffsgrenze wird bei Messpunkt verletzt – CAQ-System löst Push-Information an Prozessverantwortlichen aus) oder um eine langfristige Änderung des Herstellverfahrens (CAQ-System dient als Workflow-Anwendung im Rahmen von FMEA<sup>88</sup>, Reklamationen, 8D Reporting etc.) handeln. Im Rahmen der Qualitätssicherung werden durch CAQ Anwendungen gerade die fertigungsnahen GP funktional unterstützt. Das zentrale Datenobjekt der „Prüfplan“ wird daher nachstehend detailliert beschrieben. Abbildung 22 zeigt den Zusammenhang von dem fertigungs-bezogenen Arbeitsplan und dem qualitätsbezogenen Prüfplan.

Bearbeitungsschritt	Prüfmerkmale	
AG 010 <b>Rundstab sägen</b>	Merkmal 4120 <b>Gesamtlänge</b>	
Startdatum: 07.03.2021 Durchlaufzeit: 04:08:00 h Sollmenge: 150 Stück Arbeitsplatz: SGE-44	Sollwert: 108 mm OTG: 110 mm UTG: 107 mm Stichprobe: 3 Stück.	Zyklus: pro 100 Stück Prüfplatz: Maschine Prüfmittel: Auto
AG 020 <b>Welle drehen</b>	Merkmal 2100 <b>Durchmesser</b>	
Startdatum: 08.03.2021 Durchlaufzeit: 01:10:00 h Sollmenge: 150 Stück Arbeitsplatz: DRH-88	Sollwert: 60 mm OTG: 61 mm UTG: 59 mm Stichprobe: 1 Stück	Zyklus: pro Schicht Prüfplatz: WSK Prüfmittel: Messschieber
AG 030 <b>Gewinde bohren</b>	Merkmal 0981 <b>Schraubprüfung</b>	
Startdatum: 09.03.2021 Durchlaufzeit: 02:17:00 h Sollmenge: 300 Stück Arbeitsplatz: GEW-10	Sollwert: i.O. Stichprobe 2 Stück	Zyklus: pro Auftrag Prüfplatz: Labor Prüfmittel: Gewindemessgerät

TABELLE 53 - ZUSAMMENHANG PPS-ARBEITSPLAN UND CAQ-PRÜFPLAN

Eigene Darstellung in Anlehnung an (MPDV-QMG 2016)

<sup>87</sup> DIN EN 10204 klassifiziert vier Arten von Prüfbescheinigungen (Werksbescheinigung, Werkszeugnis, Abnahmeprüfzeugnis 3.1, Abnahmeprüfzeugnis 3.2) Hierbei müssen gegenüber einem Warenempfänger Prüfwerte im Rahmen der Lieferung bescheinigt werden.

<sup>88</sup> **Failure Mode and Effects Analysis**, dt. „Fehlermöglichkeits- und –einflussanalyse“ ist eine Methode des vorbeugenden Zuverlässigkeits- und Organisationsmanagements im Rahmen der Produkterstellung.

Die Tabelle 53 stellt die auftragsbezogenen Fertigungsdaten aus Umfeld der PPS in Zusammenhang mit den Qualitätsdaten der CAQ. Drei Arbeitsgänge und beispielhafte Bewegungsdaten zeigen dabei mögliche Ausprägungen im Anwendungssystemen. Hierbei zeigen sich Integrationspotenziale zwischen auftrags- und qualitätsrelevanten Plandaten. Die Teilziele Qualitätssicherung und störungsfreie Produktion stehen dabei in gegenseitiger Abhängigkeit. Die Prüfplanung ist abhängig von den Ergebnissen der Auftragsplanung (Termin, Stückzahl, Maschine, Artikel) sowie die Auftragsdurchführung wiederum von den Ergebnissen der Qualitätssicherung (Prüfmittel, Prüfpersonal, Messergebnis, Prüfplatz, Prüfdauer) abhängig ist.

**A30. ARTEN DER VERSCHWENDUNGEN IN DER PRODUKTION**

Art	Erläuterung	Beispiel
Überproduktion	Werden Produktions-ressourcen zur Herstellung von Erzeugnissen genutzt, für welche kein direkter Bedarf besteht, ist der Ressourceneinsatz nicht notwendig. Eine nicht nachgefragte Leistung wird erbracht und es werden Ressourcen verschwendet.	Für einen FA mit einer Sollmenge von 90 Stück, wird eine Ist.-Menge von 100 Stück produziert.
Wartezeit	Die Durchlaufzeit bis zum Absatz wird Hersteller vorfinanziert. Eine Refinanzierung ergibt sich erst ab dem Absatz. Der Teil der Vorfinanzierung von unproduktiven Zeiten (Wartezeiten) ist Verschwendung.	Durch unterschiedliche Schichtmodelle zwei sequentiell abhängiger Bearbeitungsstationen ergibt sich im Herstellprozess eine Mindestwartezeit von 8h zwischen Vorgänger- und Nachfolge-Arbeitsplatz.
Transport	Der Transport von Erzeugnissen ist wie die Wartezeit unproduktiver Teil der Durchlaufzeit. Zusätzlich dazu benötigt der Transport gleichzeitig Ressourceneinsatz. Dieser verschwendet Ressourcen.	Durch räumliche Entfernung zwei sequentiell abhängiger Bearbeitungsstationen ergibt sich eine Transportzeit von 20 min pro Transportlos zwischen Vorgänger und Nachfolge-Arbeitsplatz.
Bewegung	Überflüssige Bewegungsschritte als Nebenzeiten der Bearbeitung verschwenden Ressourcen und verlängern die Bearbeitungszeit.	In einem zyklischen Pressvorgang fährt der Oberstempel unabhängig von der zu bearbeitenden Werkstückgeometrie konstant zum obersten Nullpunkt.

Art	Erläuterung	Beispiel
Bestand	Materialpuffer führen zu Lagerbeständen, welche Kapital binden und Ressourcen für das operative Handling der Bestände verschwenden.	Zur Ermittlung der Losgröße eines Vorratsartikels wird der Primärbedarf (MRP I) mit der Logik „Auffüllen auf Maximalbestand“ berechnet.
Fehler	Mangelnde Qualität führt zu Mehrarbeit (Kapazität) und/oder Mehrverbrauch (Material). Der erhöhte Einsatz verschwendet dabei Ressourcen.	Durch Qualitätsmängel beinhaltet die Ausbringung eines Arbeitsplatzes Ausschüsse und Nacharbeitsmengen.
Bearbeitung	Steht der Aufwand einer Aktivität nicht im Verhältnis zu dessen Ertrag ergibt sich ein ineffizienter Prozessschritt, welcher Ressourcen verschwendet.	Zu Beginn eines AQL-fähigen Bearbeitungsschritts findet eine 100% Kontrolle der Eingangskomponenten statt.
Ideenlosigkeit	Wird vorhandene Mitarbeiterkompetenz nicht genutzt, um bestehende Verschwendungen zu beseitigen, muss diese durch zusätzlichen Ressourceneinsatz oder fehlende Optimierung ausgeglichen werden. Dabei werden Potenziale verschwendet.	Ein Maschinenbediener erkennt eine dauerhafte Taktabweichung aufgrund fehlender Einstelldaten am Arbeitsplatz. Dem Mitarbeiter ist kein Prozess bekannt, um diese Information zu kommunizieren.

TABELLE 54 - ARTEN DER VERSCHWENDUNGEN IN DER PRODUKTION

Eigene Darstellung in Anlehnung an (Ōno et al. 2013) und (Koch 2015, S. 132–137)

### A31. INDUSTRIAL ENGINEERING

Auswahl von ingenieurwissenschaftlichen Standards und Methoden des Produktivitätsmanagements durch IE und Lean Manufacturing:

PPS-Aufgabe	IE - Methode	Teilziel	Inhaltlicher Ansatz	Quelle
Qualität der Instandhaltung	Total Productive Maintenance	Senkung von technischen Anlagenausfällen durch Vorbeugung und erhöhte der Reaktionsfähigkeit	Überführung von externen Wartungsarbeiten in prozessbegleitende (interne) Inspektionen und Reparaturen	(vgl. Pawellek 2016, S. 6–7)
Bedarfsplanung	Kombinierte ABC-XYZ Analyse	Erhöhte Planungsqualität für Bedarfe durch Analyse von Verbräuchen und Bedarfsschwankung	Ableitung effektiver Planungsvarianten für Artikelgruppen im Produktionsprogramm	(vgl. Schuh und Schmidt 2014, S. 177–184)
Auftragsbearbeitung	5 S	Senkung von Störungen im Fertigungsprozess durch ungeordnetes Arbeitsumfeld	Aufgabengerechte Arbeitsplatzgestaltung durch Ordnung, Transparenz und <b>Standards</b>	(vgl. Kletti und Schumacher 2014, S. 77–78)
Fertigungssteuerung	Kanban	Vermeidung von Überproduktion durch selbstregelnde Materialversorgung	Bedarfsauslösung auf Grundlage physischer Materialbedarfe und Transportmittelkreislauf	(vgl. Erlach 2010, S. 189–207)
Rüst-/Werkzeugwechsel	Single Minute Exchange of die SMED	Senkung von Störungen im Rüstprozess durch ungeordnetes Arbeitsumfeld und fehlende Planung	Reduktion der Maschinenstillständen durch strukturierte Senkung der internen Rüstvorgängen	(vgl. Dickmann 2009, S. 51–57)
Organisationsentwicklung	Shop Floor Management	Senkung von Informations- und Motivationsverlusten durch Integration der Leistungsbereiche	Interaktion zwischen Führung und Ausführung mit Hilfe eines visuellen Informationsmanagements in der Fertigung	(vgl. Meurer 2015)

PPS-Aufgabe	IE - Methode	Teilziel	Inhaltlicher Ansatz	Quelle
Auftragsdurchlaufzeit	Wertstromanalyse	Darstellung von Prozessstörungen und Verschwendungen der auftragsbezogenen Durchlaufzeit	Analyse organisatorischer Veränderungs-potenziale durch Abgleich zwischen wertschöpfenden und nicht-wertschöpfenden Zeitanteilen	(vgl. Erlach 2010, S. 31–115)
Mitarbeiterentwicklung	Kaizen	Erhöhte Mitarbeitermotivation und Leistungsbereitschaft	Stärkung der persönlichen Wertschätzung als soziale Zielsetzung der Unternehmenskultur	(vgl. Lauer 2014, S. 125–127)
Entscheidungsqualität	Gemba	Schwachstellen identifizieren und Gegenmaßnahmen entwickeln	Vor Ort Beobachtung am Platz der Wertschöpfung (am gewerblichen Arbeitsplatz)	(vgl. Kötter et al. 2016, S. 76–77)
Effizienzsteigerung	Gesamtanlagen-Effektivität (OEE <sup>89</sup> )	Erhöhte Maschinenverfügbarkeit durch Darstellung von Verschwendung aus Maschinenstillständen, Bearbeitungszeiten und Ausschussmengen	Maximale Kapazität eines Arbeitsplatzes wird ins Verhältnis zur tatsächlich produktiv genutzter Zeit gestellt. Berechnung der Gesamtanlageneffizienz durch OEE= Verfügbarkeit * Leistung * Qualität	(Focke und Steinbeck 2018)
Prozessstabilität	Six Sigma	Überwachung von Prozessstreuung (Ausschuss/Nacharbeit)	Die Leistung eines Prozesses wird statistisch bewertet	(Waurick 2014)
Prozesswirkung	Durchlaufzeit	Klassifizierung der auftragsbezogenen Gesamtzeit in bearbeiten, liegen, transportieren und warten	Steigerung der Verfügbarkeit von Engpasskapazitäten durch Anpassung des Ressourceneinsatzes für Unterstützungsprozesse	(vgl. Brauckmann 2015, S. 102–108)

2/3

---

<sup>89</sup> engl.: Overall Equipment Effectiveness

PPS-Aufgabe	IE - Methode	Teilziel	Inhaltlicher Ansatz	Quelle
Fehler- vermeidung	Poka-yoke	Sicherung der Bearbeitungsqualität durch Ausschluss potenzieller Fehlerquellen pro Arbeitsschritt	Einsatz technischer Betriebsmittel, Konstruktions- eigenschaften und Klassifikationseigensch aften am Arbeitsplatz	(Shingo und Bodek 1986)
Prozess- synchronisation	Takt- abstimmung	Darstellung der Verluste aus Taktung (sog. Abtaktungs- verluste) für arbeitsteilige Bearbeitungsprozesse	Sequentielle Arbeitsfolgen werden bzgl. losbezogener Bearbeitungszeiten verglichen. Kapazitäts- verluste ungleicher Bearbeitungszeiten der Arbeitsplätze werden transparent. Eine Harmonisierung der Abtaktung mindert als Ergebnis Wartezeiten und erhöht somit die Kapazität	(vgl. Sihn et al., 183 ff.)
Auslastungs- steuerung	Heijunka	Definition von maximalen Fertigungslosgrößen pro Planungshorizont. Definition produktspezifischer Auftragsintervalle	Glättung von Nachfrage- schwankungen durch Erhöhung des Produktions-Mixes	(vgl. Veit 2010, S. 20–32)

TABELLE 55 - METHODEN DES INDUSTRIAL ENGINEERING

### A32. GLAUBENSÄTZE DER FÜHRUNG IM KVP DER FERTIGUNG

<b>Merkmal</b>	<b>t r a d i t i o n e l l</b>	<b>w e r t e o r i e n t i e r t</b>
<b>Ausrichtung der Strömungskontrolle</b>	<b>turbulent</b> Fokus der Ressourcen auf reaktive Steuerung (Trouble-Shooting zum Engpassausgleich)	<b>laminar</b> Fokus der Ressourcen auf proaktive Steuerung (Analyse, Planung, Konzept, Dokumentation, Vorbereitung, Tests, Qualifikation)
<b>Form der Integration</b>	<b>arbeitsteilig</b> Hierarchische Informationsveranstaltungen zu Statusdiskussion und Entscheidungsfindung „Abteilungsleitersitzung“ „AV-Meeting“, „Meisterrunde“	<b>ergebnisorientiert</b> • Shopfloor Management vor Ort am betroffenen Arbeitsplatz (an der Maschine, im Lager, am Prüfplatz etc.) • Prozessbezogene Treffen mit allen Funktionen (EK, VK, IH, FT, LOG etc.)
<b>Prinzip des Informationsflusses</b>	<b>push</b> Stärkung der Push-Steuerung im Wertstrom	<b>pull</b> Stärkung der Pull-Steuerung im Wertstrom
<b>Funktionsverständnis</b>	<b>aufgabenorientiert</b> Werkstätten-/Verrichtungsprinzip	<b>ergebnisorientiert</b> Geschäftsprozess/Wertstrom
<b>Umgang mit Schwäche</b>	<b>verurteilend</b> geringe Fehlertoleranz – Kritik	<b>tolerierend</b> hohe Fehlertoleranz – Hilfestellung
<b>Motivation zur Nachhaltigkeit</b>	<b>kurzfristig</b> Motivation Problemen zu lösen	<b>langfristig</b> Motivation Problemen zu verstehen
<b>Führungsrolle im Team</b>	<b>Umsetzer</b> Hohe Affinität zum Aktionismus	<b>Koordinator</b> Hohe Affinität zur Priorisierung
<b>Orientierung</b>	<b>Problem</b> Fokus auf Probleme (Schuldfrage)	<b>Lösung</b> Fokus auf Lösung (Alternativen)
<b>Beteiligung bei operativen Entscheidungen</b>	<b>getrennt</b> Operative Entscheidungen und deren Wirkung sind für die Führungskraft (gewollt) nicht transparent. (Trennung von Führung vs. Ausführung)	<b>integriert</b> Operative Entscheidungen und deren Wirkungen sind für die Führungskraft transparent (Abgleich zwischen Führung und Ausführung)
<b>Veränderungsstrategie</b>	<b>arbeiten am System</b> • Veränderung wird durch Führungskraft ausgelöst • Führungskraft weist Umsetzung an	<b>arbeiten für das System</b> • Veränderung wird durch operative Mitarbeiter selbst ausgelöst • Führungskraft ist Coach für Mitarbeiter
<b>Flexibilität</b>	<b>starr</b> fixe Verantwortlichkeiten dienen zur Stabilisierung der Ergebnisse	<b>dynamisch</b> Entscheidungsspielräume dienen zur Anpassung an geänderte Anforderungen

<b>Führungsrolle</b>	<b>ergebnisorientiert</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Das Management versteht seine Aufgabe als operativen Beitrag zur Problemlösung</li> </ul>	<b>ressourcenorientiert</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Management versteht seine Aufgabe in der Gestaltung von Rahmenbedingungen</li> <li>• Stetige Nachfrage zum Status von Aufgaben</li> <li>• Angebot von Hilfestellungen</li> </ul>
<b>Argumentationsbereitschaft</b>	<b>gering</b> möglicherweise „100%-Lösung“ erarbeiten, um spätere Kritik zu vermeiden (faktenbezogene Darstellung der Entscheidung bei Kritik)	<b>hoch</b> möglicherweise „80%-Lösung“ umsetzen und stetige Verbesserung stärken (argumentativ Darstellung der Hintergründe bei Kritik an einer Entscheidung)
<b>Integrität</b>	<b>Kontrolle</b> Eingeschränkte Motivation das gegenseitige Vertrauen zu fördern, daher wird in Kontrolle investiert	<b>Delegation</b> Führungskraft ist motiviert Vertrauen auf- und auszubauen und investiert daher in die Erfüllung delegierter Aufgaben
<b>Risikobereitschaft</b>	<b>konservativ</b> Systembild mit vielen Risiken (Stabilität als Motivation)	<b>optimistisch</b> Systembild mit vielen Chancen (Innovation als Motivation)

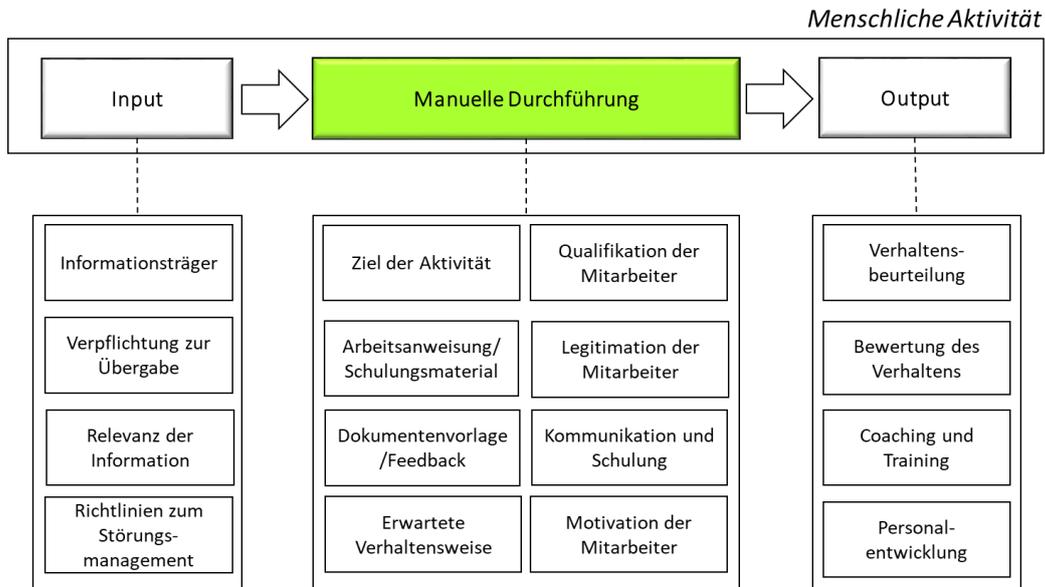
TABELLE 56 - GLAUBENSÄTZE DER FÜHRUNG IM KVP DER FERTIGUNG

Eigene Darstellung in Anlehnung an (Kötter et al. 2016, S. 121)

**A33. SPEZIFIKATION DES MTO-RESSOURCENEINSATZES**

Die Art der Anforderungsspezifikation kann in Abhängigkeit vom Ressourcentyp unterschieden werden. Dazu unterscheiden nachstehende Abbildungen die Elemente zur Spezifikation der Ressourceneinsätze:

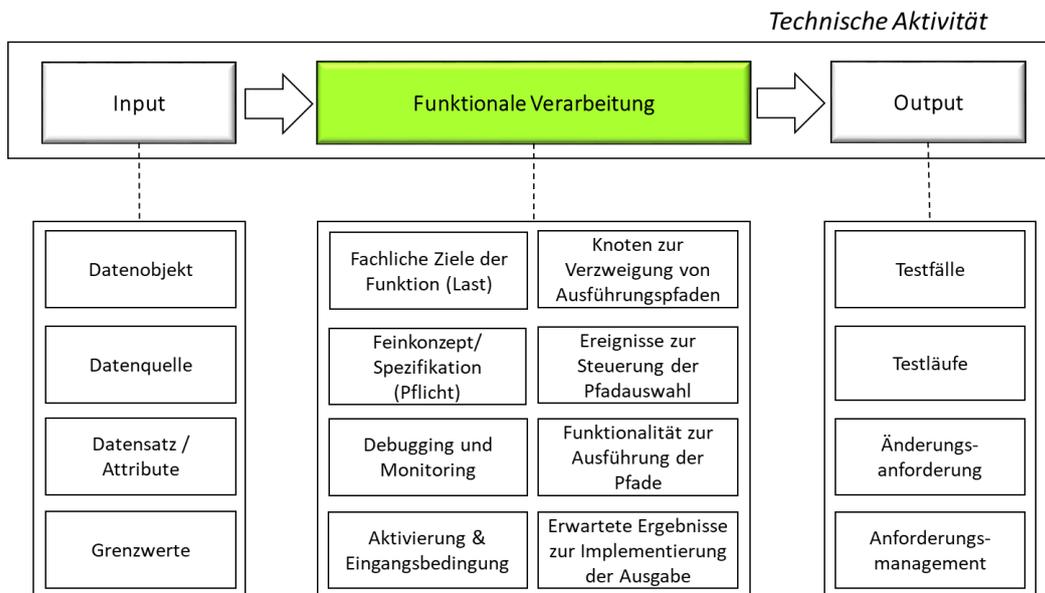
**Mensch**



**ABBILDUNG 57 - MENSCHLICHEN RESSOURCENEINSATZ SPEZIFIZIEREN**

Eigene Darstellung in Anlehnung an (Roth 2011)

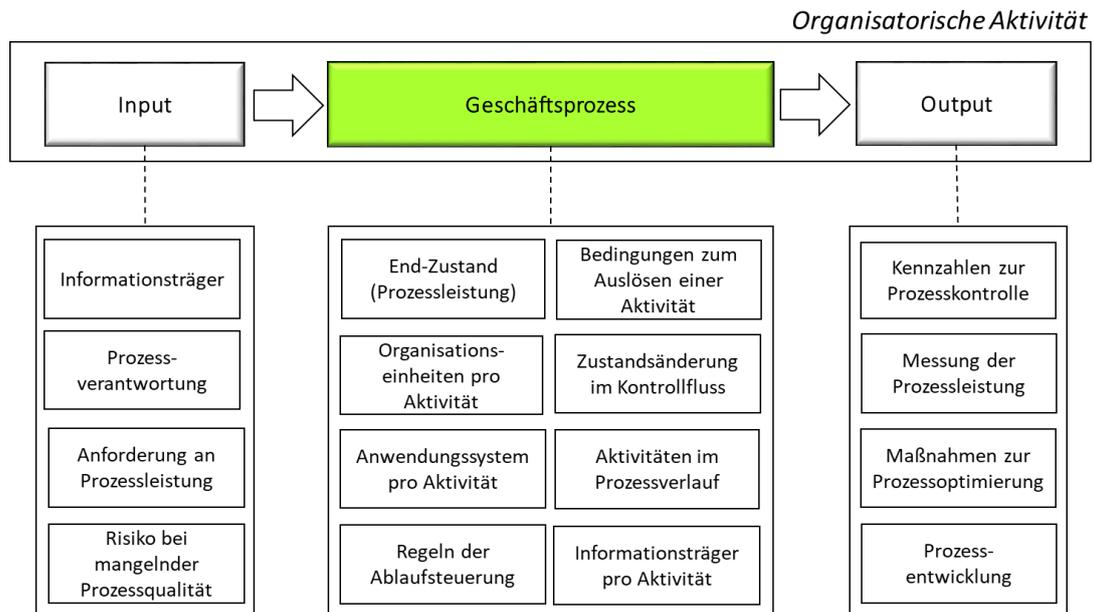
**Technik**



**ABBILDUNG 58 - TECHNISCHE RESSOURCENEINSATZ SPEZIFIZIEREN**

Eigene Darstellung in Anlehnung an (Kuhmann et al. 2011)

## Organisation



**ABBILDUNG 59 - ORGANISATORISCHEN RESSOURCENEINSATZ SPEZIFIZIEREN**

Eigene Darstellung in Anlehnung an (Becker et al. 2012)

Die Elemente beschreiben zu definierende Details zum Input bzw. Output sowie der Ausführung einer Aktivität. Diese Eigenschaften spezifizieren den Ressourcenbedarf, um nachgelagert den Einsatz der Ressourcen dimensionieren zu können. Je nach Ressourcentyp ist der Fokus der Spezifikation unterschiedlich. Eine Generalisierung der aufgeführten Elemente für die Typen M-T-O wird dazu in Kapitel 3.8 beschrieben.

### A34. ANFORDERUNGSKATALOG

#### Anforderung an eine Konzeption zur Entwicklung DRK in der Smarten Fabrik

Anforderungskatalog: Erläuterung der Aufbaustruktur ↓			
Kürzel der Anforderungsgruppe		Name der Anforderungsgruppe	
ID der Gruppe	Aufzählung der gruppenzugehörigen Anforderungen (von.-.bis)		
Zielbeitrag der Anforderungsgruppe			
ID + Schlagwort	Beschreibung der Anforderung	Zweck der Anforderung	Quelle der Notwendigkeit
Nummer der Anforderung und Kurzbezeichnung	Inhaltliche Beschreibung welches Kernmerkmal durch das Element der Methode berücksichtigt werden soll.	Beschreibung welches Ziel durch die Anforderung verfolgt wird.	Beleg über die Relevanz der Anforderung

TABELLE 57 - AUFBAUSTRUKTUR ANFORDERUNGSKATALOG

#### Zuordnung der verbalen Anforderungen zu Anforderungsgruppen

Anforderungsgruppe		Verbale Anforderung
ID	Kürzel	Das Vorgehen...
AF01	Praxis & Führung	RQ01 ...soll in der Praxis anwendbar sein
		RQ02 ...soll die Führungsunterstützung sicherstellen
AF02	Entwicklung & Reife	RQ03 ...soll schrittweise erfolgen (können)
		RQ04 ...soll Reifestufen berücksichtigen
AF03	Nachhaltigkeit & Veränderung	RQ05 ...soll die Ziele der Produktion nachhaltig unterstützen
		RQ06 ...soll das Veränderungsmanagement der Organisation unterstützen
AF04	Validierung & Verifikation	RQ07 ...soll das Anforderungsmanagement der Produktion ermöglichen
		RQ08 ...soll eine digitale Entscheidungsunterstützung ermöglichen
		RQ09 ...soll prozessübergreifend anwendbar sein
		RQ10 ...soll den Grad der Selbstorganisation fördern
AF05	Kompetenz & Integration	RQ11 ...soll die Entwicklung der digitalen Kompetenz fördern
		RQ12 ...soll einen Beitrag zur Steigerung der Interoperabilität liefern

TABELLE 58 - ANFORDERUNGSGRUPPEN

Anforderungskatalog: Darstellung der Inhalte ↓

Praxis & Führung		Praxistauglichkeit und Führungsunterstützung	
AF01	AF11 bis AF 18		
Die Vorgehensmethodik eignet sich zur Lösung praktischer Fragestellung in Organisationen			
ID	Anforderung	Zweck	Quelle
<b>AF11</b> Information & Organisation im Prozess	Arbeitsteilige Prozesse werden hinsichtlich ihrer Art und Prozessleistung analysiert.	Informatische und organisatorische Prozessstörungen werden unterschieden.	(vgl. Becker et al. 2012, S. 6–12)
<b>AF12</b> Verantwortung für Geschäftsprozesse	Arbeitsteilige Prozesse werden in ihre Bestandteile zerlegt.	Entscheidungskonflikte unterschiedlicher Verantwortungsbereiche werden sichtbar.	(vgl. Obermaier 2017, S. 121–134)
<b>AF13</b> Kompetenzbedarfe	Die Kompetenzbereiche betroffener Systemteilnehmer werden unterschieden.	Kompetenzkonflikte werden sichtbar.	(vgl. acatech 2016)
<b>AF14</b> Entscheidungsunterstützung	Die Ergebnisse der Methodik unterstützen Entscheidungen zur Steigerung der Systemreife der digitalen Fertigung.	Der Mehrwert eines praktischen Einsatzes wird sichergestellt.	(vgl. Erner 2019, 84 f.)
<b>AF15</b> Entscheidungs-träger	Entscheidungsbedarfe werden aufgezeigt.	Der Entwicklungsfortschritt des Vorgehens wird sichergestellt.	(vgl. Chlupsa 2017)
<b>AF16</b> Prioritäten	Prioritäten der Umsetzung werden definiert.	Der Ressourceneinsatz wird an Wichtigkeit und Dringlichkeit ausgerichtet.	(vgl. Felkai und Beiderwieden 2011, S. 50–53)
<b>AF17</b> Entscheidungs-punkte	Entscheidungspunkte dienen zur Bewertung und Sicherung des Entwicklungsfortschritts.	Organisatorische Verantwortlichkeit zur Freigabe von Entwicklungsmaßnahmen wird sichergestellt.	(vgl. Aßmann 2015)
<b>AF18</b> Stakeholder-analyse	Zielkonflikte zwischen Interessensvertretern des Produktionssystems werden analysiert.	Zielkonflikte werden formal dargestellt und der resultierende Koordinationsbedarf objektiviert.	(vgl. Best 2010)

Entwicklung & Reife		Entwicklungsschritte und Reifegrade	
AF02	AF31 bis AF 40		
Die Vorgehensmethodik beinhaltet einzelne Stufen der Entwicklung			
ID	Anforderung	Zweck	Quelle
<b>AF31</b> Entwicklungs- ablauf	Abhängigkeiten sequentieller Vorgehensaktivitäten werden definiert.	Die Kapazitätsplanung einzelner Aktivitäten wird ermöglicht.	(vgl. Aichele und Schönberger 2014, S. 29–37)
<b>AF32</b> Umsetzungs- schritte	Einzelne Umsetzungsschritte werden definiert.	Die Komplexität der Gesamtaufgabe wird reduziert.	(vgl. Spath 2013)
<b>AF33</b> Qualitäts- schranken	Anforderungen an die Ergebnisqualität von Aktivitäten der Methodik werden definiert.	Die Qualität der Umsetzungsschritte wird sichergestellt.	(vgl. Schumacher 2018)
<b>AF34</b> Auftrags- abwicklung	Die Art der betrieblichen Auftragsabwicklung wird hinsichtlich ihres Beitrags zu Unterstützung von Produktionszielen geprüft.	Reifegradsteigernde Entwicklungsmaßnahmen werden ermöglicht.	(vgl. Wiendahl 2012, 179 ff.)
<b>AF35</b> Regelgüte	Regelkreisen werden anhand ihrer Regelgüte bewertet.	Entwicklungspotenziale vorhandener Regelstrukturen werden sichtbar.	(vgl. Winde 2009, S. 23–36)
<b>AF 36</b> Stabilität der Regelstrecke	Die Robustheit der betrachteten Regelstrecke (Prozess) dient zur Ableitung der geforderten Regelgüte (Beitrag zur Unterstützung der Produktionsziele).	Der Zusammenhang zwischen Stabilität und Regelaufgabe wird hergestellt.	(vgl. Lödding 2016)
<b>AF 37</b> Optimierung, Regelung und Kontrolle	Aufgaben zur Stabilisierung einer Regelstrecke werden in einmalige und dauerhafte Strukturen gegliedert.	Der Aufbau von leistungssteigernden Standards wird ermöglicht, durch Verbindung von 1. Maßnahmen der einmaligen Anpassung (Optimierung) 2. Maßnahmen der dauerhaften Sicherung (Regelung) 3. Maßnahmen der dauerhaften Aufrechterhaltung (Kontrolle)	(vgl. Kletti und Schumacher 2014, S. 137–179)

<b>AF38</b> Kontrollmuster (Regelungs- technik)	Regelgüte wird als Qualitätsmaß der Fähigkeit zur Prozessregelung verstanden	Die Leistungsfähigkeit und Stabilität der Selbststeuerung wird messbar	(vgl. Föllinger und Roppenecker 1994)
<b>AF39</b> Produktions- ziele	Produktionsziele dienen als übergeordnetes Ziel digitaler Kontrollstrukturen	Die Zweckmäßigkeit des zu entwerfenden Regelkreises wird sichergestellt	(vgl. Schuh und Schmidt 2014, S. 1–22)
<b>A40</b> Produktions- kennzahlen	Der Erreichungsgrad von Produktionszielen wird gemessen	Die Motivation zur Veränderung bestehender Regelkreise wird gefördert	(vgl. Kletti und Brauckmann 2006)

Nachhaltigkeit & Veränderung		Nachhaltigkeit und Veränderungsmanagement	
AF03	AF41 bis AF50		
Die Vorgehensmethodik unterstützt eine kontinuierliche Entwicklung der Fertigung			
ID	Anforderung	Zweck	Quelle
<b>AF41</b> Mitarbeiter- qualifikation	Es wird die Qualifikation von Mitarbeitern gefördert.	Die Kompetenz, Akzeptanz und Motivation interner Mitarbeiter wird sichergestellt.	(vgl. Kagermann, H., Wahlster, W., Helbig, J. 2013, S. 59–61)
<b>AF42</b> Wirtschaft- lichkeit der Fertigung	Die wirtschaftliche Produktion ist das primäre Ziel der digitalisierten Fertigung.	Die Kompetenz, Akzeptanz und Motivation von Führungskräften werden sichergestellt.	(vgl. Schuh und Stich 2012a, S. 29)
<b>AF43</b> Nicht funktionale Anforderungen	Zukünftige Ausbaustufen und Reiferade der digitalen Fabrik werden berücksichtigt.	Die Langlebigkeit der Problemlösung wird sichergestellt.	(vgl. Balzert und Liggesmeyer 2011, S. 109–121)
<b>AF44</b> System- landschaft	Die prinzipielle Implementierung in die Systemlandschaft wird berücksichtigt (Standardsoftware vs. Individualsoftware).	Die Kompetenz, Akzeptanz und Motivation von IT-Fachkräften werden sichergestellt.	(vgl. Mertens et al. 2017, S. 131–136)
<b>AF45</b> Produktions- reife	Der Zustand des Produktionssystems wird berücksichtigt.	Optimierungspotenziale zur Reduzierung von Leistungsverlusten fließen die Lösungskonzeption ein.	(Bick 2014)
<b>AF46</b> Ressourcen- einsatz	Interne Ressourcen werden als begrenzt angenommen.	Die dauerhafte Anwendbarkeit der Methodik wird sichergestellt.	(vgl. Bergmann und Garrecht 2016, S. 1–11)
<b>AF47</b> Wartung und Betrieb	Der Wartungsaufwand von implementierten Softwarelösungen wird bei der Entscheidungsfindung berücksichtigt.	Die Kompetenz, Akzeptanz und Motivation von IT-Fachkräften werden sichergestellt.	(vgl. Obermaier 2017, S. 291–305)
<b>AF48</b> Wertschöpfung	Es wird eine prozessgetriebene Sichtweise der Wertschöpfung eingenommen.	Die Senkung von Effizienzverlusten wird sichergestellt.	(vgl. Wagner und Lindner 2017, S. 119–125)
<b>AF 49</b> IT-Architektur	Potenzielle IT-Anpassungen werden mit den Anforderungen der IT-Architektur abgeglichen.	Die Verträglichkeit von operativen IT-Maßnahmen und der IT-Strategie wird sichergestellt.	(vgl. Gronau 2017)
<b>AF50</b> Aufwand & Nutzen	Die Wirtschaftlichkeit der prinzipiellen Implementierung wird berücksichtigt.	Die Kompetenz, Akzeptanz und Motivation von	(vgl. Kagermann, H., Wahlster, W.,

		Führungskräften werden sichergestellt.	Helbig, J. 2013, S. 48)
--	--	--	-------------------------

3/5

Validierung & Verifikation		Validierung und Verifikation	
AF04	AF61 bis AF 70		
In der Vorgehensmethodik werden V+V zur Sicherung der Ergebnisse angewandt			
ID + Schlagwort	Anforderung	Zweck	Quelle
<b>AF61</b> Regelkreis (Ist) & Einfluss auf Produktionsziel	Regelkreisstrukturen (IST) werden auf Ihren Einfluss zur Unterstützung von Produktionszielen bewertet.	Die Wirksamkeit potenzieller Änderungen wird sichergestellt.	(vgl. Brauckmann 2015, S. 130–143)
<b>AF62</b> Regelkreis (Ist) & Leistung für Produktionsziel	Regelkreisstrukturen (IST) werden anhand Ihrer Leistung zur Unterstützung von Produktionszielen bewertet.	Die Fähigkeit zur Selbststeuerung des Produktionssystems wird bewertet.	(vgl. Heinrich et al. 2017, S. 175–180)
<b>AF63</b> Regelkreis (Soll) & Einfluss für Produktionsziel	Regelkreisstrukturen (SOLL) werden anhand Ihres Einflusses zur Unterstützung der Produktionsziele entworfen (VAL).	Die Selbststeuerung des Produktionssystems wird gefördert.	(vgl. Kletti 2015, S. 12–14)
<b>AF64</b> Regelkreis (Soll) & Leistung für Produktionsziel	Regelkreisstrukturen (SOLL) werden anhand Ihrer Leistung zur Sicherung von Produktionszielen entworfen (VAL).	Das Produktionssystem wird auf die Selbststeuerung ausgerichtet.	(vgl. Kletti und Schumacher 2014, S. 9–13)
<b>AF65</b> Regelbeitrag zur Entscheidungsfindung	Einfluss und Leistung (Beitrag) eines Regelkreises zur Unterstützung von Produktionszielen werden zur Entscheidungsfindung genutzt.	Die Vorteilhaftigkeit von Gestaltungsmaßnahmen wird transparent.	(vgl. Kauffeld 2014, S. 7–11)
<b>AF66</b> MTO-Anforderungen	Es werden MTO-Anforderungen (Mensch, Technik, Organisation) zur Aktivierung potenzieller Regelkreise definiert.	Gestaltungsmaßnahmen werden konkret und für Entscheider bewertbar.	(Block et al.)
<b>AF67</b> Realisierbarkeit von Anforderungen	Die Umsetzbarkeit der Anforderungen wird auf Machbarkeit geprüft (VAL).	Gestaltungsmaßnahmen werden auf Umsetzbarkeit geprüft.	(vgl. Weinert et al. 2017, S. 96–97)
<b>AF68</b> Vorgehenschritte	Die definierten Anforderungen dienen zur Analyse des Entwicklungsstatus.	Der Entwicklungsfortschritt wird messbar.	(vgl. Kuhrmann et al. 2011)
<b>AF69</b> Qualitätsmerkmale	Die definierten MTO-Anforderungen dienen der Qualitätssicherung (VER).	Die Qualität der Entwicklung wird abgesichert.	(vgl. Kuhrmann et al. 2011)

<b>AF70</b> Maßnahmen zur Umsetzung	Die Umsetzung der MTO- Anforderung dient zur Regelkreisaktivierung (VER).	Die Überwachung von ziieldienlichen Ergebnissen wird ermöglicht.	(García-Alcaraz et al. 2017)
---	---	--	---------------------------------

Kompetenz & Integration		Digitalen Kompetenz und Interoperabilität	
AF05	AF81 bis AF 95		
Es werden mehrdimensionale Anforderungen als Beitrag der Vernetzung definiert			
ID	Anforderung	Zweck	Quelle
<b>AF81</b> IT-Funktionssicht	IT-Anforderungen werden funktional definiert	Die Angemessenheit der Verarbeitung wird sichergestellt	(vgl. Scheer 2002, ARIS - Funktionssicht)
<b>AF82</b> IT-Datensicht	IT-Anforderungen werden datentechnisch definiert	Die Verfügbarkeit von Informationen wird sichergestellt	(vgl. Scheer 2002, ARIS - Datensicht)
<b>AF83</b> IT-Prozesssicht	IT-Anforderungen werden prozesstechnisch definiert	Die Inputs und Outputs arbeitsteiliger Informationsflüsse werden definiert	(vgl. Scheer 2002, (ARIS - Prozesssicht))
<b>AF84</b> IT-Leistungssicht	Anforderungen an die Leistung von GP werden definiert	Die Voraussetzung zur wertschöpfenden Arbeitsteilung wird sichergestellt	(vgl. Scheer 2002, ARIS - Leistungssicht)
<b>AF85</b> Training und Coaching	Anforderungen an Mitarbeiterqualifikation werden definiert	Die Systemstabilität wird sichergestellt	(vgl. DIN/DKE 2018, S. 95–116)
<b>AF86</b> Koordination der Kompetenz	Anforderungen an Kompetenzen werden definiert	Befugnisse, Fähigkeit und Motivation werden sichergestellt	(vgl. Walchshofer und Riedl 2017)
<b>AF87</b> Hybride Organisation	Anforderungen an digitale und nicht-digitale Kontrollstrukturen werden definiert	Eine übergreifende Perspektive wird eingenommen	(vgl. Kese und Terstegen 2017)
<b>AF88</b> Prozessbeitrag zur Selbstorganisation	Es wird eine Abhängigkeit zwischen Regelaufgabe und GP hergestellt	Die Fähigkeit der organisatorischen Zusammenarbeit wird als Einflussfaktor der Regelung <sup>1</sup> berücksichtigt	(vgl. Weinert et al. 2017, S. 105–116)
<b>AF89</b> Vernetzung	Die Harmonisierung von Schnittstellen wird zur Vernetzung der Systemteilnehmern eingesetzt	Die Fähigkeit systematischer Zusammenarbeit wird als Einflussfaktor der Regelung <sup>1</sup> berücksichtigt	(vgl. Kudernatsch und Rotter 2017)
<b>AF90</b> Regelkreise als Kontrollstruktur	Es werden regelgebundene Kontrollstrukturen zur Unterstützung von Produktionszielen eingesetzt	Der Ausbau selbstorganisierter Entscheidungsprozesse wird unterstützt	(vgl. Pawellek 2014)

<b>AF91</b> Verfahren der Fertigungs- steuerung	Die Aufgaben des Fertigungsmanagements dienen zur Identifikation von Regelpotenzialen	Die Konfiguration der Regelkreiselemente wird an den Produktionszielen ausgerichtet	(vgl. Lödding 2016)
<b>AF92</b> MES Aufgaben	Die Umsetzung digitaler Regel- kreise, als Teilaufgabe des Fertigungsmanagements, wird als Aufgabe eines MES beschrieben	Die Anwendbarkeit von IT- technischen Kontrollstrukturen wird sichergestellt	(vgl. Seibel und Theobald 2017)
<b>AF93</b> Entwurfsmuster (Regelungs- technik)	Stabilitätskriterien der Regelungstechnik dienen als Konstruktionselemente beim Entwurf der Regelkreise	Die Qualität zur Erstellung stabiler Regelkreise wird sichergestellt	(vgl. Zacher und Reuter 2017)
<b>AF94</b> Vertikale und horizontale Integration	Regelkreise werden hierarchisch (vertikal) und ablauforientiert (horizontal) betrachtet	Aufbau und Ablaufstruktur der Organisation werden berücksichtigt	(vgl. Westkämper et al. 2013, S. 133–143)
<b>AF95</b> Einsatzzweck digitaler Regelkreise	Einsatz digitaler Kontrollstrukturen, um die Dauer bis zur Wirksamkeit einer Entscheidung zu verkürzen	Die Effizienz zur Realisierung der Produktionsziele wird gesteigert	(Schuh et al. 2017)
<sup>1</sup> im fachbezogenen Sprachgebrauch häufig als „Selbststeuerung“ bezeichnet			

TABELLE 59 - ANFORDERUNGSKATALOG

### A35. ANALYSE VORHANDENER ANSÄTZE

Nr.	Konzepte & Vorgehen Name des Ansatzes	Bewertung der Anforderungsgruppen					Quelle	
		AF01 Praxis & Führung	AF02 Entwicklung & Reife	AF03 Nachhaltigkeit & Veränderung	AF04 Validierung & Verifikation	AF05 Kompetenz & Integration	Referenz	Herkunft
1	5 Stufen Methode	--	(X)	(X)	X	(X)	SEK	Matt et al. (2018)
2	6 Phasen Modell	(X)	X	(X)	X	--	SEK	Trebing und Himstedt (2019)
3	Braincourt Vorgehensmodell	X	(X)	(X)	(X)	(X)	SEK	Braincourt GmbH (2018)
4	Checkliste Digitalisierung & Industrie 4.0	X	--	(X)	(X)	X	SEK	Weber et al. (2017)
5	Digital Transformation Cycle	(X)	(X)	X	(X)	X	SEK	msh (2018)
6	Dreistufiges Vorgehendmodell zur Transformation (...)	--	(X)	--	--	--	SEK	Erol et al. (2015)
7	Generische Vorgehensmodell zur Einführung der Industrie 4.0	--	(X)	--	--	X	SEK	TU Darmstadt (2015)
8	Industrie 4.0 Roadmap	(X)	(X)	X	--	(X)	SEK	Braun et al. (2018)
9	Industrie 4.0 Vorgehensmodell	--	(X)	X	(X)	--	SEK	Kaufmann (2015)
10	Iteratives Vorgehensmodell zur CPPS Integration	(X)	--	(X)	X	(X)	SEK	Morlock et al. (2018)
11	Kompass Industrie 4.0	X	--	--	(X)	X	SEK	BMW I Plattform   4.0 (2018)
12	Leitfaden Digitalisierung und Industrie 4.0	(X)	X	--	--	--	SEK	WFB (2016)

13	Leitfaden für die systematische digitale Transformation	(X)	(X)	--	--	(X)	SEK	Hanschke (2018)
14	VDMA Leitfaden Industrie 4.0	X	--	--	--	X	SEK	Anderl und Fleischer (2015)
15	REFA-Standard Industrie 4.0	X	X	(X)	(X)	(X)	SEK	Stock und Bodus (2018)
16	Reifegradbasierter Ansatz zur Implementierung von (...)	(X)	X	(X)	--	(X)	SEK	Lanza et al. (2016)
17	Roadmap einer nachhaltigen Digitalisierung	(X)	--	X	--	X	SEK	Winkelhake (2017)
18	Roadmap Industrie 4.0	(X)	(X)	--	(X)	--	SEK	Seiter et al. (2016)
19	Roadmap Industrie 4.0	X	X	(X)	--	--	SEK	Tschandl et al. (2017)
20	Roadmap zur Entwicklung und Umsetzung einer Digital (...)	X	--	(X)	--	(X)	SEK	Strat. Transformation Consulting GmbH (2014)
21	Siebenstufiger Einführungsprozess für Industrie 4.0	X	(X)	--	--	(X)	SEK	Bildstein und Seidelmann (2017)
22	Strategischer Ansatz zur Industrie 4.0 Transformation	--	X	(X)	--	(X)	SEK	Oleff und Malessa (2018)
23	Toolbox Digitalisierung	X	X	(X)	--	(X)	SEK	Stöger (2017)
24	Digitalisierung Vorgehensmodell	X	X	(X)	--	(X)	SEK	Uzunger GmbH (2018)
25	Vorgehensmodell für die Digitale Transformation	--	(X)	(X)	--	(X)	SEK	Peter (2017)
26	Vorgehensmodell zur bedarfsgerechten Einführung (...)	--	X	(X)	--	X	SEK	Hübner et al. (2017)
27	Vorgehensmodell zur Entwicklung einer Industrie 4.0 (...)	--	--	--	--	(X)	SEK	Merz (2017)
28	Aachener PPS Modell	(X)	(X)	X	X	X	PRI	Schuh und Stich (2012)
29	ARIS	X	(X)	(X)	(X)	X	PRI	Scheer (2002)

30	ASAP	X	(X)	(X)	(X)	(X)	PRI	(Wenzel 2001)
31	Lean Development	X	(X)	X	(X)	--	PRI	(Dombrowski 2015)
32	MetamoFAB	X	X	(X)	--	X	PRI	Weinert et al (2017)
33	Process Performance Maturity	(X)	X	--	(X)	--	PRI	Cestari et al. (2013)
34	Theory of Constrains	X	(X)	(X)	X	--	PRI	Goldratt and Cox (2010)
35	Wertstromanalyse 4.0	X	--	(X)	X	X	PRI	Meudt et al. (2016)
36	VDI Leitplan der digitalen Transformation	X	(X)	(X)	--	(X)	PRI	VDI (2018)
37	Vier Stufen Modell der Smarten Fabrik	(X)	X	X	(X)	(X)	PRI	Kletti (2016)
Legende		X: Anforderung wird erfüllt      (X): Anforderung wird teilweise erfüllt      -- : Anforderung wird nicht erfüllt						
		PRI: Primärlitaratur      SEK: Sekundärlitaratur						
		AF01 Praxistauglichkeit und Führungsunterstützung (Praxis und Führung)						
		AF02 Entwicklungsstufen und Reifegrade (Entwicklung & Reife)						
		AF03 Nachhaltigkeit und Veränderungsmanagement (Nachhaltigkeit & Veränderung)						
		AF04 Validierung und Verifikation (V+V)						
		AF05 Digitalen Kompetenz und Interoperabilität (Kompetenz & Integration)						

TABELLE 60 - ANFORDERUNGSANALYSE

### A36. METHODEN DES GESCHÄFTSPROZESSMANAGEMENTS

Name	Ansatz	Ziel	Quelle
Prozess- restrukturierung	Neuordnung eines bestehenden Prozesses durch <ul style="list-style-type: none"> <li>• Beschleunigung</li> <li>• Zusammenlegung</li> <li>• Ergänzung</li> <li>• Reihenfolgeänderung</li> <li>• Qualitätssteigerung</li> <li>• Überspringen</li> <li>• Auslassen</li> <li>• Parallelisierung</li> <li>• Auslagern</li> </ul> von einzelnen Aktivitäten	Bestehende Prozessstruktur durch kleine Anpassungen ändern und verbessern	(vgl. Abts und Mülder 2017, S. 521)
Prozess- optimierung	Bearbeitungsaufwand einzelner Aktivitäten durch den Einsatz von IT reduzieren/automatisieren	Prozessleistung steigern	(vgl. Scheer 1990b)
Business Process Reengineering <b>BPR</b>	Komplette Reorganisation eines Ablaufes, ohne Berücksichtigung vorhandener Strukturen	Reifesprung der Prozessqualität und fundamentale Änderung, Vermeidung von Konflikten und Koordinationsaufwand	(vgl. Davenport 1997)

Name	Ansatz	Ziel	Quelle
Benchmarking	Vergleich von Prozessleistungen gleichartiger Arbeitsabläufe	Lernen von den Besten, Kopieren von Strukturmustern und „Best-Practices“ Prozessen	(vgl. Woratschek et al. 2015)
Prozesskosten	Finanzielle Bewertung von Aktivitäten im Prozess und Ermittlung derer Kostenpotenzialen	Konsistente Ableitung und Argumentation von Veränderungsbedarfen (Ressourceneinsatz) aus Prozesszielen	(vgl. Plinke et al. 2015, S. 249–262)
SWOT-Analyse	Dokumentation der Stärken und Schwächen sowie Chancen und Risiken eines Prozesses	Entwicklung von strategischen Zielen eines Prozesses	(vgl. Bauer 2016, 27 ff.)
Personalentwicklung	Änderung von Verantwortlichkeiten im Prozess durch Schaffen von Vertrauen (auch Kultur) und Qualifikation der beteiligten Mitarbeiter	Nachhaltige und sanfte Änderung der Organisation zur Unterstützung geänderter Prozess	(vgl. Krämer 2012, S. 13–30)

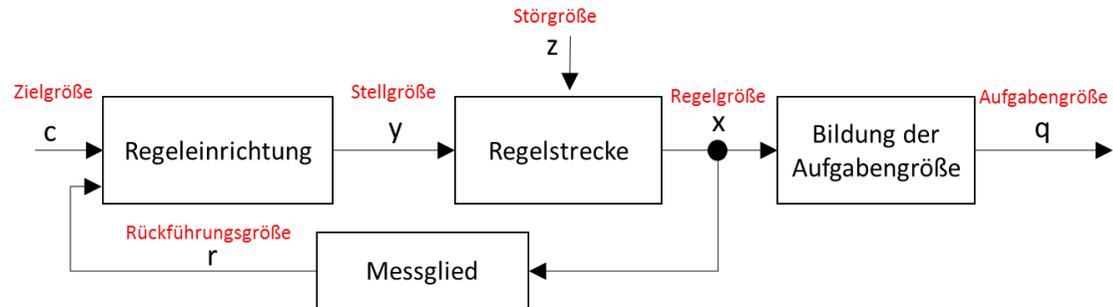
Name	Ansatz	Ziel	Quelle
Kontinuierliche Verbesserung	Standardisierte und wiederkehrende Aktivitäten zur <ul style="list-style-type: none"> <li>• Planung</li> <li>• Änderung</li> <li>• Überprüfung</li> <li>• Analyse</li> </ul> der aktuellen Prozessleistung	Ablösung eines Zielzustandes hin zu gewohnten und andauernden Änderung und Optimierung der Ist-Situation	(vgl. Brüggemann und Bremer 2015, S. 185–190)
In-/Outsourcing	Überprüfung der Kernkompetenzen zur Erfüllung der Prozessziele anhand des Vergleichs des internen und externen Angebots	Treffen einer „Make or Buy“- Entscheidung zur Sicherung von Effizienzvorteilen	(vgl. Fischermanns 2009, 138 ff.)
Supply Chain Management	Zielharmonisierung von Unternehmensübergreifenden Prozessen in der Lieferkette	Risikominderung und Stabilisierung des Informationsflusses	(vgl. Kurbel und Endres 2005, S. 333–368)
Balance Score Card BSC	Überführung von strategischen Vorgaben in harmonisierte Ziele operativer Aktivitäten	Messung und Bewertung des Zielbeitrags in den Perspektiven Finanzen, Kunden, Prozess und Innovation	(vgl. Friedag und Schmidt 2011)
Prozessmodellierung	Grafische Dokumentation von GP durch EPK, UML oder BPMN	Herstellung von Transparenz	(vgl. Hoppe 2018)

<b>Name</b>	<b>Ansatz</b>	<b>Ziel</b>	<b>Quelle</b>
Wissensmanagement	Dokumentation, Verteilung und Verknüpfung von Prozessinformationen. Standardisierung der Lern- und Kommunikationsprozesse	Steigerung der Mitarbeiterkompetenz und Beschleunigung von Lerneffekten	(vgl. North et al. 2013)
Coaching	Training von Führungskompetenzen	Senkung von Kommunikationsverlusten der Prozess Teilnehmer	(vgl. Zankovsky und Heiden 2015)
Consulting	Übertragung von Fachwissen zur Prozessgestaltung	Senkung der internen Ressourcenbedarfe	(vgl. Nissen und Klauk 2012, S. 27–33)
Supervision	Bestehende Konflikte von Prozessteilnehmern identifizieren und korrigieren	Senkung von Motivationsverlusten	(vgl. Satzger-Simon)

4/4

TABELLE 61 - METHODEN DES GESCHÄFTSPROZESSMANAGEMENTS

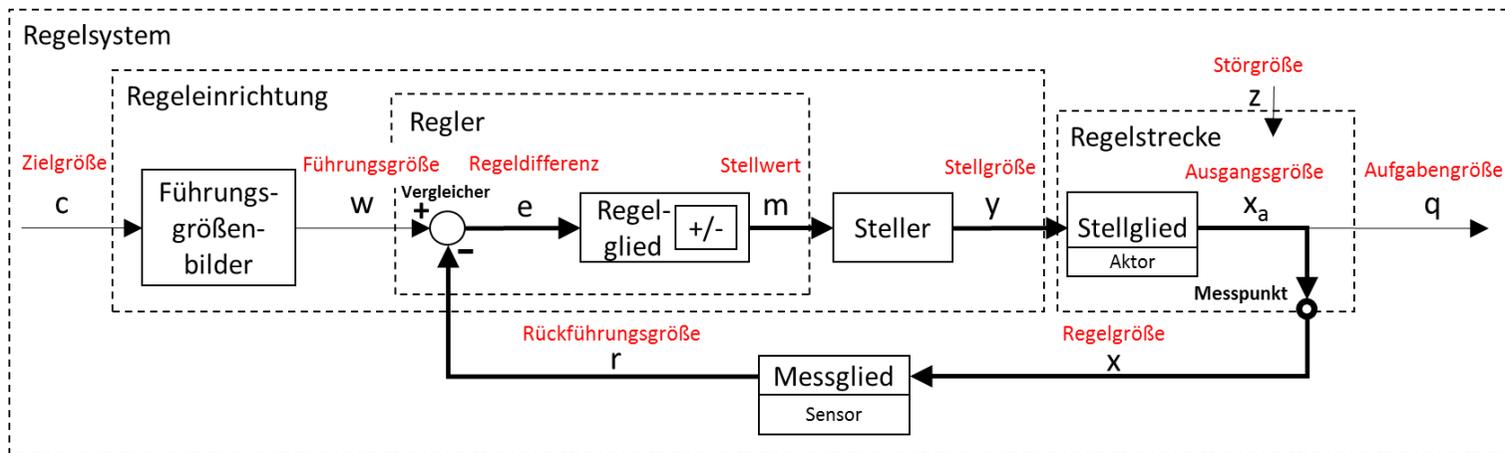
**A37. REGELKREIS GROBSTRUKTUR**



**ABBILDUNG 60 - REGELKREIS KLASSISCH -GROB**

Eigene Darstellung in Anlehnung an: (Heinrich et al., 2017, p. 122)

**A38. REGELKREIS KLASSISCH**



**ABBILDUNG 61 - REGELKREIS KLASSISCH**

Eigene Darstellung in Anlehnung an: (Heinrich et al., 2017, p. 124)

## **A39. BESCHREIBUNG REGELKREIS KLASSISCH**

Abbildung 61 in Anhang A38 zeigt den prinzipiellen Aufbau und Ablauf eines Regelkreises. Die Details der Aufbaustruktur werden im Anhang A40 in Tabelle 62 zusammengefasst.

Die Ablaufstruktur in Abbildung 61 wird anhand der Pfeilrichtung aufgezeigt. Diese kennzeichnet das Wirkprinzip der Regelung. Nachfolgend werden die Regelgrößen in Anlehnung an (Heinrich et al. 2017) als Teilelemente des *Regelsystems* beschrieben.

*Kursive Begriffe charakterisieren dazu fortan Elemente aus Abbildung 61*

### **1. Zielgröße $c$**

Über die Definition einer *Zielgröße  $c$*  wird ein Sollwert in die *Regeleinrichtung* eingebracht. Diese beschreibt den zu erzielenden Realzustand an der Regelstrecke.

### **2. Führungsgröße $w$**

Mit Hilfe des *Führungsgrößenbilders*, wird die *Zielgröße  $c$*  in die *Führungsgröße  $w$*  umgewandelt. Die *Führungsgröße  $w$*  beschreibt nun den gültigen Sollwert für genau einer Bearbeitungsfrequenz im wiederkehrenden Regelablauf.

Die Unterscheidung zwischen der *Zielgröße  $c$*  und der *Führungsgröße  $w$*  ergibt sich aus der Transformation von realen Größen (analoger Bezug) in maschinell lesbare Formate (digitaler Bezug).

Die *Führungsgröße  $w$*  nimmt einen konstanten Wert ein, wenn es sich um eine statische Festwertregelung handelt. Bei einer dynamischen Folgewertregelung kann die Führungsgröße pro Bearbeitungsfrequenz variieren, um das Regelergebnis weiter zu optimieren (vgl. Schröder 2015, S. 1572–1617).

Die *Führungsgröße  $w$*  geht als temporärer Sollwert in den *Regler* ein und dient dort als Referenz für den *Vergleicher*.

### **3. Regelgröße $x$**

Der *Messpunkt* an der *Regelstrecke* dient zur Erfassung der *Regelgröße  $x$* . Diese beschreibt dabei den gemessenen Ist-Wert der anzustrebenden *Führungsgröße  $w$* . Im Falle einer Übereinstimmung der gemessenen *Regelgröße  $x$*  und der *Führungsgröße  $w$*  würde (bei statischer Regelung) keine Prozessregelung erfolgen. Als Gesamtergebnis der Regelung blieben Maßnahme zur Anpassung der *Regelgröße  $x$*  aus. Bei einer Abweichung hingegen, wird als Gesamtergebnis der Regelung eine Gegenmaßnahme zur Anpassung der *Regelgröße  $x$*  eingeleitet.

Zur Zustandsüberwachung der *Regelgröße  $x$*  wird dessen Wert daher zyklisch erfasst. Als Teil des *Messgliedes* übernimmt ein *Sensor* dabei die Aufgabe der Messwerterfassung am *Messpunkt* der *Regelstrecke*.

#### 4. Rückführungsgröße $r$

Die erfasste *Regelgröße*  $x$  wird mit Hilfe des *Messgliedes* in die *Rückführungsgröße*  $r$  umgewandelt. Ausgehend von einer Erfassungseinheit des *Sensors* wird hierbei die Umwandlung in ein für den *Vergleicher* lesbares Format vorgenommen. Die *Rückführungsgröße*  $r$  fließt in den *Regler* als aktuell gemessener Vergleichswert der *Regelgröße*  $x$  ein.

#### 5. Regeldifferenz $e$

Die *Führungsgröße*  $w$  und die *Rückführungsgröße*  $r$  werden im *Vergleicher* zusammengeführt. Der *Vergleicher* ist dabei Teil des *Reglers*. Hier wird die Differenz zwischen Soll- und Ist-Wert der Zielgröße ermittelt. Als Ergebnis dieses Vergleichs wird die *Regeldifferenz*  $e$  ermittelt. Die beschreibt eine positive oder negative Abweichung der *Rückführungsgröße*  $r$  von der *Führungsgröße*  $w$ .

Die *Regeldifferenz*  $e$  fließt in das *Regelglied* ein.

#### 6. Stellwert $m$

Das *Regelglied* ermittelt aus der eingehenden *Regeldifferenz*  $e$  den Ausgabewert des *Reglers*. Der *Stellwert*  $m$  wird ausgegeben. Dazu werden im *Regelglied* bedingte Funktionen (Regeln) genutzt. Die im *Regelglied* angewandten Funktion definieren dabei, in welcher Form die Berechnung des *Stellwertes*  $m$  stattfindet. Im technisch orientierten Regelkreis werden mechanische, energetische, elektrische und elektrotechnische Eigenschaften genutzt, um die Art der Berechnung (die Übertragungsfunktion) zu definieren.

Dabei werden bspw. proportionale, integrale oder differentiale Funktionen angewandt, um gewünschtes Verhalten, wie Eintrittsbedingung, Geschwindigkeit oder Genauigkeit des *Stellwertes*  $m$  zu implementieren. Das Ergebnis der Übertragungsfunktion wird anhand des Übertragungsverhaltens bewertet. Dieses beschreibt das Antwortverhalten des *Stellwertes*  $m$  nach Änderung der *Regelgröße*  $x$ . Dabei ist das Übertragungsverhalten gleichzeitig Merkmal der Regelgüte (vgl. Kap.: 3.7.2).

Der *Stellwert*  $m$  fließt abschließend als Eingangswert in die Regeleinheit *Steller* ein.

#### 7. Stellgröße $y$

Die Regeleinheit *Steller* besitzt die Aufgabe den übermittelten *Stellwert*  $m$  als ausführbaren Vorgabewert an das *Stellglied* zu übertragen. Hierbei findet eine Umwandlung zwischen dem *Stellwert*  $m$  in die *Stellgröße*  $y$  statt. Die Umwandlung erfolgt vor dem Hintergrund, dass die Bezugsgrößen zwischen *Regeleinrichtung* und *Regelstrecke* unterschiedlich sind. Zur Ausführbarkeit des *Stellwertes*  $m$  findet somit eine Übersetzung statt. Die *Stellgröße*  $y$  definiert dabei die vom *Stellglied*

einzunehmende Stellung. Als Ergebnis der Regelung wird die durchzuführende Maßnahme (die technische Stellposition) an der *Regelstrecke* initiiert.

### **8. Ausgangsgröße $x_a$**

Am Ende einer Regelfrequenz erhält das *Stellglied* einen Steuerbefehl.

Die *Stellgröße*  $y$  definiert hierbei die einzunehmende Stellung am *Stellglied*. Mögliche Zustände sind dabei das Beibehalten oder Ändern einer Stellung.

Das *Stellglied* bildet nach Verarbeitung der *Stellgröße*  $y$  die *Ausgangsgröße*  $x_a$ . Diese nimmt wiederum direkten Einfluss auf die *Regelstrecke*. Die *Ausgangsgröße*  $x_a$  besitzt dabei die Aufgabe die *Regelgröße*  $x$  der *Führungsgröße*  $w$  anzugleichen.

Dabei kann die Stellung diskret oder stetig eingenommen werden.

### **9. Aufgabengröße $q$**

Als Austrittsgröße der *Regelstrecke* beschreibt die *Aufgabengröße*  $q$  einen realen Zustand im *Regelsystem*. Im ideal arbeitenden Regelkreis ergibt sich nach Einwirken der *Ausgangsgröße*  $x_a$  auf die *Regelstrecke*, keine Abweichung zwischen der *Regelgröße*  $x$  und der *Aufgabengröße*  $q$ . Durch negative Einflüsse<sup>90</sup> auf das *Regelsystem* sowie eine fehlende Systemstabilität im Zuge der Regelkreisentwicklung, treten im nicht-idealen Umfeld, Abweichungen auf. Diese gilt es im Sinne der Regelaufgabe zu identifizieren und zu optimieren. Die Messung der *Aufgabengröße*  $q$  ermöglicht dabei die Bewertung und Optimierung der Regelgüte im *Regelsystem*.

### **10. Störgröße $z$**

Die *Störgröße*  $z$  ist ein (negativer) Einfluss, welcher auf die *Regelstrecke* wirkt. Dieser beeinflusst die *Regelgröße*  $x$  und die *Aufgabengröße*  $q$ . Die Auswahl einer geeigneten Übertragungsfunktion im *Regelglied* ist maßgeblich von der Bekanntheit und Eigenschaft der *Störgröße* abhängig. Abhängig vom Verhalten und Wirkung der *Störgrößen* (langsam und stetig vs. schnell und sprunghaft) muss das Verhalten des *Reglers* dimensioniert und implementiert werden.

---

<sup>90</sup> z.B. Messfehler, Sollwertfehler, Übertragungsfehler, Funktionsfehler, Konstruktionsfehler

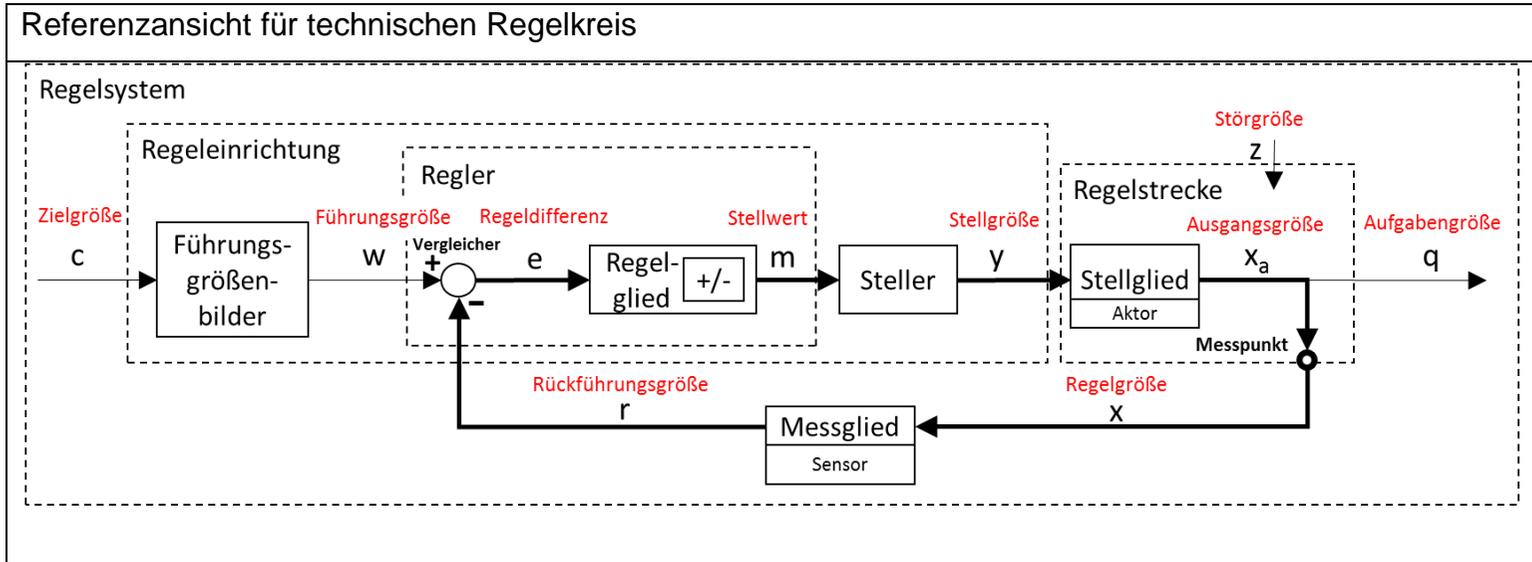
## A40. REGELGRÖßEN TABELLARISCH

Zeichen	Typ	Name der Regelgröße	Ausgang an Regelelement	Eingang für Regelelement	Ort der Übertragung	Logische Beschreibung	Aufgabe der Regelgröße
c	<b>Sollwert</b>	Zielgröße	---	Führungsgrößenbilder	Systemschnittstelle	$c \in \mathbb{R} \wedge c: \Leftrightarrow const$	Zielwert als Vorgabe festlegen
w	Hilfsgröße	Führungsgröße	Führungsgrößenbilder	Vergleicher	Regler	$w(t) = f(c)$	Zielwert einer Regelfrequenz ermitteln
e	Hilfsgröße	Regeldifferenz	Vergleicher	Regelglied	Regler	$e = w - r$	Abweichung ermitteln
m	Hilfsgröße	Stellwert	Regelglied	Steller	Regeleinrichtung	$m = f(e)$	Anpassungsbedarf ermitteln
y	<b>Planwert</b>	Stellgröße	Steller	Stellglied	Regelstrecke	$y = f(m)$	Anpassung einleiten
x <sub>a</sub>	Hilfsgröße	Ausgangsgröße	Stellglied	Messpunkt	Regelstrecke	$x_a = f(y)$	Anpassung umsetzen
z	Hilfsgröße	Störgröße	---	---	Regelstrecke	$z = Z(t)$	Zielwert negativ beeinflussen
q	<b>Realwert</b>	Aufgabengröße	Stellglied	Systemschnittstelle	Regelstrecke	$q \in \mathbb{R}$	Realen Endzustand beschreiben
x	<b>Istwert</b>	Regelgröße	Sensor	Messglied	Regelstrecke	$x = X(t)$	Zielwert messen
r	Hilfsgröße	Rückführungsgröße	Messglied	Vergleicher	Regler	$r = f(x)$	Messwert übertragen

TABELLE 62 - REGELGRÖßEN TABELLARISCH

Eigene Darstellung in Anlehnung an (Heinrich et al. 2017)

# A41. PROAKTIVE UND REAKTIVE REGELKREISE IM UMFELD DER PPS



## Übersicht zum **allgemeinen Aufbau** eines PPS Regelkreises

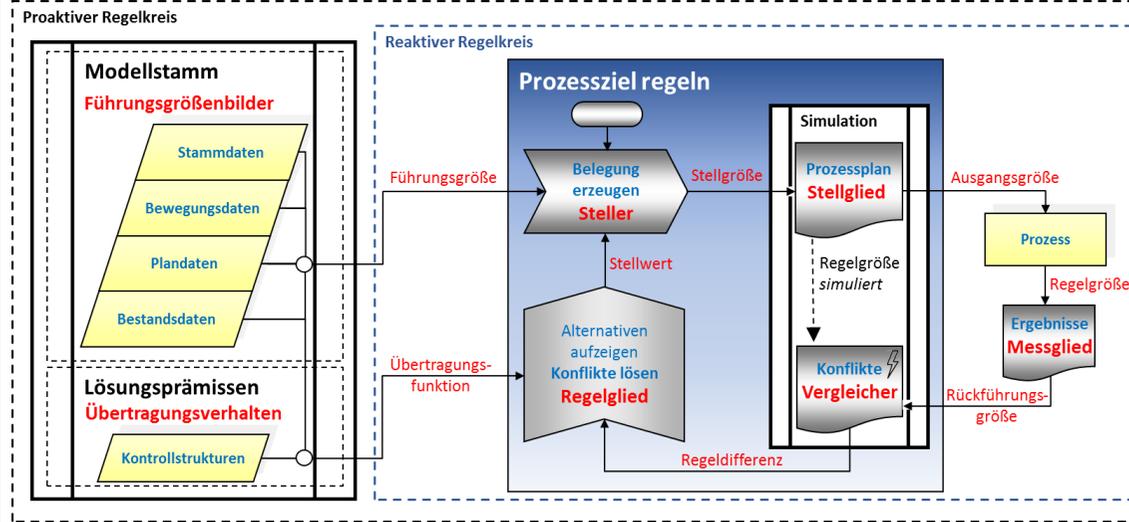


ABBILDUNG 62 - ALLGEMEINER AUFBAU DIGITALER REGELKREISE

Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an (Kletti 2019, S. 14)

## **Beschreibung**

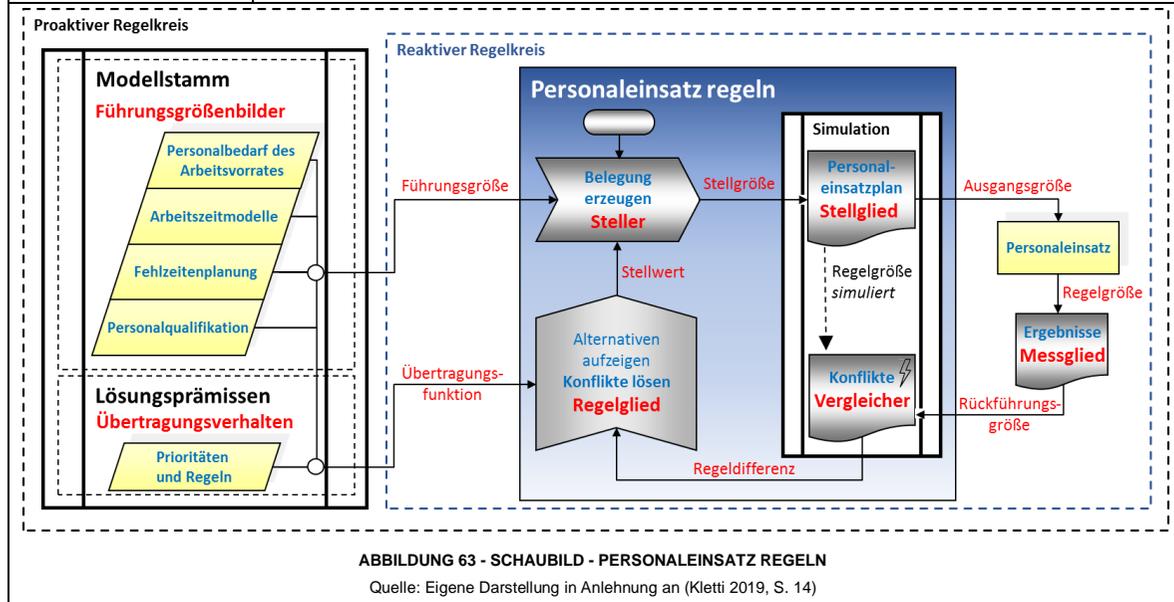
Abbildung 62 zeigt den prinzipiellen Aufbau DRK zur Unterstützung einer PPS-Aufgabe: Es handelt sich bei der Beziehung zwischen reaktivem und proaktivem DRK um eine Teil-Ganzes Beziehung (Komposition). D.h. es herrscht eine starke Abhängigkeit des proaktiven DRK von den Ergebnissen des reaktiven. Durch den Teilprozess „Simulation“ kann der reaktive DRK zu einem proaktiven DRK aufgewertet werden. Dazu sind Datenobjekte des Modellstamms und des Übertragungsverhaltens zur bedingten Ermittlung der Stellgröße sowie einer proaktiven (simulierten) Regelgröße notwendig. Zur Steigerung der Regelgüte der Stellwertermittlung dient die Implementierung der Übertragungsfunktion gleichzeitig als Eingangsparameter für das Regelglied. Die klassischen Regelelemente eines reaktiven Regelkreises werden beim proaktiven Ansatz, um simulierte Parameter als Eingangsdaten für die Regelelemente Steller (Führungsgröße) und Regelglied (Übertragungsfunktion) erweitert.

**Modellierungskonventionen:** In Anlehnung an DIN 66001

Proaktiver Regelkreis	Reaktiver Regelkreis
<p><b>Ziel</b></p> <p>Zukünftige Über-/Unterdeckung erkennen, Alternativen aufzeigen und Konflikte lösen</p> <p><b>Vorraussetzungen</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Modellstamm zur Simulation</li> <li>• Prämissen zur (proaktiven) Lösung von Konflikten</li> </ul>	<p><b>Ziel</b></p> <p>Über-/Unterdeckung erkennen und Konflikte lösen</p> <p><b>Vorraussetzungen</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Führungsgrößenbilder</b> zur Definition der Führungsgröße)</li> <li>• <b>Messglied</b> zur Erfassung der Regelgröße</li> <li>• <b>Vergleicher</b> zur Ermittlung der Regeldifferenz</li> <li>• <b>Regelglied</b> zur Ermittlung des Stellwertes)</li> <li>• <b>Steller</b> zur Übertragung der Stellgröße <b>Stellglied</b> zur Übertragung der Ausgangsgröße</li> </ul>

<b>Datenobjekt</b>	<b>Personaleinsatz</b>	<b>Kennzahlen</b>
<b>Planungsziel</b>	Personalbedarf und -verfügbarkeit für Planungshorizont harmonisieren	
<b>Steuerungsziel</b>	Personaleinsatz anpassen	
<b>Regelgröße</b>	Terminierter Personaleinsatz pro AG am Arbeitsplatz	<b>Beschreibung</b>

- Über-/Unterdeckung Personalanwesenheit
- Über-/Unterdeckung Personalqualifikation



Ausgehend vom allgemeinen Aufbau eines Digitalen Regelkreises fokussiert Abbildung 63 die Feinterminierung von Personalanwesenheiten an Arbeitsplätzen/Maschinen. Als **Eingangsparameter** gelten die quantitativen und qualitativen Personalbedarfe der Arbeitsgänge (pro Arbeitsplatz), die Arbeitszeitmodelle (Anwesenheit/Abwesenheit) des Personals, sowie Fehlzeitenplanung (Urlaub und abwesend) und Qualifikation der Mitarbeiter (Qualifikationsmatrix). **Ausgangsparameter** und Regelgröße ist der terminierte und freigegebene Personaleinsatz pro Person am Arbeitsplatz.

**Modellierungskonventionen:** In Anlehnung an DIN 66001

Proaktiver Regelkreis	Reaktiver Regelkreis
<b>Ziel</b> Zukünftige Über-/Unterdeckung erkennen, Alternativen aufzeigen und Konflikte lösen <b>Vorraussetzungen</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Modellstamm zur Simulation künftiger Personaleinsätze.</li> <li>• Prämissen zur (proaktiven) Lösung von Konflikten</li> </ul>	<b>Ziel</b> Über-/Unterdeckung erkennen und Konflikte lösen <b>Vorraussetzungen</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Führungsgrößenbilder</b> zur Definition der Führungsgröße (Geplanter Personalbedarf<sub>(Soll)</sub>)</li> <li>• <b>Messglied</b> zur Erfassung der Regelgröße (Tatsächlicher Personaleinsatz<sub>(Ist)</sub>)</li> <li>• <b>Vergleicher</b> zur Ermittlung der Regeldifferenz (Über-/Unterdeckung von Personal)</li> <li>• <b>Regelglied</b> zur Ermittlung des Stellwertes (Personalverfügbarkeit vs. Personalbedarf)</li> <li>• <b>Steller</b> zur Übertragung der Stellgröße (Personaleinsatzänderung)</li> <li>• <b>Stellglied</b> zur Übertragung der Ausgangsgröße (Personaleinsatzplan)</li> </ul>

<b>Datenobjekt</b>	<b>Kapazitätseinsatz</b>	<b>Kennzahlen</b>
<b>Planungsziel</b>	Kapazitätsbedarf und -verfügbarkeit für Planungshorizont harmonisieren	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Termintreue</li> <li>● Durchlaufzeit</li> <li>● Umlaufbestand</li> </ul>
<b>Steuerungsziel</b>	Kapazitätseinsatz anpassen	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Auslastung</li> <li>● Produktivität</li> </ul>
<b>Regelgröße</b>	Terminierter Kapazitätseinsatz pro AG am Arbeitsplatz	<b>Beschreibung</b>
		<p>Ausgehend vom allgemeinen Aufbau eines Digitalen Regelkreises fokussiert Abbildung 64 die Feinterminierung von Arbeitsgängen an betrieblichen Arbeitsplätzen.</p> <p>Als <b>Eingangsparameter</b> gelten gewichtete Planungsziele (z.B. KOZ der Kapazitätsbedarf (MRP II), die Verfügbarkeit von Ressourcen (Betriebsmittel, Werkzeug und Personal) sowie der Abgleich von auftragsbezogenen Sekundärbedarfen (MRP I) und zeitpunktbezogenen Materialbeständen.</p> <p>Um das Übertragungsverhalten am Regelglied zu definieren können Stammdaten, wie Rüstwechsellmatrizen, Fertigungsvarianten oder Sortier- und Prioritätsregeln zur Konfliktlösung genutzt werden. <b>Ausgangsparameter</b> und Regelgröße ist die terminierte und freigegebene AG-Reihenfolge in Form der Kapazitäts-/Maschinenbelegung pro Arbeitsplatz/Maschine.</p>
<p align="center"><b>ABBILDUNG 64 - SCHAUBILD - KAPAZITÄTSEINSATZ REGELN</b> Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an (Kletti 2019, S. 14)</p>		<b>Modellierungskonventionen:</b> In Anlehnung an DIN 66001
<b>Proaktiver Regelkreis</b>	<b>Reaktiver Regelkreis</b>	
<p><b>Ziel</b> Zukünftige Über-/Unterdeckung erkennen, Alternativen aufzeigen und Konflikte lösen</p> <p><b>Vorraussetzungen</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Modellstamm zur Simulation künftiger Kapazitätseinsätze.</li> <li>• Prämissen zur (proaktiven) Lösung von Konflikten</li> </ul>	<p><b>Ziel</b> Über-/Unterdeckung erkennen und Konflikte lösen</p> <p><b>Vorraussetzungen</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Führungsgrößenbilder</b> zur Definition der Führungsgröße (Bedarf an Fertigungskapazität<sub>(Soll)</sub>)</li> <li>• <b>Messglied</b> zur Erfassung der Regelgröße (Kapazitätseinsatz<sub>(Ist)</sub>)</li> <li>• <b>Vergleich</b> zur Ermittlung der Regeldifferenz (Über-/Unterdeckung von Terminzielen und Verfügbarkeiten)</li> <li>• <b>Regelglied</b> zur Ermittlung des Stellwertes (Kapazitätsverfügbarkeit vs. Kapazitätsbedarf)</li> <li>• <b>Steller</b> zur Übertragung der Stellgröße (Änderung des Kapazitätseinsatzes)</li> <li>• <b>Stellglied</b> zur Übertragung der Ausgangsgröße (Kapazitäts-/Maschinenbelegung)</li> </ul>	

<b>Datenobjekt</b>	<b>M a t e r i a l e i n s a t z</b>	<b>Kennzahlen</b>
<b>Planungsziel</b>	Materialbedarf und -verfügbarkeit für Planungshorizont harmonisieren	Überdeckung      Materialbedarf      (Bestand)
<b>Steuerungsziel</b>	Materialeinsatz anpassen	Materialverfügbarkeit
<b>Regelgröße</b>	Terminierter Materialeinsatz pro AG am Arbeitsplatz	<b>Beschreibung</b>

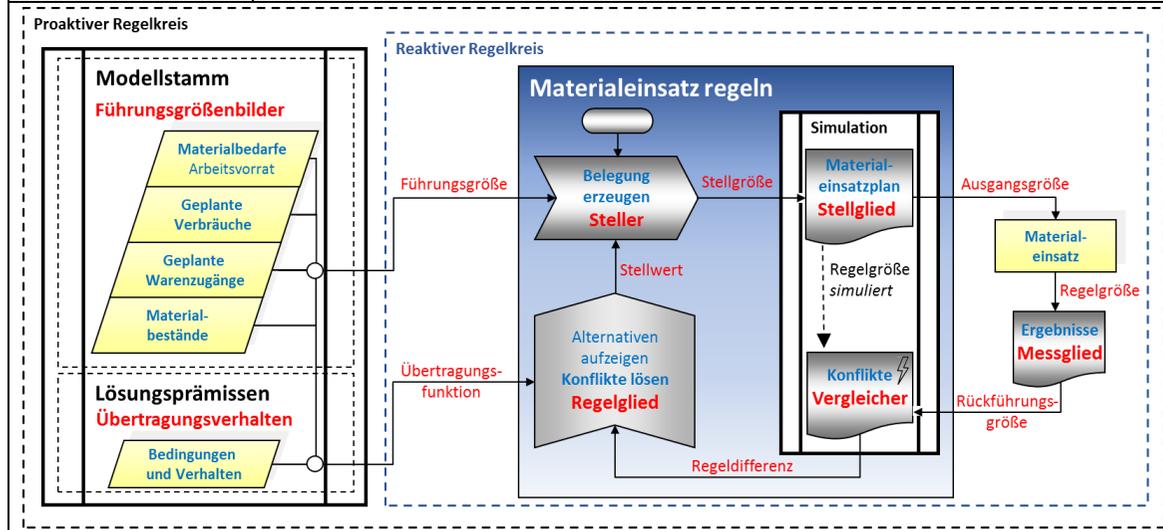


ABBILDUNG 65 - SCHAUBILD MATERIALEINSATZ REGELN  
Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an (Kletti 2019, S. 14)

Ausgehend vom allgemeinen Aufbau eines Digitalen Regelkreises fokussiert Abbildung 65 die Feinterminierung von Materialeinsätzen an betrieblichen Arbeitsplätzen/Maschinen. Als **Eingangsparameter** gelten die Materialbedarfe des Arbeitsvorrates (Sekundärbedarfe), die geplanten Verbräuche (Soll-Einsatzmengen) sowie die geplanten Wareneingänge (Lieferungen) und aktuelle Materialbestände. Um das Übertragungsverhalten am Regelglied zu definieren, können Stücklistenvarianten, Transport-/Beschaffungsmethoden Reduzierungsstrategien oder Lagerhaltungsdaten zur geregelten Konfliktlösung eingesetzt werden. **Ausgangsparameter** und Regelgröße ist der terminierte und freigegebene Materialeinsatz pro Arbeitsplatz/Maschine

**Modellierungskonventionen:** In Anlehnung an DIN 66001

<b>Proaktiver Regelkreis</b>	<b>Reaktiver Regelkreis</b>
<p><b>Ziel</b> Zukünftige Über-/Unterdeckung erkennen, Alternativen aufzeigen und Konflikte lösen</p> <p><b>Vorraussetzungen</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Modellstamm zur Simulation künftiger Materialeinsätze.</li> <li>• Prämissen zur (proaktiven) Lösung von Konflikten</li> </ul>	<p><b>Ziel</b> Über-/Unterdeckung erkennen und Konflikte lösen</p> <p><b>Vorraussetzungen</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Führungsgrößenbilder</b> zur Definition der Führungsgröße (Materialbedarf)</li> <li>• <b>Messglied</b> zur Erfassung der Regelgröße (Materialeinsatz)</li> <li>• <b>Vergleicher</b> zur Ermittlung der Regeldifferenz (Über-/Unterdeckung von Materialeinsätzen)</li> <li>• <b>Regelglied</b> zur Ermittlung des Stellwertes (Materialeinsatz vs. Materialbedarf)</li> <li>• <b>Steller</b> zur Übertragung der Stellgröße (Materialeinsatzänderung)</li> <li>• <b>Stellglied</b> zur Übertragung der Ausgangsgröße (Materialeinsatzplan)</li> </ul>

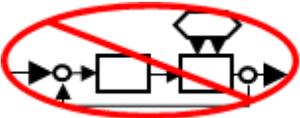
<b>Datenobjekt</b>	<b>Betriebsmitteleinsatz</b>	<b>Kennzahlen</b>
<b>Planungsziel</b>	Betriebsmittelbedarf und -verfügbarkeit für Planungshorizont harmonisieren	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Technischer Wirkungsgrad</li> <li>● Zuverlässigkeit (MTBF, MTBR, MTTPM)<sup>91</sup></li> </ul>
<b>Steuerungsziel</b>	Betriebsmitteleinsatz anpassen	
<b>Regelgröße</b>	Terminierter Betriebsmitteleinsatz pro AG am Arbeitsplatz	<b>Beschreibung</b>
		<p>Ausgehend vom allgemeinen Aufbau eines Digitalen Regelkreises fokussiert Abbildung 66 die Feinterminierung von Betriebsmitteleinsätzen an betrieblichen Arbeitsplätzen/Maschinen. Als <b>Eingangsparameter</b> gelten die Bedarfe der Betriebsmittel des Arbeitsvorrates (Tertiärbedarfe aus den Arbeitsplänen), die geplanten Instandhaltungen (Inspektion, Wartung, Reparatur) sowie die Betriebsmittelverfügbarkeit (Status) und Verschleißmodelle (periodische und leistungsorientierte Abnutzung). Um das Übertragungsverhalten am Regelglied zu definieren, können Toleranzen für Wartungsintervalle, priorisierte Betriebsmittelbelegung und Instandhaltungsstrategien zur Konfliktlösung genutzt werden.</p> <p><b>Ausgangsparameter</b> und Regelgröße ist der terminierte und freigegebene Betriebsmitteleinsatz pro Arbeitsplatz/Maschine.</p>
<p align="center"><b>ABBILDUNG 66 - SCHAU-BILD - BETRIEBSMITTELEINSATZ REGELN</b> Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an (Kletti 2019, S. 14)</p>		<b>Modellierungskonventionen:</b> In Anlehnung an DIN 66001
<b>Proaktiver Regelkreis</b>	<b>Reaktiver Regelkreis</b>	
<p><b>Ziel</b> Zukünftige Über-/Unterdeckung erkennen, Alternativen aufzeigen und Konflikte lösen</p> <p><b>Vorraussetzungen</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Modellstamm zur Simulation künftiger Betriebsmitteleinsätze und Instandhaltungsbedarfen.</li> <li>• Prämissen zur (proaktiven) Lösung von Konflikten</li> </ul>	<p><b>Ziel</b> Über-/Unterdeckung erkennen und Konflikte lösen</p> <p><b>Vorraussetzungen</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Führungsgrößenbilder</b> zur Definition der Führungsgröße (Betriebsmittelbedarf)</li> <li>• <b>Messglied</b> zur Erfassung der Regelgröße (Betriebsmitteleinsatz)</li> <li>• <b>Vergleicher</b> zur Ermittlung der Regeldifferenz (Über-/Unterdeckung von Betriebsmitteleinsätzen)</li> <li>• <b>Regelglied</b> zur Ermittlung des Stellwertes (Betriebsmitteleinsatz vs. Betriebsmittelbedarf)</li> <li>• <b>Steller</b> zur Übertragung der Stellgröße (Betriebsmitteleinsatzänderung)</li> </ul>	

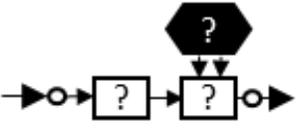
<sup>91</sup> vgl. VDI 4004 1986 – Fehlerfreie Zeit (MTBF), Instandsetzungszeit (MTBR), Geplante Zeit zur präventiven Instandhaltung (MTTPM)

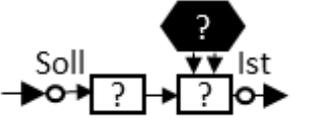
## A42. REIFEGRADE DIGITALER REGELKREISE

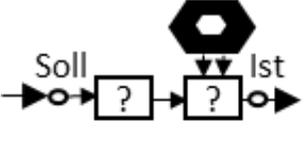
Nachfolgend sind Eigenschaften, Voraussetzungen und Anwendungsszenarien der Reifegrade der Reifegradmatrix erläutert.

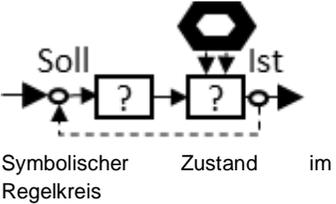
Der **Name der Reifestufe** vervollständigt die jeweils die Aussage „**Die Leistung der Aktivität wird digital ...**“

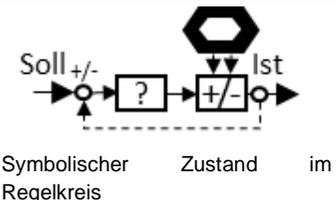
Name der Reifestufe	Eigenschaften, Voraussetzungen und Beschreibung	Fallbeispiele und Anwendungen (Auswahl)
<p data-bbox="129 544 416 639"><b>...nicht abgebildet</b> <b>[0]</b></p>  <p data-bbox="107 890 439 954">Symbolischer Zustand im Regelkreis</p>	<p data-bbox="465 544 1189 746">Wirtschaftliche Ziele, Prioritäten für Ressourceneinsätze, strategische oder politische Rahmenbedingungen, die Stabilität der Prozessleistung, oder organisatorische Rahmenbedingungen lassen derzeit keine sinnvolle Unterstützung der Aktivität zu.</p> <p data-bbox="465 754 1189 855">Digitale Informationen sollen <u>bewusst</u> weder als Input in die Aktivität hineinfließen, noch aus der Aktivität entnommen werden, um die Wertschöpfung zu unterstützen</p>	<ul data-bbox="1220 544 2168 1075" style="list-style-type: none"> <li>• Durchlaufkapazität (kein Engpass)</li> <li>• Arbeitsplatzstruktur befindet sich noch Entwicklungsprozess</li> <li>• Geplante Ersatzinvestition für Technische Struktur am Arbeitsplatz</li> <li>• Betriebsvereinbarung/Betriebsrat widersprechen der digitalen Erfassung</li> <li>• Fehlende Führungsunterstützung zur Leistungserfassung</li> <li>• Ressourcenkapazität zur Umsetzung sind anderweitig priorisiert</li> <li>• Persönliche Konflikte zwischen Fachbereich mit Prozessverantwortung und IT-Veränderungsteam („verbrannte Erde“ im sozialen Umfeld)</li> <li>• IT-Strategie (Sicherheit, Release, Produktportfolio, Budget) widerspricht einer Integration</li> <li>• Hohes Projektrisiko durch fehlende Veränderungskompetenz Die Berechtigung [das Dürfen], oder die fachliche Fähigkeit [das Können], oder die Motivation [das Wollen] zur gezielten Unterstützung der Leistung kann organisatorisch nicht sichergestellt werden</li> </ul>

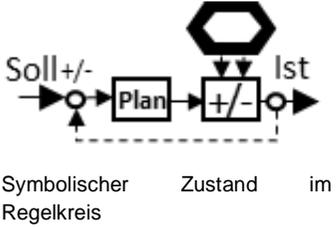
Name der Reifestufe	Eigenschaften, Voraussetzungen und Beschreibung	Fallbeispiele und Anwendungen (Auswahl)
<p style="text-align: center;"><b>...nicht erfasst</b> <b>[1]</b></p>  <p>Symbolischer Zustand im Regelkreis</p>	<p>Es werden keine digitalen Daten erfasst, welche genutzt werden könnten, um Rückschlüsse auf die <b>Leistung der Aktivität</b> zu schließen.</p> <p>Es fehlen IST-Werte, wie Zeiten, Mengen, Zustände (Statuswechsel/Ereignisse) und/oder Sollvorgabewerte um die Leistung (Arbeit [Dauer/Menge] pro Zeit) bewerten zu können.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Gesammelte Fortschrittsdaten von AG am Schichtende</li> <li>• Keine digitale Erfassung von Betriebsdaten</li> <li>• Keine Verarbeitung von Maschinensignalen</li> <li>• Datenerfassung findet nicht am Arbeitsplatz selbst statt</li> <li>• Auftragsfortschritt wird auf Arbeitsschein dokumentiert</li> <li>• Papierbasierte Lohnscheine – asynchrone Verbuchung</li> <li>• Buchungsart für Zeiten und/oder Mengen <math>\triangleq</math> Soll = Ist</li> <li>• Keine Erfassung von unproduktiven Zeiten am Arbeitsplatz</li> <li>• Keine Erfassung von Bearbeitungsgeschwindigkeiten</li> <li>• Keine Erfassung von Mengenqualitäten (Nacharbeit, Ausschuss)</li> <li>• Keine Stammdaten als Grundlage für Vorgabewerte arbeitsplatz-/arbeitsgangbezogener Aktivitäten (Zeitanteile des AG)</li> </ul>
<p><b>Begründung und Erläuterung der Reifestufe [1]</b></p> <p>Als Rahmenparameter einer Regelaufgabe muss mindestens ein Wertepaar (Soll/Ist) vorliegen.</p> <p>In der Reifestufe [1] fehlt einer der notwendigen Werte (Soll und/oder Ist) zum Abgleich.</p> <p>Die symbolische Darstellung beschreibt den Informationsfluss von möglichen Soll-Werten (Kreis <i>-links-</i>) und Ist.-Werten (Kreis <i>-rechts-</i>) zwischen der Regeleinrichtung (Viereck mit Fragezeichen <i>-links-</i>) Regelstrecke (Vierteck mit Fragezeichen <i>-rechts-</i>) und bestehenden Störgrößen (schwarzes Sechseck mit Fragezeichen <i>-oben-</i>). Die Pfeile zeigen die Wirkrichtung der Regelemente im Regelsystem. Die Störgrößen wirken dabei negativ auf die Regelstrecke. Die Fragezeichen stellen die Unbekanntheit der Eigenschaften der Regelemente im Regelkreis dar. Die Füllfarbe „schwarz“ im Sechseck beschreibt dabei die Intensität der Unbekanntheit. Im Falle nicht erfasster Soll/Ist-Werte können Einflüsse von Störgrößen nicht bewertet werden und die Intensität der Unbekanntheit ist daher maximal (Sechseck ist vollständig schwarz)</p>		

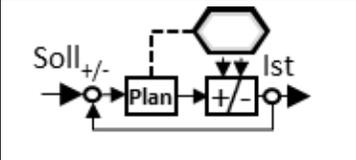
Name der Reifestufe	Eigenschaften, Voraussetzungen und Beschreibung	Fallbeispiele und Anwendungen (Auswahl)
<p style="text-align: center;"><b>...erfasst</b> <b>[2]</b></p>  <p>Symbolischer Zustand im Regelkreis</p>	<p>Es werden Daten digital erfasst, welche genutzt werden <i>könnten</i>, um Rückschlüsse auf die Leistung der Aktivität zu schließen.</p> <p>IST-Werte, wie Zeiten, Mengen, Zustände (Statuswechsel/Ereignisse) und/oder Sollvorgaben könnten genutzt werden, um die Leistung der Aktivität zu unterschiedlichen Zeitpunkten zu vergleichen.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Auftragsfortschritt (Mengen/Zeiten) wird digital dokumentiert</li> <li>• Industrie-PC für Betriebsdatenerfassung</li> <li>• Verarbeitung von Maschinensignalen via Ethernet, Feldbus</li> <li>• Datenerfassung findet am Arbeitsplatz selbst statt</li> <li>• Keine offline Datenträger zur Fortschrittsrückmeldung für FA (Ausdrucke)</li> <li>• Buchungsart für Zeiten und Mengen Ist ≠ Soll</li> <li>• Erfassung von unproduktiven Zeiten am Arbeitsplatz</li> <li>• Erfassung von Bearbeitungsgeschwindigkeiten am Arbeitsplatz</li> <li>• Unterscheidung von Mengenqualitäten (GUT/AUS/Nacharbeit)</li> <li>• Stammdaten dienen als Grundlage für Vorgabewerte einzelner Wertschöpfungsaktivitäten am Arbeitsplatz</li> </ul>
<p><b>Begründung und Erläuterung der Reifestufe [2]</b></p> <p>In der Reifestufe [2] liegen notwendige Wertepaare (Soll und/oder Ist) zum Abgleich einer Leistung vor.</p> <p>Die symbolische Darstellung erweiterten den Informationsfluss der [1], um die Bezeichnung Soll und Ist. Diese symbolisieren das Vorhandensein eines Wertepaars für die Regelelemente <i>Vergleicher</i> (Führungsgröße) und <i>Messpunkt</i> (Regelgröße).</p>		

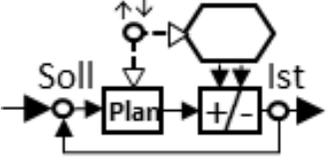
Name der Reifestufe	Eigenschaften, Voraussetzungen und Beschreibung	Fallbeispiele und Anwendungen (Auswahl)
<p style="text-align: center;"><b>...ausgewertet</b> <b>[3]</b></p>  <p>Symbolischer Regelkreis      Zustand im</p>	<p>Die Leistung der Aktivität wird dauerhaft berechnet. Leistungsunterschiede verschiedener Zeiträume werden dokumentiert und verglichen.</p> <p>Kennzahlen aggregieren die Leistung der Aktivität in Form definierter Controlling-Objekte.</p> <p>Zur Kennzahlenbildung werden die Merkmale (1 bis 9.) berücksichtigt:</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Rüstgrad</b> (Abgleich von Rüst-/Vorbereitungszeit zur Bearbeitungszeit)</li> <li>• <b>Effektivität</b> (Vergleich von Ist-Zyklus der Bearbeitung zum Soll-Zyklus der Bearbeitung)</li> <li>• <b>Wartezeit zur Abholung</b> (Transportgebilde fertiggestellt“ vs. „Transportgebilde abgeholt“)</li> <li>• <b>Personaleinsatz</b> (Abgleich zwischen Personalbelegungszeit am Arbeitsgang <i>Auftragszeit</i> zur Personalanwesenheitszeit)</li> <li>• <b>Durchsatz</b> (Ausbringungsmenge pro Zeit)</li> <li>• <b>Verfügbarkeit</b> Abgleich zwischen geplantem Maschineneinsatz / Realen Maschineneinsatz (Hauptnutzung / geplanter Nutzung)</li> <li>• <b>Qualitätsquote</b> Abgleich von Fehlteilen und Nacharbeit zu Gutteilen und Gesamtmenge (FPY)</li> <li>• <b>Mean time to Repair</b> für technische Komponenten Dauer zwischen den Zeitpunkten „funktionsfähig“ → „nicht-funktionsfähig“ bis zum Statuswechsel „nicht funktionsfähig“ → „funktionsfähig“ (VDMA-Einheitsblatt ICS 03.100.50)</li> </ul>
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. <b>Zweckmäßigkeit</b> Deckt die Kennzahl den Informationsbedarf zur Bewertung der Leistung?</li> <li>2. <b>Genauigkeit</b> Ist die Kennzahl valide?</li> <li>3. <b>Aktualität</b> Stehen Messzeitpunkt und Auswertzeitpunkt nicht in zu starker Konkurrenz?</li> <li>4. <b>Wirtschaftlichkeit</b> Ist das Verhältnis zwischen Aufwand und Ertrag der Kennzahl angemessen?</li> <li>5. <b>Nachvollziehbarkeit</b> Ist die Art der Ermittlung transparent/einfach?</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>6. <b>Verfügbarkeit</b> Ist der Datenzugriff dauerhaft sichergestellt?</li> <li>7. <b>Verdichtbarkeit</b> Können einzelne Teilergebnissen zusammengefasst werden?</li> <li>8. <b>Zieldefinition / Aufgabendefinition</b> Entspricht die Beschreibung der mit der Kennzahl verfolgten Ziele auch denen der Aufgaben welche beurteilt wird?</li> <li>9. <b>Quantifizierbarkeit</b> Ist die Kennzahl wertmäßig (Menge/Zeit) erfassbar? (vgl. Gómez et al. 2009, S. 126–136)</li> </ol>	
<p><b>Begründung und Erläuterung der Reifestufe [3]</b></p> <p>In der Reifestufe [3] werden Soll- und Ist-Werte von Leistungen am Arbeitsplatz verglichen. Dabei ergeben sich für definierte Kennzahlen Abweichungen. Der Kennzahleninhaber verantwortet dabei diese Abweichungen und wird Ressourcen einsetzen, um Ursachen der Abweichungen zu ermitteln. Die Beauftragung der Ressourceneinätze zur Ursachenanalyse wirkt positiv auf den Bekanntheitsgrad der Störgrößen. Die Transparenz aktueller Zustände und potenzieller Störursachen steigt.</p> <p>Die symbolische Darstellung erweitert den Informationsfluss aus [2] um ein weißes Sechseck innerhalb des schwarzen Sechsecks (Störgrößen). Die weiße Fläche symbolisiert dabei den Teil der bekannten Störgrößen im vorhandenen Regelkreis. Intensität der Unbekanntheit (schwarze Fläche) nimmt dabei ab.</p>		

Name der Reifestufe	Eigenschaften, Voraussetzungen und Beschreibung	Fallbeispiele und Anwendungen (Auswahl)
<p style="text-align: center;"><b>...bewertet</b> <b>[4]</b></p>  <p>Symbolischer Regelkreis</p>	<p>Die Gründe und Einflüsse für Leistungsdifferenzen werden analysiert, dokumentiert und priorisiert. Der Ursprung von Störungen (Leistungsverluste aus [3]) werden dabei identifiziert.</p> <p>Hierzu sind standardisierte Informationsprozesse und wiederkehrende Entscheidungspunkte definiert. Prozess-Gremien werden mit der Lösungsfindung beauftragt. In der Organisation wurden entsprechende Verantwortlichkeiten und Kapazitäten zur Analyse der Fehlerursprünge im GP geschaffen.</p>	<p>Analysen und/oder Workshops zu folgenden Themen werden durchgeführt:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Arbeitsplatzorganisation / Rüstwechseloptimierung</li> <li>• Auftragerstellungsprozess/ Materialflussorganisation</li> <li>• Feinplanungsziele und Planungsstrategien</li> <li>• Fehlerursachen und Fehlerwirkungen im Herstellprozess</li> <li>• Qualitätszirkel</li> <li>• Glättung von Nachfrage- und Bedarfsschwankungen</li> <li>• Analyse von Ressourcenüberlastungen</li> <li>• Ziele der Führungs-/Mitarbeitermotivation</li> <li>• Potenziale aus betrieblichem Vorschlagwesen</li> <li>• Investitionskostenrechnung für technische Infrastruktur</li> <li>• Potenzialanalyse Mitarbeiterqualifizierung</li> <li>• Tägliche Besprechung zu aktuellen Prozessstörungen</li> <li>• Ergebnissen aus Gemba-Walk</li> <li>• Stammdatenmanagement/-pflege und -qualität</li> <li>• Shopfloor Management /Coaching der Fertigungsteams</li> <li>• Prozessziele und Schnittstellenverluste im GP</li> <li>• Schulung/Training für Fachkompetenz betrieblicher Anwendungssysteme</li> </ul>
<p><b>Begründung und Erläuterung der Reifestufe [4]</b></p> <p>In der Reifestufe [4] werden Gründe für bekannte Störungen ermittelt.</p> <p>Je nach Störgrund und Bekanntheitsgrad können Maßnahmen ermittelt werden, um die Ursachen (proaktiv) zu vermeiden oder (reaktiv) entgegen zu wirken. Für die verbleibenden und regelkreisrelevanten Störgründe, können nach einer Bewertung, Eingriffs- und Warngrenzen zur Früherkennung definiert werden. Die symbolische Darstellung erweiterten den Informationsfluss aus [3] um einen zusätzlichen gestrichelten Pfeil. Dieser symbolisiert den potenziellen Rückfluss zwischen Regelgrößen zur Führungsgrößen. Der Zusammenhang zwischen auftretenden Störungen und deren Auswirkungen auf Leistungsverluste sind dabei (teilweise) bekannt und werden zum Vergleich rückgeführt. Symbolisch wird der gesteigerte Bekanntheitsgrad von Störursachen durch die zunehmende Größe der Fläche (Weißes Sechseck) dargestellt. Die weiße Fläche signalisiert hierbei die weitere Zunahme an Transparenz über operative Missstände.</p>		

Name der Reifestufe	Eigenschaften, Voraussetzungen und Beschreibung	Fallbeispiele und Anwendungen (Auswahl)
<p style="text-align: center;"><b>...überwacht</b> <b>[5]</b></p>  <p>Symbolischer Regelkreis im Zustand</p>	<p>Konkrete Leistungskennzahlen der Aktivität sind anhand von Sollvorgaben definiert und werden dauerhaft mit Ist-Werten verglichen.</p> <p>Bei auftretenden Abweichungen der Vorgaben werden diese mit Hilfe festgelegter Informationskanäle und definierter Reaktionszeiten an verantwortliche Stellen der Organisation kommuniziert. Als Kommunikationsmedium werden definierte Prozesse genutzt, welche bei verletzten Warngrenzen ausgelöst werden.</p> <p>Organisatorische Einheiten sind als Informationsempfänger der Grenzwertverletzung damit beauftragt den Zusammenhang zwischen Vorgabewert-Aktivität-Abweichung-Auswirkung zu analysieren. Die Ergebnisse der Analyse zielen auf die Darstellung der Zusammenhänge zwischen überwachter Leistungskennzahl und Handlungsalternativen zur Änderung/Gestaltung</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• der Vorgabewerte</li> <li>• der Aktivität</li> <li>• der Abweichung</li> <li>• der Auswirkung</li> </ul> <p>ab, um Maßnahmen zu entwickeln.</p>	<p>Korrelationsanalysen von Prozessinformationen</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Einstelldaten/Ausschussquote</li> <li>• Produktgruppe/Nacharbeit</li> <li>• Auftragsreihenfolge/Rüstquote</li> <li>• Anfahrausschuss/Einsatzmaterial</li> <li>• Nacharbeitsquote/Werkzeugeinsatz</li> <li>• Durchlaufzeit/Planungsstrategie</li> <li>• Stücklisteninformationen/Komponenteneinsatz</li> <li>• Zuverlässigkeit Betriebsmittel/Wartungsintervall</li> <li>• Kurzzeitstörung/ Mitarbeiterqualifikation</li> <li>• Wartungsintervall/Maschinenstillstand</li> </ul> <p>Hintergrundanalysen für Soll/Ist.-Vergleiche</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Minor/Major Auswertung von Kapazitätsverlusten</li> <li>• Sichtleitungen für Ausbringungsmengen</li> <li>• Gant-Diagramm (Zeitanteile der Durchlaufzeit)</li> <li>• Stammdaten (Artikel, Arbeitsplan, Stückliste)</li> <li>• Datenkonsistenzprüfung für Betriebsmittel und Auftrag (z.B. Schichtzeit vs. Maschinenlaufzeit vs. Werkzeugeinsatz)</li> <li>• Berechtigungsstufen im betrieblichen Meldewesen</li> <li>• Qualifikationsmatrix für Fertigungspersonal</li> </ul> <p>Ereignisüberwachung lt. Eingriffsgrenze: Arbeitsgangrückmeldungen, Personalanmeldungen, Werkzeugwechsel, Maschinenstatuswechsel, Materialeinsatz, Prüfzyklus, Qualitätsrate, Statuswechsel des Arbeitsgangs, Energieverbrauch, Sollwertänderungen</p>
<p><b>Begründung und Erläuterung der Reifestufe [5]</b></p> <p>In der Reifestufe [5] werden bekannte Störursachen an Identifikationspunkten anhand auslösender Ereignisse überwacht. Beim Verletzten einer Warngrenze, wird ein digitaler Kontrollfluss ausgelöst, um die Störgröße im Prozess zu kommunizieren. Die operative Reaktionszeit zur Aktivierung der Gegensteuerung wird erhöht. Die Beherrschbarkeit (Quantität und Qualität) von Störungen kann aus nachträglichen Leistungsanalysen abgeleitet werden. Das Stabilitätsverhalten des Regelkreises kann beschrieben und aktiv entwickelt werden. Die symbolische Darstellung erweitert den Informationsfluss aus [4] um zwei grafische Elemente (+/-).</p> <p>Zum einen wird die Differenzbildung am Vergleich als Regeldifferenz der Leistung (+/- am Sollwert) dargestellt und zum anderen signalisiert sie an der Regelstrecke (+/- im Viereck) das Überwachen von Störgrößen in Form der Erkennung potenzieller Zustandsänderungen in Form digitaler Ereignisse.</p>		

Name der Reifestufe	Eigenschaften, Voraussetzungen und Beschreibung	Fallbeispiele und Anwendungen (Auswahl)
<p data-bbox="181 328 365 416"><b>...gesteuert</b> <b>[6]</b></p>  <p data-bbox="107 655 443 710">Symbolischer Regelkreis      Zustand      im</p>	<p data-bbox="465 328 1189 746">Zur Vermeidung bekannter Störursachen [5], werden Plandaten als proaktive Vorgabeinformation im Prozess genutzt. Dabei stabilisieren Plandaten die Leistung der Aktivität am Arbeitsplatz und mindern Leistungsverluste. Plandaten werden dabei durch definierte (standardisierte) Datenflüsse im Prozess kommuniziert und bieten den Informationsempfängern einen Mehrwert zur Aktivierung einer Entscheidung. Die Plandaten ergeben sich dabei aus der Verarbeitung von abwicklungs- und zustandsorientierten Stamm-, Bestands- und Bewegungsdaten (Nutzdaten).</p>	<ul data-bbox="1234 328 2152 863" style="list-style-type: none"> <li>• Plausibilisierung von Eingabewerten (Stammdaten &amp; Erfassung)</li> <li>• Auftragsfreigabeprüfung</li> <li>• Top-Reklamationsgründe werden artikelbezogen am Arbeitsplatz dargestellt</li> <li>• Checklistenpunkte vor der Durchführung einer Prozessaktivität</li> <li>• Konfliktprüfung bei der Terminierung eines FA/AG</li> <li>• Digitale Einstell Datensätze / DNC-Daten für Arbeitsplätze</li> <li>• Bereitstellungsplan von Betriebsmitteln zur Arbeitsplatzvorbereitung</li> <li>• Lesebestätigung für Arbeits- und Verfahrensanweisungen</li> <li>• Plantermine (Auftragsstart) für Materialbereitstellung</li> <li>• Schichtübergreifende Themen-Chats / Digitales Schichtbuch</li> <li>• Anforderungsworkflow für Verbrauchsmaterialien/Betriebsstoffe</li> <li>• Erinnerungsfunktion für Inspektions- und Wartungsintervalle</li> <li>• Bedarfsorientierte Erstellung von Transportaufträgen</li> <li>• Rüstwechselmatrix Fertigungsvarianten</li> <li>• Bedingter Meldeworkflow zur Steuerung von Nacharbeitsmengen</li> </ul>
<p data-bbox="107 879 707 906"><b>Begründung und Erläuterung der Reifestufe [6]</b></p> <p data-bbox="107 919 2152 1161">In der Reifestufe [6] werden für überwachte Störursachen gleichzeitig Prozessinformationen (Plandaten) proaktiv verarbeitet. Diese Plandaten werden als Maßnahme zur Senkung potenzieller Leistungsverluste eingesetzt und erhöhen damit die Prozessstabilität und Reaktionszeit drohender Abweichungen. Die symbolische Darstellung erweitert den Informationsfluss aus [5], um den Begriff „Plan“ (Viereck <i>-links-</i>) und ersetzt damit das vorherige Fragezeichen im Regler [5]. Der Begriff „Plan“ symbolisiert die Verarbeitung von Plandaten zur Vermeidung bekannter Störgrößen. Durch den proaktiven Ansatz der Plandaten wird das Verhalten der Reifestufe als „gesteuert“ bezeichnet. Die Wirksamkeit der Plandaten wird über die Rückführungsgröße gemessen, steht aber nicht in direktem Zusammenhang zur Maßnahme (Anwendung der Plandaten). Auftretende Abweichungen der Regelgröße (Leistungsverluste), können somit nicht direkt durch aktualisierte Plandaten im Regelprozess ausgeglichen werden (Steuerung).</p>		

Name der Reifestufe	Eigenschaften, Voraussetzungen und Beschreibung	Fallbeispiele und Anwendungen (Auswahl)
<p style="text-align: center;"><b>...reguliert</b> <b>[7]</b></p>  <p>Symbolischer Regelkreis im Zustand</p>	<p>Für die Anwendung von Plandaten sind erwartete Ergebnisse, sogenannte Vorgabewerte definiert. Bei Abweichung der Vorgabewerte sind wiederum konkrete Reaktionsmaßnahmen festgelegt. Diese dienen zur Sicherung einzelner Prozessleistungen. Ereignisse, welche zu Abweichungen der Vorgabewerte führen (können), werden zustandsabhängig überwacht und an verantwortliche Prozessinstanzen (Empfänger) kommuniziert. Für die Reaktionsmaßnahmen zur Gegensteuerung bei Vorgabewertabweichungen sind Verantwortlichkeiten und Prioritäten definiert. Die verantwortlichen Instanzen sind dabei mit Lösungskompetenz zur Aktivierung der Reaktionsmaßnahmen ausgestattet.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Online Monitoring der Fabrik (Zustände der Arbeitsplätze &amp; Aufträge)</li> <li>• Artikelbezogener Robotereinsatz zur Montage von Haltevorrichtung</li> <li>• Automatische Produktkennzeichnung aus Bewegungsdaten der Bearbeitung</li> <li>• Artikelbezogene Inlinemessung am Arbeitsplatz durch integrierte Messmittel und Prüftoleranzen via online CAQ</li> <li>• Auftragsabhängiger Betriebsmittelwechsel durch gesteuertes Werkzeugmagazin</li> <li>• Bedarfsorientierte Erstellung von WIP-Aufträgen</li> <li>• Monitoring von Sollwertänderungen</li> <li>• Zustandsüberwachung und Trendanalyse für Prozessdaten der Bearbeitung</li> <li>• Quality-Gates für Plandaten und Vorgabewerte (Prozessverriegelung)</li> <li>• Vorgelagerte Regelkreise zur Absicherung der Datenqualität</li> <li>• Pufferkapazitäten zur Erhöhung der Prozessflexibilität</li> <li>• Online Maßnahmen-Tracking</li> <li>• Korrelationsanalyse mit Hilfe lernender Algorithmen</li> </ul>
<p><b>Begründung und Erläuterung der Reifestufe [7]</b></p> <p>In der Reifestufe [7] werden die Plandaten aus [6] um erwartete Ergebnisse (Vorgabewerte) erweitert. Zustände der Vorgabewerte gehen dabei selbst als Ergebnis in die Rückführungsgröße ein.</p> <p>Die symbolische Darstellung erweitert den Informationsfluss aus [6], um einen durchgezogenen Pfeil zwischen Messpunkt (Kreis „Ist“ -rechts-) hin zum Vergleich (Kreis „Soll +/-“ -links-). Der Kontrollfluss von Messgrößen (Regelgröße und Zustände der Vorgabewerte) wird als stetiger Input an den Regler zurückgeführt. Für Abweichungen (Differenzen durch Störungen) sind Maßnahmen in Form von Plandaten definiert. Die gestrichelte Verbindung zwischen dem Regler (Viereck „Plan“ -links-) und den Störgrößen (Sechseck -oben-) veranschaulicht diese Beziehung. Die Intensität der Unbekanntheit möglicher Störungen ist weiter abnehmend – mögliche Störungen sind in der Regel bekannt. Symbolisch wird die Rest-Unsicherheit von Störursachen durch die leichte Graufäche (Weißes Sechseck) dargestellt.</p>		

Name der Reifestufe	Eigenschaften, Voraussetzungen und Beschreibung	Fallbeispiele und Anwendungen (Auswahl)
<p style="text-align: center;"><b>...geregelt</b> <b>[8]</b></p>  <p>Symbolischer Regelkreis Zustand im</p>	<p>Abweichungen von Vorgabewerten werden regelbasiert identifiziert und kommuniziert. Eingriffsvoraussetzungen definieren dabei den Regeleinsatz.</p> <p>Für Grenzwerte sind Handlungsoptionen in Form von Alternativen (proaktiv) oder Maßnahmen (reaktiv) definiert. Handlungsoptionen werden durch situationsabhängige Planwerte eingeleitet.</p> <p>Dabei dienen Planwerte als regelgebundene Änderung der bis dato gültigen Vorgabewerte. Ermittelte Planwerte unterstützen die Umsetzung einer Handlungsoption und dienen damit zur Sicherung der Prozessleistung.</p> <p>Der Wirkprozess zwischen proaktiven Alternativen und reaktiven Maßnahmen ist geschlossen. Die Aktivität wird regelgebunden kontrolliert und durch Alternativen unterstützt. Entscheidungen werden innerhalb einer festgelegten Dauer wirksam. Als Ergebnis der proaktiven und reaktiven Regelung sind ist die Prozessleistung stabil und planbar.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• (Teil-) Automatisierte Personaleinsatzplanung anhand tätigkeitsabhängiger Qualifikationsbedarfe</li> <li>• Terminaktualisierung der AG bei ungeplantem Stillstand</li> <li>• Zielgetriebene Kapazitätsbelegung</li> <li>• Alarmfunktion für überwachte Prozessdaten</li> <li>• Automatischer Reparaturauftrag bei Werkzeugbruch</li> <li>• Visualisierte Taktabweichung als Shop-Floor Kennzahl</li> <li>• Störmeldung und Lösungsbeschreibung für mobile Endgeräte (Rufbereitschaft)</li> <li>• Automatische Bestellung von Ersatzteilen für Verschleißkomponenten</li> <li>• Proaktive Lieferterminverschiebung bei Bestandsengpass</li> <li>• Online Trendanalyse für Messwerte von Qualitätsmerkmalen</li> <li>• Realdatenbasierte (leistungshistorische) Auftragsfeinplanung</li> <li>• Qualitätsabhängige Steuerung von FTS</li> <li>• Online WIP-Bestand durch RFID und simultane Materialumbuchungen</li> <li>• Angebotsfreigabe/-kalkulation auf Grundlage aktueller Produktionsauslastung</li> <li>• Bestandsprognose bei simulierten Fertigungsterminen der Zukunft</li> <li>• FMEA Ergebnisse als Anforderung an Prozessziele am Arbeitsplatz</li> <li>• Simulationsszenarien ermitteln Planungskonflikte der Kapazitätsplanung</li> <li>• Alternativszenarien der Belegplanung lösen Planungskonflikte online</li> <li>• Online Status der Bearbeitung fließt in Ermittlung gültiger Plandaten ein</li> </ul>
<p><b>Begründung und Erläuterung der Reifestufe [8]</b></p> <p>Sowohl proaktive Alternativen zu Vermeidung von Störungen als auch reaktive Maßnahmen zur Störungsbehebung werden standardmäßig genutzt, um die Regelgröße zu stabilisieren. Zur stetigen Überwachung der Rückführungsgröße werden Plandaten eingesetzt. Diese dienen der proaktiven Vermeidung drohender Konflikte und zur reaktiven Einleitung gültiger Gegenmaßnahmen.</p> <p>Die symbolische Darstellung erweitert den Informationsfluss aus [7], um einen zusätzlichen Vergleichspunkt (Kreis mit Pfeilen <math>\updownarrow</math>) auf der Verbindung zwischen Regler (Viereck „Plan“ -links-) und Störgrößen (Sechseck -oben-). Zusätzlich wurde die Verbindung an den Kanten mit jeweils einem Datenflusspfeil in Richtung Regler (<math>\downarrow</math>) und in Richtung der Störgrößen (<math>\Rightarrow</math>) erweitert. Der neue Vergleichspunkt und die Datenflusspfeile symbolisieren dabei einen Funktionsablauf zur bedingten Ermittlung gültiger Plandaten im Abgleich potenzieller Konflikte und realer Zustände.</p>		

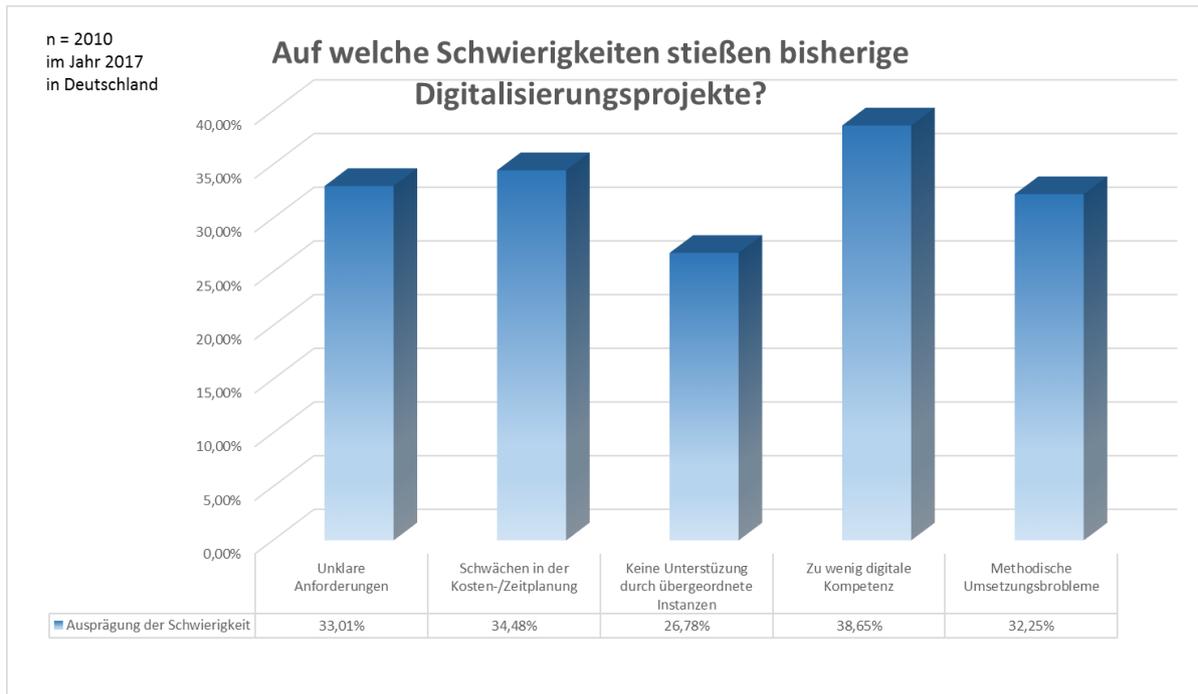
## A43. EINZELPERSPEKTIVEN DER SMARTEN FABRIK

Perspektive	Kompetenzbeitrag für die Smarte Fabrik	Elemente im Informationssystem	Ergebnisse	Beitrag zur Informationsflussgestaltung der Wertschöpfung
ARIS	Die Sichtweise beschreibt die Struktur für den Aufbau und den Ablauf bei der Entwicklung integrierter GP mit Hilfe betrieblicher Anwendungssysteme.	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Organisationseinheit</li> <li>● Aktivität</li> <li>● Ereignis</li> <li>● Datenobjekt</li> <li>● Kontrollstruktur</li> <li>● Risiko</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Prozessmodell</li> </ul>	bietet Referenzaufbau
PPS	Die Sichtweise beschreibt die Struktur und Zuordnung der fachlichen Aufgabeninhalte bei Betrieb des Anwendungssystems.	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Aufgabensicht</li> <li>● Prozessarchitektur</li> <li>● Funktionssicht</li> <li>● Prozesssicht</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Anforderungen an Anwendungssysteme</li> </ul>	definiert Aufgabeninhalte
ERP	Die Sichtweise beschreibt die Struktur zur Verwaltung, Pflege und Verarbeitung von betrieblichen Daten der Unternehmensleitebene.	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Verkaufsauftrag</li> <li>● Artikel</li> <li>● Arbeitsplan</li> <li>● Stückliste</li> <li>● Fertigungsauftrag</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Materialbedarf (MRP I)</li> <li>● Kapazitätsbedarf (MRP II)</li> </ul>	liefert Vorgabewerte
MES	Die Sichtweise beschreibt die Struktur zur Erfassung, technischen Integration, Überwachung und Anpassung von betrieblichen Daten der Fertigungsleitebene.	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Kapazitätseinheit</li> <li>● Arbeitsgang</li> <li>● Betriebsmittel</li> <li>● Personal</li> <li>● Qualitätsbedarf</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Verfügbarkeit</li> <li>● Auslastung</li> <li>● Störgrößen</li> <li>● Prüfergebnisse</li> <li>● Durchlaufzeit</li> <li>● Auftragsstatus</li> </ul>	erfasst Zustand
CIM	Die Sichtweise beschreibt die Aufgaben der fachlichen Teilsysteme im Prozess der digitalen (computergestützten) Auftragsabwicklung.	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Betriebswirtschaftliche (kaufmännische) Daten</li> <li>● Technisch (gewerbliche) Daten</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Produktspezifikation</li> <li>● Konstruktionsdaten</li> <li>● Fertigungsverfahren</li> <li>● NC-Programme</li> <li>● Einstelldaten</li> <li>● Prüfpläne</li> <li>● Kosten</li> </ul>	definiert Teilsysteme
IE	Die Sichtweise beschreibt die Aufgaben zur Optimierung der Wertschöpfung.	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Leistungsverluste</li> <li>● Potenziale</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Konzepte zur Effizienzsteigerung der Wertschöpfung</li> </ul>	bewertet Ergebnis
GPM	Die Sichtweise beschreibt die Ablauforientierung als Strategie der Arbeitsteilung.	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Prozessziele</li> <li>● Prozesshierarchie</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Hauptprozesse</li> <li>● Nebenprozesse</li> <li>● Entscheidungsprozesse</li> </ul>	bildet Teilprozesse

DRK	Die Sichtweise beschreibt die Elemente und Aufgaben zur Verhaltenskontrolle von Informationsflüssen.	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Führungsgröße</li> <li>● Störgröße</li> <li>● Regelgröße</li> <li>● Regeldifferenz</li> <li>● Stellwert</li> <li>● Stellgröße</li> <li>● Ausgangsgröße</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Reaktionszeiten</li> <li>● Regelgüte</li> <li>● Abweichungen</li> </ul>	kontrolliert Ziele
MTO	Die Sichtweise beschreibt die Wechselwirkung zwischen Systemteilnehmern.	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Beziehung und Abhängigkeit der Systemteilnehmer</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Unternehmensziele</li> <li>● Unternehmenskultur</li> <li>● Automatisierungsgrad</li> <li>● Qualifikationen</li> <li>● Kompetenzverteilung</li> <li>● Schlüsseltätigkeiten</li> <li>● Motivation</li> <li>● Entscheidungswege</li> </ul>	spezifiziert Teilnehmer
IO	Die Sichtweise beschreibt die Struktur und den Reifegrad von Schnittstellen zur Integration von Teilsystemen im Informationsfluss.	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Applikations- und Servicestrategie</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Anwendungssysteme</li> <li>● Informationsschnittstellen</li> </ul>	definiert Schnittstellen

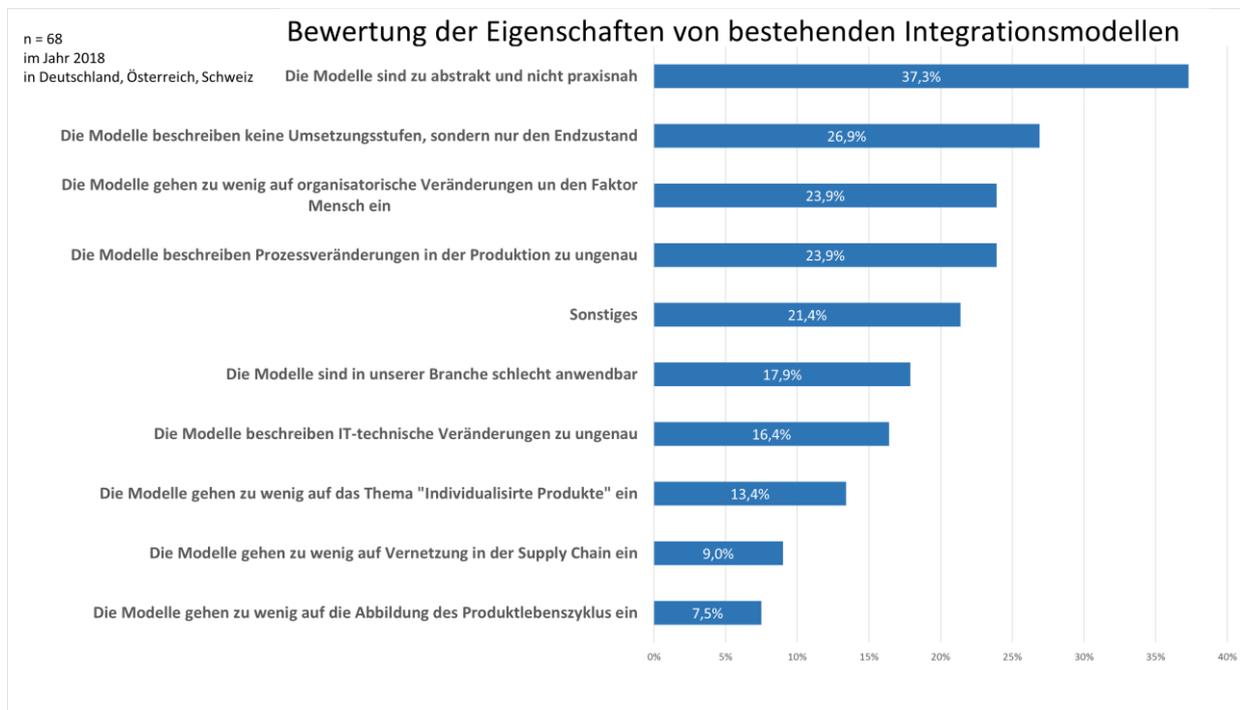
TABELLE 63 - PERSPKTIVEN UND KOMPETENZEN

**A44. EMPIRISCHE UNTERSUCHUNGEN**



**ABBILDUNG 67 - SCHWIERIGKEITEN IN DIGITALISIERUNGSPROJEKTEN**

Quelle: (d.velop AG 2018)



**ABBILDUNG 68 - KRITIK AN BESTEHENDEN MODELLEN**

Quelle: (Schumacher 2018)

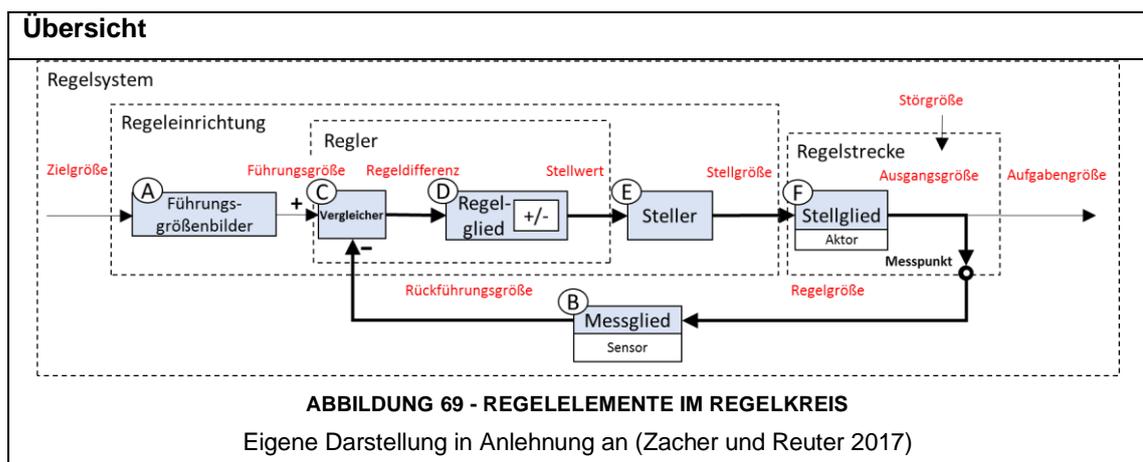
## A45. VORAUSSETZUNGEN DES DIGITALEN REGELKREISES

Nachfolgende Abbildung 70 zeigt einen konkreten Bedarf der technischen Voraussetzungen im DRK. Für die PPS-Aufgabe der „Kapazitätsbelastungsrechnung,“ (vgl. Kiener et al. 2018, 126 f.) werden die Voraussetzungen (PR01 bis PR07) anhand eines Beispiels verdeutlicht.

### [Kürzel]

PR01masta data, PR02H2M, PR03runtime, PR04monitoring, PR05workflow, PR06M2M, PR07M2H

Dabei wird die alternative Verantwortlichkeit zur Durchführung der Aktivität unterschieden. Die Ausprägung wird in „wird primär von einem Menschen übernommen“ und „wird primär von Technik<sup>92</sup>“ übernommen unterschieden. Ziel der Darstellung ist die Notwendigkeit der Voraussetzungen (PR01 bis PR07) unabhängig vom Automatisierungsgrad der Datenverarbeitung im DRK aufzuzeigen. Da die Aufgabe der Regelelemente im Umfeld der SF sowohl von Menschen als auch von Maschinen übernommen (vgl. Schließmann 2014) werden, betrachtet die Darstellung beide Ausprägungen alternativ. Abbildung 69 zeigt als Übersicht eine entsprechende Referenz der Regelelemente (A. bis F.) zu Orientierung im technischen Regelkreis.



<sup>92</sup> Technik/IT-System als allgemeiner Platzhalter für softwaregestützte Verarbeitung von Informationen (z.B. Anwendungen wie ERP, MES, SPS)

Aufgabe der PPS anhand eines exemplarischen Anwendungsfalls		
Kapazitätsbelastungsrechnung		
Aufgabe: Über-/Unterdeckung ermittelt → Szenario: Kapazität muss erweitert werden		
Aufgabe am ↓	↓ wird primär übernommen durch ↓	
	Mensch	Technik
<b>(A)</b> <b>Führungs- größenbilder</b>	<p>Ein Anwender aus dem Bereich der Unternehmensleitung erfasst [H2M] einen Sollwert [masta data] in einem betrieblichen Anwendungssystem. Die geplante Kapazität [workflow] eines Arbeitsplatzes wird hier für einen Planungshorizont [monitoring] hinterlegt. Die Kapazität definiert den Vorgabewert [runtime] einer maximalen Auslastung [M2H] für den Planzeitraum.</p>	<p>Eine Funktion (Berechnungslogik/Algorithmus) ermittelt die Soll-Kapazität [runtime] eines Arbeitsplatzes [masta data] anhand der aktiven Schichtzeiten[runtime], aus den Stammdaten im Schichtmodell [masta data], im Vergleich [monitoring] zum aktuellen Leistungsgrad des Arbeitsplatzes [runtime]. Dabei berechnet sich der Leistungsgrad aus dem gewichteten Durchschnitt und der aktuellen Ist.-Produktivität [workflow] aus den letzten (z.B. 30) Arbeitstagen [runtime]. des Arbeitsplatzes [masta data], Die Ist.-Produktivität [runtime], korrigiert dabei die Soll-Kapazität [runtime], der Stammdaten [masta data], um einen Faktor &lt; 1 [runtime]. Der errechnete Wert [runtime] wird als geplante Kapazität [runtime] des Arbeitsplatzes [masta data], für den Planungshorizont übernommen. [M2M]</p>
<b>(B)</b> <b>Messglied</b>	<p>Ein Anwender [H2M] der Fertigungsleitung überprüft [monitoring] die Auslastung des Arbeitsplatzes (aktuelle Maschinenbelegung vs. geplante Kapazität) für einen Planungshorizont [monitoring] anhand einer visuellen Darstellung [workflow] der Kapazität</p>	<p>Eine Funktionen[M2M] summiert geplante Kapazitätsbedarfe für den Planungshorizont [runtime],.</p>
<b>(C)</b> <b>Vergleicher</b>	<p>Der Anwender [M2H] erkennt eine Kapazitätsüberlastung [monitoring] durch Bewertung der Auslastung des Arbeitsplatzes im Planungshorizont (Ist&gt;Soll) [runtime],.</p>	<p>Eine Berechnungslogik [M2M] ermittelt, eine Überlastung der Kapazität. Ist.-Kapazitätsbedarf &gt; Soll-Kapazität [workflow]</p>
<b>(D)</b> <b>Regelglied</b>	<p>Der Anwender [H2M] entscheidet [runtime], über den Bedarf einer zusätzlichen Schicht als Option der Kapazitätserweiterung im Planungshorizont</p>	<p>Eine zyklusgesteuerte Funktion [M2M] prüft eine bedingte Kontrollstruktur [workflow]. Im Zuge der Ausführung werden Bedingungen anhand von Stamm- und Bewegungsdaten geprüft [monitoring]. Die Programmausführung erfolgt dabei abhängig von den Ergebnissen Prüfung [workflow]. Die Funktion führt danach einen konkreten Kontrollstrang im Programm aus [runtime], da die Bedingung</p> <p>[Planung]  Aktiv = 1; on  Maschinengruppe = 17 ;CNC  Schichtmodell =&gt; 44 ; 2 Schicht  Option zu Kapazitätserweiterung = 4; Dritte Schicht einplanen zutreffen. [masta data] [M2M]</p>

<p>Ⓔ <b>Steller</b></p>	<p>Als Maßnahme zur Kapazitätserweiterung, trägt ein Anwender [H2M] der Fertigungsebene eine zusätzliche Schicht [masta data] im Kapazitätskalender des Arbeitsplatzes ein [workflow].</p>	<p>Der ausgeführte Kontrollstrang [runtime], aktiviert eine Funktion [workflow]. zum automatischen Einfügen einer Schicht für den identifizierten Planungshorizont. Die Funktion erstellt dazu einen zusätzlichen Eintrag (Insert) im Kapazitätskalender des Arbeitsplatzes [M2M]. Als Ergebnis wird die Kapazität des Arbeitsplatzes für den Planungshorizont um eine dritte Schicht erweitert [masta data] .</p>
<p>Ⓕ <b>Stellglied</b></p>	<p>Ein Anwender [H2M] aktualisiert den Schichtplan [masta data] für das betroffene Fertigungspersonal [workflow] im Planungshorizont der Kapazitätserweiterung [runtime]. Ein neuer Schichtplan wird als Bericht erstellt [M2M].</p>	<p>Nach Erweiterung der Soll-Kapazität [M2M]. im Planungshorizont, prüft die Funktion [monitoring] abschließend das Attribut 'Personalplaner für Arbeitsplatz' [masta data] Auf Grundlage des ermittelten Attributwerts, wird eine E-Mail [runtime]. mit den Informationen zu geänderten Schichtzeiten [masta data] an den verantwortlichen Personalplaner [M2H] gesendet [workflow]. Parallel aktualisiert eine Funktion [runtime]. den Schichtplan [masta data] des Fertigungspersonals für den Planungshorizont.</p>

ABBILDUNG 70 - AUFGABEN DER REGELELEMENTE MENSCH VS. MASCHINE

2/2

Abbildung 70 beschreibt einen unterschiedlichen Automatisierungsgrad zur Durchführung der Regelaufgaben. Der Bedarf zur Datenverarbeitung in einer Systemlandschaft ist beiden Fällen identisch. Im dargestellten Szenario (Technik) ist eine IO der Stufe 4-5 notwendig. Diese ist mit Hilfe eines gemeinsamen Datenmodells (Stufe 6), standardisierter Systemschnittstellen (Stufe 5) oder arbeitsteilig organisierter Verarbeitungsroutinen (Stufe 4) realisierbar. In der praktischen Anwendung ergibt sich eine Kombination der Varianten (H2M, M2H, M2M) samt unterschiedlicher Anforderungen an die IO (vgl. Liggesmeyer und Trap 2017). Bezogen auf die Anwendungsumgebung sind diese Voraussetzung (PR01-PR07.) somit als notwendige Bedingungen zu berücksichtigen, um den Einsatz des DRK sicherzustellen. D.h. entweder Mensch oder Technik können Aufgaben der Regelemente im Regelkreis übernehmen.

## A46. ENTWICKLUNGSPHASEN

Nachfolgend wird der Aktivitätsplan der Entwicklungsphasen 1-15 beschrieben:

Legende zum Aktivitätsplan

Kapitel	Ebene	Aktivität	Ziel	Typ	ID	Teil von	Vorgänger
Verweis auf Ergebnis Dokumentation	Hierarchiestufe 1 Hierarchiestufe 2 Hierarchiestufe 3 Hierarchiestufe 4 Hierarchiestufe 5	Beschreibung der Aktivität	Beschreibung der Zielsetzung pro Aktivität				
				<b>Typ:</b> ist (H) Hierarchie oder (A) Aufgabe <b>ID:</b> ist eindeutige Nr. der Aktivität <b>Teil von:</b> ist Aktivität untergeordnet <b>Vorgänger:</b> ist sequentiell abhängig von			

Operative Ansicht des Aktivitätsplans

↓ Beispieldarstellung als Auszug aus dem Aktivitätsplan der Entwicklungsphasen 1-15 ↓

Kapitel	Ebene	Aktivität	Ziel	Typ	ID	Teil von	Vorgänger
...	...	...	...	...	...	...	...
<b>20000</b>	<b>1</b>	<b>Digitalen Regelkreis identifizieren</b>	Aktuellen Wirkprozess erfassen	H	23	1	2
<b>21000</b>	<b>2</b>	<b>Geschäftsprozess identifizieren</b>	Wertstrom identifizieren	H	24	23	
<b>21100</b>	<b>3</b>	<b>Teilprozesse identifizieren</b>	Wertstrom zerlegen	H	25	24	
<b>21200</b>	<b>3</b>	<b>Teilprozesse priorisieren</b>	Relevante Geschäftsprozesse definieren	H	26	24	25
21210	4	Prozesseinfluss definieren	Relevanz der Prozessziele festlegen	A	235	26	
21220	4	Prozesseinfluss bewerten	Wichtigkeit der Ziele selektieren	A	236	26	
<b>21300</b>	<b>3</b>	<b>Teilprozess spezifizieren</b>	Zustand für Ist.-Prozess erfassen	H	27	24	26
21310	4	PPS-Aufgaben identifizieren	Anforderung an Prozessziel definieren	A	28	27	
21320	4	Prozessziel definieren	Soll-Zustände am Prozessende definieren	A	29	27	
21330	4	Aktivitäten identifizieren	Teilaufgaben im Prozess erfassen	A	31	27	
21340	4	Nutzdaten identifizieren	Datenobjekte der PPS erfassen	H	32	27	
21341	5	Stammdaten identifizieren	Datenobjekte für MRP identifizieren	A	60	32	
21342	5	Bewegungsdaten identifizieren	Daten im Fertigungsauftrag identifizieren	A	61	32	
...	...	...	...	...	...	...	...

Aktivitäten der Entwicklungsphasen **Hierarchiestufe 1** Filter Ebene 1

Kapitel	Ebene	Aktivität	Ziel	Typ	ID	Teil von	Vorgänger
<b>10000</b>	<b>1</b>	<b>Produktionsziel definieren</b>	Aufgabe des DRK festlegen	H	2	1	---
<b>20000</b>	<b>1</b>	<b>Digitalen Regelkreis identifizieren</b>	Aktuellen Wirkprozess erfassen	H	23	1	2
<b>30000</b>	<b>1</b>	<b>Anforderungen spezifizieren</b>	Eigenschaften des Regelkreises darstellen	H	108	1	23
<b>40000</b>	<b>1</b>	<b>Digitalen Regelkreis entwerfen</b>	Ressourcenbedarf spezifizieren	H	159	1	108

Aktivitäten der Entwicklungsphasen **Hierarchiestufe 2** Filter Ebene 2

Kapitel	Ebene	Aktivität	Ziel	Typ	ID	Teil von	Vorgänger
<b>12000</b>	<b>2</b>	<b>Verbesserungsvorschlag bewerten</b>	Potenzielle Aufgaben für DRK priorisieren	A	3	2	
<b>13000</b>	<b>2</b>	<b>Tätigkeitsfeld definieren</b>	Aufgabenbereich für DRK festlegen	A	4	2	3
<b>14000</b>	<b>2</b>	<b>Produktionskennzahl definieren</b>	Quantifizierbarkeit der Aufgabe ermitteln	H	5	2	4
<b>15000</b>	<b>2</b>	<b>Produktionskennzahl ermitteln</b>	Datengrundlage für Aufgabenerfüllung definieren	H	6	2	5
<b>21000</b>	<b>2</b>	<b>Geschäftsprozess identifizieren</b>	Wertstrom identifizieren	H	24	23	
<b>22000</b>	<b>2</b>	<b>Regelemente definieren</b>	Prozessaktivitäten der Regelaufgaben zuordnen	H	36	23	2
<b>23000</b>	<b>2</b>	<b>Regelverhalten dokumentieren</b>	Aktuellen Zustand der Regelung erfassen	H	37	23	36
<b>24000</b>	<b>2</b>	<b>Automatisierungsgrad erfassen</b>	Zustand der Prozessautomatisierung erfassen	H	84	23	
<b>25000</b>	<b>2</b>	<b>Regelgüte bewerten</b>	Optimierungspotenziale aufzeigen	H	102	23	
<b>31000</b>	<b>2</b>	<b>Abweichungen spezifizieren</b>	Fachliches Produktionsziel definieren	H	109	108	
<b>32000</b>	<b>2</b>	<b>Regelverhalten konzipieren</b>	Anforderung für Optimierungbedarf definieren	H	140	108	
<b>41000</b>	<b>2</b>	<b>Aufgaben für Regelemente definieren</b>	Anforderung an Verhalten beschreiben	H	160	159	
<b>42000</b>	<b>2</b>	<b>Entwurf zum Ressourceneinsatz erstellen</b>	Alternativen Ressourceneinsatz konzipieren	H	169	159	165
<b>45000</b>	<b>2</b>	<b>Spezifikation für MTO Ressourcen bewerten</b>	Auswahlprozess abschließen	H	230	159	169

Aktivitäten der Entwicklungsphasen **Hierarchiestufe 3** Filter Ebene 3

Kapitel	Ebene	Aktivität	Ziel	Typ	ID	Teil von	Vorgänger
14100	3	Produktqualität bewerten	Qualitätsverluste bewerten	H	9	5	
14200	3	Durchlaufzeit hinterfragen	Prozesswirkungsgrad der Wertschöpfung ermitteln	H	10	5	
14300	3	Arbeitsplatzproduktivität hinterfragen	Gesamtanlageneffektivität bewerten	H	11	5	
15300	3	Istwert der Kennzahl ermitteln	Ist-Wert der Produktionskennzahl erfassen	A	7	6	19
15400	3	Sollwert der Kennzahl ermitteln	Sollwert der Produktionskennzahl definieren	H	8	6	
21100	3	Teilprozesse identifizieren	Wertstrom zerlegen	H	25	24	
21200	3	Teilprozesse priorisieren	Relevante Geschäftsprozesse definieren	H	26	24	25
21300	3	Teilprozess spezifizieren	Zustand für Ist.-Prozess erfassen	H	27	24	26
22100	3	Messglied erfassen	Aktivität <i>Istwert messen</i> identifizieren	A	38	36	
22200	3	Führungsgrößenbilder erfassen	Aktivität <i>Sollwert definieren</i> identifizieren	A	42	36	
22300	3	Regler erfassen	Regelaktivitäten identifizieren	H	43	36	
22400	3	Steller erfassen	Aktivität <i>Planwert übertragen</i> identifizieren	A	46	36	
22500	3	Stellglied erfassen	Aktivität <i>Planwert umsetzen</i> identifizieren	H	47	36	
23100	3	Datenqualität erfassen	Genauigkeit am Sensor erfassen	H	51	37	
23200	3	Zeitverhalten bewerten	Zusammenspiel der Regelemente bewerten	H	52	37	
23300	3	Übertragungsfunktion bewerten	Zeitverhalten bewerten	H	53	37	
24100	3	Aktivität pro Regelement erfassen	Prozessschritte dokumentieren	H	85	84	
24200	3	Ressourceneinsatz pro Aktivität erfassen	Aufwand dokumentieren	H	90	84	86
24300	3	Art der Ausführung für Aktivität erfassen	Reifegrad der Automatisierung identifizieren	H	101	84	90
25100	3	Aufgabengröße bewerten	Potenziale der Sollwertanpassung definieren	H	103	102	
25200	3	Störverhalten bewerten	Auswirkung der Störgrößen aufzeigen	H	111	102	
25300	3	Messgröße bewerten	Potenziale der Sensoroptimierung aufzeigen	H	113	102	
25400	3	Reaktionsverhalten bewerten	Potenziale zur Senkung der Reaktionszeit darstellen	H	121	102	
25500	3	Antwortverhalten bewerten	Potenziale für Regelemente darstellen	H	130	102	
25600	3	Stabilität und Gleichgewicht bewerten	Regelfähigkeit für Regelsystem sicherstellen	H	106	102	
31100	3	Leistungsverlust definieren	Verschwendungen der Wertschöpfung aufzeigen	A	110	109	
31200	3	Schwachstelle definieren	Ursachen für Kontrollverluste aufzeigen	H	137	109	
32100	3	Globale Anforderungen definieren	Gewünschtes Regelverhalten spezifizieren	H	141	140	
32200	3	Lokale Anforderungen definieren	Stationäres Verhalten der Regelemente definieren	H	149	140	141
41100	3	Anforderungen zusammenführen	Ergebnisse zusammenfassen	H	158	160	140
41200	3	Globale Regelgüte definieren	Zusammenführung der Anforderungen	H	161	160	
41300	3	Ziele der Regelemente spezifizieren	Regelverhalten auf Regelemente übertragen	H	165	160	161
42100	3	Menschliche Aktivitäten spezifizieren	Anforderungen an menschliche Lösung darstellen	H	170	169	
43000	3	Technische Aktivität spezifizieren	Anforderungen an technische Lösung darstellen	H	189	169	
44000	3	Organisatorische Aktivität spezifizieren	Anforderungen an organisatorische Lösung darstellen	H	210	169	
45100	3	Nutzwertanalyse MTO Ressourcen	Vorteilhaftigkeit für Ressourceneinsatz beurteilen	A	231	230	
45200	3	Ressourceneinsatz konzipieren	Umsetzung für Ressourceneinsatz vorbereiten	A	232	230	
45300	3	Ressourcenauswahl treffen	Ressourceneinsatz legitimieren	A	233	230	232
45400	3	Ressourceneinsatz freigeben	Ressourceneinsatz kommunizieren	A	234	230	233

Aktivitäten der Entwicklungsphasen **Hierarchiestufe 4** Filter Ebene 4

Kapitel	Ebene	Aktivität	Ziel	Typ	ID	Teil von	Vorgänger
14110	4	Ausschussquote hinterfragen	Relevanz von Ausschuss ermitteln	A	12	9	
14120	4	Nacharbeitsquote hinterfragen	Relevanz Nacharbeit ermitteln	A	13	9	
14210	4	Bearbeitungszeit hinterfragen	Produktiver Anteil der DLZ ermitteln	A	14	10	
14220	4	Liegezeit hinterfragen	Unproduktiven Anteil der DLZ ermitteln	A	15	10	
14230	4	Wartezeiten hinterfragen	Unproduktiven Anteil der DLZ ermitteln	A	16	10	
14240	4	Transportzeit hinterfragen	Unproduktiven Anteil der DLZ ermitteln	A	17	10	
14250	4	Terminreue hinterfragen	Terminverletzungen ermitteln	A	18	10	
14310	4	Verfügbarkeit bewerten	Unproduktive Zeiten der Ressourcen erfassen	A	20	11	
14320	4	Leistung der Ressource bewerten	Taktverluste erfassen	A	21	11	
14330	4	Kapazität der Ressource bewerten	Geplante Kapazität erfassen	A	22	11	
15100	4	Produktionskennzahl spezifizieren	Art der Berechnung festlegen	A	30	6	
15200	4	Produktionskennzahl validieren	Richtigkeit der Berechnung prüfen	A	19	6	18
21210	4	Prozesseinfluss definieren	Relevanz der Prozessziele für Wertstrom festlegen	A	235	26	
21220	4	Prozesseinfluss bewerten	Einflüsse nach Wichtigkeit der Ziele selektieren	A	236	26	
21310	4	PPS-Aufgaben identifizieren	Anforderung an Prozessziel definieren	A	28	27	
21320	4	Prozessziel definieren	Zustände am Prozessende definieren	A	29	27	
21330	4	Aktivitäten identifizieren	Teilaufgaben im Prozess erfassen	A	31	27	
21340	4	Nutzdaten identifizieren	Datenobjekte der PPS erfassen	H	32	27	
21350	4	Organisationseinheiten identifizieren	Verantwortlichkeiten der Aktivitäten erfassen	A	33	27	
21360	4	Kontrollfluss identifizieren	Bedingten Informationsverarbeitung erfassen	A	34	27	
21370	4	Ereignisse identifizieren	Zustandsänderungen im Prozess erfassen	A	35	27	
22110	4	Messpunkt erfassen	Ort der Datenerfassung identifizieren	A	39	38	
22120	4	Messmethode erfassen	Sensorik zur Datenerfassung identifizieren	A	40	38	
22130	4	Messzyklus erfassen	Zeitverhalten der Datenerfassung identifizieren	A	41	38	
22310	4	Vergleicher erfassen	Aktivität <i>Abweichung beurteilen</i> identifizieren	A	44	43	
22320	4	Regelglied erfassen	Aktivität <i>Planwert ermitteln</i> identifizieren	A	45	43	
22510	4	Stellpunkt erfassen	Ort der Maßnahme identifizieren	A	48	47	
22520	4	Stellmethode erfassen	Aktor zur Umsetzung der Maßnahme identifizieren	A	49	47	
22530	4	Stellzyklus erfassen	Zeitverhalten zur Ausführung identifizieren	A	50	47	
23110	4	Istwert erfassen	Konkreten Messwert spezifizieren	H	54	51	
23120	4	Sollwert dokumentieren	Grundlage für Produktionsziel identifizieren	H	55	51	
23210	4	Kontrollpunkte definieren	Dauer zwischen Regelementen erfassen	H	68	52	
23220	4	Kontrollpunkte analysieren	Zeit zwischen den Punkten berechnen	H	71	52	
23310	4	Vergleicher bewerten	Soll/Ist-Differenz validieren	H	74	53	
23320	4	Regelfunktion bewerten	Verhalten des Reglers validieren	H	78	53	
24110	4	Informationsträger erfassen	Datenfluss pro Aktivität erfassen	H	86	85	
24120	4	Teilschritte pro Aktivität erfassen	Aufgaben identifizieren	A	87	85	
24130	4	Sequenzierung der Teilschritte erfassen	Aufgabenreihenfolge identifizieren	A	88	85	
24210	4	Menschlichen Anteil erfassen	Wissensträger im Prozess identifizieren	H	91	90	
24220	4	Technischen Anteil erfassen	Einsatz von Software identifizieren	H	94	90	
24230	4	Organisatorischen Anteil erfassen	Abhängige Prozesse identifizieren	H	102	90	
24310	4	manuelle Ausführung erfassen	Anteil M2M identifizieren	A	87	101	
24320	4	teilautomatisiert Ausführung erfassen	Anteil H2M und M2H identifizieren	A	88	101	
24330	4	automatisierte Ausführung erfassen	Anteil M2M identifizieren	A	89	101	
25110	4	Dokumentation zusammenführen	Zusammenfassung der Ist.-Aufnahme	A	104	103	55
25111	4	Sollwert validieren	Kausalität zur Zielgröße bewerten	A	111	103	104
25112	4	Sollwert bewerten	Angemessenheit beurteilen	A	112	103	104
25210	4	Ungeplante Einflüsse (stark) bewerten	Sprunghaftes Verhalten bewerten	A	105	111	
25220	4	Geplante Einflüsse (stark) bewerten	Kontinuierliches Verhalten bewerten	A	106	111	
25230	4	Ungeplante Einflüsse (schwach) bewerten	Kontinuierliches Verhalten bewerten	A	107	111	
25310	4	Stationäre Genauigkeit definieren	Messfehler und Zeitpunkte darstellen	H	114	113	
25320	4	Bestehende Messfehler bewerten	Auswirkungen darstellen	H	115	113	
25330	4	Vorübergehende Abweichungen erfassen	Einschwingprozess darstellen	A	118	113	
25331	4	Verbleibende Abweichungen erfassen	Ergebnis im Beharrungszustand darstellen	A	119	113	
25332	4	Regelfläche erfassen	Abweichung im Zeitverlauf darstellen	A	120	113	
25410	4	Kurzfristigen Ausgleich bewerten	Anregelzeit darstellen	A	127	121	
25420	4	Langfristigen Ausgleich bewerten	Ausregelzeit darstellen	A	128	121	
25430	4	Dauer ohne Reaktion bewerten	Totzeit darstellen	A	129	121	
25510	4	Maximale Abweichungen bewerten	Überschwingweite darstellen	A	131	130	
25520	4	Verletzte Toleranzgrenzen bewerten	Sprungfunktion darstellen	A	132	130	
25530	4	Anzahl der Schnittstellen bewerten	Sprungantwort darstellen	A	133	130	
25610	4	Stabiles Verhalten definieren	Kontrollierbare Einflüsse darstellen	A	134	106	
25620	4	Labiles Verhalten definieren	Stabilisierende Einflüsse darstellen	H	135	106	
25630	4	Indifferentes Verhalten definieren	Unkontrollierbare Einflüsse darstellen	H	136	106	
31210	4	Geschwindigkeitsverlust definieren	Ursachen für Reaktionsverluste aufzeigen	A	138	137	
31211	4	Genauigkeitsverlust definieren	Ursachen für Verluste aufzeigen	A	139	137	
32110	4	Beitrag für Produktionsziel definieren	Zielsetzung für Wertschöpfung definieren	H	142	141	
32120	4	Gleichgewichtsbedingungen definieren	Voraussetzungen für Regelbarkeit sichern	H	145	141	
32210	4	Zeitverhalten definieren	Dauer zwischen Regelementen erfassen	H	150	149	
32220	4	Aktivität am Regelement spezifizieren	Qualität der Datenerfassung definieren	H	153	149	150
41210	4	Genauigkeit definieren	Ziel und Toleranzwert definieren	A	162	160	
41220	4	Geschwindigkeit definieren	Ziel und Toleranzwert definieren	A	163	160	
41230	4	Stabilität definieren	Nicht-Toleriertes Verhalten definieren	A	164	160	
41310	4	Lokales Zeitverhalten definieren	Zielwert und Toleranzen definieren	A	166	160	
41320	4	Lokale Aktivität definieren	Aufgabe der Regelemente definieren	A	167	160	
41330	4	Lokale Genauigkeit definieren	Zielwert und Toleranz definieren	A	168	160	
42110	4	Input definieren	Datenquelle sicherstellen	H	171	170	
42200	4	Manuelle Durchführung definieren	Anforderungen an Personal spezifizieren	H	175	170	
42300	4	Output definieren	Ergebnisse bewerten	H	184	170	
43100	4	Input definieren	Datenquelle sicherstellen	H	190	189	
43200	4	Funktionale Verarbeitung definieren	Anforderungen an IT spezifizieren	H	195	189	
43300	4	Output definieren	Ergebnisse bewerten	H	205	189	
44100	4	Input definieren	Datenquelle sicherstellen	H	211	210	
44200	4	Geschäftsprozess definieren	Anforderungen an Prozess spezifizieren	H	216	210	
44300	4	Output definieren	Ergebnisse bewerten	H	225	210	

Kapitel	Ebene	Aktivität	Ziel	Typ	ID	Teil von
21341	5	Stammdaten identifizieren	Datengrundlage für MRP I und II identifizieren	A	60	32
21342	5	Bewegungsdaten identifizieren	Daten im Fertigungsauftrag identifizieren	A	61	32
21343	5	Bestandsdaten identifizieren	Datengrundlage für Materialbewegungen erfassen	A	62	32
21344	5	Betriebsdaten identifizieren	Datengrundlage für Auftragsstatus identifizieren	A	63	32
21345	5	Maschinendaten identifizieren	Datengrundlage für Arbeitsplatzstatus identifizieren	A	64	32
21346	5	Technische Prozessdaten identifizieren	Datengrundlage für Fertigungstechnik identifizieren	A	65	32
23111	5	Genauigkeit der Messung erfassen	Messfehler identifizieren	A	60	54
23112	5	Häufigkeit der Messung erfassen	Abtastrate definieren	A	61	54
23113	5	Erfasste Zustände identifizieren	Kontext für Istwert identifizieren	A	62	54
23114	5	Erfasste Zustandsänderungen identifizieren	Datengrundlage für Istwert identifizieren	A	63	54
23115	5	Nicht erfasste Zustände identifizieren	Potenziellen Kontext für Istwert identifizieren	A	64	54
23116	5	Nicht erfasste Zustandsänderungen identifizieren	Potenzielle Störgrößen identifizieren	A	66	54
23121	5	Zweckmäßigkeit erfassen	Einfluss von Zielgröße auf Produktionsziel	A	57	55
23122	5	Art der Quantifizierung erfassen	Kausalität zwischen Zielgröße und Sollwert	A	60	55
23123	5	Aktualität erfassen	Aktualisierungsrate definieren	A	67	55
23124	5	Toleranzen erfassen	Zulässige Abweichungen definieren	A	58	55
23125	5	Eingriffsgrenzen erfassen	Grenzwerte für unzulässige Abweichungen definieren	A	59	55
23211	5	Eingangspunkt pro Regelelement definieren	Messpunkt sicherstellen	A	69	68
23212	5	Ausgangspunkt pro Regelelement definieren	Messpunkt sicherstellen	A	70	68
23221	5	Eingangszeitpunkt erfassen	Zeitstempel dokumentieren	A	72	71
23222	5	Ausgangszeitpunkt erfassen	Zeitstempel dokumentieren	A	73	71
23311	5	Testdaten für Soll/Ist-Werte definieren	Datengrundlage definieren	A	75	74
23312	5	Testfälle für Vergleich definieren	Anwendungsszenario definieren	A	76	74
23313	5	Ausgabe der Soll/Ist Differenz prüfen	Ermittlung der Regeldifferenz verifizieren	A	77	74
23321	5	Bedingte Kontrollstruktur überblicken	Vorhandene Bedingungen dokumentieren	A	79	78
23322	5	Testfälle für bedingte Funktionen definieren	Anwendungsszenarien für Bedingungen definieren	A	80	78
23323	5	Testdaten für Funktionsaufrufe definieren	Datengrundlage definieren	A	81	78
23324	5	Erwartete Ausgabewerte definieren	Zielwerte definieren	A	82	78
23325	5	Ausgabe der Regelfunktion prüfen	Ermittlung der Stellwerte verifizieren	A	83	78
24211	5	Aufwand Personaleinsatz erfassen	Zeitbedarf für Aktivität erfassen	A	92	91
24212	5	Anforderung an Qualifikation erfassen	Kompetenzbedarf definieren	A	93	91
24221	5	Funktion zur Eingabeverarbeitung erfassen	Eingangsdaten definieren	A	95	94
24222	5	Funktion zur Ausgabeverarbeitung erfassen	Ausgangsdaten definieren	A	96	94
24223	5	Funktion zur logischen Verarbeitung erfassen	Berechnungsfunktionen definieren	A	97	94
24231	5	Leistung aus Vorprozess erfassen	Verantwortlichkeit für Prozessleistung identifizieren	A	98	102
24232	5	Leistung aus Teilprozessen erfassen	Kapazitätseinsatz für Prozessleistung identifizieren	A	99	102
25321	5	Tolerierte Messfehler definieren	Ausreichend genaue Messungen darstellen	A	116	115
25322	5	Nicht tolerierte Messfehler definieren	Ungenauere Messungen darstellen	A	117	115
25611	5	Stabile Eigenschaften bewerten	Sichere Zustandsänderungen darstellen	A	107	134
25612	5	Begrenzt stabile Eigenschaften bewerten	Teilweise sichere Zustandsänderungen darstellen	A	122	134
25621	5	Instabile Eigenschaften bewerten	Potenziale zur Stabilitätssteigerung darstellen	A	123	135
25622	5	Indifferentes Eigenschaften definieren	Negative Einflüsse auf Regelbarkeit darstellen	A	124	135
25631	5	Grenzstabile Eigenschaften bewerten	Zustandsgrenzen der Regelbarkeit definieren	A	125	136
25632	5	Indifferente Eigenschaften bewerten	Unkontrollierbare Störungen definieren	A	126	136
32111	5	Anforderungen an Geschwindigkeit definieren	Optimierungsbedarf für Geschwindigkeit definieren	A	143	142
32112	5	Anforderungen an Genauigkeit definieren	Optimierungsbedarf für Genauigkeit definieren	A	144	142
32121	5	Anforderungen an Stabilität definieren	Anforderungen für Kontrollierbarkeit definieren	A	146	145
32122	5	Vermeidung von Störungen definieren	Zu beseitigende Störeeigenschaften definieren	A	147	145
32323	5	Kontrolle von Störgrößen definieren	Überwachung unkontrollierbarer Ereignisse sichern	A	148	145
32211	5	Dauer zwischen Kontrollpunkten definieren	Vorgabewert für Prozess definieren	A	151	150
32212	5	Ereignisse zur Überwachung definieren	Art der Messung definieren	A	152	150
32221	5	Genauigkeit der Ergebnisse definieren	Anspruch an Messgenauigkeit definieren	A	154	153
32222	5	Teilschritte und Inhalte spezifizieren	Ablauf der Messung spezifizieren	A	155	153
32223	5	Informationsträger definieren	Dokumentation der Messwerte spezifizieren	A	156	153
42111	5	Informationsträger definieren	Art der Informationsübertragung festlegen	A	172	171
42112	5	Verpflichtung zur Übergabe definieren	Vorgelagerte Organisationseinheit einbinden	A	173	171
42113	5	Relevanz der Information definieren	Motivation zur Übergabe sicherstellen	A	174	171
42210	5	Ziel der Aktivität definieren	Erwartetes Ergebnis beschreiben	A	176	175
42211	5	Erwartete Verhaltensweise definieren	Angemessene Arbeitsweise beschreiben	A	177	175
42212	5	Arbeitsanweisung definieren	Schulungsmaterial anfertigen	A	178	175
42213	5	Dokumentation definieren	Feedbackkanal festlegen	A	179	175
42214	5	Qualifikation der Mitarbeiter definieren	Fähigkeit des Mitarbeiters sicherstellen	A	180	175

Aktivitäten der der Entwicklungsphasen **Hierarchiestufe 5** Filter Ebene 5

2/2

Kapitel	Ebene	Aktivität	Ziel	Typ	ID	Teil von
42215	5	Legitimation der Mitarbeiter definieren	Berechtigung des Mitarbeiters sicherstellen	A	181	175
42216	5	Kommunikation und Schulung organisieren	Veränderungen und Voraussetzungen einplanen	A	182	175
42217	5	Motivation der Mitarbeiter sicherstellen	Soziale Ziele und Persönlichkeit bewerten	A	183	175
42310	5	Methodik zur Verhaltensbeurteilung definieren	Art der Wirksamkeitsprüfung definieren	A	185	184
42311	5	Verhaltensbewertung einplanen	Feedbackkanal und -frequenz festlegen	A	186	184
42312	5	Coaching und Training einplanen	Mitarbeiterqualifikation stabilisieren	A	187	184
42313	5	Personalentwicklung vorbereiten	Mitarbeiterkompetenz ausbauen	A	188	184
43110	5	Datenobjekt definieren	Kontext der Daten herstellen	A	191	190
43111	5	Datenquelle definieren	Zugriff sicherstellen	A	192	190
43112	5	Datensatz und Attribute definieren	Abfrage sicherstellen	A	193	190
43113	5	Grenzwerte definieren	Stabilität der Verarbeitung sicherstellen	A	194	190
43210	5	Fachliche Ziele der Funktion definieren	Erwartetes Ergebnis beschreiben	A	196	195
43211	5	Inhalte der Ausführung spezifizieren	Einbettung in Systemlandschaft darstellen	A	197	195
43212	5	Debugging und Monitoring organisieren	Überprüfbarkeit der Funktion sicherstellen	A	198	195
43213	5	Aktivierung der Funktion konzipieren	Anwendbarkeit sicherstellen	A	199	195
43214	5	Eingangsbedingungen definieren	Voraussetzung für Funktionsaufruf definieren	A	200	195
43215	5	Pfade der Ausführung verzweigen	Alternative Verarbeitung beschreiben	A	201	195
43216	5	Ereignisse zur Pfadsteuerung definieren	Attribute für bedingten Ablaufsteuerung definieren	A	202	195
43217	5	Funktionalität zur Ausführung konzipieren	Anforderungen an Ausführungsverhalten detaillieren	A	203	195
43218	5	Erwartete Ergebnisse definieren	Funktionsqualität und Testbarkeit sicherstellen	A	204	195
43310	5	Testfälle definieren	Anwendungsszenarien für Bedingungen definieren	A	206	205
43311	5	Testläufe organisieren	Funktionalität und Anwendung überprüfen	A	207	205
43312	5	Änderungsanforderungen dokumentieren	System stabilisieren	A	208	205
43313	5	Anforderungsmanagement organisieren	Systemqualität optimieren	A	209	205
44110	5	Informationsträger definieren	Informationspuffer pro Aktivität spezifizieren	A	212	211
44111	5	Prozessverantwortung definieren	Aufbauorganisation einbinden	A	213	211
44112	5	Geforderte Prozessleistung definieren	Voraussetzung für Ausführungen sicherstellen	A	214	211
44113	5	Risiko bei mangelnder Qualität bewerten	Stabilitätsgrenzen definieren	A	215	211
44210	5	End-Zustand als Prozessziel definieren	Erwartetes Ergebnis beschreiben	A	217	216
44211	5	Organisationseinheiten definieren	Stelle pro Aktivität zuordnen	A	218	216
44212	5	Anwendungssystem definieren	Softwareeinsatz für Datenfluss spezifizieren	A	219	216
44213	5	Regel zur Ablaufsteuerung definieren	Geschäftslogik entwerfen	A	220	216
44214	5	Bedingungen als Auslöser definieren	Eingangszustand beschreiben	A	221	216
44215	5	Zustandsänderungen definieren	Ereignisse im Ablauf identifizieren	A	222	216
44216	5	Aktivitäten definieren	Aufgaben und Aufgabenziele beschreiben	A	223	216
44217	5	Informationsträger definieren	Informationspuffer pro Aktivität spezifizieren	A	224	216
44310	5	Kennzahlen definieren	Messbarkeit sicherstellen	A	226	225
44311	5	Prozessleistung messen	Messung durchführen	A	227	225
44312	5	Bedarf zur Optimierung dokumentieren	Maßnahmen zur Prozessverbesserung definieren	A	228	225
44313	5	Prozessentwicklung organisieren	Nachhaltige Organisationsstruktur sicherstellen	A	229	225

**A47. KOMPETENZBEDARF des DIGITALEN REGELKREISES**

In Anlehnung an (Schwäke und Hahn 2018)

Art	Aufgabe im Entwicklungsumfeld Digitaler Regelkreise	Unternehmensfunktion
F	GP der Kapazitätsgrobplanung spezifizieren	Arbeitsvorbereitung
F	GP der Auftragsfreigabe spezifizieren	Arbeitsvorbereitung
F	Fertigungstechnische Eigenschaften der Produkte spezifizieren	Arbeitsvorbereitung
F	GP der Materialbedarfsplanung spezifizieren	Beschaffung
L	Normative Anforderungen Produktionssystem spezifizieren	Betriebsrat
S	Kommunikationsstrategie spezifizieren	Betriebsrat
F	Berichtswesen und Leistungskennzahlen spezifizieren	Controlling
F	Qualität der Stammdaten spezifizieren	Controlling
M	Qualität der Bewegungsdaten spezifizieren	Controlling
F	Stammdatenverantwortlichkeiten spezifizieren	Controlling
F	GP der Auftragsfeinterminierung spezifizieren	Disposition
F	Automatisierungsgrad im Herstellprozess spezifizieren	Einrichtung Technik
F	Technische Kontrollstrukturen der Produktion spezifizieren	Einrichtung Technik
F	GP zur Erstellung der Produktstrukturdaten spezifizieren	F&E / Konstruktion
F	Fertigungsschritte im Herstellprozess spezifizieren	Fertigungsmanagement
L	Eskalationsregeln für Organisation spezifizieren	Geschäftsführung
L	Investitionsbudget spezifizieren	Geschäftsführung
L	Art und Umfang der Projektüberwachung spezifizieren	Geschäftsführung
L	Veränderungsbereitschaft der Belegschaft spezifizieren	Geschäftsführung
L	Zielkonflikte für Entscheidungsträger im GP harmonisieren	Geschäftsführung
F	GP der Auftragsfortschrittskontrolle spezifizieren	Gruppenleitung Fertigung
F	Funktionen zur maschinellen Datenerfassung spezifizieren	IT-Systemelektroniker
F	Personaleinsatzplanung der Fertigung spezifizieren	Gruppenleitung Fertigung
F	Ablauf der Wartung und Instandhaltung spezifizieren	Instandhaltung
M	Entwicklungsstrategie für Anwendungssysteme spezifizieren	IT-Produktmanagement
M	Verluste im Wertschöpfungsprozess spezifizieren	Lean Management
F	GP der Materialbereitstellung spezifizieren	Logistik
F	GP Materialfluss und Lagerhaltung spezifizieren	Logistik
F	GP zur betrieblichen Datenerfassung spezifizieren	Maschinenbedienung
P	Interessensgruppen im Veränderungsprozess spezifizieren	Organisationsentwicklung
F	Mitarbeiterqualifikation spezifizieren	Personalwesen
P	Coaching und Schulungsstrategie spezifizieren	Personalwesen
S	Veränderungskultur im Unternehmen spezifizieren	Personalwesen
M	Strategische Ziele und Status der Produktion spezifizieren	Produktionsmanagement
M	Projektaktivitäten spezifizieren	Projektleitung
F	Informationsträger im Wertschöpfungsprozess spezifizieren	IT-Prozessberatung
F	Funktionsumfang für Anwendungssoftware spezifizieren	IT-Prozessberatung
M	Funktionsanforderungen für Anwendungssoftware spezifizieren	IT-Prozessberatung
M	Systemschnittstellen im Datenfluss spezifizieren	IT-Prozessberatung
M	Logische IT-Kontrollstrukturen der Produktion spezifizieren	IT-Prozessberatung
F	Normative Anforderungen an Herstellprozess spezifizieren	Qualitätswesen
F	GP zur Qualitätssicherung im Herstellprozess spezifizieren	Qualitätswesen
L	Arbeitsanweisungen und Richtlinien spezifizieren	Qualitätswesen
F	Funktionen betrieblicher Anwendungssysteme spezifizieren	IT-Softwareentwicklung
M	Geschäftsprozess und Verantwortlichkeiten spezifizieren	Supply Chain Management
F	Infrastruktur betrieblicher Hard-/Software spezifizieren	IT-Systemadministration
F	Ablauf zur Primärbedarfsplanung spezifizieren	Vertrieb

F: Fach M: Methode L: Legitimation P: Persönlichkeit S: Sozial

TABELLE 64 - KOMPETENZORIENTIERUNG

**A48. ANFORDERUNGEN AN DIE FALLSTUDIE**

<b>PP01 Rahmenbedingungen</b>	
<b>Anforderung an Organisation</b>	<b>Gültige Ausprägung</b>
Unternehmensgröße	Mittlere- und Große Unternehmen
Unternehmensaufgabe	Sachgüterproduktion / Industrieunternehmen
Unternehmensstrategie	Leitbild zur Technologieentwicklung ist vorhanden
Unternehmensziele	IT-Governance und Prozessorientierung sind definiert
Investitionsbereitschaft	Besteht im Sinne der Unternehmensziele
IT-Applikationsstrategie	Roadmap für Anwendungssysteme ist vorhanden
Form der Geschäftseinheit	Produktionsstandort
Managementziel für Produktion	Steigerung der internen Wertschöpfung
Befugnis zur Veränderung	Legitimation besteht für betroffene Geschäftseinheit
Commitment zur Durchführung (Fallstudie/Projekt)	Geschäftsführung
	Führungskraft IT
	Führungskräfte betroffener Fachbereiche (Produktion, Qualität, Personal, Instandhaltung etc.)
Verfügbare Datenobjekte der PPS	Artikelstamm
	Lager- /Kundenauftrag
	Arbeitsplan und Stückliste
	Bestell- / Fertigungs- / Transportauftrag (PPS-Aufträge)
Unternehmensnetzwerk	Zentraler und dezentraler Zugriff auf PPS-Datenobjekte
Infrastruktur zentral	Server / Datenbank / Internet / LAN / Anwendungssystem(e)
Infrastruktur dezentral	Verfügbare Client-Anwendungen für kaufmännische und gewerbliche Organisationseinheiten
Reifegrad PPS-Aufgaben	MRP I und MRP II werden durchgeführt
	Betriebliche Datenerfassung wird durchgeführt
Umsetzungsverantwortung	Wird durch internes Team übernommen
Methodenkompetenz zur Entwicklung des Digitalen Regelkreis	Wird durch externes Coaching übernommen
Fachkompetenz zur Durchführung der Aufgaben bei der Entwicklung des DRK	Wird durch interne Funktionsbereiche und/oder externe Beauftragung sichergestellt

TABELLE 65 - ANFORDERUNGEN AN DIE FALLSTUDIE

PP02		Anforderungen an die Prüfpunkte	
ID	Art	Überprüfung	Datenquelle zur Bewertung
PP02-01	M	Wurden die Voraussetzungen und Rahmenbedingungen der Fallstudie eingehalten?	Dokumentation der organisatorischen Rahmenbedingungen anhand Tabelle 65
PP02-02	M	Wurden Aufbau und Struktur des DRK in der Fallstudie angewandt?	Dokumentation der Eigenschaften des DRK anhand Tabelle 8
PP02-03	K	Wurden Aufbau und Struktur des DRK in der Fallstudie visualisiert?	Visualisierung des DRK lt. Aufbaustruktur anhand Abbildung 30 und/oder Abbildung 31
PP02-04	M	Wurden die Entwicklungsphasen in der Fallstudie durchlaufen?	Dokumentation der Outputs zu den Entscheidungspunkte 1-15 anhand Tabelle 10
PP02-05	M	Wurde die Reifegradmatrix in der Fallstudie angewandt?	Dokumentation des Reifegrades des anhand der Reifegradmatrix anhand Abbildung 36
PP02-06	M	Wurde in der Fallstudie eine Kompetenzorientierung vorgenommen?	Dokumentation der Rollen anhand Tabelle 64
PP02-07	M	Wurde in der Fallstudie ein Beitrag zur Erfüllung von Produktionszielen geleistet?	Trendanalyse von Kennzahlen im Zeitverlauf anhand (VDMA-Einheitsblatt ICS 03.100.50) <sup>93</sup>
Legende: Art: M = Muss-Kriterium; K = Kann-Kriterium			

TABELLE 66 - PRÜFPUNKTE IN DER FALLSTUDIE

<sup>93</sup> entspricht hier auch Definition in ISO TC 184/SC5 und ISO 22400-2

**A49. FALLSTUDIE – UNTERNEHMENSSTECKBRIEF**Darstellung in Referenz zu *Tabelle 65 - Anforderungen an die Fallstudie* aus A48

<b>Rahmenbedingungen</b>	
<b>Merkmal der Organisation</b>	<b>Ausprägung</b>
Name	OBD Precision GmbH
Standort	Schwäbisch-Hall - Baden-Württemberg / Deutschland
Unternehmensgröße	ca. 300 Mitarbeiter
Maschinenpark der Fertigung	ca. 150 Maschinen und Arbeitsplätze in Werk I + II
Umsatzerlöse	ca. 45 Millionen Euro (Stand 2017)
Unternehmensaufgabe	Herstellung von zerspannten Präzisionsbauteilen für Automobil-, Maschinen- und Fahrzeugbau
Unternehmensstrategie	Industrie 4.0 ist als Leitbild veröffentlicht
Unternehmensziele	Organisation nutzt BDE und MDE Funktionen für <b>PPS</b>
Investitionsbereitschaft	Softwareeinsatz in MES soll lt. GF ausgebaut werden
IT-Applikationsstrategie	Projekt für Produktrelease im Umfeld MES wurde gestartet
Form der Geschäftseinheit	Produktionsstandort beinhaltet zwei Werke
Managementziele	Betriebsleiter definiert Produkt-/Prozessqualität als Aufgaben
Befugnis zur Veränderung	Geschäftsführung und Betriebsleitung sind lokal vor Ort
Commitment zur Durchführung (Fallstudie/Projekt)	Geschäftsführung befürwortet Vorhaben persönlich
	Leiter IT befürwortet Fallstudie
	Leiter Produktion möchte an Fallstudie teilnehmen
Verfügbare Datenobjekte der PPS	ERP und MES werden als PPS-Systeme eingesetzt
Unternehmensnetzwerk	PPS System tauscht Daten mit MES; MDE für Maschinen
Infrastruktur zentral	vorhanden
Infrastruktur dezentral	PPS System und MES ist als PC-Client und als Industrie PC an ca. 50-60 Arbeitsplätzen verfügbar
Reifegrad PPS-Aufgaben	MRP I und MRP II werden durchgeführt
	Betriebliche Datenerfassung wird durchgeführt
Umsetzungsverantwortung	Internes Projektteam soll Durchführung der Methodik begleiten
Methodenkompetenz zur Entwicklung des Digitalen Regelkreis	Termin (ca. 90 min pro Woche) für Coaching werden definiert und akzeptiert
Fachkompetenz zur Durchführung der Aufgaben bei der Entwicklung des DRK	Mitarbeiter aus Arbeitsvorbereitung, Fertigungssteuerung und Qualitätssicherung sollen durch Bereichsleiter in das Projektteam eingebunden werden können. Die Softwareentwicklung für ERP und MES erfolgt durch externe Dienstleister

**TABELLE 67 - RAHMENBEDINGUNGEN IM UNTERNEHMEN**

**A50. FALLSTUDIE – PRODUKT- UND PRODUKTIONSUMFELD**

Die Fallstudie wurde für einen produktbezogenen Herstellprozess durchgeführt. Die damit verbundenen Rahmenbedingungen werden nachfolgend dargestellt.

**Produktbild**

ABBILDUNG 71 - PRODUKTBIKD PUMPENGEHÄUSE

© Firma OBD Precision GmbH

**Produktbezogenen Herstellprozess**

<b>Rahmenbedingungen</b>	
<b>Name Endprodukt</b>	Pumpengehäuse
<b>Beschreibung Endprodukt</b>	Baugruppe zerspanter Präzisionsbauteile
<b>Komponenten Endprodukt</b>	Pumpenkörper, Führungsbuchse, Kolben
<b>Anwendung Endprodukt</b>	Einspritzeinheit Benzinmotor
<b>Absatz</b>	> 500.000 Stück p.a.
<b>Markt</b>	Zulieferbauteil Automobilindustrie
<b>Fertigungstyp</b>	Großserienfertigung
<b>Fertigungsverfahren im Herstellprozess</b>	Zerspanen <ul style="list-style-type: none"> <li>• Geometrisch bestimmte Schneide</li> <li>• Geometrisch unbestimmte Schneide</li> </ul> Montieren <ul style="list-style-type: none"> <li>• Pressen</li> </ul>
<b>Qualitätsanforderungen</b>	Werkstückgeometrie mit niedriger Toleranzklasse
<b>Durchlaufzeit</b>	ca. 14 Kalendertage
<b>Bearbeitungsumfang</b>	11 interne und 1 externe Fertigungsarbeitsgang

TABELLE 68 - RAHMENBEDINGUNGEN HERSTELLPROZESS

## Auszug aus dem Arbeitsplan – Fertigung Pumpenkörper und Montage

Arbeitsgang	Maschine	AG-Beschreibung	Erläuterung AG
	WE	Lager / Rohmaterial	
AG 20	CNC-Zelle 1	1. Seite Körper drehen	Mehrspindeldrehautomat
AG 25	CNC-Zelle 2	2. Seite Körper fräsen	Mehrspindeldrehautomat
AG 45	Waschautomat	fettfrei waschen	Oberfläche säubern
AG 50	ECM Entgrater	Elektrochemisches Entgraten	Bohrung nacharbeiten
AG 55	Waschautomat	fettfrei waschen	Oberfläche säubern
AG 60	Presse	Buchse einpressen	Montage der Führungsbuchse im Pumpenkörper
AG 70	Waschautomat	Waschen	Oberfläche säubern
AG 80	Fremdarbeit	Externe Wärmebehandlung	inkl. Hin- und Rücktransport
AG 100	Laser	DMC Code auf Pumpenkörper lasern	2D Barcode zur Produktidentifikation
AG 110	Honmaschine	Paarungshonen	Passung Kolben und Führungsbuchse
AG 120	Waschautomat	Fertig waschen	Werkstück säubern
AG 130	Arbeitsplatz Endkontrolle	Warenausgangsprüfung Verpacken	u.a. Sichtprüfung Endoskop
	WA	Versand	

TABELLE 69 – ARBEITSPLAN

## Darstellung der Arbeitsgänge mit Bezug zu Produktmerkmalen

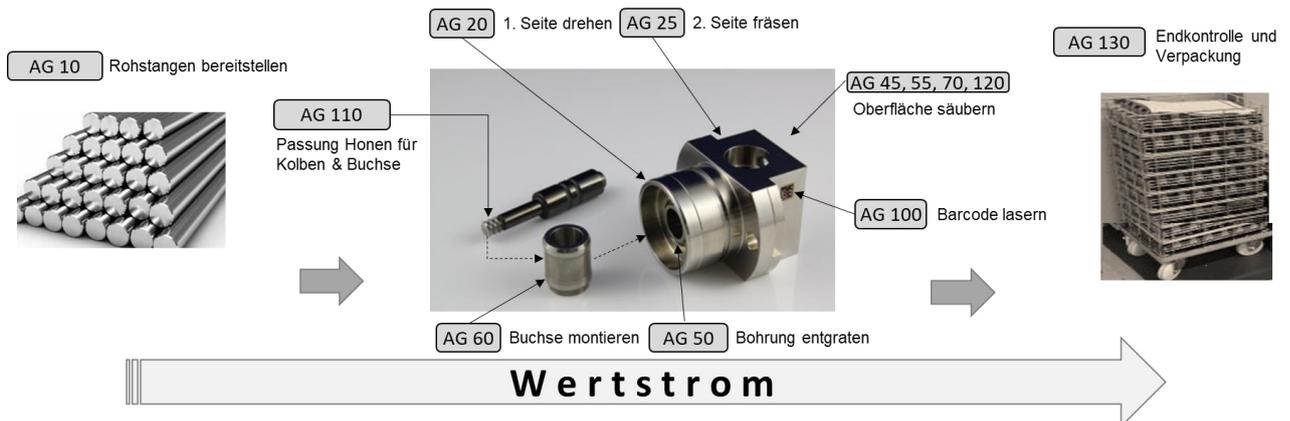


ABBILDUNG 72 - HERSTELLPROZESS VISUELL

## A51. FALLSTUDIE – DOKUMENTATION DER ENTWICKLUNGSPHASEN

Gate 1	Regelpotenzial identifizieren	Beschreibung der Phase
<p>Ein Verbesserungsvorschlag für den Herstellprozess des Produktes <i>Pumpengehäuses</i> (vgl. A50) wurde aufgenommen. Hierbei wurde der Herstellprozess auf Grundlage der produktbezogenen Ausbringungsmengen von internen Prozessbeteiligten als instabil und verbesserungswürdig eingeschätzt. Die Aussage wurde dadurch begründet, dass die Ausbringungsmengen bei gleichem Ressourceneinsatz schwanken und im aktuellen Status kein kausaler Zusammenhang zu den Ursachen (Störgrößen) hergestellt werden kann. Die leistungsbestimmende Ausbringung zur Gesamtmenge wurde dabei am Ende des Herstellprozesses, durch den letzten Arbeitsgang 130 „Endkontrolle“ dokumentiert. Hierbei wurden die fertigen Erzeugnisse vor dem Warenausgang letztmalig auf ihre Qualitätsmerkmale geprüft. Mit Hilfe einer manuellen 100% Kontrolle wurden die Qualitäten in Gutmenge, Ausschuss, Nacharbeit und Offen<sup>94</sup> eingeteilt. Der Herstellprozess beinhaltet insgesamt elf interne und einen externen Bearbeitungsschritt bei einer Durchlaufzeit von ca. 14 Kalendertagen. Das Potenzial zur Verbesserung wurde mit dem Titel „Prozessausschuss senken“ deklariert. Zudem wurde das wirtschaftliche Potenzial als sehr hoch eingeschätzt. Wirtschaftlich wurde das Ziel zur Senkung der „Fehlerkosten“ (Kosten für Ausschuss und Nacharbeit) definiert.</p>		
Gate 2	Produktionsziel definieren	Beschreibung der Phase
<p>Die genaue Kenngröße zur Beurteilung der Zielerfüllung der Produktionsziele wurde definiert. Dazu wurde die Messgröße der Erstaussbeute (FPY<sup>95</sup>) als Kennzahl der Ausbringung gewählt. Zur Zieldefinition wurde zunächst der aktuelle Wert des FPY ermittelt. Es wurde festgestellt, dass der aktuelle Wert zwischen 89,5 und 93,2 % schwankt. Somit ergab sich ein Potenzial von 6,8 bis 10,5 % zur Senkung bestehender Leistungsverluste. Das Produktionsziel „Prozessqualität erhöhen“ wurde dabei, über die Steigerung des FPY in einen wettbewerbsfähigen Qualitätsbereich, definiert. Dabei wurden die Wettbewerbsfähigkeit über die jährliche Ausbringungsmenge und dessen Abgleich zum statistischen 6 Sigma Ansatz (vgl. Kap.: 3.5) ermittelt. Im Zuge der Ist-Wert Ermittlung des FPY wurde festgestellt, dass verfügbare Datenquellen keine konsistenten Eingangsdaten liefern. Die Datenqualität der Betriebs- und Maschinendatenerfassung wurde als niedrig eingeschätzt. Zudem wurde der Aufwand zur Datenbeschaffung und Aufbereitung zur Ermittlung des FPY (ca. 2 Wochen) als sehr groß eingeschätzt. Abschließend wurde das operative Ziel „Fehlerkosten für das Produkt PG<sup>96</sup> senken“ (vgl. A50) definiert.</p>		
Gate 3	Geschäftsprozesse identifizieren	Beschreibung der Phase
<p>Anhand der PPS Aufgaben (vgl. A16) wurde der betroffene Geschäftsprozess identifiziert. Hierbei handelte es sich um einen Prozess aus dem Aufgabenbereich der Produktionssteuerung. Der betroffene Wertschöpfungsprozess begann mit der Bearbeitung des ersten AG (Zerspanung) und endet mit dem Abschluss des letzten AG (Endkontrolle). Durch den produktbezogenen Fertigungstyp der <i>kontinuierlichen Großserienfertigung</i>, wurden vorgelagerte Prozessschritte zur Auftragsfreigabe nicht tiefergehend analysiert. Der Wertschöpfungsprozess wurde anhand des Produktionsziels „Fehlerkosten senken“ eingegrenzt und dokumentiert. Die Grundlage zur Identifikation bildete hierbei der Arbeitsplan des Endproduktes (vgl. A50).</p>		

<sup>94</sup> Verwendungsentscheid ist noch nicht getroffen

<sup>95</sup> First Pass Yield: Gutmenge ohne Nacharbeit im ersten Produktionsdurchlauf

<sup>96</sup> PG dient als Abkürzung der internen Produktbezeichnung

Gate 4	Teilprozesse identifizieren	Beschreibung der Phase										
<p>Innerhalb des identifizierten GP wurden zugehörige Teilprozesse identifiziert. Dabei wurden die Teilprozesse anhand der Erfüllung von Aufgaben der Produktionssteuerung (PS) (vgl. Gate 3) ausgewählt. Es wurden folgende betrieblichen Teilprozesse zur Erfüllung folgender PS-Aufgaben identifiziert:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>→ Erfassung und Kontrolle der Leistungsdaten</li> <li>→ Werkstattsteuerung und Qualitätssicherung</li> <li>→ Störungsmanagement</li> </ul> <p>Zu den jeweiligen Teilprozessen wurden die Rahmenbedingungen im aktuellen GP dokumentiert. Die Identifikation fokussierte dabei die stichpunktartige Dokumentation von:</p>												
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 50%;">Fragestellungen</th> <th style="width: 50%;">Dokumentierte Ergebnisse</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>• Wer ist für die Aufgabe verantwortlich?</td> <td>→ Stelle/Ansprechpartner</td> </tr> <tr> <td>• Welche Prozessziele werden aktuell verfolgt?</td> <td>→ Beitrag des Prozesses zu PS-Aufgabe</td> </tr> <tr> <td>• Welche Anwendungssysteme werden eingesetzt?</td> <td>→ Schnittstellen im Informationsfluss</td> </tr> <tr> <td>• Welche Datenobjekte der PPS sind betroffen?</td> <td>→ Systemlandschaft und Form der Datenintegration</td> </tr> </tbody> </table>			Fragestellungen	Dokumentierte Ergebnisse	• Wer ist für die Aufgabe verantwortlich?	→ Stelle/Ansprechpartner	• Welche Prozessziele werden aktuell verfolgt?	→ Beitrag des Prozesses zu PS-Aufgabe	• Welche Anwendungssysteme werden eingesetzt?	→ Schnittstellen im Informationsfluss	• Welche Datenobjekte der PPS sind betroffen?	→ Systemlandschaft und Form der Datenintegration
Fragestellungen	Dokumentierte Ergebnisse											
• Wer ist für die Aufgabe verantwortlich?	→ Stelle/Ansprechpartner											
• Welche Prozessziele werden aktuell verfolgt?	→ Beitrag des Prozesses zu PS-Aufgabe											
• Welche Anwendungssysteme werden eingesetzt?	→ Schnittstellen im Informationsfluss											
• Welche Datenobjekte der PPS sind betroffen?	→ Systemlandschaft und Form der Datenintegration											
Gate 5	Regelkreis identifizieren	Beschreibung der Phase										
<p>Innerhalb der PS-Aufgaben (Gate 4) wurden Teilprozesse und Regelkreise zur Sicherung der Produkt-/Prozessqualität identifiziert. Diese zielten auf die Sicherung unterschiedlicher Regelgrößen ab. Folgende Regelkreise wurden zur Sicherung der Produktionsziele identifiziert:</p> <p>RK I: Regelaufgabe: <b>Verfügbarkeit</b> der Kapazitätseinheit sicherstellen</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>→ Regelgröße: Ist.- Hauptbetriebszeit (Hauptnutzungszeit)</li> </ul> <p>RK II: Regelaufgabe: <b>Leistungsgrad</b> sicherstellen</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>→ Regelgröße: Ist-Taktzeit</li> </ul> <p>RK III: Regelgröße: <b>Qualitätsrate</b> sicherstellen</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>→ Regelgröße: Ist.-Gutmenge</li> </ul> <p>Da das verfolgte Produktionsziel (Gate 2) nicht primär den Prozesswirkungsgrad im Sinne der Kennzahlen, Durchlaufzeitenquote, Rüstquote oder Termintreue abzielte (vgl. Kap.: 2.5), wurden bestehende Regelkreise im Themenfeld der Intra-logistik und Materialflussregelung nicht tiefergehend analysiert.</p> <p>Im Falle der hier vorliegenden kontinuierlichen Großserienfertigung (keine Produktwechsel auf den betroffenen Kapazitätseinheiten) war davon auszugehen, dass wenn die identifizierten RK I bis RK III stabile Ergebnisse liefern, die PS-Aufgaben (Gate 4) im Sinne des Produktionsziels „Prozessqualität erhöhen“ erfüllt werden. Die Orientierung dazu erfolgte an der Kennzahl des <b>OEE</b>, um die instabile Ausbringungsmenge zu stabilisieren (vgl. Gate 1).</p>												
Gate 6	Regelaufgabe bewerten	Beschreibung der Phase										
<p>Die identifizierten RK I bis RK III wurden hinsichtlich ihres Einflusses auf das Produktionsziel beurteilt. Dabei wurde festgestellt, dass der RK III die Regelgröße „Ist.-Gutmenge sicherstellen“ als Hauptaufgabe übernimmt. Als Teil des FPY nimmt die Ist.-Gutmenge direkten Einfluss auf das verfolgte Produktionsziel „Fehlerkosten senken“. D.h., es war davon auszugehen, dass wenn der Anteil der Ist.-Gutmenge an der gesamten produzierten Menge steigt, gleichzeitig auch die Fehlerkosten sinken.</p> <p>Der Zieleinfluss von RK III auf das Produktionsziel, wurde somit als kausal bewertet.</p> <p>Zur Erfüllung des Produktionsziels wurden RK I und II dementsprechend weniger hoch priorisiert.</p> <p>Fortan wurde der RK III als Teilprozess der fertigungsbegleitenden <b>Qualitätssicherung</b> (fbQS) fokussiert und tiefergehend analysiert.</p>												

Gate 7 1/2	Regelgüte bewerten 1/2	Beschreibung der Phase		
Um die Regelgüte des RK III zu bewerten, wurden Merkmale der Regelgüte identifiziert. Folgende Merkmale wurden hierbei untersucht: Sollwert, Totzeit, Messfehler, Störverhalten, Anregelzeit, Ausregelzeit, Systemverhalten (vgl. Kap.: 3.7.2.) Bezogen auf die Regelaufgabe „Ist.-Gutmenge sicherstellen“ wurden dabei folgende Eigenschaften der Merkmale als Teil des RK III identifiziert:				
Sollwerte	Produkt-Prüfmerkmale, Sollwerte der Prüfmerkmale, Prüfzyklus der Prüfmerkmale, Toleranzgrenzen der Sollwerte, Umfang der Stichprobe, Prüfmittel, Prüfplatz			
Totzeit	Dauer zwischen dem Auftreten einer Sollwert-Abweichung (außerhalb der Toleranz) und der ersten Reaktion			
Messfehler	Abweichung vom Prüfzyklus, Abweichung vom Stichprobenumfang, Fehlende Messgenauigkeit der Prüfmittel, fehlende Dokumentation der Messergebnisse, Inkonsistenzen verschiedener Datenquellen, Inventurdifferenzen physischer Produkte			
Verbleibende Abweichung	Differenz zwischen Soll-Gutmenge und Ist.-Gutmenge pro Arbeitsplatz im Herstellprozess für das Endprodukt			
Anregelzeit	Dauer zwischen Sollwertabweichung und erster positiver Wirkung der Gegenmaßnahme auf Regelaufgabe (kurzfristige Anpassung)			
Ausregelzeit	Dauer zwischen Sollwertabweichung und dauerhafter positiver Wirkung der Gegenmaßnahme auf Regelaufgabe (dauerhafte Anpassung)			
Systemverhalten	Beitrag des GP fbQS, zur Regelaufgabe „Ist.-Gutmenge sicherstellen“			
Folgende Ausprägungen der Eigenschaften wurden für den analysierten RK III dokumentiert:				
Art	Eigenschaften			
Sollwert	<b>Prüfmerkmal I</b>	Oberflächengüte	Visuelle Kontrolle	Zielwert: i.O. (keine Beschädigung)
Sollwert	<b>Prüfmerkmal II</b>	Güte Innenfläche	Visuelle Kontrolle	Zielwert: i.O. (keine Beschädigung)
Sollwert	<b>Prüfmerkmal III</b>	Fremdeinschluss	Visuelle Kontrolle	Zielwert: i.O. (keine Späne)
Sollwert	Prüfzyklus	ereignisbezogen	Erstteilprüfung	pro Werkzeugwechsel
Sollwert	Prüfzyklus	ereignisbezogen	Erstteilprüfung	pro Materialwechsel
Sollwert	Prüfzyklus	zeitbezogen	Stichprobe	zyklisch nach max. 240 min
Sollwert	Toleranzen	Keine dokumentierten: Verwendungsentscheide werden manuell ohne Dokumentation getroffen		
Totzeit	1 min (min.) bis 240 min (max.) – keine näheren Informationen vorhanden			
Messfehler	Ereignisbezogener Ist.-Prüfzyklus: nicht bekannt Zyklischer Prüfzyklus: ist labil Stichprobenumfang: ist eher stabil; keine quantitative Messbarkeit; subjektive Einschätzung Abweichung der Messgenauigkeit für Prüfmittel: Prüfmittel der Endkontrolle ist unterschiedlich zum Prüfmittel der fbQS Endoskop vs. Sichtprüfung durch Maschinenbediener			
Verbleibende Abweichung	Der Anteil geprüfter Mengen, welcher in der Endkontrolle nachträglich aufgrund von Qualitätsmängeln der <b>Prüfmerkmale I-III</b> als Nacharbeit oder Ausschuss identifiziert werden, schwankt zwischen 8,31% bis 18,44 %			
Anregelzeit	ist nicht bekannt - keine Daten- oder Erfahrungsgrundlage – Durchlaufzeit bis Endkontrolle: 14 Tage			
Ausregelzeit	Ist nicht bekannt - keine Daten- oder Erfahrungsgrundlage			
Systemverhalten	Die Regeaufgabe „Ist.-Gutmenge sicherstellen“ wird für die definierten Sollwerte als instabil bewertet. Die Wahrscheinlichkeit, dass nach Auftretenden einer Störung die Regelgröße im Sinne des Produktionsziels angepasst wird, ist gering bzw. kann für das aktuelle Zeitverhalten nicht ermittelt werden.			

Gate 7 2/2	Regelgüte bewerten 2/2	Beschreibung der Phase
<p>Die Merkmale der Regelgüte wurden im Anschluss einer Prozessdokumentation bewertet.</p> <p>Die Dokumentation erfasste dabei die aktuell eingesetzten Ressourcen der PPS: Hierbei wurden Daten, Organisationseinheiten, IT-Funktionen, automatisierte und manuelle Aktivitäten, reale und digitale Ereignisse und der digitale Kontrollfluss für die Teilprozesse der fbQS im Herstellprozess erfasst.</p> <p>Folgende Quellen wurden zur Prozessdokumentation eingesetzt:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Interviews mit Prozessbeteiligte und -experten</li> <li>• Interviews mit Leistungsempfänger der Prozessoutputs (Endkontrolle, Reklamationswesen, Nacharbeitswesen)</li> <li>• Prozessaufnahmen an den Arbeitsplätzen</li> <li>• Einsatz der Reifegradmatrix (vgl. Kap.: 6.5)</li> <li>• Beobachtungen in der Fertigung,</li> <li>• Auswertung protokollierter Betriebs- und Maschinendaten der PPS,</li> <li>• Sichtung und Diskussion interner Arbeitsanweisungen (bspw. ISO 9000, IATF 16349)</li> </ul> <p>Dabei waren die Datenquellen sowohl manuelle Aufschriebe, Stamm- und Bewegungsdaten aus dem Anwendungsumfeld ERP, Protokollsätze aus der Anwendungsumfeld MES sowie betriebliche Berichte auf Grundlage von MS-Office (Word, Excel, PowerPoint etc.)</p> <p>Die Prozesse wurden dokumentiert und stichpunktartig kommentiert.</p> <p>Die Bewertung der Regelgüte wurde in einer Zusammenfassung dem Projektboard und den Führungskräften vorgestellt. Die Ergebnisse fanden entsprechende Zustimmung in der Organisation und wurden als valide eingestuft. Bei der Ergebnisvorstellung ergab sich aus Perspektive der internen Entscheidungsträger allerdings kein Mehrwert als Beitrag zum Erkenntnis- und/oder Erfahrungsgewinn im Unternehmen.</p> <p>Die zusammengetragenen Ergebnisse wurden mit den Äußerungen „das ist alles bereits bekannt“ und „das ist nichts Neues für uns“ oder „dafür hat das Projektteam so lange gebraucht?“ kommentiert. Die Erwartungshaltung der Entscheidungsträger zum Status unterschied sich von den bis dato erzielten Ergebnissen im Projekt. Als Reaktion auf diese Bewertung wurde den Kritikern die stufenweise Methodik und insbesondere die nun folgenden Schritte und dessen Ziele im Gesamtzusammenhang erläutert. Die Rolle der Entscheidungsträger wurde dabei diskutiert. Kritische Fragen wurden im Dialog beantwortet. Bspw. die kritische Frage, warum dem aktuellen Status, welcher als bekannt kommentiert wurde, bis dato kein Ressourceneinsatz bzw. Priorität zugesprochen wurde?</p> <p>Ziel der kritischen Diskussion war es, die Anforderungen an die Rolle der Entscheidungsträger (vgl. Kompetenzbedarfe Kap.: 6.7) zu spezifizieren. Hierdurch sollten künftige Ressourceneinsätze zur Gestaltung operativer Prozessaktivitäten legitimiert und motiviert werden. Gleichzeitig sollte der Zuspruch der Führungskräfte das Risiko ungeplanter Interessenskonflikte im Veränderungsprozess der Regelkreisentwicklung senken. Der Zuspruch (Commitment) wurde eingeholt und weitere Statustreffen zur Kontrolle der Projektergebnisse wurden terminiert.</p>		

Gate 8	Anforderung an Regelgüte für Produktionsziel definieren	Beschreibung der Phase
<p>Nachdem der Status der Ist-Regelgüte transparent war, wurden Anforderung an die Soll.-Regelgüte diskutiert. Dabei wurde die Frage gestellt, welche Ausprägungen die Merkmale der Regelgüte einnehmen müssten, um die Produktionsziele zu unterstützen. Als Rahmenbedingung der Definition wurden Alternativen der maximalen und minimalen Ausprägungen der Soll-Regelgüte beurteilt. Vor dem Hintergrund eingeschränkter Ressourcenverfügbarkeiten (Budget, Personaleinsatz, Zeit) wurden daraus die vom Projektboard als <u>realistisch</u> eingeschätzten Anforderungen zur Spezifikation der Soll.-Regelgüte definiert. Diese folgte dabei dem Prinzip der smarten Zieldefinition mit den Attributen <u>spezifisch</u>, <u>messbar</u>, <u>attraktiv</u>, <u>realistisch</u> und <u>terminiert</u> (vgl. Kap.: 2.1).</p> <p>Die Wirkung der Soll-Regelgüte wurde als positiver Beitrag zum definierten Produktionsziel bewertet und die einzelnen Merkmale der Regelgüte abschließend definiert.</p>		
Art	Beschreibung der Anforderungen	
Sollwerte	<p>Prüfungsrelevante Vorgabewerte (Prüfplan) sollen im Prozess der fbQS am Produktionsarbeitsplatz verfügbar sein.</p> <p>Dabei soll bewertet werden können, ob die Vorgabewerte im Sinne der Regelaufgabe an den Arbeitsplatz übertragen werden. Fehlende oder fehlerhafte Sollwerte sollen vom Prozessverantwortlichen dokumentiert bzw. zur Optimierung kommuniziert werden können.</p>	
Totzeit	<p>Die Dauer bis zur Entdeckung einer fehlerhaften Produkteigenschaft, für ein bearbeitetes Halbfabrikat (WIP), soll im Mittelwert der Taktzeit am Arbeitsplatz entsprechen. Hierbei können Ausbringungsmengen am Arbeitsplatz zwischengepuffert und mit Zeitverzug als Prüflos kontrolliert werden.</p>	
Messfehler	<p>Fehlerhafte Messungen sollen protokolliert werden. Abweichungen vom Prüfzyklus, vom Prüfumfang und von der Prüfmittelgenauigkeit sollen dokumentiert und ausgewertet werden können.</p>	
Verbleibende Abweichung	<p>Der Anteil geprüfter Mengen, welcher in der Endkontrolle nachträglich aufgrund von Qualitätsmängeln der Prüfmerkmale I-III als Nacharbeit oder Ausschuss identifiziert werden, soll auf kleiner 1 % gesenkt werden. So soll die Prozessfähigkeit (Gate 2) im Sinne der Wettbewerbsfähigkeit sichergestellt werden.</p>	
Anregelzeit	<p>Die Dauer bis zum Aktivieren einer reaktiven Maßnahme und zur Behebung der Fehlerursache, soll maximal den Schichtwechselzeiten entsprechen. Bei einem drei-Schichtrhythmus ergibt sich eine maximale Anregelzeit von 480 min (8h) zu den Endzeitpunkten 06:00 Uhr, 14:00 Uhr und 22:00 Uhr. Der angestrebte Mittelwert für die Dauer bis zur ersten Reaktion wurde als „unmittelbar“ definiert.</p> <p>Hierzu wurde ein oberer Toleranzwert von max. 15 min definiert.</p>	
Ausregelzeit	<p>Die Dauer bis zum Aktivieren einer proaktiven Maßnahme zur Vermeidung der Fehlerursache, soll maximal dem Zyklus der inhaltlichen Statustreffen des Projektboards (wöchentlich) entsprechen. Der KVP der Fertigung soll die Ergebnisse und Erkenntnisse der reaktiven Maßnahmen in proaktive Maßnahmen zur Fehlervorbeugung überführen.</p> <p>Erzielte Erkenntnisse sollen dazu in die zyklischen Treffen des Shopfloor Management eingehen (täglich), um Ergebnisse für Industrial Engineering bereitzustellen.</p>	
Systemverhalten	<p>Die Regeaufgabe „Ist.-Gutmenge sicherstellen“ soll vom instabilen in einen grenzstabilen Zustand überführt werden. Dabei soll die Wahrscheinlichkeit, dass nach Auftreten einer Störung für die Prüfmerkmale I-III die Regelgröße im Sinne der Produktionsziele angepasst wird, größer sein, als dass sie es nicht wird. Das Systemverhalten soll dabei über Kontrollpunkte zwischen den Regelementen beurteilt werden können. Das Systemverhalten der Soll-Regelgüte soll dabei über die Wirksamkeit von Maßnahmen zur Optimierung der An- und Ausregelzeit beurteilt werden. Dabei soll bewertet werden können, ob die getätigten Maßnahmen (Reaktion vs. Prävention) dazu geführt haben An- und Ausregelzeit im Sinne des Produktionsziels zu verkürzen. Messgröße sind dazu die Qualitätsraten der Prüfmerkmale I-III (Fehlergründe) im Zuge des Arbeitsgangs Endkontrolle.</p>	

Gate 9	Anforderung an globale Regelgüte definieren	Beschreibung der Phase
Die Soll.-Regelgüte wurde operationalisiert und auf konkrete Eigenschaften der lokalen Regelelemente (RE) übertragen. Ausgehend von der Aufbaustruktur des DRK, wurden dessen Merkmalen 1-10 (vgl. Kap.: 6.3) für die relevanten Aktivitäten im Teilprozess der fbQS dimensioniert. Die globalen Anforderungen an die Soll-Regelgüte wurden dazu definiert:		
ID	Regelement	Aufgaben am Regelement / Aktivität im GP
RE1	Sollwert definieren	Aktivität zur Sicherstellung der Vorgabewerte im Prüfplan
RE2	Istwert messen	Aktivität zu Erfassung der Messwerte
RE3	Abweichungen beurteilen	Aktivität zur Beurteilung verletzter Eingriffsgrenzen
RE4	Planwert ermitteln	Aktivität zur Bestimmung einer (Gegen-) Maßnahme
RE5	Planwert übertragen	Aktivität zum Auslösen der ermittelten Maßnahme
RE6	Planwert umsetzen	Aktivität zur Aktivierung der Maßnahme
Bei der Definition der Anforderungen wurden parallel Kontrollpunkte (KP I.-VI.) zwischen den Aktivitäten der Regelemente definiert. Diese es ermöglichten, die Leistung einzelner Regelemente im Wirkprozess des Regelkreises zu beurteilen.		
KP I. Führungsgröße (w) ..... Sollwert definieren → Abweichung beurteilen		
KP II. Regelgröße (x) ..... Planwert umsetzen → Istwert messen		
KP III. Rückführungsgröße (r) ..... Istwert messen → Abweichung beurteilen		
KP IV. Regeldifferenz (e) ..... Abweichung beurteilen → Planwert ermitteln		
KP V. Stellwertes (m) ..... Planwert ermitteln → Planwert übertragen		
KP VI. Stellgröße (y) ..... Planwert übertragen → Planwert umsetzen		
Nachstehende Kontrollfragen wurden als Aufgabe der Kontrollpunkte definiert. Durch <b>qualitative und quantitative</b> Messungen im Soll.-Regelkreis sollten diese zur Beurteilung der Schwachstellen im Wirkprozess beitragen:		
KP	Ereignis am Kontrollpunkt des Soll.- Wirkprozess	
I.	Vorgabewerte der Prüfung sind am Prüfplatz verfügbar? (J/N)	
II	Prüfzyklus/-fälligkeit und Prüfumfang werden eingehalten? (J/N)	
III	Prüfmittel erfasst fehlerhafte Produktoberfläche (J/N)	
IV	Fehlerart wird zugeordnet (J/N)	
V	Gegenmaßnahme zur Fehlerbehebung wird ermittelt (J/N)	
VI	Gegenmaßnahme wird eingeleitet (J/N)	
Quantitative Abweichung → Zeitstempel und Ereignisdetails der Protokollsätze im MES		
Qualitative Abweichungen → Erfahrungen der Anwender und Prozessbeteiligten		
Über die Kontrollpunkte und die zur Kontrolle erforderlichen Ereignisse konnten Bedarfe digitaler Bewegungsdaten abgeleitet werden. Hierbei ergab sich der Bedarf aus der Erkenntnis, dass KP-relevante Ereignisse entweder nicht digital dokumentiert werden, oder der Aufwand zur Überwachung und Analyse in der aktuellen Dokumentationsform den Anforderungen der Soll-Regelgüte widerspricht. Bspw. wurden Fehlerarten (KP IV) mit einem Zeitverzug von mehreren Schichten und mit Hilfe einer lokalen Makro-Benutzeranwendung (vgl. A09) erfasst. Daraus konnte abgeleitet werden, dass ein KP-relevantes Ereignis „Fehlerart zugeordnet“ in den Wirkprozess des Soll-Regelkreises integriert werden muss, um der Forderung nach einem geschlossenen Wirkprozess und der definierten Soll-Regelgüte nachzukommen.		
Aus dieser Erkenntnis zur Integration und/oder Veränderung bestehender Erfassungs- und Buchungsprozesse im Umfeld der betrieblichen und maschinellen Datenerfassung (BDE/MDE) ergab sich die Motivation zur Anpassung bestehender Aktivitäten im GP fbQS.		

Gate 10	Anforderungen an Ziele lokaler Regelelemente spezifizieren	Beschreibung der Phase				
Um den globalen Anforderungen aus Gate 9 nachzukommen, wurden die Anforderungen für die lokalen Regelelemente (RE 1-6) detailliert. Hierzu wurden die Merkmale der DRK als Grundlage genutzt, um die Ausprägungen der Aktivitäten zu spezifizieren						
Merkmale der Aktivität im GP	Geplante Aktivitäten der Regelelemente					
	RE1	RE2	RE3	RE4	RE5	RE6
	Sollwert definieren	Istwert messen	Abweichung beurteilen	Planwert ermitteln	Planwert übertragen	Planwert umsetzen
Prozessziel	Prüfplan freigeben	Oberflächengüte erfassen	Fehlerbilder erfassen	Fehlerart erfassen	Maßnahme auswählen	Maßnahme ausführen
PPS-Aufgabe	Prüfanforderung erstellen	Prüfergebnis dokumentieren	Prüfentscheid ermitteln	Störgrund ermitteln	Maßnahme einleiten	Ressourceneinsatz dokumentieren
Verantwortung Organisationseinheit	Abt. QS	Abt. Fertigung	Prüfer am Prüfplatz	Prüfer am Prüfplatz	Bediener am Arbeitsplatz	Bediener am Arbeitsplatz
Datenobjekte	Prüfplan	Prüfauftrag	Fehlerart	Auftrag / Betriebsmittel	Betriebsmittel/ Maßnahme	Betriebsmittel/ Maßnahme
Kontrollfluss	KP I	KP II	KP III	KP IV	KP V	KP VI
Automatisierung	manuell	assistiert	assistiert	assistiert	assistiert	assistiert
Ereignis zur Zustandsüberwachung	Prüfzyklus	Messwert(e)	Prüfergebnis	Ausschussgrund	Maschinenstatus	Maßnahmenkommentar

Gate 11	Kontrollfluss der Regelelemente definieren	Beschreibung der Phase
<p>Zur Überwachung des Wirkprozesses im DRK wurde die Beziehung zur Output-Input Verarbeitung der Aktivitäten an den Regelelementen (RE1-6) spezifiziert. Hierzu wurden Bedingungen der geplanten Kontrollflusststeuerung mit Hilfe der KP festgelegt.</p> <p>Die Kontrollpunkte KP I-KP VI wurden eingeführt, um die Beziehung zwischen Regelelementen zu definieren:</p> <p>KP I: Wenn Änderung am Prüfplan abgeschlossen, dann Prüfplan aktualisieren (Status im Prüfplan wechselt in „freigegeben“)</p> <p>KP II: Wenn Prüfzyklus abgelaufen, dann Prüfung durchführen (Status am Prüfplatz wechselt auf „in Prüfung“)</p> <p>KP III: Wenn Prüfung abgeschlossen, n.i.O Mengen Fehlerarten zugeordnet (Status am Prüfplatz wechselt auf „Prüfung n.i.O“)</p> <p>KP IV: Wenn n.i.O Menge definiert, dann Fehlerursache erfassen (Qualitätsgründe werden in Buchungsprotokoll übernommen)</p> <p>KP V: Wenn Fehlerursache bekannt, dann Maßnahme einleiten (Status am Arbeitsplatz wechselt auf „Maßnahme nach Prüfung“)</p> <p>KP VI: Wenn Maßnahme eingeleitet, dann Wirkung dokumentieren (Kommentar zum Status „Maßnahme nach Prüfung“)</p> <p>Die digitalen Ereignisse und Zustandswechsel dienen zur Sicherung der Kontrollierbarkeit des Wirkprozess im DRK.</p> <p>Die geplante Output-Input Verarbeitung wurde anhand der Aktivitäten der Regelelemente definiert. Die geplanten Ziele (Soll-Zustände) der Aktivitäten wurden hinsichtlich ihrer sequentiellen Abhängigkeit im Wirkprozess festgelegt: (Ziel→Aktivität→Ziel→Aktivität→Ziel→...)</p> <p>KP I: Prüfplan ist freigegeben → Prüffälligkeit auslösen</p> <p>Kp II. Prüffälligkeit ausgelöst → Prüfung durchführen</p> <p>KP III Prüfung durchgeführt → Messwerte erfassen</p> <p>KP IV Messwerte erfasst → Fehlerart erfassen</p> <p>KP V Fehlerart erfasst → Fehlerursache erfassen</p> <p>KP VI Fehlerursache erfasst → Gegenmaßnahme erfassen</p> <p>Die Inhalte wurden dokumentiert, visualisiert und im Projektboard freigegeben.</p>		

<b>Gate 12 1/2</b>	<b>Teilprozesse analysieren 1/2</b>	<i>Beschreibung der Phase</i>
<p>Um der geplanten Output-Input Verarbeitung in Gate 11 nachzukommen wurde geprüft, welche Rahmenbedingungen derzeit für die Aktivitäten der Regelemente (RE1-RE6) vorliegen. Dabei wurden die Rahmenbedingungen wiederum (vgl. Gate 10) anhand der Merkmale des DRK angeglichen. Bei der Prüfung wurde festgestellt, dass die geplanten Aktivitäten (Gate 11) teilweise</p> <p>a.) gar nicht, b.) nicht ereignisbezogen, c.) ohne Ereignisdokumentation, d.) nicht mit Hilfe interoperabler Informationsträger (vgl. A09) durchgeführt werden. Der Status Quo wurde hierzu dokumentiert.</p> <p>Die die Analyse führte zu folgenden Ergebnissen:</p>		
<b>RE 1 Sollwert definieren</b>	<b>Tatsächliche Aktivitäten der Regelemente</b>	
Prozessziel	ist bekannt und wird eingehalten	
PPS-Aufgabe	ist bekannt und wird eingehalten	
OE	Abteilung QS verantwortet den Prüfplan (Qualitätsmanagementbeauftragter)	
Datenobjekt	Prüfplan ist definiert und dessen Inhalte sind in den Prozess fbQS eingebunden	
Kontrollfluss	ist für Prüfplan nicht sichergestellt, da Reifegrad der IO (Stufe 0) für Objekt Prüfplan fehlt	
Automatisierung	Keine – Prüfplan wird manuell erstellt	
Zustandsüberwachung	Keine – Zustandsänderungen des Prüfplans können nicht überwacht werden	
<b>RE 2 Istwert messen</b>	<b>Tatsächliche Aktivitäten der Regelemente</b>	
Prozessziel	ist bekannt, wird vor dem Hintergrund fehlender Kapazität aber nicht konstant eingehalten	
PPS-Aufgabe	ist bekannt, wird teilweise durchgeführt, die Qualität der Ergebnisse wird nicht überwacht	
OE	Maschinenbediener am Arbeitsplatz verantwortet die Messung	
Datenobjekt	Fertigungsauftrag (FA) / Arbeitsgang (AG)	
Kontrollfluss	Manueller Abgleich gebuchter Mengen für FA/AG, Korrekturformular für Fehlbuchungen	
Automatisierung	Erfassung der Ausschussgründe ist in BDE-Applikation in MES Anwendung integriert	
Zustandsüberwachung	Buchungsprotokoll für auftrags- und maschinenbezogene Ereignisse liegt in MES vor	
<b>RE 3 Abweichungen beurteilen</b>	<b>Tatsächliche Aktivitäten der Regelemente</b>	
Prozessziel	nur eingeschränkt bekannt, Qualifikation über Fehlerbilder fehlt bei Prüfpersonal	
PPS-Aufgabe	Prüfentscheid wird standardmäßig nicht am Arbeitsplatz getroffen	
OE	Maschinenbediener am Arbeitsplatz verantwortet Abweichung	
Datenobjekt	Ausschussgrund am Arbeitsgang (AG)	
Kontrollfluss	ist nicht sichergestellt, da Überwachungsaufgabe nicht definiert ist	
Automatisierung	keine	
Zustandsüberwachung	keine	
<b>RE 4 Planwert ermitteln</b>	<b>Tatsächliche Aktivitäten der Regelemente</b>	
Prozessziel	nicht bekannt, Fehlerursachen für wiederkehrende Fehlerbilder sind nicht spezifiziert	
PPS-Aufgabe	nicht vorhanden	
OE	es ist keine Verantwortung definiert	
Datenobjekt	teilweise wird Maschinenstatus geändert, kein belastbarer Standard, keine Routineobjekte	
Kontrollfluss	nicht vorhanden	
Automatisierung	keine	
Zustandsüberwachung	keine	

Gate 12 2/2	Teilprozesse analysieren 2/2	Beschreibung der Phase																
<table border="1"> <thead> <tr> <th>RE 5 Planwert übertragen</th> <th>Tatsächliche Aktivitäten der Regelemente</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Prozessziel</td> <td>ist bekannt und wird durchgeführt, die Kommunikation erfolgt manuell ohne definierte GP</td> </tr> <tr> <td>PPS-Aufgabe</td> <td>nicht vorhanden, teilweise Dokumentation in analogem „Schichtbuch“</td> </tr> <tr> <td>OE</td> <td>keine eindeutige Verantwortung (Prüfpersonal, Maschinenbediener, Gruppenleiter, Einsteller)</td> </tr> <tr> <td>Datenobjekt</td> <td>nicht vorhanden</td> </tr> <tr> <td>Kontrollfluss</td> <td>nicht vorhanden</td> </tr> <tr> <td>Automatisierung</td> <td>keine</td> </tr> <tr> <td>Zustandsüberwachung</td> <td>keine</td> </tr> </tbody> </table>			RE 5 Planwert übertragen	Tatsächliche Aktivitäten der Regelemente	Prozessziel	ist bekannt und wird durchgeführt, die Kommunikation erfolgt manuell ohne definierte GP	PPS-Aufgabe	nicht vorhanden, teilweise Dokumentation in analogem „Schichtbuch“	OE	keine eindeutige Verantwortung (Prüfpersonal, Maschinenbediener, Gruppenleiter, Einsteller)	Datenobjekt	nicht vorhanden	Kontrollfluss	nicht vorhanden	Automatisierung	keine	Zustandsüberwachung	keine
RE 5 Planwert übertragen	Tatsächliche Aktivitäten der Regelemente																	
Prozessziel	ist bekannt und wird durchgeführt, die Kommunikation erfolgt manuell ohne definierte GP																	
PPS-Aufgabe	nicht vorhanden, teilweise Dokumentation in analogem „Schichtbuch“																	
OE	keine eindeutige Verantwortung (Prüfpersonal, Maschinenbediener, Gruppenleiter, Einsteller)																	
Datenobjekt	nicht vorhanden																	
Kontrollfluss	nicht vorhanden																	
Automatisierung	keine																	
Zustandsüberwachung	keine																	
<table border="1"> <thead> <tr> <th>RE 6 Planwert umsetzen</th> <th>Tatsächliche Aktivitäten der Regelemente</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Prozessziel</td> <td>ist bekannt und wird durchgeführt, die Kommunikation erfolgt manuell ohne definierte GP</td> </tr> <tr> <td>PPS-Aufgabe</td> <td>nicht vorhanden, teilweise Dokumentation in analogem „Schichtbuch“</td> </tr> <tr> <td>OE</td> <td>Einrichter für Fertigungsgruppe verantwortet (Gegen-) Maßnahmen</td> </tr> <tr> <td>Datenobjekt</td> <td>nicht vorhanden</td> </tr> <tr> <td>Kontrollfluss</td> <td>nicht vorhanden</td> </tr> <tr> <td>Automatisierung</td> <td>keine</td> </tr> <tr> <td>Zustandsüberwachung</td> <td>keine</td> </tr> </tbody> </table>			RE 6 Planwert umsetzen	Tatsächliche Aktivitäten der Regelemente	Prozessziel	ist bekannt und wird durchgeführt, die Kommunikation erfolgt manuell ohne definierte GP	PPS-Aufgabe	nicht vorhanden, teilweise Dokumentation in analogem „Schichtbuch“	OE	Einrichter für Fertigungsgruppe verantwortet (Gegen-) Maßnahmen	Datenobjekt	nicht vorhanden	Kontrollfluss	nicht vorhanden	Automatisierung	keine	Zustandsüberwachung	keine
RE 6 Planwert umsetzen	Tatsächliche Aktivitäten der Regelemente																	
Prozessziel	ist bekannt und wird durchgeführt, die Kommunikation erfolgt manuell ohne definierte GP																	
PPS-Aufgabe	nicht vorhanden, teilweise Dokumentation in analogem „Schichtbuch“																	
OE	Einrichter für Fertigungsgruppe verantwortet (Gegen-) Maßnahmen																	
Datenobjekt	nicht vorhanden																	
Kontrollfluss	nicht vorhanden																	
Automatisierung	keine																	
Zustandsüberwachung	keine																	
<p>Zusätzlich zu den Ergebnissen der einzelnen Aktivitäten an den Regelementen (RE1-RE6) wurden übergreifende Ist.-Zustände der Teilprozesse ermittelt: Die Datenqualität der betrieblichen Erfassungsprozesse (Bewegungsdaten der Fertigung) wurden als fehlerbehaftet eingestuft. Buchungsdifferenzen zwischen realen und virtuellen Beständen für WIP-Mengen betragen nach physischer Überwachung (über einen Zeitraum von ca. 6 Wochen) durchschnittlich 15 %. Die Reifestufe der organisatorischen Interoperabilität wurde auf Grundlage der fehlenden Belastbarkeit von Kennzahlen als <i>initial</i> (CMMI Level 1– vgl. Kap.: 3.2.3) eingestuft. Die <b>Reifegradmatrix</b> des Digitalen Regelkreis wurde zudem angewendet, um die Leistung der Aktivität „Bearbeitung überwachen“ für betroffene Arbeitsplätze zu bewerten. Der Reifegrad wurde mit der Stufe 1 <i>nicht erfasst</i> (vgl. Kap.: 6.5) bewertet. Die öffentliche Diskussion bestehender Schwachstellen im Umfeld der PPS und die Projektaufgabe der <u>datengetriebenen</u> Regelung betrieblicher Informationsflüssen, objektivierte Kritik an der bestehenden Unternehmenskultur. Die Hintergründe der bis dato nicht priorisierten Datenqualität in der Fertigung wurden dazu im Projektboard diskutiert.</p> <p>Die technische Interoperabilität der PPS Anwendungssysteme (ERP und MES) wurde dem Reifegrad Level 4 <i>Pragmatische Verbindung</i> bewertet. Die Fähigkeit zum Datenaustausch der für den DRK relevanten Datenobjekte der PPS, wurde hierzu bewertet. Die Datenobjekte Artikel, Arbeitsplan, Stückliste und Fertigungsauftrag dienten als Referenz. Übergreifend wurde die Interoperabilität der PPS-Aufgaben dem Level 2-3 zugeordnet. Auffällig war, dass innerhalb der GP der PPS eine hohe Anzahl unterschiedlicher Datenquellen eingesetzt wurde. Es wurde bspw. ERP Individualsoftware, MES Standardsoftware, SCM-Standardsoftware, MS-Office-Software, MS-Access-Software, CAQ-Standardsoftware und eine Vielzahl ausgedruckter Formulare zur Organisation der Kontrollflüsse eingesetzt. Die Heterogenität der Systemlandschaft wurde demnach als „sehr extrem ausgeprägt“ bewertet.</p>																		

<b>Gate 13</b>	Anforderungen an Interoperabilität spezifizieren	Beschreibung der Phase
----------------	--	------------------------

Um den Wirkprozess im DRK auf die Regelaufgabe auszurichten wurden Anforderungen spezifiziert. Diese hatten das Ziel die Zusammenarbeit der Regelelemente im Sinne des Produktionsziels sicherzustellen. Ausgehend von den Ergebnissen der Gates 1-12 ergaben sich als Eingangsparameter der Spezifikation die Ziele, der Soll.-Zustand, der Ist.-Zustand und die Rahmenbedingungen des DRK. Hieraus wurden die konkreten Prozessziele als Anforderungen zur Veränderung abgeleitet:

Anforderung an Prozessziele an RE1 bis RE6	Lokalität der Anforderung im Digitalen Regelkreis
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Prüfzyklus muss an Störverhalten angepasst werden</li> <li>2. Prüfung muss am Arbeitsplatz der Fertigung erfolgen</li> <li>3. Prüfqualifikation muss am Prüfarbeitsplatz vorliegen</li> <li>4. Prüfmittel muss tolerierte Messgenauigkeit sicherstellen</li> <li>5. Prüfergebnis muss nach Messung erfasst werden</li> <li>6. Prüfergebnis muss Fehlerart ermitteln</li> <li>7. Fehlerart muss Fehlerverursacher ermitteln</li> <li>8. Fehlerverursacher muss Fehlerursprung ermitteln</li> <li>9. Fehlerverursacher muss Gegenmaßnahme auslösen</li> <li>10. Gegenmaßnahme muss Fehlerursprung beheben</li> </ol>	<p>Visualisierung der Anforderungen 1-10 im Wirkprozess des technischen Regelkreises:</p>

Durch Anforderungen an die Regeltüte (Gate 8) und damit verbundene Zielwerte der Reaktionszeiten, wurde der angestrebte Reifegrad zum interoperablen Datenaustausch mit dem Level 5 (dynamische Verbindung) definiert. Der Hintergrund für diese Definition war die Prognose, dass der Datenaustausch zwischen den Aktivitäten (Schnittstellen) des DRK nicht statisch erfolgen wird. Durch fehlendes Wissen über Störgrößen, Fehlerarten, Fehlerursachen und Maßnahmenwirkung war davon auszugehen, dass mit zunehmender Erfahrungskurve, eine Entwicklung des DRK (vgl. Kap.: 6.5) erfolgt. Um den Entwicklungsprozess zu ermöglichen und künftige Strukturanpassungen im DRK effizient und nachhaltig zu gestalten, war die Optimierung und Erweiterbarkeit der Schnittstellen im DRK notwendig. Dazu wurde ein hoher IO Level als Voraussetzung angesehen, um den künftigen Ausbau zu ermöglichen.

Durch die Spezifikation der Prozessziele konnten zudem organisatorische Aufgaben definiert werden. Diese ermöglichten die Ermittlung der zur Aufgabenerfüllung benötigten Kompetenzen. Dabei wurde die Frage gestellt, welche Organisationseinheiten/Stellen im Unternehmen die Kompetenz besitzen, die Anforderungen an die Prozessziele 1-10 (s.o.) zu erfüllen?

Folgende Kompetenzen wurden zur internen Aufgabenerfüllung ermittelt:

ID	Prozessziel	Kompetenzträger
1	Prüfzyklus senken	Leitung Produktion / Leitung Qualität
2	Prüfung direkt an der Maschine durchführen	Leitung Fertigungsgruppe
3	Prüfer für Erkennung von Fehlerbildern trainieren	Abt.: QS / Fertigungsgruppe
4	Messmittel (Endoskop) am Prüfplatz bereitstellen	Abt. Endkontrolle
5	Geprüfte Mengen erfassen und nach i.O. und n.i.O unterscheiden	Abt. IT
6	Für n.i.O Prüfmengen Fehlerarten zuweisen	Abt. QS / Abt. IT
7	für zugewiesene Fehlerarten Verantwortlichkeiten für Ursprung definieren	Fertigungsgruppe / QS / Endkontrolle
8	der Verantwortlichen Stelle die Fehlerarten zeitnah zustellen	Abt. IT
9	den Fehlerverantwortlichen über Prozessziele informieren und trainieren	Leitung Fertigungsgruppe
10	dem Fehlerverantwortlichen ermöglichen die Maßnahme zu dokumentieren	Abt. IT

Zur Abstimmung der organisatorischen Schnittstellen wurden die Leitungsfunktionen der Funktionsbereichen Geschäftsführung, Produktion, Qualitätsmanagement und IT über den Status der Gesamtaufgabe informiert. Dabei wurde die Gesamtaufgabe zur Senkung der Fehlerkosten (Gate 2) mit Hilfe der Ablauforganisation (vgl. Kap.: 3.6.3) in Teilaufgaben zerlegt und diese wiederum in die Funktionsbereiche delegiert.

Gate 14	Kompetenzeinsatz für Transformation definieren	Beschreibung der Phase
<p>Aus den definierten Aufgaben (Gate 13) wurden Lösungsvorschläge der Kompetenzbereiche erarbeitet. Diese hatten zum Ziel die definierten Prozessziele der Teilprozesse sicherzustellen. Folgende Maßnahmen wurde von den Funktionsbereichen definiert:</p>		
Funktionsbereich	Kompetenzeinsatz zur Erfüllung der Teilaufgaben	
QS	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Erstellung einer tabellarischen Übersicht der produktbezogenen Fehlerarten</li> <li>- Visualisierung der Fehlerarten durch Fehlerbilder</li> <li>- Unterscheidung der Fehlerarten nach Prüfmitteleinsatz</li> <li>- Erstellung von Regeln zur Kommunikation von Fehlerart (Empfängermatrix)</li> <li>- Erstellung einer Zuordnung von Fehlerursachen zu Fehlerarten</li> <li>- Erstellung einer Maßnahmenübersicht pro Fehlerart</li> </ul>	
Endkontrolle	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Durchführung von Trainings zur Sicherung der Prüfqualifikation für Fertigungspersonal</li> <li>- Erfahrungsbericht zur Definition von Fehlerbildern als Stammdaten der QS</li> </ul>	
Instandhaltung	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Planung des Prüfmitteleinsatz an den Fertigungsarbeitsplätzen</li> <li>- Kalibrierung und Inbetriebnahme der Messmittel</li> </ul>	
Produktion	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Planung des Ressourceneinsatzes für geänderten Prüfzyklus</li> <li>- Training für Anwender zur Überwachung der Kontrollpunkte KP I bis KP VI in MES</li> <li>- Erfahrungsbericht zur Definition von Fehlerursachen für QS</li> <li>- Konzept zur Schulung und Nachschulung für betroffenes Fertigungspersonal</li> <li>- Konzept zur Fortschrittsüberwachung der Entwicklung und Reife des DRK</li> </ul>	
IT	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Analyse der Erweiterbarkeit der Datenobjekte für die PPS-Stammdaten               <ul style="list-style-type: none"> <li>o Anlage eines Prüfarbeitsgangs im Arbeitsplan des ERP</li> <li>o Anlage neuer Stammdaten als Prüfarbeitsplätze im MES</li> <li>o Anlage neuer Mengengründe zur Erfassung von Fehlerarten in MES</li> <li>o Anlage neuer Maschinenstatus der Arbeitsplätze in MES</li> </ul> </li> <li>- Durchführung von Testläufen zur Funktionsprüfung bei geänderten Datenobjekten</li> <li>- Konzeption des geplanten Prozesses der Datenverarbeitung im DRK</li> <li>- Dokumentation geplanter Bedienprozesse für geänderte BDE-Applikation</li> <li>- Dokumentation der Überwachungsprozesse am MES-Client</li> </ul>	
<p>Die geplanten Ergebnisse der Maßnahmen wurden in einer Konzeption zusammengeführt und bildeten die angenommenen Rahmenbedingungen als Vorgabe für den Systementwurf. Die Konzeption und Rahmenbedingungen wurden verwendet, um als Grundlage des Systemkonzepts in die Anforderungsspezifikation einzufließen (vgl. Kap.: .6.1)</p>		

Gate15	Abschluss der Anforderungsspezifikation	Beschreibung der Phase
<p>Um Konzeption und Rahmenbedingungen (Gate 14) sowie der geforderten Kontrollflusssteuerung (Kontrollpunkte KP I bis VI – Gate 6) sicherzustellen, wurden abschließend funktionale Anforderung an die betrieblichen Anwendungssysteme (ERP/MES) definiert. Diese dienten der digitalen Kontrollflusssicherung im DRK bei angenommenen Rahmenbedingungen zum Systementwurf. Diese wurden mit Hilfe von Testfällen spezifiziert. Folgende Anforderungen wurden definiert:</p> <p>CR-001: Ein virtueller Prüfplatz soll am BDE-Terminal durch den Prüfer auswählbar sein</p> <p>CR-002: Der virtuelle Prüfplatz soll unterschiedliche Status einnehmen können</p> <p>CR-003: Die künftige Statusauswahl am Prüfplatzes soll änderbar und erweiterbar sein</p> <p>CR-004: Der aktuelle Status am virtuellen Prüfplatzes soll überwachbar sein</p> <p>CR-005: Initial sollen die Status „in Prüfung“, „Prüfung i.O“, „Prüfung n.i.O.“ und „Maßnahme nach Prüfung“ auswählbar sein</p> <p>CR-006: Am virtuellen Prüfplatz soll ein Prüfarbeitsgang unabhängig vom Fertigungsarbeitsgang anmeldbar sein</p> <p>CR-007: Der Prüfarbeitsgang soll den Fortschritt geprüfter Produktionsmengen dokumentieren können</p> <p>CR-008: Geprüfte Mengen sollen nach Prüfergebnis i.O. und n.i.O klassifiziert werden können</p> <p>CR-010: Für n.i.O-Mengen sollen Fehlerarten dokumentiert werden können</p> <p>CR-011: Die Dauer zwischen den Kontrollpunkten KP I.-KP VI. soll anhand von Erfassungsereignissen dokumentiert werden können</p> <p>CR-012: Die Dauer zwischen den Kontrollpunkten sollen überwacht werden können</p> <p>CR-013: Am virtuellen Prüfarbeitsplatz sollen durch den Prüfer <i>Kommentare zum Prüfergebnis</i> erfassbar sein</p> <p>CR-014: Am Fertigungsarbeitsplatz sollen <i>Kommentare zur (Gegen-)Maßnahmen</i> erfassbar sein</p> <p>CR-015: Die erfassten Kommentare sollen in einer Historie einsehbar und auswertbar sein</p> <p>CR-016: Das Trendverhalten von Ausschuss und Nacharbeit soll auswertbar sein</p> <p>Durch die Definition der funktionalen Anforderungen CR001-CR016 wurde die Phase der Anforderungsspezifikation abgeschlossen. Die Anforderungen lieferten die Eingangsparameter zum Systementwurf. Die Anforderungen wurden vom Kompetenzbereich der IT-Prozessberatung auf qualitative Eigenschaften (vgl. Kap.: 3.3.4) geprüft. Der Aufwand zur Umsetzung und der Beitrag zur Erfüllung der Prozessziele wurde bewertet. Die Umsetzung wurde freigegeben.</p> <p>Auf Grundlage der Ergebnisse aus Gate 1 bis Gate 15 wurden System-, Komponenten, und Modulentwurf zur Implementierung der Softwarefunktionen vorgenommen.</p>		

### A52. KONTROLLPUNKTE

Als Ergebnis der Fallstudie wurde der Systementwurf erstellt. Nach dessen Implementierung konnten Kontrollpunkt im DRK mit Hilfe betrieblicher Anwendungssysteme integriert überwacht werden. Nachstehende Ansichten zeigen exemplarische Kontrollpunkte im Systementwurf:

**KP II Prüfzyklus-/Fälligkeit und Prüfumfang überwachen**

Arbeitsplatz		Ereignis				Stammdaten				Person			Primärmenge		
Arbeitsplatz	AG	Typ	Ereignis	Datum	Uhrzeit	Arbeitsplatz	Kurzbezeich...	Gruppe	Kosten...	Person	Nachname	Vorname	Gutmenge (P)	Ausschuss (P)	Einheit
QM-01			Prüfung	13.09.2019	14:27:13	QM-01	QM-C-4	01011002	01011000	7777	Schwäke	Dennis	10,000000	3,000000	ST
QM-01			Prüfung n.i.O	13.09.2019	14:28:49	QM-01	QM-C-4	01011002	01011000	7777	Schwäke	Dennis	0,000000	0,000000	ST
Kleiner Span Außenseite links															
100			Prüfung n.i.O	13.09.2019	14:29:54	100	1. Seite	NC 1	100	7777	Schwäke	Dennis	0,000000	0,000000	
Maschine läuft weiter															
100			Produktion	13.09.2019	14:30:04	100	1. Seite	NC 1	100	7777	Schwäke	Dennis	0,000000	0,000000	
100			Maßnahme n. Prüfung	13.09.2019	14:30:53	100	1. Seite	NC 1	100	7777	Schwäke	Dennis	0,000000	0,000000	
Spülsystem ausgeblasen															
100			Produktion	13.09.2019	14:31:07	100	1. Seite	NC 1	100	7777	Schwäke	Dennis	0,000000	0,000000	
QM-01			Prüfung	13.09.2019	14:32:11	QM-01	QM-C-4	01011002	01011000	7777	Schwäke	Dennis	10,000000	0,000000	ST
QM-01			Prüfung i.O.	13.09.2019	14:32:41	QM-01	QM-C-4	01011002	01011000	7777	Schwäke	Dennis	0,000000	0,000000	

**KP V Gegenmaßnahme zur Fehlerbehebung wird ermittelt**

Arbeitsplatz		Ereignis				Stammdaten				Person			Primärmenge		
Arbeitsplatz	AG	Typ	Ereignis	Datum	Uhrzeit	Arbeitsplatz	Kurzbezeich...	Gruppe	Kosten...	Person	Nachname	Vorname	Gutmenge (P)	Ausschuss (P)	Einheit
QM-01			Prüfung	13.09.2019	14:27:13	QM-01	QM-C-4	01011002	01011000	7777	Schwäke	Dennis	10,000000	3,000000	ST
QM-01			Prüfung n.i.O	13.09.2019	14:28:49	QM-01	QM-C-4	01011002	01011000	7777	Schwäke	Dennis	0,000000	0,000000	ST
Kleiner Span Außenseite links															
100			Prüfung n.i.O	13.09.2019	14:29:54	100	1. Seite	NC 1	100	7777	Schwäke	Dennis	0,000000	0,000000	
Maschine läuft weiter															
100			Produktion	13.09.2019	14:30:04	100	1. Seite	NC 1	100	7777	Schwäke	Dennis	0,000000	0,000000	
100			Maßnahme n. Prüfung	13.09.2019	14:30:53	100	1. Seite	NC 1	100	7777	Schwäke	Dennis	0,000000	0,000000	
Spülsystem ausgeblasen															
100			Produktion	13.09.2019	14:31:07	100	1. Seite	NC 1	100	7777	Schwäke	Dennis	0,000000	0,000000	
QM-01			Prüfung	13.09.2019	14:32:11	QM-01	QM-C-4	01011002	01011000	7777	Schwäke	Dennis	10,000000	0,000000	ST
QM-01			Prüfung i.O.	13.09.2019	14:32:41	QM-01	QM-C-4	01011002	01011000	7777	Schwäke	Dennis	0,000000	0,000000	

**KP VI Gegenmaßnahme wird eingeleitet**

Arbeitsplatz		Ereignis				Stammdaten				Person			Primärmenge		
Arbeitsplatz	AG	Typ	Ereignis	Datum	Uhrzeit	Arbeitsplatz	Kurzbezeich...	Gruppe	Kosten...	Person	Nachname	Vorname	Gutmenge (P)	Ausschuss (P)	Einheit
QM-01			Prüfung	13.09.2019	14:27:13	QM-01	QM-C-4	01011002	01011000	7777	Schwäke	Dennis	10,000000	3,000000	ST
QM-01			Prüfung n.i.O	13.09.2019	14:28:49	QM-01	QM-C-4	01011002	01011000	7777	Schwäke	Dennis	0,000000	0,000000	ST
Kleiner Span Außenseite links															
100			Prüfung n.i.O	13.09.2019	14:29:54	100	1. Seite	NC 1	100	7777	Schwäke	Dennis	0,000000	0,000000	
Maschine läuft weiter															
100			Produktion	13.09.2019	14:30:04	100	1. Seite	NC 1	100	7777	Schwäke	Dennis	0,000000	0,000000	
100			Maßnahme n. Prüfung	13.09.2019	14:30:53	100	1. Seite	NC 1	100	7777	Schwäke	Dennis	0,000000	0,000000	
Spülsystem ausgeblasen															
100			Produktion	13.09.2019	14:31:07	100	1. Seite	NC 1	100	7777	Schwäke	Dennis	0,000000	0,000000	
QM-01			Prüfung	13.09.2019	14:32:11	QM-01	QM-C-4	01011002	01011000	7777	Schwäke	Dennis	10,000000	0,000000	ST
QM-01			Prüfung i.O.	13.09.2019	14:32:41	QM-01	QM-C-4	01011002	01011000	7777	Schwäke	Dennis	0,000000	0,000000	

**KP I Vorgabewerte der Prüfung sind am Arbeitsplatz verfügbar**

Arbeitsplatz		Ereignis				Stammdaten				Person			Primärmenge		
Arbeitsplatz	AG	Typ	Ereignis	Datum	Uhrzeit	Arbeitsplatz	Kurzbezeich...	Gruppe	Kosten...	Person	Nachname	Vorname	Gutmenge (P)	Ausschuss (P)	Einheit
QM-01			Prüfung	13.09.2019	14:27:13	QM-01	QM-C-4	01011002	01011000	7777	Schwäke	Dennis	10,000000	3,000000	ST
QM-01			Prüfung n.i.O	13.09.2019	14:28:49	QM-01	QM-C-4	01011002	01011000	7777	Schwäke	Dennis	0,000000	0,000000	ST
Kleiner Span Außenseite links															
100			Prüfung n.i.O	13.09.2019	14:29:54	100	1. Seite	NC 1	100	7777	Schwäke	Dennis	0,000000	0,000000	
Maschine läuft weiter															
100			Produktion	13.09.2019	14:30:04	100	1. Seite	NC 1	100	7777	Schwäke	Dennis	0,000000	0,000000	
100			Maßnahme n. Prüfung	13.09.2019	14:30:53	100	1. Seite	NC 1	100	7777	Schwäke	Dennis	0,000000	0,000000	
Spülsystem ausgeblasen															
100			Produktion	13.09.2019	14:31:07	100	1. Seite	NC 1	100	7777	Schwäke	Dennis	0,000000	0,000000	
QM-01			Prüfung	13.09.2019	14:32:11	QM-01	QM-C-4	01011002	01011000	7777	Schwäke	Dennis	10,000000	0,000000	ST
QM-01			Prüfung i.O.	13.09.2019	14:32:41	QM-01	QM-C-4	01011002	01011000	7777	Schwäke	Dennis	0,000000	0,000000	