

Schlussbericht – (Kurzfassung)

zu IGF-Vorhaben Nr. 19304 N/1

Thema

Modellbasierte Konfiguration von Projekten zur Restrukturierung von Fertigungs- und Montagebereichen in KMU

Berichtszeitraum

01.02.2017 bis 30.09.2018

Forschungsvereinigung

Gesellschaft für Verkehrsbetriebswirtschaft und Logistik e.V. (GVB)

Forschungseinrichtung(en)

Leibniz Universität Hannover, Institut für Fabrikanlagen und Logistik (IFA)

Felix Bussemer
(Institut für Fabrikanlagen und Logistik)

Garbsen, 28.02.2019

Lars Nielsen
(Institut für Fabrikanlagen und Logistik)

Ort, Datum

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

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	3
Tabellenverzeichnis	5
1 Zusammenfassung	6
2 Grundlagen und Stand der Forschung.....	7
2.1 Methodische Grundlagen	7
2.2 Projekt und Projektmanagement	7
2.3 Fabrik und Fabrikplanung	9
2.4 Vorgehensmodelle zur Konfiguration von Projekten zur Restrukturierung von Fertigungs- und Montagebereichen in KMU	11
2.5 Problemstellung und Handlungsbedarf	19
3 Darstellung der erzielten Projektergebnisse.....	21
3.1 Zielsetzung	21
3.2 Arbeitspaket 1: Erarbeitung und Aufbereitung von Grundlagen zur Restrukturierung von Fertigungs- und Montagebereichen.....	22
3.3 Arbeitspaket 2: Verknüpfung der Teilsysteme zur Beschreibung struktureller Abhängigkeiten	28
3.4 Arbeitspaket 3: Entwicklung eines Modells für Restrukturierungsprojekte	41
3.5 Arbeitspaket 4: Validierung des Modells und Erstellung eines Leitfadens	46
3.6 Arbeitspaket 5: Dokumentation und Verbreitung der Ergebnisse	54
4 Ergebnistransfer in die Wirtschaft.....	55
5 Durchführende Forschungsstelle	58
6 Literaturverzeichnis	59

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Gegenüberstellung der Anforderungen mit den vorgestellten Ansätzen (Bussemer 2019).....	18
Abbildung 2: Phasenmodell nach (VDI-Richtlinie 5200), erweitert um die Phase Projektkonfiguration.....	21
Abbildung 3: Zielsystem des Forschungsprojektes (Bussemer 2019, in Anlehnung an Brieke 2009).....	23
Abbildung 4: Exemplarischer Ausschnitt aus dem Katalog des Zielsystems (Bussemer 2019); die vollständige Darstellung der Kataloge wurde veröffentlicht in BUSSEMER (2019).....	24
Abbildung 5: Objektsystem der vorliegenden Arbeit (Bussemer 2019, in Anlehnung an Heger 2007).....	25
Abbildung 6: Gesamtdarstellung des entwickelten Prozesssystems (Bussemer 2019).....	26
Abbildung 7: Exemplarische Prozesskarte - hier für den Prozessschritt ‚Produkte‘ (Bussemer 2019).....	26
Abbildung 8: Angrenzende Planungsdisziplinen des Handlungssystems (Bussemer 2019).....	28
Abbildung 9: Exemplarische Beschreibung der Schnittstellen - hier zur Architektur/Gebäudeplanung (Bussemer 2019).....	28
Abbildung 10: Schematische Darstellung der Teilsysteme des Grundmodells sowie derer Abhängigkeiten (Bussemer 2019, in Anlehnung an Negele 2006).....	29
Abbildung 11: Schematische Matrix-Darstellung der Systemabhängigkeiten (Bussemer 2019, in Anlehnung an Negele 2006).....	30
Abbildung 12: Überblick über die relevanten Systemabhängigkeiten (Bussemer 2019).....	31
Abbildung 13: Vorgehensweise zur Entwicklung der ZZ-Matrix (Bussemer 2019).....	32
Abbildung 14: Ausschnitt der identifizierten Zielabhängigkeiten (Bussemer 2019).....	32
Abbildung 15: Ausschnitt der entwickelten ZZ-Matrix (Bussemer 2019).....	33
Abbildung 16: Vorgehensweise zur Entwicklung der ZO-Matrix (Bussemer 2019).....	34
Abbildung 17: Exemplarische Darstellung der beschriebenen Abhängigkeiten (Bussemer 2019).....	34
Abbildung 18: Ausschnitt der entwickelten ZO-Matrix (Bussemer 2019).....	35
Abbildung 19: Vorgehen zur Entwicklung der OP-Matrix (Bussemer 2019).....	36
Abbildung 20: Ausschnitt der entwickelten OP-Matrix (Bussemer 2019).....	37
Abbildung 21: Schematische Darstellung der modellierten Abhängigkeiten der PP-Matrix (Bussemer 2019).....	38
Abbildung 22: Ausschnitt der entwickelten PP-Matrix (Bussemer 2019).....	39
Abbildung 23: Relevante In- und Outputgrößen des Prozesssystems für die angrenzende Planungsdisziplin ‚Architektur/Gebäudeplanung‘ (Bussemer 2019).....	40
Abbildung 24: Ausschnitt der entwickelten PH-Matrix (Bussemer 2019).....	41
Abbildung 25: Schritte im Vorgehensmodell der Projektstrukturierung der Fabrikplanung (Bussemer 2019).....	42
Abbildung 26: Schritte und exemplarische Einflussgrößen bei der Festlegung der Fabrikziele (Bussemer 2019).....	43
Abbildung 27: Schritte und exemplarische Einflussgrößen bei der Definition der zu gestaltenden Fabrikobjekte (Bussemer 2019).....	43
Abbildung 28: Schritte und exemplarische Einflussgrößen bei der Festlegung der Planungsinhalte (Bussemer 2019).....	44
Abbildung 29: Schritte und exemplarische Einflussgrößen bei der Abschätzung des Ressourcenbedarfs aus angrenzenden Planungsdisziplinen (Bussemer 2019).....	45
Abbildung 30: Schritte und exemplarische Einflussgrößen bei der Abschätzung des Projektaufwandes und der Projektdauer (Bussemer 2019).....	45
Abbildung 31: Screenshots des Softwaredemonstrators; verfügbar zum Download auf der Projekthomepage (vgl. Abschnitt 7).....	46
Abbildung 32: Spezifisches Zielsystem im Anwendungsbeispiel mit Gewichtung der Ziele (Bussemer 2019).....	47

Abbildung 33: Mithilfe der ZO-Matrix identifizierte Fabrikobjekte im Anwendungsbeispiel (Bussemer 2019).....	48
Abbildung 34: Gesamtergebnis der qualitativen Aufwand-Nutzen-Analyse (Bussemer 2019)	48
Abbildung 35: Objektstrukturplan im Anwendungsbeispiel (Bussemer 2019).....	49
Abbildung 36: Vollständige Gliederung des Projektstrukturplans (Listendarstellung) im Anwendungsbeispiel (Bussemer 2019)	51
Abbildung 37: Abgeschätzter Ressourcenbedarf aus angrenzenden Planungsdisziplinen im Anwendungsbeispiel (Bussemer 2019)	52
Abbildung 38: Screenshots des Leitfadens; verfügbar zum Download auf der Projekthomepage (vgl. Abschnitt 7)	54

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Mittels der OP-Matrix identifizierte Prozessschritte im Anwendungsbeispiel (Bussemer 2019).....	50
Tabelle 2: Abschätzung des Projektaufwandes mithilfe der Dreipunktschätzung (Bussemer 2019).....	53
Tabelle 3: Mitglieder des projektbegleitenden Ausschusses.....	55
Tabelle 4: Plan zum Ergebnistransfer in die Wirtschaft (spezifische durchgeführte und geplante Transfermaßnahmen)	56

1 Zusammenfassung

Durch stetig kürzere Planungszyklen von Restrukturierungsprojekten für Fertigungs- und Montagebereiche, wird auch die vorgelagerte Projektkonfiguration unter steigenden Zeit- und Ergebnisdruck gestellt. In dieser wichtigen Phase vor der Projektbearbeitung werden jedoch bereits viele Eckpunkte des zukünftigen Projekts festgelegt. Hierzu zählen bspw. die Zieldefinition, die Festlegung von Lieferobjekten, die Abschätzung von Planungsaufgaben und Ressourcenbedarfen sowie die Bestimmung des Projektaufwands. Durch die Festlegung dieser zentralen Projektcharakteristika wird die wichtige Rolle der Projektkonfiguration für den resultierenden Projekterfolg bezüglich der Zielgrößen Termine, Kosten und Qualität deutlich. Demzufolge sollte die Konfiguration von Fabrikplanungsprojekten systematisch durchgeführt und von dem teilweise lediglich implizit vorliegenden Erfahrungswissen einiger Experten entkoppelt werden können. Insbesondere für KMU ergäbe sich daraus die Möglichkeit, auch ohne dauerhaft angestellte Experten aus verschiedenen benötigten Fachdisziplinen eine ergebnis-sichere Projektkonfiguration für Restrukturierungsprojekte in Fertigungs- und Montagebereichen zu erzielen. Das Ziel dieses Forschungsprojekts war daher die Entwicklung eines wissenschaftlich fundierten und anwendungsorientierten Modells zur systematischen Konfiguration von Restrukturierungsprojekten in Fertigungs- und Montagebereichen von KMU.

Zur Erfüllung dieses Ziels wurden die notwendigen Grundlagen erarbeitet und in Anforderungen an die zu entwickelnde Methode überführt. Bestehende Ansätze wurden hinsichtlich dieser Anforderungen geprüft und der resultierende Handlungsbedarf abgeleitet.

Das Forschungsprojekt ist insgesamt in fünf Arbeitspakete unterteilt. Das entwickelte Modell gliedert sich in ein Grund- und ein Vorgehensmodell. Dabei folgt das Grundmodell dem systemtechnischen Ansatz zur Projektkonfiguration, der während des Forschungsprojekts angepasst und erweitert wurde. Das Grundmodell besteht aus vier Teilsystemen (Ziel-, Objekt, Prozess- und Handlungssystem) welche durch 71 Systemelemente ausgestaltet wurden. Durch die regelmäßige Einbindung des projektbegleitenden Ausschusses, einer umfassenden Literaturrecherche bewährter Fabrikplanungsansätze sowie der Analyse von Projektdokumentationen vergangener Fabrikplanungsprojekte konnten die Teilsysteme weiterentwickelt und ausführlich beschrieben werden. Im Grundmodell sind darüber hinaus 281 teilsysteminterne und teilsystemübergreifende Zusammenhänge modelliert worden. Das Vorgehensmodell als zweiter Modellbestandteil baut auf den Teilsystemen und Wirkzusammenhängen des Grundmodells auf und befähigt den Anwender zur Nutzung des dort hinterlegten Wissens. Durch die Vorgabe einer nachvollziehbaren Bearbeitungsreihenfolge und konkreten Anwendungshinweisen ist es einem KMU möglich, ihre individuelle Projektkonfiguration mit Hilfe des Vorgehensmodells auch mit mangelnder Erfahrung aufwandsarm durchzuführen.

Anhand eines exemplarischen Anwendungsbeispiels wird die praktische Anwendbarkeit des entwickelten Modells verdeutlicht. Der projektbegleitende Ausschuss des Forschungsprojekts hat die Modellentwicklung außerdem in diversen Projektausschusstreffen, Quality Gates und Abschlussevaluationen hinsichtlich der Praxisrelevanz für KMU diskutiert und bestätigt.

Schlussendlich bleibt festzustellen, dass der Erfolg von Projekten zur Restrukturierung von Fertigungs- und Montagebereichen in KMU in bedeutendem Maße von der Projektkonfiguration abhängt. Zur Sicherung des erwarteten Projekterfolgs ist konsequenterweise eine systematische Herangehensweise erforderlich. Das im Rahmen dieses Forschungsprojektes entwickelte, frei zugängliche Modell bietet Anwendern aus KMU die Möglichkeit die Projektkonfiguration trotz fehlenden Vorwissens erfolgreich und ergebnissicher durchzuführen. Die zuvor festgelegten Anforderungen an das Modell konnten damit erfüllt werden. Das eingangs definierte Ziel des Forschungsprojekts wurde demzufolge erreicht.

2 Grundlagen und Stand der Forschung

2.1 Methodische Grundlagen

Bei der Systemtechnik handelt es sich um eine Fachdisziplin, die aufbauend auf dem Ansatz des Systemdenkens die Anwendung systemorientierter Vorgehensweisen behandelt (Patzak 2013). HABERFELLNER betrachtet das Systemdenken als Methode, deren Sinn es ist, „*komplexe Erscheinungen (=Systeme) auf diese Weise besser verstehen und gestalten zu können*“ (Haberfellner et al. 2012). Es ist dabei von Vorteil, aus einem Ganzen Teilsysteme mit einem jeweiligen Fokusaspekt zu bilden, um diese komplexen Erscheinungen systematisch untersuchen zu können (*Anforderung*) (Negele 2006). Die Denkweise bedient sich sehr allgemeiner Begriffe wie Umfeld, Element, Beziehung, Systemgrenze oder Subsystem. Folglich können diese Begriffe für die Lösung von Problemstellungen aller Art eingesetzt werden (Haberfellner et al. 2012). Für weiterführende Informationen zum Systemdenken und dem Systembegriff nach ROPOHL sei an dieser Stelle verwiesen auf weitere Literatur (Haberfellner et al. 2012; Ropohl 2009).

Systemzusammenhänge in Form von Elementen und deren Beziehungen lassen sich u. a. durch Matrizen abbilden (Haberfellner et al. 2012). Hierzu werden die Elemente in einer Tabelle angeordnet, woraufhin deren Beziehungen in den Matrixfeldern abgebildet werden können. Dabei ist zum einen eine binäre Darstellung möglich, die lediglich Aufschluss über die Existenz einer Beziehung gibt oder zum anderen eine numerische Darstellung, bei der eine Gewichtung der Beziehung durch einen entsprechenden Zahlenwert angegeben wird (Lindemann et al. 2009). Aus der Leserichtung der Matrix ergibt sich das Beeinflussungsverhältnis. Wie die Matrix zu modellieren ist, hängt von der Anzahl unterschiedlicher Elemente ab. Die Modellierung erfolgt mittels Design Structure Matrix (DSM), wenn alle Elemente gleicher Art sind (Lindemann et al. 2009). Reflexive Beziehungen werden nicht berücksichtigt, die Diagonale der DSM bleibt leer. Bei einer Betrachtung zweier unterschiedlicher Arten von Elementen, können diese in einer Domain Mapping Matrix (DMM) modelliert werden (Danilovic und Browning 2007). Werden beide Modellierungsarten kombiniert, wird von einer Multi Domain Matrix (MDM) gesprochen (Maurer und Lindemann 2007).

2.2 Projekt und Projektmanagement

Als Projekt bezeichnet der VDI eine „[...] Gruppe von Prozessen, die auf eine Zielsetzung ausgerichtete, koordinierte und gesteuerte Vorgänge mit Beginn- und Fertigstellungsterminen umfassen“ (DIN ISO 21500). Nach MEYER UND REHER weisen Projekte als Merkmale zeitliche Befristung, Einmaligkeit, interdisziplinäre Teamarbeit und arbeitsteilige Prozesse sowie Neuartigkeit und fortschreitende Konkretisierung auf (Meyer und Reher 2016). Für größere Projekte lässt sich mit Hilfe eines phasenorientierten Vorgehens die Planung vereinfachen (Bea et al. 2008). Dabei können den Projektphasen Lieferobjekte zugeordnet werden, anhand derer der Projektfortschritt gemessen werden kann (DIN ISO 21500). Die Objekte können sowohl in materieller, als auch immaterieller Form vorliegen und geben Aufschluss über das mögliche Projektergebnis (Meyer und Reher 2016). Um ein Projekt fristgerecht mit dem gewünschten Ergebnis abschließen zu können, hilft das Projektmanagement bei der Planung, Koordinierung und Steuerung anfallender Aufgaben (Jakoby 2015).

Nach DIN ISO 21500 ist das Projektmanagement definiert als „*die Anwendung von Methoden, Hilfsmitteln, Techniken und Kompetenzen in einem Projekt*“ (DIN ISO 21500). Dabei werden die Prozesse den fünf Prozessgruppen ‚Initiieren‘, ‚Planung‘, ‚Umsetzung‘, ‚Controlling‘ und ‚Abschluss‘ zugeordnet (DIN ISO 21500). Nachfolgend werden die Prozessgruppen auf Gesamtprojektebene betrachtet.

Das ‚Initiieren‘ des Projekts ist dessen grundlegende Beschreibung und formale Autorisierung (Meyer und Reher 2016; DIN ISO 21500). Aufgrund der zu treffenden Entscheidungen findet

dies üblicherweise auf Ebene der Unternehmensplanung statt (Meyer und Reher 2016). Die Fabrikplanung ist dieser Ebene untergeordnet (VDI-Richtlinie 5200), weshalb auf die Prozessgruppe ‚Initiieren‘ im Weiteren nicht näher eingegangen wird (*Eingrenzung*).

Die ‚Planung‘ von Projekten gilt als erfolgskritisch für den weiteren Projektverlauf, da darauf aufbauend die Projektbearbeitung erfolgt (Meyer und Reher 2016; Serrador 2013; Bea et al. 2008; Wang und Gibson 2008). Nach DIN ISO 21500 umfasst die ‚Planung‘ 16 Prozesse, von denen jedoch nicht alle den Projekterfolg beeinflussen (DIN ISO 21500; Zwikael 2009). Vor allem die Dokumentation der Ziele, die Festlegung eines zeitlichen Rahmens sowie die Personalplanung des Projekts spielen dabei eine bedeutende Rolle, da diese Faktoren bei mangelnder Berücksichtigung häufig ausschlaggebend für einen Misserfolg sind (Gasco 2013; Rietiker et al. 2013). Im Folgenden werden in zeitlich logischer Abfolge die relevanten Prozesse vorgestellt (*Eingrenzung*). Um ein klares Projektziel formulieren und am Projektende den Status der Lieferobjekte festlegen zu können, wird der Prozess ‚Definieren des Leistungsumfanges‘ durchlaufen. Es folgt das ‚Erstellen des Projektstrukturplans‘, wobei die notwendigen Arbeiten zur Gestaltung der Lieferobjekte bzw. zur Erreichung der Projektziele ergründet und in eine Ordnung gebracht werden. Die niedrigste Ebene stellt dabei ein Arbeitspaket dar, die höchste Ebene bildet das Gesamtprojekt. Die Planungsinhalte sollten dabei immer unter Berücksichtigung des ausgerufenen Projektziels definiert werden (*Anforderung*). Auf diese Weise sinkt das Risiko, dass erforderliche Planungsinhalte unberücksichtigt bleiben oder unnötige Inhalte in die Planung einfließen (Jakoby 2015). Im Rahmen der Projektplanung ist das zentrale Dokument der Projektstrukturplan, welcher im Folgenden noch genauer behandelt wird (Meyer und Reher 2016; Jakoby 2015). Es folgt das ‚Definieren der Arbeitspakete‘, wobei auf der niedrigsten Ebene Details in den Vorgängen herausgearbeitet werden (Bea et al. 2008; DIN ISO 21500). Anschließend wird das ‚Schätzen des Ressourcenbedarfs‘ vorgenommen, das sich auf alle Arbeitspakete bezieht. Unter Ressourcen werden dabei unter anderem Personal, Material oder Gerätschaften verstanden (DIN ISO 21500). Unter Berücksichtigung der Misserfolgskriterien liegt der Fokus im Folgenden auf der Schätzung der benötigten personellen Ressourcen (*Eingrenzung*). Um die Arbeitspakete in eine logische Ordnung zu bringen, wird ein ‚Festlegen der Abfolge von Arbeitspaketen‘ durchgeführt. Das ‚Schätzen der Dauer von Arbeitspaketen‘ befasst sich mit der zeitlichen Aufwandsschätzung der Arbeitspakete auf Grundlage der vorher definierten Ressourcen und deren Verfügbarkeiten und Bedarfe (DIN ISO 21500). Da im Folgenden das Hauptaugenmerk auf der Projektplanung liegt, werden die Prozessgruppen ‚Umsetzung‘, ‚Controlling‘ und ‚Abschluss‘, die sich allesamt auf die Durchführung beziehen, nicht näher betrachtet (*Eingrenzung*).

Ein zentrales Werkzeug in der Projektplanung ist der Projektstrukturplan, da darauf aufbauend alle weiteren Pläne (bspw. Termin- und Kostenpläne) entwickelt werden (Jakoby 2015; Mochal und Mochal 2011; Bea et al. 2008). Ein solcher Plan unterteilt Projekte in Arbeitspakete und fasst daraus Teilaufgaben zusammen (Meyer und Reher 2016; van Aartsengel et al. 2013; Bea et al. 2008). Als Arbeitspaket wird das kleinste Element eines Projektstrukturplans bezeichnet, das eine in sich geschlossene Aufgabenstellung darstellt (DIN 69901-5). Die Gliederung eines Projektstrukturplans kann objektorientiert, prozessorientiert oder als Kombination der beiden Modelle gemischt-orientiert erfolgen (Kuster et al. 2011). Steht das Objekt im Fokus, erfolgt die Strukturierung anhand der im Verlauf des Projekts herauszuarbeitenden Lieferobjekte. Weist ein Projekt in erster Linie Probleme technischer Natur auf, ist diese Orientierung angebracht. Für die Bearbeitung organisatorischer Problemstellungen wird der Projektstrukturplan prozessorientiert erstellt, wobei die Arbeitspakete in eine zeitliche Reihenfolge gebracht werden (*Anforderung*) (Jakoby 2015; Bea et al. 2008).

Als Aufwandsabschätzung wird die „*einmalige oder wiederholte Schätzung von Kosten, Zeit- und/oder Ressourcenbedarf, insbesondere für zukünftige Vorgänge, Arbeitspakete oder Projekte*“ (DIN 69901-5) bezeichnet. Ihr Zweck ist es, aus den zur Verfügung stehenden Informationen zuverlässige Rückschlüsse auf den Projektaufwand zu gewinnen (*Anforderung*) (Jakoby 2015). Dabei gilt grundsätzlich, dass Aufwandsschätzungen der einzelnen Vorgänge oder Arbeitspakete einer einzigen Schätzung des Gesamtaufwandes in ihrer Genauigkeit über-

legen sind (Meyer und Reher 2016; Jakoby 2015). Im Projektmanagement ist die Dreipunktschätzung (engl. three-point estimate) ein etabliertes Verfahren zur Abschätzung des Aufwands (Schwalbe 2008; Bartlett 2004; Schlink 2004; Goodpasture 2003; Neff 2002). Diese ist Teil der Programm Evaluation and Review Technique (PERT) (Stires und Murphy 1962). Bei dieser Methode erfolgt eine Schätzung basierend auf drei Werten, wobei ein optimistischer Wert, ein pessimistischer Wert und der wahrscheinlichste Wert geschätzt werden. Der wahrscheinlichste Wert geht dabei viermal so stark in die Gewichtung ein wie die beiden übrigen (Whitaker 2016). Detailliertere Ausführungen zu PERT und der Dreipunktschätzung lassen sich bei STIRES UND MURPHY sowie WHITAKER finden (Stires und Murphy 1962; Whitaker 2016).

2.3 Fabrik und Fabrikplanung

Nach dem VDI ist eine Fabrik ein „Ort, an dem Wertschöpfung durch arbeitsteilige Produktion industrieller Güter unter Einsatz von Produktionsfaktoren stattfindet“ (VDI-Richtlinie 5200). Innerhalb einer Fabrik gibt es eine Vielzahl von Elementen, die in Beziehungen zueinander stehen. Zwecks einer Untersuchung dieser Zusammenhänge deklarieren viele Autoren die Fabrik im Rahmen der Systemtheorie als (sozio-) technisches System (Schenk et al. 2014; Pawellek 2013; Claussen 2012). Dabei kann eine Eingrenzung des Systems Fabrik zum einen vertikal in Fabrikebenen, zum anderen horizontal in Fabrikfelder und -objekte erfolgen. Bei der vertikalen Betrachtung gilt, dass höhere Systemebenen stets alle niedrigeren Ebenen umfassen (Hernández Morales 2003). Als Produktionsnetz wird dabei die höchste Ebene bezeichnet, welche Umstände wie Politik und Gesellschaft oder Wettbewerber und Lieferanten berücksichtigt (Hernández Morales 2003). Der Einfluss der Fabrikplanung auf diese Faktoren ist sehr beschränkt, weshalb deren weitere Betrachtung im Folgenden ausbleibt (*Eingrenzung*). Eine Unterteilung der Fabrikfelder kann hinsichtlich Technik, Organisation, Raum, Mensch und Führung erfolgen (Heger 2007). Im Fabrikfeld Technik werden Produktionsmittel sowie Einrichtungen der Logistik und Informationstechnik und die technische Gebäudeausstattung zusammengefasst. Das Gestaltungsfeld Organisation beinhaltet Aufbau-, Ablauf- und Arbeitsorganisation des Unternehmens sowie Konzepte für die Logistik und die Qualitätssicherung. Angelegenheiten der Standort-, Gebäude- und Layoutplanung sowie der Arbeitsplatzgestaltung werden im Fabrikfeld Raum betrachtet. Das Feld Mensch berücksichtigt die Kompetenzen, das Wissen sowie das Verhalten der Mitarbeiter und unterliegt einer Beeinflussung des Felds Führung. Die Fabrikplanung kann auf die Gestaltungsfelder Technik, Organisation und Raum unmittelbar Einfluss nehmen, während das Gestaltungsfeld Mensch hauptsächlich im Fabrikbetrieb gesteuert wird (Heger 2007). Aufgrund dieses Umstandes bleibt das Gestaltungsfeld Mensch im Folgenden unberücksichtigt (*Eingrenzung*). Die Unternehmensstrategie wird der Fabrikplanung aus der übergeordneten Unternehmensplanung vorgegeben und aus diesem Grund ebenfalls nicht betrachtet (*Eingrenzung*) (VDI-Richtlinie 5200). Nach HEGER kann eine Matrix gebildet werden, die die vertikale Unterteilung der horizontalen gegenüberstellt (Heger 2007). Die Objekte einer Fabrik können materieller oder immaterieller Natur sein und unterliegen menschlichen Gestaltungsmöglichkeiten. Daher ist es sinnvoll, die Definition eines Planungsergebnisses anhand der Fabrikobjekte vorzunehmen. Dabei nehmen die Fabrikobjekten die Rolle der Lieferobjekte eines Projektes ein (Heger 2007). Im Kontext der Fabrik spielt das Wort Ziel eine bedeutende Rolle, welches nach LINNHOFF als „die Beschreibung eines zukünftigen, gegenüber dem gegenwärtigen im allgemeinen veränderten, erstrebenswerten Zustands“ definiert werden kann (Linnhoff 1996). Werden mehrere Ziele definiert, ist es im Allgemeinen nicht möglich all diese erfolgreich umzusetzen. Zurückzuführen ist dies auf das Vorkommen von Zielkonflikten, weshalb sich eine Priorisierung der Ziele empfiehlt (*Anforderung*) (Jakoby 2015). Je nach Autor werden in der Literatur unterschiedliche Fabrikziele genannt (Grundig 2018; Wiendahl et al. 2014; Kettner et al. 2010; Aggteleky 1981). Im Allgemeinen lässt sich die Definition und Gewichtung der Fabrikziele nicht pauschalisieren, sondern ist unter Berücksichtigung der Unternehmensziele und Rahmenbedingungen vorzunehmen (VDI-Richtlinie 5200). Aus betriebswirtschaftlicher Sicht lässt sich zwischen Formal- und Sachzielen unterscheiden (Heger 2007). Sachziele lassen sich in die vier Gebiete Leistungsziele, Finanzziele,

Führungs- und Organisationsziele sowie soziale und ökologische Ziele gliedern. Sie sind den Formalzielen untergeordnet und orientieren sich an diesen (Thommen et al. 2012). Formalziele besitzen generell einen monetären Charakter, wohingegen Sachziele auch nicht monetärer Art sein können (Wöhe und Döring 1993). Die Fabrikplanung weist als Formalziel somit die Wirtschaftlichkeit der Fabrik auf (Heger 2007). Auf Grundlage bestehender Literatur wurden von BRIEKE zur Entwicklung eines Zielsystems für die Fabrikplanung fünf Anforderungen formuliert (Vollständigkeit, Operationalität, Minimalität, Redundanzfreiheit, Spezifiziertheit) (Brieke 2009).

Lassen sich Sachziele anhand von Kennzahlen festmachen, handelt es sich um quantitative Fabrikziele. Geschieht die Definition nach Kriterien, wird von qualitativen Zielen gesprochen (VDI-Richtlinie 5200). In der Fabrikplanung sind beide Arten der Sachziele von hoher Bedeutung, weshalb im Folgenden sowohl quantitative, als auch qualitative Fabrikziele behandelt werden (*Anforderung*) (Grundig 2018; Wiendahl et al. 2014). Um ein Erreichen der Ziele bewerten zu können, ist es erforderlich, dass diese messbar sind (*Anforderung*). Aufbauend auf dem Zielsystem von BRIEKE stellt WULF einen Satz von Kennzahlen und Kriterien zusammen (Brieke 2009; Wulf 2011). Grundlage dieses Forschungsprojekts sind die Ziele, Kennzahlen und Kriterien, die von HEGER, BRIEKE und WULF erarbeitet worden sind (Heger 2007; Brieke 2009; Wulf 2011).

Der Begriff Fabrikplanung wird in der Literatur unterschiedlich definiert (Felix 1998; REFA 1985; Aggteleky 1981). Die VDI-Richtlinie 5200 beschreibt Fabrikplanung folgendermaßen:

„Systematischer, zielorientierter, in aufeinander aufbauende Phasen strukturierter und unter Zuhilfenahme von Methoden und Werkzeugen durchgeführter Prozess zur Planung einer Fabrik von der Zielfestlegung bis zum Hochlauf der Produktion.“ (VDI-Richtlinie 5200)

Von Fall zu Fall können die Anforderungen an den Planungsprozess, speziell bzgl. Planungsinhalt und -umfang stark variieren (Wiendahl et al. 2014). Nach der VDI-Richtlinie 5200 wird unterschieden zwischen den Planungsfällen Neubau, Umplanung, Rückbau und Revitalisierung (VDI-Richtlinie 5200). Eine Neuplanung bezeichnet das Planungsvorhaben auf einer ‚grünen Wiese‘, das lediglich bezüglich Gelände und (sofern vorhanden) Infrastruktur Restriktionen aufweist. Von einer Umplanung wird bei dem Anpassen einer bestehenden Fabrik gesprochen, beispielsweise in Form einer Erweiterung oder Optimierung. Anders als bei einer Neuplanung können dabei aus dem laufenden Fabrikbetrieb viele Restriktionen bezüglich Bau und Organisation auftreten. Der Rückbau einer Fabrik beschreibt ihre Stilllegung und Demontage zur Vorbereitung der späteren Nutzung des Geländes. Wird eine Industriebrache so aufbereitet, dass sie anschließend wieder industriell genutzt werden kann, ist von einer Revitalisierung die Rede. Im Folgenden finden die Planungsfälle Rückbau und Revitalisierung keine Berücksichtigung (*Eingrenzung*).

Die VDI-Richtlinie 5200 gliedert den Prozess der Fabrikplanung in sieben Phasen, die im Ganzen 21 Planungsschritte beinhalten (VDI-Richtlinie 5200). Demnach beginnt eine Fabrikplanung mit dem Schritt der Zielfestlegung (Phase 1), dessen Ergebnisse ein Projektplan, die zu erreichenden Fabrikziele sowie die zugehörigen Bewertungskriterien und Projektziele sind (VDI-Richtlinie 5200). Anschließend wird die Grundlagenermittlung (Phase 2) vorgenommen, die als Ergebnis eine strukturierte Zusammenfassung der Planungsdaten liefert (VDI-Richtlinie 5200). Es folgt die Konzeptplanung (Phase 3), in der das erste Fabrikkonzept entworfen wird. Das Ergebnis von Phase 3 ist ein Reallayout der zukünftigen Fabrik inklusive eines Vorentwurfs des Gebäudes (VDI-Richtlinie 5200). Dieser Entwurf wird in der Detailplanung (Phase 4) weiter ausgebaut, sodass als Ergebnis dieser Phase ein Feinlayout der Fabrik mit Ausführungsplänen der Gebäude sowie Kostenkalkulationen und notwendige Genehmigungsanträge für die involvierten Behörden vorliegen. Zusätzlich liegen Prozessbeschreibungen und -darstellungen vor sowie ein Modell zur Arbeitsorganisation und Lastenhefte für die Betriebsmittelbeschaffung (VDI-Richtlinie 5200). Darauf baut die Realisierungsvorbereitung (Phase 5) auf, in der die Umsetzung der Fabrik geplant und die Lieferanten mit Leistungsanfragen kontaktiert werden. Pflichtenhefte von Seiten der Lieferanten und umsetzungsfähige Ausführungspläne

inklusive entsprechender Kostenberechnungen liegen als Ergebnis dieser Phase vor (VDI-Richtlinie 5200). In der anschließenden Realisierungsüberwachung (Phase 6) wird die ordnungsgemäße Durchführung der relevanten Leistungen (bspw. Baumaßnahmen, Umzug des Maschinenparks, Personalaufbau) sichergestellt und dokumentiert. Das Ergebnis ist die errichtete Fabrik inklusive einer Abschlussdokumentation (VDI-Richtlinie 5200). Den Abschluss des Planungsprozesses bildet die Hochlaufbetreuung (Phase 7), in der die Fabrik in Betrieb genommen wird. Im Optimalfall liegt als Ergebnis der letzten Phase eine Fabrik vor, die sich durch robuste Prozesse auf dem vorher definierten Leistungsniveau auszeichnet (VDI-Richtlinie 5200). Parallel ist der gesamte Planungsprozess von einem Projektmanagement zu begleiten.

Im Weiteren liegt der Fokus auf einer Unterstützung bei der Durchführung der Phase Zielfestlegung. Für die Strukturierung eines Fabrikplanungsprojektes sind auch die anderen Planungsphasen von Bedeutung, da sie zur Bestimmung der erforderlichen Planungsinhalte heranzuziehen sind (*Anforderung*). Deren Durchführung wird allerdings nicht konkretisiert (*Eingrenzung*).

Ein Merkmal, das Fabrikplanungsprozesse im Allgemeinen aufweisen, ist eine starke Interdisziplinarität, die sich durch die Beteiligung verschiedener Fachdisziplinen äußert (Hilchner 2012). Eine Integration von Personengruppen der folgenden Fachdisziplinen ist fallspezifisch zu empfehlen: Architektur/Gebäudeplanung, Behörden, Fachplanung (IT, TGA), Finanzplanung, Logistikplanung, Personalplanung, Produktentwicklung, Prozessplanung, Technologieentwicklung (Grundig 2018; Wiendahl et al. 2014; Hilchner 2012; VDI-Richtlinie 5200; Nyhuis et al. 2004; Felix 1998).

2.4 Vorgehensmodelle zur Konfiguration von Projekten zur Restrukturierung von Fertigungs- und Montagebereichen in KMU

Ansätze aus der Fabrikplanung

FELIX betrachtet die Fabrikplanung als fortlaufenden Prozess (Felix 1998). Dieser umfasst die drei Dimensionen Planungsphasen, Planungsfelder und Planungsleistungen. Durch die Planungsphasen wird der Fabrikplanungsprozess in zehn Phasen bzw. 25 Planungsabschnitte unterteilt, was ein sequentielles Vorgehen ermöglicht. Die insgesamt 40 Planungsfelder schaffen eine Abgrenzung anhand der Verantwortlichkeiten. Aus den Phasenabschnitten und Planungsfeldern kann eine 755 Planungsleistungen umfassende Matrix aufgespannt werden. Dabei werden zu Gunsten einer Hierarchie Leistungspakete aus den Leistungen geschnürt, die sich in Phasenabschnitt und Planungsfeld gleichen. Eine Verknüpfung der Leistungspakete erfolgt zudem über die Ein- und Ausgangsinformationen (Felix 1998). Die Anforderung an eine Bereitstellung von Planungsinhalten ist somit erfüllt. Die Leistungspakete weisen beispielsweise eigene Personalressourcen oder Vorschriften auf (Felix 1998). Solche Personalressourcen sind ebenso wie Planungsobjekte und -inhalte zu erkennen und durch genaue Beschreibungen der Leistungspakete miteinander zu verknüpfen. Eine Betrachtung als einzelne Teilsysteme bleibt allerdings aus. Die Bedeutung einer Zieldefinition wird zwar gewürdigt, allerdings nicht systematisiert oder durch operationalisierte Fabrikziele untermauert. Die Anforderungen an ein ganzheitliches Systemverständnis sowie an eine Ausrichtung anhand spezifischer Fabrikziele ist daher nicht erfüllt. Es werden weder die für eine Projektstrukturierung relevanten Prozesse thematisiert, noch Versuche der Aufwandsschätzung unternommen, weshalb die Anforderungen an einen Fokus auf die Projektstrukturierung sowie an eine Verbesserung der Schätzqualität nicht erfüllt sind. Für Nichtexperten ist eine Anwendung des Ansatzes nach FELIX mit einem hohen Aufwand verbunden, da viele Leistungspakete und deren Interdependenzen zu berücksichtigen sind (Felix 1998). Die Projektmanagementprozesse, die in diesem Rahmen von Bedeutung sind, werden dabei nicht kontinuierlich unterstützt. Damit ist die Anforderung an eine Anwendbarkeit durch Unternehmen lediglich zum Teil erfüllt.

Der Ansatz von FELIX dient als Grundlage für ein softwaregestütztes Modell zum systematischen Vorgehen in Fabrikplanungsfällen nach STEPPING (STEPPING 2007; FELIX 1998). Die Methode resultiert in einem projektspezifischen Netzplan, in dem die durchzuführenden Planungsinhalte nach der Zeit geordnet sind (Stepping 2007). Ein Bereitstellen von Fabrikplanungsinhalten ist somit als Anforderung erfüllt. Ein Systemverständnis wird grundsätzlich unterstützt, schließlich kann der Ansatz nach FELIX als Teil der Methode betrachtet werden (Felix 1998). Da eine gesonderte Betrachtung der Personalressourcen, Planungsobjekte und -inhalte als Teilsysteme bereits bei FELIX ausbleibt, ist die Anforderung an ein ganzheitliches Systemverständnis jedoch nur zum Teil erfüllt. Planungsobjekte und -inhalte werden basierend auf Kapazitätsprognosen bestimmt, die im Ist-Zustand nicht bedient werden können (Stepping 2007; Felix 1998). Wie Kapazitätsdefizite mit notwendigen Planungsinhalten zusammenhängen wird systematisch beschrieben und der Aufbau des Netzplans wird unterstützt durch ein Vorgehen (Stepping 2007). Durch das Aufzeigen der Zusammenhänge wird ein systematisches Ausrichten des Fabrikplanungsprojektes ermöglicht. Fabrikziele werden weder in quantitativer, noch in qualitativer Form aufgegriffen, weswegen eine Ausrichtung anhand spezifischer Fabrikziele als Anforderung unerfüllt bleibt. Die Methode fördert das Strukturieren von Projekten, ohne jedoch dabei die Prozesse ‚Erstellen des Projektstrukturplans‘ und ‚Schätzen der Dauer von Arbeitspaketen‘ hervorzuheben, welche in diesem Zusammenhang jedoch als relevante Prozesse gelten. Eine Verbesserung der Schätzqualität ist nicht Teil des Modells. Die Anforderung an einen Fokus auf die Projektstrukturierung ist damit teilweise, die Anforderung an eine Verbesserung der Schätzqualität hingegen nicht erfüllt. In puncto Aufwand und Anwenderunterstützung verhält sich das Modell nach STEPPING ähnlich zu dem von FELIX (STEPPING 2007; FELIX 1998). Somit ist die Anforderung an eine Anwendbarkeit durch Unternehmen gleichermaßen nur zum Teil erfüllt.

Im Ansatz PL@NET PLUS sind neben einem Prozessmodell noch Best-Practice Templates und IT-Werkzeuge enthalten (Schraft et al. 2004). Ein- und Ausgangsinformationen verknüpfen innerhalb des Prozessmodells Planungsinhalte miteinander, welche außerdem spezifischen Objekten (bspw. Produkten, Technologien) zugeordnet sind. Nach Abschluss der Anwendung liegt ein Gantt-Diagramm vor, das unter Berücksichtigung aller Planungstermine, -dauern und Beteiligten den Gesamtplanungsprozess darstellt (Schraft et al. 2004). Die veröffentlichte Literatur geht nicht auf die Anforderungen an ein sequentielles Vorgehen mit klarer Hierarchie ein, weshalb die Anforderung an eine Bereitstellung von Planungsinhalten als nur teilweise erfüllt zu betrachten ist (Edelmann et al. 2003; Schraft et al. 2004). Planungsobjekte, -inhalte und Personalressourcen können grundsätzlich identifiziert werden und weisen Verknüpfungen auf. Eine separate Betrachtung in Teilsystemen bleibt jedoch aus. Ziele werden in diesem Zusammenhang nicht definiert. Die Anforderungen an ein ganzheitliches Systemverständnis sowie an eine Ausrichtung anhand spezifischer Fabrikziele gelten somit als nicht erfüllt. Durch das erstellte Gantt-Diagramm wird eine Strukturierung nach zeitlichen und inhaltlichen Aspekten unterstützt. Da Prozesse von Bedeutung (bspw. Erstellen des Projektstrukturplans, Definieren der Arbeitspakete, Schätzen der Dauer von Arbeitspaketen) jedoch nicht fokussiert werden, wird die Anforderung an einen Fokus auf die Projektstrukturierung nur teilweise erfüllt. Die Anforderung an eine Verbesserung der Schätzqualität ist nicht erfüllt, da Verfahren zur Abschätzung unerwähnt bleiben. Durch das Fehlen spezifischer Fabrikziele entstehen für Nichtexperten hohe Aufwände von Informationsbeschaffung bis Ergebnisinterpretation, weshalb die Anforderung an eine Anwendbarkeit durch Unternehmen nur teilweise erfüllt ist. Außerdem werden die Projektmanagementprozesse, die in diesem Rahmen von Bedeutung sind, dabei nicht kontinuierlich und systematisch unterstützt.

Bei der SYNERGETISCHEN FABRIKPLANUNG wird das zeitliche und inhaltliche Zusammenspiel vier verschiedener fachlicher Disziplinen (Produktplanung, Technologieplanung, Architektur und Bauplanung sowie die Prozess- und Anlagenplanung) untersucht (Nyhuis et al. 2004). Der Gesamtprozess wird dabei in fünf Phasen (Planen, Vorbereitung, Strukturdesign, Layoutgestaltung und Umsetzung) unterteilt, die weiter detailliert werden können. Mit Hilfe einer dazugehörigen Software werden darüber hinaus die benötigten Ein- und Ausgangsinformationen aufgeführt (Nyhuis et al. 2004). Die Anforderung an eine Bereitstellung von Planungsinhalten

ist somit vollständig erfüllt. Eine Adressierung der relevanten Fabrikziele, Fabrikobjekte, Planungsinhalte und Personalressourcen erfolgt, allerdings ohne konsistent in Teilsystemen zu arbeiten. Die Fabrikziele und ihre Wichtigkeit werden aufgezeigt, wobei ein detailliert beschriebenes, operationalisiertes Zielsystem jedoch fehlt (Wiendahl et al. 2014). Die Anforderungen an ein ganzheitliches Systemverständnis und an eine Ausrichtung anhand spezifischer Fabrikziele sind dementsprechend nicht erfüllt. Eine Strukturierung von Fabrikplanungsobjekten nach Inhalt und Zeit wird unterstützt. Die Prozesse, die für das Forschungsprojekt von Bedeutung sind (bspw. Erstellen des Projektstrukturplans, Definieren der Arbeitspakete, Schätzen der Dauer von Arbeitspaketen) liegen allerdings nicht im Fokus, weshalb die Anforderung an einen Fokus auf die Projektstrukturierung nur teilweise erfüllt ist (Wiendahl et al. 2014). Die Anforderung an eine Verbesserung der Schätzqualität ist nicht erfüllt, da ein Verfahren zur Aufwandsabschätzung fehlt. Eine durchgehende systematische Unterstützung zur Durchführung der Projektmanagementprozesse mit Relevanz für das Forschungsprojekt ist nicht gegeben. Dieser Umstand bedeutet Mehraufwände für Nichtexperten in Informationsbeschaffung, Durchführung sowie Ergebnisinterpretation, weshalb die Anforderung an eine Anwendbarkeit durch Unternehmen als teilweise erfüllt anzusehen ist.

Der Fabrikplanungsprozess nach VDI-RICHTLINIE 5200 (2011) ist im Grundlagenteil der Fabrikplanung beschrieben (vgl. Abschnitt 2.3), sodass an dieser Stelle lediglich die Prüfung anhand der definierten Anforderungen stattfindet. Die Anforderung an eine Bereitstellung von Planungsinhalten ist durch die sieben Phasen und ihre sequenziellen Planungsschritte vollständig erfüllt. Die Anforderung an ein ganzheitliches Systemverständnis ist hingegen nicht erfüllt, da Fabrikziele, Fabrikobjekte und Ressourcen der Planung zwar genannt, jedoch weder im Detail behandelt, noch in separate Teilsysteme gegliedert werden. Darüber hinaus wird zwar darauf eingegangen, dass Planungsinhalte an spezifischen, operationalisierten Fabrikzielen auszurichten sind, wobei die Ziele qualitativer Art jedoch nicht operationalisiert sind (VDI-Richtlinie 5200). Zudem werden potenzielle Wechselwirkungen zwischen den Fabrikzielen nicht herausgearbeitet und diese ebenso wenig mit bereitgestellten Planungsinhalten verknüpft. Daher ist die Anforderung an eine Ausrichtung anhand spezifischer Fabrikziele nicht erfüllt. Eine Strukturierung von Fabrikplanungsprojekten wird grundsätzlich vom Ansatz unterstützt, allerdings werden die für das Forschungsprojekt relevanten Prozesse ‚Erstellen des Projektstrukturplans‘ und ‚Schätzen der Dauer von Arbeitspaketen‘ nicht fokussiert und ein Versuch zur Verbesserung der Schätzqualität wird ebenso wenig unternommen (VDI-Richtlinie 5200). Die Anforderung an einen Fokus auf die Projektstrukturierung ist folglich teilweise und die Anforderung an eine Verbesserung der Schätzqualität nicht erfüllt. Für Nichtexperten entstehen durch die unvollständige Erfüllung der Anforderungen höhere Aufwände, weshalb die Anforderung an eine Anwendbarkeit durch Unternehmen teilweise erfüllt ist. Eine durchgehende systematische Unterstützung bei der Realisierung von Projektmanagementprozessen mit Relevanz für dieses Forschungsprojekt ist nicht gegeben.

NÖCKER bildet aus den Inhalten der Fabrikplanung 22 Planungsmodulare, welche über ein- und ausgehende Informationen miteinander verknüpft werden (Nöcker 2012). Die Module weisen keine feste Zuordnung zu bestimmten Phasen auf und können während eines Projektes sequentiell bearbeitet werden (Nöcker 2012). Das Fehlen einer festen Zuordnung erschwert ein systematisches Zusammenfassen der Inhalte zu Teilaufgaben sowie das hierarchische Gliedern des Projektstrukturplans. Die Anforderung an eine Bereitstellung von Fabrikplanungsinhalten ist somit nur nahezu erfüllt. Die Zielplanung wird als eigenständiges Modul betrachtet, weshalb spezifische Fabrikziele erst im Laufe der Projektbearbeitung ausgemacht werden (Nöcker 2012). Die Anforderung an eine Ausrichtung anhand spezifischer Fabrikziele ist dementsprechend nicht erfüllt. Der Ansatz beinhaltet ein Vorgehen, in dem die Notwendigkeit der Definition von Fabrikobjekten zwar angesprochen, jedoch nicht systematisiert wird (Nöcker 2012). Fabrikziele und -objekte sowie Personalressourcen werden zudem nicht als eigenständige Systeme untersucht, weshalb die Anforderung an ein ganzheitliches Systemverständnis nicht erfüllt ist. Die Anforderung an einen Fokus auf die Projektstrukturierung ist teilweise erfüllt, da die Strukturierung von Fabrikplanungsobjekten zwar generell unterstützt, die für das Forschungsprojekt bedeutsamen Prozesse ‚Erstellen des Projektstrukturplans‘ und ‚Definieren der Arbeitspakete‘ jedoch nicht näher betrachtet werden (Nöcker 2012). Der Projektaufwand

wird durch eine Expertenschätzung unterstützt, wobei diese keine methodische Unterstützung erfährt (Nöcker 2012). Die Anforderung an eine Verbesserung der Schätzqualität ist somit lediglich teilweise erfüllt. Für Nichtexperten bedeutet das Fehlen spezifischer Fabrikziele höhere Aufwände auf mehreren Gebieten, weshalb die Anforderung an eine Anwendbarkeit durch Unternehmen teilweise erfüllt ist. Außerdem ist eine durchgehende systematische Unterstützung zur Durchführung von Projektmanagementprozessen mit Relevanz für das Forschungsprojekt mit diesem Ansatz nicht möglich.

Bei dem Ansatz nach HILCHNER liegt der Fokus auf fallspezifischen Projektablaufplänen und Aufwandsschätzungen für Fabrikplanungsprojekte (Hilchner 2012). Planungsinhalte werden analog zu NÖCKER in Modulen gestaltet und auf dieser Basis ein Vorgehensmodell zur Modulauswahl präsentiert (Hilchner 2012; Nöcker 2012). Die Anforderung an eine Bereitstellung von Planungsinhalten ist dementsprechend gleichermaßen nur nahezu erfüllt. Der fallspezifischen Ermittlung der Planungsmodule liegt eine Bestimmung des Fabriktyps anhand von vier Referenztypen zu Grunde (Hilchner 2012). Wie bei NÖCKER steht die Zielplanung als eigenes Modul in der Planung (Nöcker 2012), weswegen auch hier die spezifische Zielfestlegung erst beim Bearbeiten des Projekts erfolgt und die Anforderung an eine Ausrichtung anhand spezifischer Fabrikziele ebenso nicht erfüllt ist. Eine Betrachtung von Fabrikzielen und -objekten sowie Personalressourcen als eigenständige Systeme bleibt ebenso aus, sodass die Anforderung an ein ganzheitliches Systemverständnis nicht erfüllt ist (Hilchner 2012; Nöcker 2012). Die Anforderungen an einen ‚Fokus auf die Projektstrukturierung‘, eine ‚Verbesserung der Schätzqualität‘ sowie eine ‚Anwendbarkeit durch Unternehmen‘ erfüllt der Ansatz ebenso in Teilen wie NÖCKER und weist dabei dieselben Mängel auf (Hilchner 2012; Nöcker 2012).

Der Ansatz von PAWELLEK dient der ganzheitlichen Planung von Produktionssystemen auf Basis von fünf Hierarchieebenen (Pawellek 2013). Die im Rahmen dieses Forschungsprojekts relevanten Teilsysteme Fabrikziele, Fabrikobjekte, Planungsinhalte und Personalressourcen können diesen Ebenen zugeordnet werden. Zwar wird in dem Ansatz die Notwendigkeit der Verknüpfung einzelner Elemente in den Teilsystemen erwähnt, methodisch jedoch nicht fundiert (Pawellek 2013). Die Anforderung an ein ganzheitliches Systemverständnis ist somit nur nahezu erfüllt. Das Zielsystem beinhaltet beispielhafte Fabrikziele. Inwiefern diese operationalisiert werden können, bleibt jedoch unerwähnt (Pawellek 2013). Mit spezifischen Planungsobjekten oder -inhalten werden die genannten Fabrikziele nicht verknüpft (Pawellek 2013). Die Anforderung an eine Ausrichtung anhand spezifischer Fabrikziele ist demnach zum Teil erfüllt. Die fünf Planungsphasen weisen einen steigenden Detaillierungsgrad auf und deren Inhalte sind exakt beschrieben. Auf Abhängigkeiten zwischen den Planungsinhalten wird nicht eingegangen (Pawellek 2013). Die Anforderung an eine Bereitstellung von Planungsinhalten ist somit nahezu erfüllt. Die Strukturierung von Fabrikplanungsprojekten wird grundsätzlich vom Ansatz unterstützt, auf den für das Forschungsprojekt relevanten Prozessen ‚Erstellen des Projektstrukturplans‘ und ‚Schätzen der Dauer von Arbeitspaketen‘ liegt jedoch kein Fokus, sodass die Anforderung an einen Fokus auf die Projektstrukturierung teilweise erfüllt ist. Die Anforderung an eine Verbesserung der Schätzqualität ist hingegen nicht erfüllt. Durch oben genannte Mängel in der Erfüllung der Anforderungen entstehen für Nichtexperten höhere Aufwände, weshalb die Anforderung an eine Anwendbarkeit durch Unternehmen teilweise erfüllt ist. Eine systematische Unterstützung bei der Realisierung von Projektmanagementprozessen mit Relevanz für dieses Forschungsprojekt ist nicht durchgehend gegeben.

Ansätze aus dem Projektmanagement

Die DIN ISO 21500 (2016) ist im Grundlagenteil im Detail beschrieben (vgl. Abschnitt 2.2), weshalb an dieser Stelle lediglich eine Prüfung anhand der definierten Anforderungen stattfindet. Durch die ausführliche Beschreibung der Projektmanagementprozesse und deren Beziehungen ist die Anforderung an einen Fokus auf die Projektstrukturierung erfüllt. Aufgrund des generischen Charakters der Norm werden keine Ziele, Objekte, Inhalte und Ressourcen mit Bezug auf die Fabrikplanung aufgeführt. Zudem wird das Vorgehen lediglich beschrieben, ohne eine Modellierung des entsprechenden Systems vorzunehmen. Die Anforderungen an ein ganzheitliches Systemverständnis, an eine Ausrichtung anhand spezifischer Fabrikziele

sowie an eine Bereitstellung von Fabrikplanungsinhalten werden somit nicht erfüllt. Zwar wird die Aufwandsabschätzung behandelt, jedoch ohne eine adäquate Methode zur Verbesserung aufzuzeigen (DIN ISO 21500). Für Nichtexperten fallen in Informationsbeschaffung, Durchführung und Ergebnisinterpretation aufgrund der genannten Defizite höhere Aufwände an. Für das Forschungsprojekt relevante Projektmanagementprozesse werden fokussiert, für deren Durchführung fehlt es jedoch an Möglichkeiten zur systematischen Unterstützung. Die Anforderung an eine Anwendbarkeit durch Unternehmen ist demnach teilweise erfüllt.

Die Inhalte der internationalen Projektmanagement-Norm ISO 21500 werden von JAKOBY in einem Lehrbuch umfangreich aufgearbeitet (DIN ISO 21500; Jakoby 2015). Die allgemeine Strukturierung von Projekten wird dabei ebenso behandelt wie Planungsobjekte und -inhalte sowie Abschätzungen von Ressourcenbedarf und Aufwänden (Jakoby 2015). Schätzverfahren werden präsentiert und Grundlagen zur Qualitätsbeurteilung von Schätzungen werden erläutert (Jakoby 2015). Die Anforderungen an einen Fokus auf die Projektstrukturierung sowie an eine Verbesserung der Schätzqualität sind folglich vollständig erfüllt. Die im Kontext des Forschungsprojektes relevanten Themen der Fabrikplanung bleiben hingegen unberücksichtigt (Jakoby 2015). Zudem wird analog zu der Norm das Vorgehen ausschließlich beschrieben, ein entsprechendes System jedoch nicht modelliert. Die Anforderungen an ein ganzheitliches Systemverständnis, eine Ausrichtung anhand spezifischer Fabrikziele und eine Bereitstellung von Fabrikplanungsinhalten werden nicht erfüllt. Wegen der genannten unvollständigen Erfüllung der Anforderungen, drohen Nichtexperten höhere Aufwände, weshalb die Anforderung an eine Anwendbarkeit durch Unternehmen nur teilweise erfüllt ist. Eine durchgehende systematische Unterstützung zur Durchführung von Projektmanagementprozessen mit Relevanz für das Forschungsprojekt erfolgt bei diesem Ansatz nicht, die Prozesse werden jedoch fokussiert.

Der Ansatz von MEYER UND REHER befasst sich mit den grundlegenden Methoden des Projektmanagements, die anhand eines Praxisbeispiels veranschaulicht werden (Meyer und Reher 2016). Dabei wird im Detail behandelt, wie das allgemeine Vorgehen bei Projektstrukturierungen aussehen sollte (Meyer und Reher 2016). Thematisiert werden zudem Methoden zur Aufwandsabschätzung der Projekte (Meyer und Reher 2016). Die Anforderungen an einen Fokus auf die Projektstrukturierung sowie an eine Verbesserung der Schätzqualität sind demnach erfüllt. Durch den Fokus des Ansatzes auf das Projektmanagement im Allgemeinen, bleibt ein Blick auf die im Rahmen des Forschungsprojektes relevanten Themen der Fabrikplanung aus. Außerdem wird das Vorgehen zwar beschrieben, jedoch nicht durch eine Systemmodellierung gestützt. Demzufolge sind die Anforderungen an ein ganzheitliches Systemverständnis, an eine Ausrichtung anhand spezifischer Fabrikziele sowie an eine Bereitstellung von Fabrikplanungsinhalten nicht erfüllt. Da die Anforderungen unvollständig erfüllt werden, entstehen für Nichtexperten höhere Aufwände. Zudem werden die Projektmanagementprozesse, die für das Forschungsprojekt von Bedeutung sind fokussiert, erfahren bei der Realisierung allerdings keine systematische Unterstützung, weshalb die Anforderung an eine Anwendbarkeit durch Unternehmen nur teilweise erfüllt ist.

Ansätze aus der Systemtechnik

Bei dem Ansatz von NEGELE handelt es sich um ein Modell aus der Systemtechnik, das sich mit den relevanten Informationen bei der Produktentwicklung befasst (Negele 2006). Nach Vorbild des ZOPH-Ansatzes wird das Gesamtsystem dabei in die vier Teilsysteme ‚Zielsystem‘, ‚Objektsystem‘, ‚Prozesssystem‘ und ‚Handlungssystem‘ zerlegt (Negele 2006). Zu Grunde liegt die Annahme, mit einem Prozess zur Systemgestaltung eine Problemstellung lösen zu können, nachdem Aufgaben und Ziele analysiert und definiert worden sind. Erreicht werden diese Ziele durch das Gestalten von Objekten, welche wiederum von geeigneten Personen durchgeführt werden müssen und die Bearbeitung spezifischer Planungsinhalte erfordern (Negele 2006). Damit ist die Anforderung an ein ganzheitliches Systemverständnis vollständig erfüllt. Eine Betrachtung relevanter Themen aus der Fabrikplanung bleibt aufgrund des Fokus auf die Produktentwicklung aus. Die Anforderungen an eine Ausrichtung anhand spezifischer Fabrikziele sowie an eine Bereitstellung von Fabrikplanungsinhalten sind demnach nicht erfüllt. Wie bei der Anwendung des ZOPH-Ansatzes vorzugehen ist, wird erläutert. Teil

des Ergebnisses ist die Veranschaulichung von Planungsinhalten und derer Abhängigkeiten, beispielsweise in Form eines vernetzten Balkendiagramms (Negele 2006). Grundsätzlich bietet der Ansatz die Möglichkeit Projekte zu strukturieren, die Prozesse ‚Erstellen des Projektstrukturplans‘ sowie ‚Schätzen der Dauer von Arbeitspaketen‘, welche für das Forschungsprojekt von Bedeutung sind, werden dabei jedoch nicht fokussiert. Zudem wird kein Verfahren zur Aufwandsabschätzung bereitgestellt (Negele 2006). Die Anforderung an einen Fokus auf die Projektstrukturierung ist demnach teilweise erfüllt, die Anforderung an eine Verbesserung der Schätzqualität ist nicht erfüllt. Da die Anforderungen unvollständig erfüllt werden, entstehen für Nichtexperten höhere Aufwände in Informationsbeschaffung, Durchführung und Ergebnisinterpretation. Es fehlt darüber hinaus die systematische Unterstützung der Durchführung der im Rahmen des Forschungsprojektes relevanten Projektmanagementprozesse. Die Anforderung an eine Anwendbarkeit durch Unternehmen ist somit nicht erfüllt.

Ein weiteres systemtechnisches Modell nach HABERFELLNER ET AL., hat zum Ziel den Lösungsprozessen in Projekten eine logische Struktur zu geben (Haberfellner et al. 2012). Dabei erfolgt eine Einteilung des Projektverlaufs in verschiedene Phasen, während gleichermaßen der Lösungsprozess mit einer Gliederung versehen wird, welche den Zweck hat, Teilschritte aus dem Lösungsprozess zu bilden (Haberfellner et al. 2012). Außerdem wird ein allgemeingültiger Problemlösungszyklus präsentiert, welcher aus drei Teilschritten (Zielsuche, Lösungssuche und Auswahl) besteht (Haberfellner et al. 2012). Eine separate Systemmodellierung (Ziele, Objekte, Planungsinhalte, Ressourcen) erfolgt nicht (Haberfellner et al. 2012). Die Anforderung an ein ganzheitliches Systemverständnis ist somit teilweise erfüllt. Die für das Forschungsprojekt relevanten Themengebiete der Fabrikplanung bleiben aufgrund des generischen Charakters des Ansatzes unberücksichtigt. Somit sind die Anforderungen an eine Ausrichtung anhand spezifischer Fabrikziele sowie an eine Bereitstellung von Fabrikplanungsinhalten nicht erfüllt. Der Ansatz ermöglicht es Projekte zu strukturieren, die Projektmanagementprozesse, welche für das Forschungsprojekt von Bedeutung sind, werden dabei jedoch nicht direkt thematisiert und ein Verfahren zur Aufwandsabschätzung wird nicht aufgezeigt (Haberfellner et al. 2012). Die Anforderung an einen Fokus auf die Projektstrukturierung wird dementsprechend teilweise erfüllt, während die Anforderung an eine Verbesserung der Schätzqualität gar nicht erfüllt ist. Da die Anforderungen von dem Ansatz unvollständig erfüllt werden, entstehen für Nichtexperten höhere Aufwände. Zudem erfahren die Projektmanagementprozesse, die für das Forschungsprojekt von Bedeutung sind keine durchgehende systematische Unterstützung. Die Anforderung an eine Anwendbarkeit durch Unternehmen ist somit nicht erfüllt.

Im Folgenden findet sich eine Auflistung der Defizite bestehender Ansätze bezüglich der Anforderungen an eine Methode zur systematischen Projektkonfiguration von Restrukturierungsprojekten von Fertigungs- und Montagebereichen von KMU.

Bewertung bestehender Ansätze

Anforderung 1: Ganzheitliches Systemverständnis

Ein ganzheitliches Systemverständnis fehlt den meisten Ansätzen aus Fabrikplanung und Projektmanagement. Lediglich bei PAWELLEK wird die Anforderung nahezu vollständig erfüllt (Pawellek 2013). Aus der Systemtechnik findet sich mit dem Ansatz von NEGELE hingegen ein Modell, das die Anforderung vollständig erfüllt und somit als Basis im Rahmen des Forschungsprojektes betrachtet werden kann (Negele 2006). Der Ansatz ist bei einer ähnlichen Problemstellung bereits erfolgreich auf thematisch nahe Gebiete (z. B. Auftragsabwicklung) angewandt worden (Negele 2006). Die Analogie zwischen den Planungsinhalten von Fabrikplanung und Produktentwicklung bekräftigt diese Wahl.

Anforderung 2: Ausrichtung anhand spezifischer Fabrikziele

Eine Ausrichtung anhand spezifischer Fabrikziele ist bei keinem der untersuchten Ansätze möglich. Darüber hinaus mangelt es an Beschreibungen der Interdependenzen der Ziele.

Anforderung 3: Bereitstellung von Planungsinhalten

Planungsinhalte fehlen bei allen untersuchten Ansätzen aus dem Projektmanagement und der Systemtechnik. Die untersuchten Ansätze aus der Fabrikplanung hingegen stellen diese überwiegend bereit. STEPPING und HILCHNER bedienen sich dabei unterschiedlicher bereits bestehender Fabrikplanungsansätze (Stepping 2007; Hilchner 2012). Im Rahmen des Forschungsprojektes wird das Vorgehen übernommen, auf einen bestehenden Ansatz aufzubauen. Grundlage ist dabei die VDI-RICHTLINIE 5200, da von dieser die Anforderung an eine Bereitstellung von Planungsinhalten vollständig erfüllt wird (VDI-Richtlinie 5200). Ihr hoher Standardisierungsgrad bietet die Möglichkeit, eine Anpassung an die vorliegende Problemstellung mit geringem Aufwand vorzunehmen (Nöcker 2012).

Anforderung 4: Fokus auf die Projektstrukturierung

Prozesse zur Projektstrukturierung mit Relevanz für das Forschungsprojekt werden von den untersuchten Ansätzen aus Fabrikplanung und Systemtechnik nicht eingehend beleuchtet. Die untersuchten Ansätze aus dem Projektmanagement erfüllen die Anforderung hingegen vollständig.

Anforderung 5: Verbesserung der Schätzqualität

Die untersuchten systemtechnischen Ansätze liefern allesamt keine Verbesserung der Schätzqualität. Bei denen der Fabrikplanung gelingt die Erfüllung der Anforderung bei NÖCKER und HILCHNER zumindest in Teilen (Nöcker 2012; Hilchner 2012). Die untersuchten Ansätze des Projektmanagements erfüllen die Anforderung an eine Verbesserung der Schätzqualität überwiegend.

Anforderung 6: Anwendbarkeit durch Unternehmen

Von keinem der untersuchten Ansätze wird die Anforderung an die Anwendbarkeit durch Unternehmen vollständig erfüllt. Den Ansätzen aus der Fabrikplanung mangelt es überwiegend an einer Abbildung der für das Forschungsprojekt relevanten Projektmanagementprozesse oder der Systematisierung derer Durchführung. Ein Vorgehen und Strukturierungsmodell liegt hingegen in der Regel vor. Ein vollständiges Erfassen der relevanten Projektmanagementprozesse gelingt den Ansätzen aus dem Projektmanagement, wobei es an einer separaten Modellunterstützung der Durchführung mangelt.

Der gesamte Anforderungskatalog und die Erfüllung der einzelnen Punkte durch die verschiedenen Ansätze ist in Abbildung 1 dargestellt.

		Anforderungen							
		1	2	3	4	5	6		
		Ganzheitliches Systemverständnis	Ausrichtung anhand spezifischer Fabrikziele	Bereitstellung von Fabrikplanungsinhalten	Fokus auf die Projektstrukturierung	Verbesserung der Schätzqualität	Anwendbarkeit durch Unternehmen		
Ansätze	FAP	FELIX (1998)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	
		PL@NET PLUS (2004)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	
		SYNERGETISCHE FABRIKPLANUNG (2004)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	
		STEPPING (2007)	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	
		VDI-RICHTLINIE 5200 (2011)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	
		NÖCKER (2012)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	
		HILCHNER (2012)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	
		PAWELLEK (2015)	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	
		PM	DIN ISO 21500 (2016)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
		JAKOBY (2015)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	
	MEYER UND REHER (2016)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>		
	ST	NEGELE (2006)	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
	HABERFELLNER (2012)	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>		

erfüllt
 nahezu erfüllt
 z. T. erfüllt
 nicht erfüllt

FAP: Fabrikplanung; PM: Projektmanagement; ST: Systemtechnik

Abbildung 1: Gegenüberstellung der Anforderungen mit den vorgestellten Ansätzen (Bussemer 2019)

2.5 Problemstellung und Handlungsbedarf

Unternehmen agieren häufig in einer sich ständig wandelnden Umwelt, wodurch die Notwendigkeit von Fabrikplanungsprojekten häufiger wird und deren zeitlichen Abstände sinken. Dadurch bekommen Fabrikplanungsprojekte den Charakter einer interdisziplinären Daueraufgabe (Nyhuis et al. 2004; Pawellek 2013). Der Umfang eines solchen Projekts kann dabei von dem Verlegen eines Arbeitsplatzes bis hin zu der Planung und Umsetzung einer neuen Fabrik reichen (Warnecke et al. 1999). Notwendige Planungsaufgaben mit Erfolg durchführen zu können setzt eine Ansammlung vieler Kompetenzen voraus, über welche produzierende Unternehmen häufig nicht verfügen (Moblely 2001). In diesem Bewusstsein werden von KMU in der Regel externe Expertenteams eingesetzt (bestehend bspw. aus Fabrikplanern und Architekten), wenn es um Neu- und Umplanungen geht. Bei Restrukturierungsprojekten ohne Veränderungen baulicher Art wird der Grad der Komplexität hingegen häufig unterschätzt und die Maßnahmen insbesondere in KMU ohne Inanspruchnahme externer Unterstützung durchgeführt. Ein vordergründiges Argument für den Verzicht auf Experten liegt in den damit verbundenen hohen Kosten (Köbler und Pleuler 2011). Bei Restrukturierungen kleinerer Art ist eine eigenständige Planung und Durchführung im Regelfall problemlos möglich, wohingegen größere Restrukturierungsprojekte eine ähnliche Komplexität aufweisen können wie ein Neubau und externe Unterstützung durch Fachplaner notwendig machen (Snow 2002; Wiendahl et al. 2014). Große Unternehmen können bedingt durch ihre Dimensionen eine Bandbreite an Kompetenzen ansammeln und durch interne Planungsteams vernetzen, wohingegen KMU zur Wahrung der Wettbewerbsfähigkeit häufig einen Fokus auf ihre Kernkompetenzen legen (Wirth et al. 1999) und selbst keine Fachplaner beschäftigen. Das Ergebnis einer Umfrage zu diesem Umstand war, dass Restrukturierungsprojekte zum Großteil von Nichtexperten zusätzlich zu ihren alltäglichen Aufgaben durchgeführt werden (Köbler und Pleuler 2011; Snow 2002). Diese Zusatzbelastung in Verbindung mit dem oben genannten Mangel an Kompetenzen sorgt in KMU besonders bei Restrukturierungsprojekten größerer Art für Probleme bezüglich Kapazitäten, Inhalten und Organisation. Erste Komplikationen treten häufig bereits in der Konfiguration eines Projekts auf, wenn der Wunsch nach schnellen Ergebnissen zu voreiligen Entscheidungen führt (Wiendahl et al. 2014). Zu den fünf häufigsten Problemen in Projekten zählen laut Unternehmensbefragung Mängel in der Zieldefinition, unvollständige Projektressourcenpläne sowie unklare Definitionen von Rollen und Schnittstellen zwischen der internen Organisation und externen Projektpartnern (Rietiker et al. 2013). Die Projektkonfiguration ist ausschlaggebend für eine Ausrichtung an der Strategie und den Zielen des Unternehmens, die vollständige Definition von Planungsobjekten und -aufgaben sowie das Zusammenführen notwendiger Kompetenzen im Planungsteam. Fehler in der Konfiguration führen zu Doppelarbeiten und lassen die Projektkosten und -dauer steigen sowie die Fabrikausbringung unter mangelnder Planungsqualität leiden. Um KMU in Projekten zur Restrukturierung von Fertigungs- und Montagebereichen methodisch unterstützen zu können ist es deshalb erforderlich, dass entsprechende Lösungsansätze einen Anforderungskatalog erfüllen. Existierende Ansätze aus der Fabrikplanung, dem Projektmanagement sowie der Systemtechnik wurden im vorangegangenen Kapitel auf die Erfüllung dieser Anforderungen hin überprüft. Der vollständige Anforderungskatalog wird dabei von keinem der vorgestellten Ansätze erfüllt. Eine Bereitstellung von Planungsinhalten gelingt vor allem den Ansätzen der Fabrikplanung. Ansätze aus dem Projektmanagement weisen Stärken in Bezug auf die Fokussierung der Projektstrukturierung sowie eine Verbesserung der Schätzqualität auf. Die systemtechnischen Ansätze hingegen überzeugen mit einem ganzheitlichen Systemverständnis. Die Anforderungen an eine Ausrichtung anhand spezifischer Fabrikziele und insbesondere die Anwendbarkeit durch Unternehmen ist jedoch durch keinen der Ansätze gewährleistet. Aus diesem Grund würde eine reine Kombination bestehender Ansätze ebenfalls nicht das gewünschte Ergebnis hinsichtlich einer vollumfänglichen Zielerfüllung liefern können. Der Forschungsbedarf dieses Forschungsprojekts wurde durch den Projektbearbeiter bereits veröffentlicht (Bussemer 2019) und kann wie folgt zusammengefasst werden.

Es fehlt ein Instrument, das KMU unter Berücksichtigung spezifischer Fabrikziele Planungsinhalte im Rahmen eines ganzheitlichen Systemverständnisses und mit einer verbesserten

Schätzqualität Hilfestellung bei der Konfiguration von Strukturierungsprojekten bietet (in Anlehnung an Bussemer 2019). Ein Fokus liegt dabei auf den Domänen Ziel, Objekt und Prozess, Handlung.

3 Darstellung der erzielten Projektergebnisse

Im folgenden Abschnitt werden die übergeordnete Zielsetzung des durchgeführten Forschungsprojektes (3.1), die Teilziele, das Vorgehen sowie die erarbeiteten Ergebnisse der fünf Arbeitspakete (3.2 bis 3.6) vorgestellt.

3.1 Zielsetzung

Die im vorherigen Abschnitt dargestellte Problemstellung und der daraus abgeleitete Handlungsbedarf zeigen die in der Praxis häufig unvollständige oder fehlerhafte Projektkonfiguration von Restrukturierungsprojekten in KMU. Bestehende Ansätze bieten hier einige Vorgehensmodelle, um die Projektkonfiguration zu unterstützen. Da KMU jedoch häufig größenbedingt oder mangels regelmäßiger Anlässe nicht auf die notwendigen Kompetenzen innerhalb des Unternehmens zurückgreifen können, werden Projekte vielfach fehlerhaft konfiguriert. Aus diesem Grund wurde eine Arbeitshypothese für das bearbeitete Forschungsvorhaben formuliert.

Arbeitshypothese: Mit einem per Rechnerunterstützung operationalisierten Modell können KMU bei der zielorientierten und vollständigen Konfiguration von Projekten zur Restrukturierung ihrer Fertigungs- und Montagebereiche unterstützt werden und hierdurch den Projekterfolg maßgeblich steigern.

Das Ziel des Forschungsvorhabens ist wie folgt beschrieben.

Ziel ist die Entwicklung und Anwendung eines Modells zur systematischen Konfiguration von Projekten zur Restrukturierung von Fertigungs- und Montagebereichen in und durch KMU.

Das Ergebnis des Forschungsprojektes soll KMU infolgedessen befähigen, die komplizierte Aufgabe der Projektkonfiguration eines Restrukturierungsprojektes trotz einer geringen Planungswiederholungshäufigkeit und entsprechend geringer Planungserfahrung selbstständig durchzuführen. Dabei sollen von Beginn an die Auswahl der maßgeblichen Projektziele, die Auswahl der für eine Zielerreichung notwendigen Fabrikobjekte, die Einbeziehung der für deren Veränderung benötigten Prozessschritte und schließlich die Abschätzung der für die Durchführung beanspruchten Kompetenzen inkl. deren anfallenden Aufwänden unterstützt werden. Die daraus erreichbare Transparenz über den voraussichtlichen Projektverlauf bereits zu Beginn des Vorhabens, erlaubt KMU die frühzeitige Entscheidung zur Eigen- oder Fremdvergabe von Projektinhalten. In der Folge kann eine etwaige spätere Überlastung oder Eskalation proaktiv verhindert werden.

Dieses Forschungsprojekt ergänzt damit die VDI-Richtlinie 5200 durch eine vorgeschaltete Phase der Projektkonfiguration (siehe Abbildung 2).

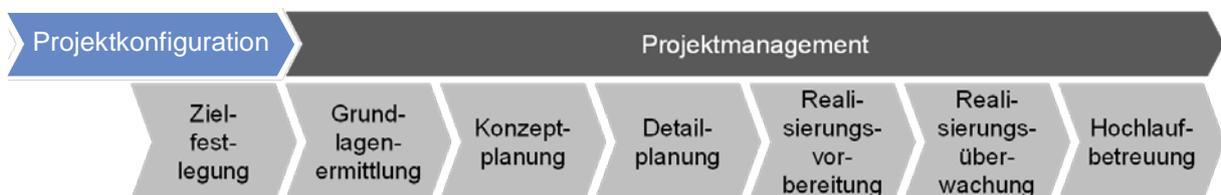


Abbildung 2: Phasenmodell nach (VDI-Richtlinie 5200), erweitert um die Phase Projektkonfiguration

Zur praxistauglichen Anwendbarkeit der Ergebnisse dieses Forschungsvorhabens, ist das resultierende Modell in einen Softwaredemonstrator zu überführen, der KMU für die flächendeckende und barrierefreie Verwendung bereitgestellt wird.

Die Vorgehensweise während des Forschungsprojektes entsprach den fünf beantragten und bewilligten Arbeitspaketen, die im Folgenden ausführlich dargestellt werden.

3.2 Arbeitspaket 1: Erarbeitung und Aufbereitung von Grundlagen zur Restrukturierung von Fertigungs- und Montagebereichen

Ziel: In diesem Arbeitspaket wurde zunächst ein Katalog der notwendigen physischen und organisatorischen Planungsbestandteile und Informationen für Restrukturierungsprojekte von Fertigungs- und Montagebereichen produzierender KMU erstellt. Ziel des AP 1 war demzufolge die Erarbeitung einer strukturierten Wissensbasis zur vollständigen Beschreibung des Gesamtsystems „Restrukturierung von Fertigungs- und Montagebereichen“ in den Domänen Ziel, Objekt, Prozess und Handlung.

Vorgehen: Zunächst wurden in einer Literaturrecherche und einer umfangreichen Aufarbeitung bereits abgeschlossener Restrukturierungsprojekte des IFA – unter Einbezug des projektbegleitenden Ausschusses – die zu konfigurierenden Elemente erarbeitet. Die so gesammelten Restrukturierungen wurden nach ihren Eigenschaften in den Domänen Ziel, Objekt, Prozess und Handlung beschrieben. Es wurden Kataloge erstellt zu:

- Unternehmens- und Projektzielen (**Zielsystem**, dies umfasst bspw. Wirtschaftlichkeit, Produktqualität, Logistikleistung etc.),
- Fabrikobjekten in Fertigungs- und Montagebereichen (**Objektsystem**, dies umfasst bspw. Betriebsmittel, Periphere Einrichtungen, Bereichslayouts etc.),
- Planungsaufgaben der Restrukturierung (**Prozesssystem**, dies umfasst bspw. Datenerhebungen, Analysen, Aufgaben der Layoutgestaltung etc.) sowie
- erforderlichen Kompetenzen und förderlichen Methoden (**Handlungssystem**, dies umfasst bspw. Architekten sowie Fachplaner zu IT oder Umsetzungsbegleitung).

Die so erstellten Kataloge sind anschließend durch Erkenntnisse aus eigenen oder fremden wissenschaftlichen Arbeiten in diesem Themenfeld reflektiert und ggf. erweitert worden. Durch den engen Einbezug des projektbegleitenden Ausschusses wurde die Relevanz für KMU permanent überwacht.

Ergebnis: Die Ergebnisse von AP 1 wurden bereits separat durch den Projektbearbeiter veröffentlicht (Bussemer 2019) und der Allgemeinheit zugänglich gemacht. Das als Grundmodell bezeichnete Ergebnis dieses Arbeitspakets wird im Folgenden demgemäß in Anlehnung an BUSSEMER (2019) in verkürzter Form beschrieben.

Bei der Entwicklung des Grundmodells wird das vorgestellte ZOPH-Modell verwendet (s. Abschnitt 2.4). Dadurch resultiert die Strukturierung des Grundmodells in die Teilsysteme Zielsystem (Z), Objektsystem (O), Prozesssystem (P) und Handlungssystem (H). Das Zielsystem umfasst dabei die quantitativen und qualitativen Fabrikziele in Anlehnung an BRIEKE (2009) und WULF (2011). Diese wurden im Rahmen der Bearbeitung dieses Arbeitspakets aufgegriffen und inhaltlich vertieft. Das Objektsystem bezieht sich auf die Fabrikobjekte nach HEGER (2007) auf der ersten und zweiten Ebene und berücksichtigt damit die systemseitige Hierarchisierung der Objekte. Das Prozesssystem greift alle denkbaren Prozessschritte zur Durchführung eines Restrukturierungsprojekts auf und gibt Auskunft über die jeweils notwendigen Eingangsgrößen sowie resultierende Ergebnisse. Durch das Prozesssystem ist es möglich Arbeitspakete und Vorgänge zur Erstellung eines Projektstrukturplans abzuleiten. Aufbauend auf der VDI-Richtlinie 5200 (2011), konnte das Prozessmodell in diesem Forschungsprojekt für den Anwendungsfall verändert und erweitert werden. Als letztes Teilsystem besteht das Handlungssystem aus angrenzenden Planungsdisziplinen, die für eine Restrukturierungsplanung von Fertigungs- und Montagebereichen benötigt werden könnten.

Zielsystem

Zur Projektkonfiguration eines Restrukturierungsprojekts von Fertigungs- und Montagebereichen sind die spezifischen Fabrikziele von zentraler Bedeutung und bilden den Ausgangs- und Orientierungspunkt für alle späteren Aktivitäten. Gegenüber bestehenden Ansätzen von BRIEKE (2009) und WULF (2011) wurde für dieses Forschungsprojekt ein Schwerpunkt auf die praktische Anwendbarkeit des Zielsystems für KMU sowie eine Steigerung der Minimalität, Redundanzfreiheit und Spezifizierbarkeit gelegt (in Anlehnung an Brieke 2009).

Insgesamt wurden 22 erfolgreich abgeschlossene Fabrikplanungsprojekte des IFA auf vom Kunden als relevant markierte Fabrikziele untersucht, mit einer weiterführenden Literaturrecherche ergänzt und dem projektbegleitenden Ausschuss zur Diskussion aufbereitet. Die im Rahmen der Diskussion durchgeführte Neudefinition oder Reduktion von Fabrikplanungszielen wird ausführlich in BUSSEMER (2019) beschrieben. Es konnte im projektbegleitenden Ausschuss schlussendlich ein breiter Konsens über das resultierende Zielsystem gefasst werden. Das Ergebnis der veränderten bzw. neu definierten Fabrikziele wird in Abbildung 3 dargestellt. Es umfasst 18 Fabrikziele und insg. 50 exemplarische Kennzahlen (Bussemer 2019).

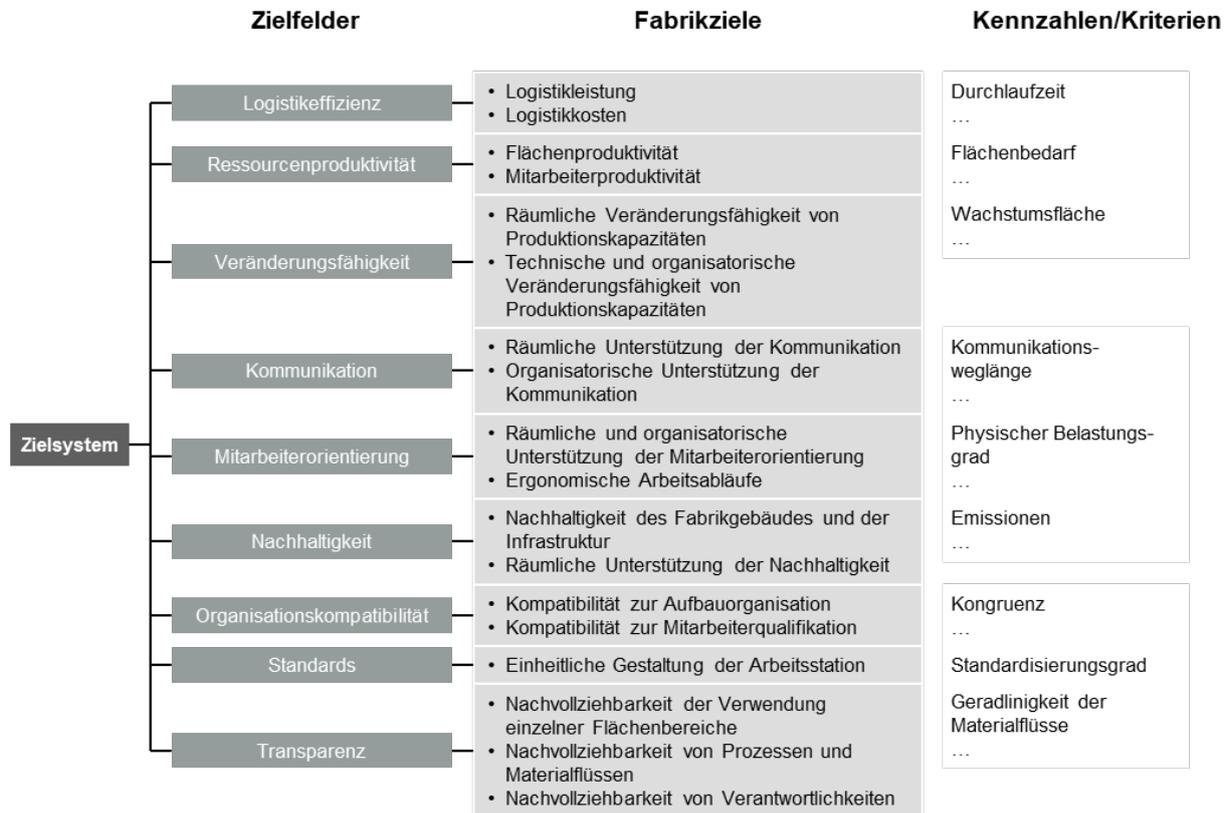


Abbildung 3: Zielsystem des Forschungsprojektes (Bussemer 2019, in Anlehnung an Brieke 2009)

Für jedes der in Abbildung 3 dargestellten Fabrikziele ist ein Katalogeintrag verfasst worden. Der vollständige Katalog ist bereits veröffentlicht worden (Bussemer 2019). Ein exemplarischer Eintrag des Katalogs ist in Abbildung 4 dargestellt und setzt sich aus der Beschreibung des Zielfeldes, der Definition und dem Nutzen des Fabrikziels sowie den zugehörigen exemplarischen Kennzahlen zusammen.

Veränderungsfähigkeit	
Die Veränderungsfähigkeit beschreibt das Vermögen, die Fabrik einfach und aufwandsarm an neue Rahmenbedingungen anzupassen. Dies umfasst die räumliche sowie technische und organisatorische Anpassungsfähigkeit. Eine hohe Veränderungsfähigkeit soll Unternehmen dazu befähigen, auf stetige Veränderungen kurzfristig reagieren zu können.	
Fabrikziel	Räumliche Veränderungsfähigkeit von Produktionskapazitäten
<p>Definition: Dieses Ziel gibt an, dass die Fabrik zukünftige räumliche Anpassungen des Maschinenparks (bspw. Neupositionierung von Produktionsmitteln) aufwandsarm unterstützen soll. Dies umfasst sowohl die Planung (bspw. Vermeidung von Planungsrestriktionen) als auch die Realisierung (bspw. geringer Anpassungsaufwand).</p> <p>Nutzen: Eine hohe räumliche Anpassungsfähigkeit ermöglicht es, auf geplante und ungeplante Veränderungen (bspw. Absatzschwankungen) kurzfristiger mit geringem Planungs- und Anpassungsaufwand reagieren zu können.</p>	
Kennzahlen (exemplarisch)	Anschlüsse; Ebenheit und Belastbarkeit des Bodens; Flächenmodule; lichte Höhen; Medienraasterweite; Stützenrastweite; tragende Wände; Transportierbarkeit; Wachstumsflächen; Zugänglichkeit der Medien

Abbildung 4: Exemplarischer Ausschnitt aus dem Katalog des Zielsystems (Bussemer 2019); die vollständige Darstellung der Kataloge wurde veröffentlicht in BUSSEMER (2019)

Objektsystem

Das Objektsystem umfasst diejenigen Objekte einer Produktionsumgebung, die durch ein Restrukturierungsprojekt von Fertigungs- und Montagebereichen potenziell verändert werden können bzw. sollen.

Als Grundlage für die Erarbeitung des Objektsystems dieses Forschungsprojekts, wurde die bestehende Systematik der Fabrikobjekte nach HEGER (2007) verwendet. Da das Modell nach HEGER (2007) eine vollumfängliche Aufstellung aller Fabrikobjekte umfasst, wurde bei der Erstellung des Objektsystems für dieses Forschungsprojekt auf die Möglichkeit Wert gelegt, aus dem Veränderungsbedarf der Fabrikobjekte konkrete planerische Tätigkeiten abzuleiten. Um dies zu gewährleisten wurden die existierenden Fabrikobjekte erster Ordnung (Heger 2007) den Planungsinhalten der VDI-Richtlinie 5200 (2011) gegenübergestellt. Stellte sich die Aufnahme eines Fabrikobjekts erster Ordnung als wichtig heraus, so wurden ebenfalls die diesem Fabrikobjekt untergeordneten Fabrikobjekte zweiter Ordnung in das Objektsystem aufgenommen. Als Resultat brachte diese Gegenüberstellung hervor, dass besonders fünf Fabrikobjekte erster Ordnung die vordergründigen Planungsinhalte des Fabrikplaners ausmachen und demzufolge in das Objektsystem aufgenommen werden sollten. Diese Fabrikobjekte erster Ordnung lauten ‚Produktionskonzept‘, ‚Logistikkonzept‘, ‚Struktur‘, ‚Arbeitsorganisation‘ und ‚Layout‘. Darüber hinaus wurden gemäß oben genanntem Vorgehen weitere Fabrikobjekte in das Objektsystem aufgenommen, sodass insgesamt 23 Fabrikobjekte erster Ordnung sowie die zugehörigen Fabrikobjekte zweiter Ordnung das resultierende Objektsystem dieses Forschungsprojektes ausmachen. Das Objektsystem dieses Forschungsprojektes mit den Fabrikobjekten erster Ordnung ist gegliedert nach den Fabrikfeldern Technik, Organisation und Raum (in Anlehnung an Heger 2007) in Abbildung 5 dargestellt. Dabei sind die Fabrikobjekte zweiter Ordnung lediglich für die ‚Struktur‘ exemplarisch aufgeführt. (Bussemer 2019)

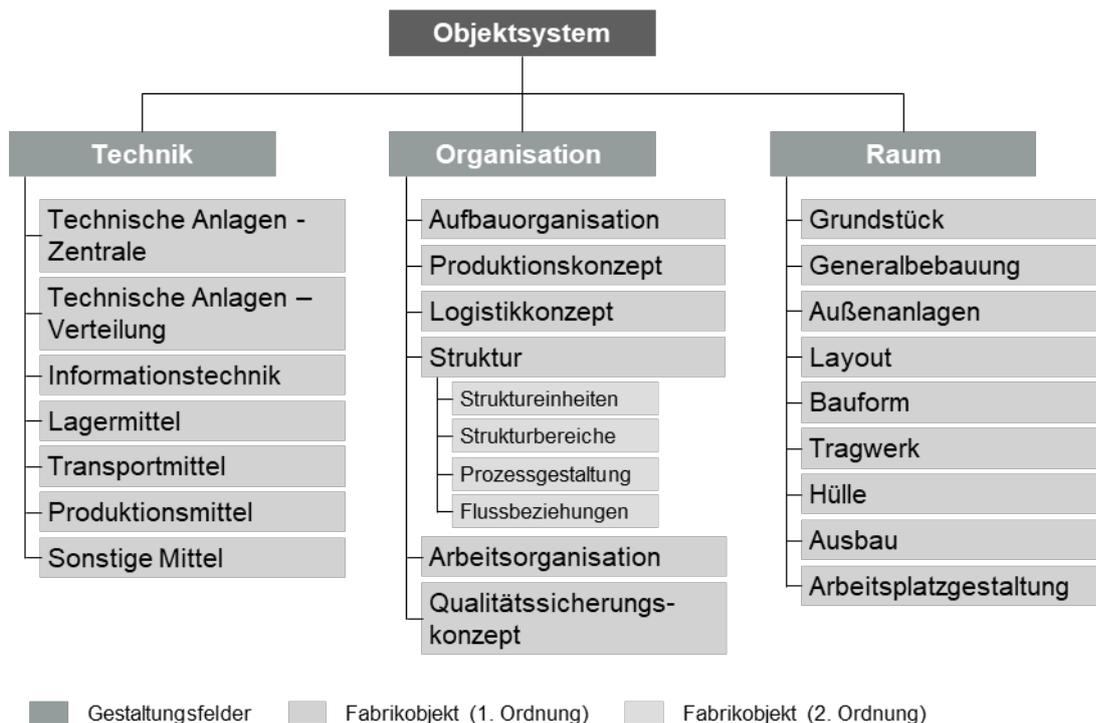


Abbildung 5: Objektsystem der vorliegenden Arbeit (Bussemer 2019, in Anlehnung an Heger 2007)

Prozesssystem

Im Prozesssystem werden die notwendigen Planungsaufgaben für die Restrukturierung von Fertigungs- und Montagebereichen katalogisiert. Dieses baut auf der VDI-Richtlinie 5200 (2011) auf und ergänzt bzw. modifiziert diese, wo notwendig.

Eine ausführliche Diskussion der Veränderungen des Prozesssystems ggü. der VDI-Richtlinie 5200 (2011) wurde bereits bei BUSSEMER (2019) veröffentlicht. Hier sei lediglich auf die Hauptmotivation hinter diesen Veränderungen hingewiesen. Insbesondere die Vereinheitlichung des Detaillierungsgrades der einzelnen Prozessschritte und die Vervollständigung von in der Richtlinie fehlenden Prozessschritten hat schließlich zum resultierenden Prozesssystem des vorliegenden Forschungsprojekts geführt (vgl. Abbildung 6). (Bussemer 2019)

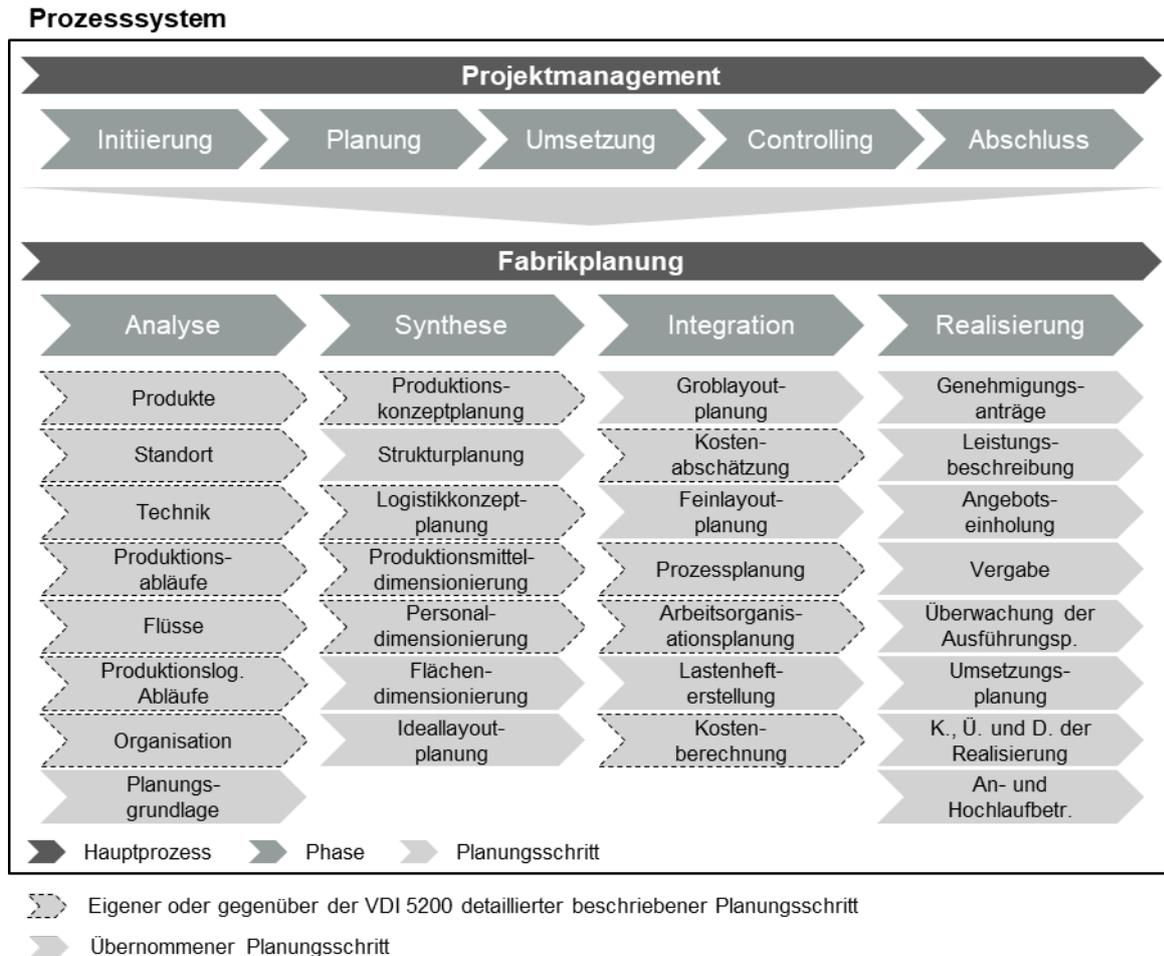


Abbildung 6: Gesamtdarstellung des entwickelten Prozesssystems (Bussemer 2019)

Aufbauend auf dem Prozesssystem wurden für alle Prozessschritte eine Beschreibung des Vorgehens sowie die notwendigen Input- und die resultierenden Outputgrößen in einzelnen Prozesskarten jedes Prozessschritts festgehalten. Diese Granularität und flächendeckende Beschreibung lag bisher für die Prozessschritte der VDI-Richtlinie 5200 (2011) nicht vor.

Eine exemplarische Prozesskarte mit Beschreibung der Tätigkeiten sowie Input und Output sind in Abbildung 7 dargestellt.

Produkte		
Input	Beschreibung	Output
<ul style="list-style-type: none"> • Arbeitspläne • Artikel • Lieferzeit-anforderungen • Stückzahlen (Prognosen) • Stücklisten • Stückkosten • Wiederbe-schaffungszeiten 	<p>Die Analyse der Produkte dient der Erfassung der planungsrelevanten Produkte und Stückzahlen sowie deren Anforderungen bezüglich Lieferzeit und Stückkosten. Diese werden hinsichtlich ihrer Variantenanzahl und -bildung analysiert und gegebenenfalls werden Typenvertreter für die weitere Planung festgelegt. Zusätzlich erfolgt eine zeitliche und organisatorische Aufnahme der Produktherstellungsabfolge.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Ist-Prozessketten • Logistische Anforderungen an die Prozessketten • Produktions-programm • Typenvertreter • Variantenprofile (Anzahl, Bildungspunkt)

Abbildung 7: Exemplarische Prozesskarte - hier für den Prozessschritt ‚Produkte‘ (Bussemer 2019)

Um in den später folgenden Arbeitspaketen 2 und 3 die relevanten Zusammenhänge zwischen den einzelnen Prozessschritten methodengestützt für KMU anwendbar zu machen, ist die Dokumentation der Input- und Outputgrößen je Schritt von besonderer Wichtigkeit. So gibt bspw. eine erforderliche Eingangsinformation für einen Prozessschritt, die jedoch zuvor zunächst erarbeitet werden muss, eine zwangsläufige Reihenfolge der Prozessschritte vor. Dieser Logik folgend, werden in AP 2 und 3 die Prozessschritte derart miteinander verknüpft, dass der Anwender bei der Ausgestaltung der notwendigen Bearbeitungsreihenfolge unterstützt wird. Darüber hinaus können diejenigen Prozessschritte, deren Outputgrößen weder von einem nachfolgenden Schritt noch als alleinstehendes Ergebnis benötigt werden, bei der Projektkonfiguration vernachlässigt werden. Dadurch ermöglicht sich die Hebung von Rationalisierungspotenzialen, die ohne methodische Unterstützung lediglich durch sehr erfahrene Personen bei der Projektkonfiguration möglich wäre. (Bussemer 2019)

Um den Anwender des Projektergebnisses aufgrund der Individualität des branchenspezifischen Planungsfalls nicht methodisch zu sehr einzuschränken, wird in den Prozesskarten auf die Nennung von Methoden gezielt verzichtet. Anhand der Beschreibung der Prozesskarten ist es, gemäß den Erfahrungen aus dem projektbegleitenden Ausschuss, dem entsprechenden Planungsaufgabenverantwortlichen jedoch möglich, die für das individuelle Unternehmen sinnvollen Methoden für den Prozessschritt auszuwählen oder zu recherchieren.

Handlungssystem

Im Handlungssystem werden die für bestimmte Prozessschritte notwendigen angrenzenden Planungsdisziplinen benannt. Darauf aufbauend wird in den folgenden Arbeitspaketen die entsprechende Aufwandsabschätzung ermöglicht, inwiefern eine sinnvolle Einbeziehung von externen Experten in dem Planungsprojekt anzustreben ist.

Um das Handlungssystem systematisch aufzubauen, wurden zunächst existierende Forschungsansätze zur Restrukturierung von Fertigungs- und Montagebereichen sowie Fabriken (siehe Abschnitt 2.4) auf dokumentierte angrenzende Planungsdisziplinen analysiert.

Für die spätere Weiterverwendung in AP 2 und 3 sind bei dem Handlungssystem insbesondere die Schnittstellen zu den Schritten des Prozesssystems von Relevanz. Die im Rahmen der Prozesskarten beschriebenen notwendigen Input- und Outputgrößen stellen diese Schnittstellen zum Handlungssystem dar. Die darin erwähnten Input- und Outputgrößen müssen von einem externen Experten eingebracht bzw. aufgegriffen werden. Ein Beispiel hierfür stellt die Planungsdisziplin ‚Architektur/Gebäudeplanung‘ dar, die als wichtige Inputgrößen Informationen zum Flächenangebot auf dem zur Verfügung stehenden Land oder Gebäuderestriktionen aufgrund der örtlichen Gegebenheiten einbringen kann. Ebenso ist die angrenzende Planungsdisziplin ‚Architektur/Gebäudeplanung‘ auf die im Prozessschritt erarbeiteten Outputgrößen (bspw. Reallayout), etwa zur Abschätzung der Investitionskosten angewiesen. Die insgesamt zehn identifizierten angrenzenden Planungsdisziplinen sind in Abbildung 8 dargestellt. (Bussemer 2019)

Handlungssystem

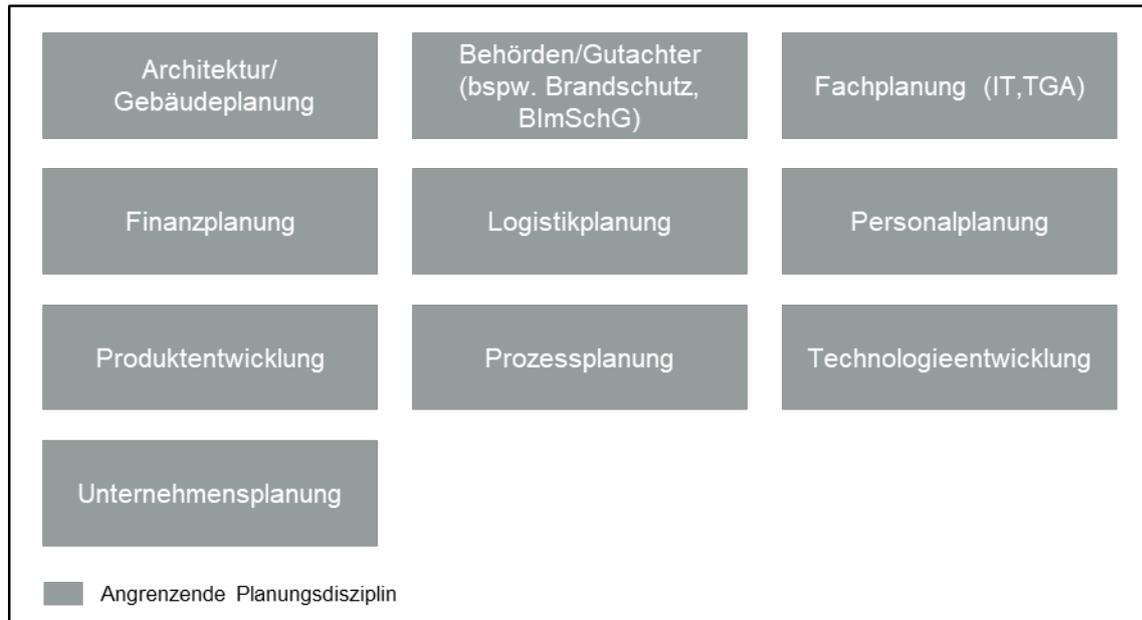


Abbildung 8: Angrenzende Planungsdisziplinen des Handlungssystems (Bussemer 2019)

Die dargestellten zehn angrenzenden Planungsdisziplinen sind jeweils allgemeingültig beschrieben worden und wurden bereits durch BUSSEMER (2019) veröffentlicht. Eine exemplarische Beschreibung für die Planungsdisziplin ‚Architektur/Gebäudeplanung‘ ist in Abbildung 9 dargestellt.

H1: Architektur/Gebäudeplanung

Die Schnittstellen zwischen der Fabrikplanung und der Architektur/Gebäudeplanung dienen zur Abstimmung bezüglich räumlicher Restriktionen und Anforderungen sowie zum Abgleich und ggf. zur Anpassung des Flächenangebotes und -bedarfs der Fabrik. Falls notwendig, erfolgt eine gemeinsame Definition notwendiger Baumaßnahmen und die Ermittlung der entsprechenden Investitionskosten. Darüber hinaus sind ggf. Absprachen bezüglich der Realisierung der durchzuführenden Baumaßnahmen sowie Abstimmungen bei der Auswahl und Dokumentation der Lieferantenleistung zu treffen.

Abbildung 9: Exemplarische Beschreibung der Schnittstellen - hier zur Architektur/Gebäudeplanung (Bussemer 2019)

3.3 Arbeitspaket 2: Verknüpfung der Teilsysteme zur Beschreibung struktureller Abhängigkeiten

Ziel: Aufbauend auf dem Katalog der Systembestandteile aus dem vorangegangenen AP 1 wurden in diesem AP 2 die Wechselwirkungen untersucht. Dabei sind insbesondere die Einflüsse der Ziele (Zielsystem) einer Restrukturierung auf die zu verändernden Fabrikobjekte (Objektsystem) sowie die dafür notwendigen Prozessschritte (Prozesssystem) und notwendige einzubeziehende Fachplaner (Handlungssystem) berücksichtigt worden. Diese Zusammenhänge zwischen den einzelnen Teilsystemen sind darüber hinaus durch Untersuchung der Einflüsse innerhalb der Teilsysteme vervollständigt worden. Die Untersuchung dieser Zusammenhänge war notwendig, um in späteren Arbeitspaketen dieses Wissen in ein praxistaugliches Vorgehensmodell zu überführen, das KMU ermöglicht umfangreiche Restrukturierungsprojekte vollständig und mit verminderter Fehleranfälligkeit zu konfigurieren. Das Ziel des

AP 2 war es demzufolge, die relevanten teilsystemübergreifenden und -internen Abhängigkeiten zwischen den katalogisierten Restrukturierungselementen zu identifizieren und zu beschreiben.

Vorgehen: Die in den Katalogen der Teilsysteme zu Ziel, Objekt, Prozess und Handlung identifizierten Restrukturierungselemente wurden sowohl teilsystemintern als auch teilsystemübergreifend paarweise auf Wechselwirkungen untersucht. Durch Berücksichtigung der bereits in AP 1 verwendeten Restrukturierungsprojekte des IFA und des projektbegleitenden Ausschusses konnten die relevanten Indizien für Zusammenhänge herausgearbeitet werden. Diese Zusammenhänge wurden anschließend im projektbegleitenden Ausschuss diskutiert, durch Recherchen in entsprechender Fachliteratur analysiert und wo möglich belegt. Dabei fand der System-Dynamics-Ansatz (vgl. Forrester 1961; Sterman 2000) Anwendung. Durch die Stärke dieses Ansatzes in der Fokussierung auf die Wechselwirkungen zwischen den Systembestandteilen (Möhrle und Isenmann 2008) wurde der Schwerpunktsetzung dieses Arbeitspakets entsprochen. Die Konsolidierung sämtlicher Erkenntnisse erfolgte in Form geeigneter Matrizen, die sich für spätere rechnergestützte Auswertungen (AP 3) oder – bei Bedarf – weitere Visualisierungen eignen.

Ergebnis: Das Ergebnis von AP 2 stellt das sogenannte Grundmodell dar. Dieses umfasst die Untersuchungsergebnisse der Zusammenhänge zwischen den in AP 1 erarbeiteten Teilsystemen. Diese Zusammenhänge sind in Form von Einflussmatrizen dokumentiert und werden im Einzelnen vorgestellt. Das Grundmodell mit seinen Zusammenhängen bildet die Grundlage für die anschließende Entwicklung des Vorgehensmodells (AP 4) zur Konfiguration von Projekten zur Restrukturierung von Fertigungs- und Montagebereichen in KMU. Die erzielten Ergebnisse des AP 2 wurden bereits durch BUSSEMER (2019) veröffentlicht, weshalb in diesem Abschlussbericht auf die durch den Projektbearbeiter bereits geleistete Veröffentlichung verwiesen wird. (Bussemer 2019)

In den in AP 1 erarbeiteten Teilsystemen können teilsysteminterne und teilsystemübergreifende Zusammenhänge auftreten. Die in AP 1 erarbeiteten Teilsysteme bilden das Grundmodell und sind mit möglichen Zusammenhängen zwischen den Teilsystemen in Abbildung 10 dargestellt. Die ebenfalls möglichen teilsysteminternen Zusammenhänge sind in der Abbildung zur Aufrechterhaltung der Übersichtlichkeit nicht dargestellt.

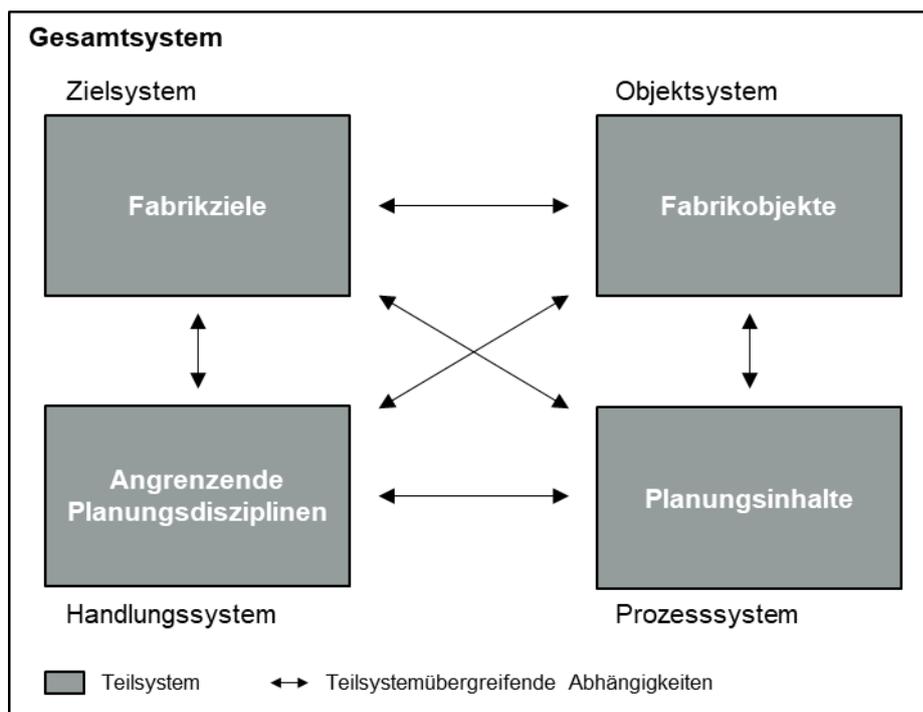


Abbildung 10: Schematische Darstellung der Teilsysteme des Grundmodells sowie derer Abhängigkeiten (Bussemer 2019, in Anlehnung an Negele 2006)

Um eine allgemeinverständliche und in folgenden Arbeitspaketen weiterverwendbare Modellierung der teilsysteminternen und teilsystemübergreifenden Zusammenhänge zu ermöglichen, wird auf Matrizen zurückgegriffen. Dabei sind teilsysteminterne Beziehungen zwischen gleichen Elementarten durch Design Structure Matrizen (DSM) modelliert. Teilsystemübergreifende Zusammenhänge sind durch verschiedene Elementarten charakterisiert und sind demzufolge mittels Domain Mapping Matrizen (DMM) abzubilden (vgl. Abschnitt 2.1). Je nach Richtung des Aufbaus der Matrizen, können die Zusammenhänge zwischen zwei Teilsystemen in zwei ineinander transponierbare Matrizen modelliert werden. Insgesamt ergeben sich somit zwischen den vier Teilsystemen vier Matrizen zur Modellierung der teilsysteminternen und zwölf Matrizen zur Modellierung der teilsystemübergreifenden Zusammenhänge. Gemeinsam können die resultierenden 16 Einzelmatrizen in eine Multi Domain Matrix (MDM) zusammengeführt werden.

Die MDM sowie ausgewählte DSM der teilsysteminternen Zusammenhänge des Zielsystems und die DMM der teilsystemübergreifenden Zusammenhänge zwischen Objektsystem und Prozesssystem sind in Abbildung 11 dargestellt. Die Modellierung der Zusammenhänge erfolgt grundsätzlich binär (zwei Zustände), bzw. ternär (drei Zustände) und erlaubt demzufolge in diesem Modell keine Aussage über die Stärke des Zusammenhangs, da dieser individuell je Planungsfall zu beurteilen ist. Darüber hinaus sind die Diagonalen der DSM und DMM grundsätzlich leer, da kein reflexiver Bezug von Elementen auf sich selbst existiert. Allgemein wurde in diesem Forschungsprojekt die Modellierungsrichtung ‚Spalte beeinflusst Zeile‘ gewählt. Dies bedeutet, dass die Spalten jeweils die Quelle der Wirkung und die Zeilen die Senke der Wirkung repräsentieren.

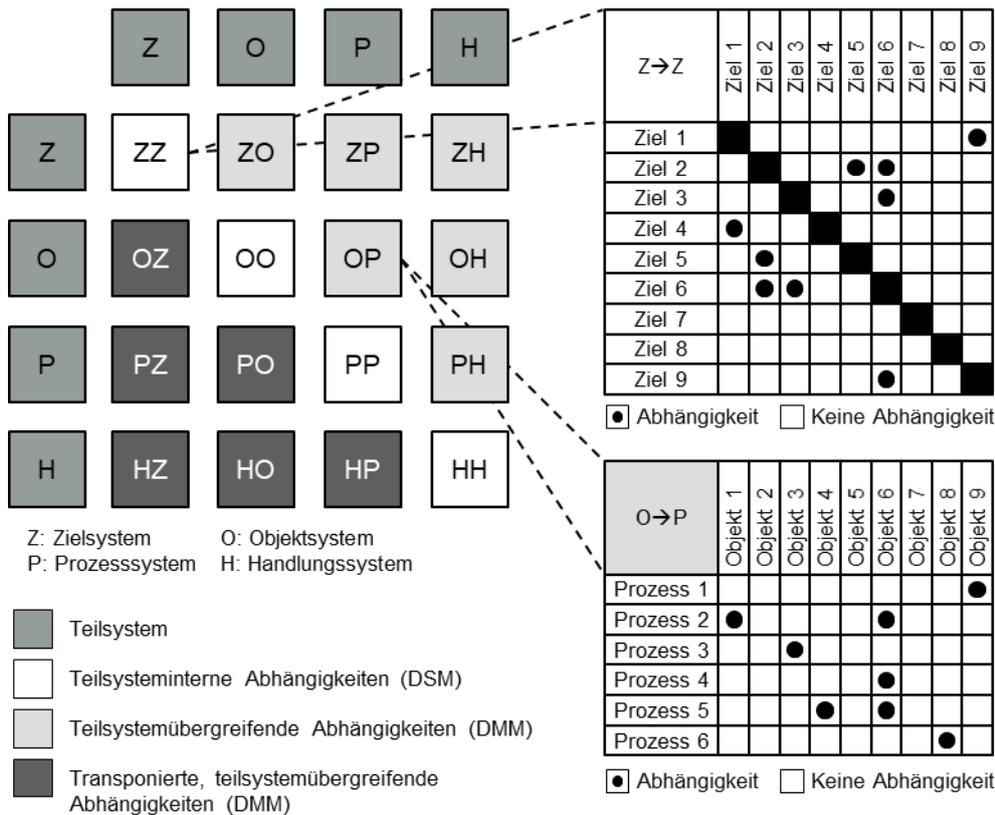


Abbildung 11: Schematische Matrix-Darstellung der Systemabhängigkeiten (Bussemer 2019, in Anlehnung an Negele 2006)

Die für das Ziel des Forschungsprojekts relevanten Systemabhängigkeiten lassen sich in einem Teil dieser Grundgesamtheit an denkbaren Zusammenhängen modellieren. Dies ist darin begründet, dass zum einen durch Transponieren einige Matrizen in andere überführt werden können und das darüber hinaus eine sinnvolle logische Verkettung der Matrizen die Erfüllung der Zielsetzung erlaubt. Als Beispiel sei an dieser Stelle der Zusammenhang zwischen dem

Zielsystem (Z) und dem Prozesssystem (P) genannt. Um die Frage zu beantworten, wie die Zusammenhänge zwischen Zielen und Prozessen für die Projektkonfiguration zur Restrukturierung von Fertigungs- und Montagebereichen zu bewerten sind, werden statt der Ziel-Prozesssystem-Abhängigkeiten (ZP-Matrix), die Ziel-Objektsystem-Abhängigkeiten (ZO-Matrix) sowie die Objekt-Prozesssystem-Abhängigkeiten (OP-Matrix) modelliert. Diese Vorgehensweise ermöglicht insgesamt eine Reduktion der zu modellierenden Matrizen, ohne jedoch die Erklärungskraft des Modells zu schmälern. Außerdem wird dadurch die Übersichtlichkeit des Grundmodells erhöht. Die vollständig modellierten Abhängigkeiten finden sich in fünf Matrizen, die in Abbildung 12 dargestellt sind.

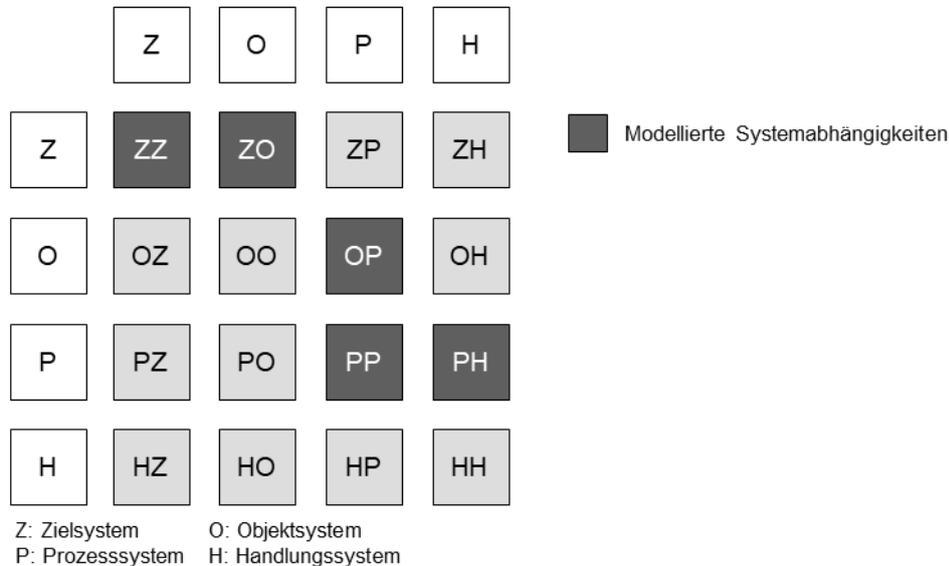


Abbildung 12: Überblick über die relevanten Systemabhängigkeiten (Bussemmer 2019)

In der ZZ-Matrix (DSM) werden Zusammenhänge zwischen den Zielen modelliert und außerdem Zielkonflikte und -synergien aufgezeigt. Die ZO-Matrix (DMM) verbindet das Zielsystem mit dem Objektsystem. Dadurch wird erkenntlich, welche Objekte verändert werden sollten, um ein ausgewähltes Ziel zu erreichen. In der OP-Matrix (DMM) werden die Objekte mit den Prozessschritten in Verbindung gebracht. Somit kann gezeigt werden, welche Prozessschritte relevant sind, um ein Objekt zu beeinflussen. In der PP-Matrix (DSM) werden die Abhängigkeiten der Prozessschritte untereinander beschrieben. Dies hat zur Folge, dass weitere Prozessschritte, die zur Gestaltung einzelner oder verschiedener Objekte notwendig sind, ablesbar werden. In der PH-Matrix (DMM) werden die Prozessschritte mit den angrenzenden Planungsdisziplinen verknüpft. Je nach ausgewähltem Prozessschritt ist es dadurch möglich den Ressourcenbedarf aus angrenzenden Planungsdisziplinen abzuschätzen.

ZZ-Matrix

In der ZZ-Matrix werden die Zusammenhänge der Fabrikziele mit sich selbst modelliert, um so Zielkonflikte und -synergien aufmerksam aufzuzeigen.

Die Erstellung der ZZ-Matrix (vgl. Abbildung 13) beinhaltet die paarweise Überprüfung auf denkbare Zielkonflikte und -synergien zwischen den Fabrikzielen. Die dadurch formulierten Annahmen wurden durch eine umfangreiche Literaturrecherche auf Stichhaltigkeit geprüft. Die ausführliche Darstellung der Recherche wurde bereits durch BUSSEMER (2019) im Rahmen der Projektbearbeitung veröffentlicht. Hat sich in der Literatur eine Bestätigung der vermuteten Zielkonflikte und -synergien identifizieren lassen, so wurde dies als Eintrag in die ZZ-Matrix aufgenommen.

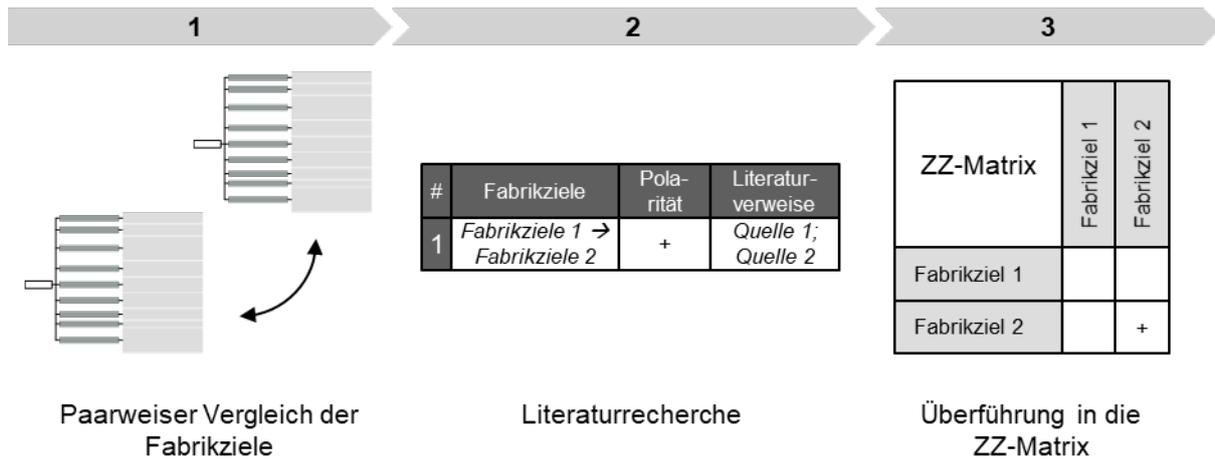


Abbildung 13: Vorgehensweise zur Entwicklung der ZZ-Matrix (Bussemer 2019)

Die durch dieses Vorgehen modellierten Zielkonflikte und -synergien sind mit entsprechenden Literaturverweisen durch den Projektbearbeiter BUSSEMER (2019) veröffentlicht worden. In Abbildung 14 wird ein beispielhafter Auszug aus der von BUSSEMER (2019) erstellten Übersicht dargestellt. Hierbei ist in der Spalte ‚Fabrikziele‘ die betroffene Zielpaarung aufgeführt. Die ‚Polarität‘ gibt an, ob es sich um einen Zielkonflikt (-) oder eine Zielsynergie (+) handelt. Anschließend folgen die Nachweise.

#	Fabrikziele	Polarität	Literaturverweise
1	Logistikkosten → Logistikleistung	-	(Schuh und Schmidt 2014, 20f); (Nyhuis und Wiendahl 2012, S. 297); (Wiendahl 2010, S. 253)
2	Logistikleistung → Logistikkosten	-	(Schuh und Schmidt 2014, 20f); (Nyhuis und Wiendahl 2012, S. 297); (Wiendahl 2010, S. 253)
3	Ergonomische Arbeitsabläufe → Mitarbeiterproduktivität	+	(Schulte 2016, S. 287); (Ekker 2015, S. 42); (Spath et al. 2010, S. 165)
4	Räumliche Veränderungsfähigkeit von Produktionskapazitäten		(Wiendahl et al. 2011, S. 284); (Hesse 2007, S. 80)

+ : Zielunterstützung (die Erreichung von Ziel A kann die Erreichung von Ziel B unterstützen)
 - : Zielkonflikt (die Erreichung von Ziel A kann die Erreichung von Ziel B behindern)

Abbildung 14: Ausschnitt der identifizierten Zielabhängigkeiten (Bussemer 2019)

Unter Mitarbeit des projektbegleitenden Ausschusses konnten somit insgesamt 27 Zusammenhänge zwischen den Zielgrößen identifiziert, beschrieben und belegt werden. Davon sind zehn als Zielkonflikte und 17 als Zielsynergien ausgemacht worden. Die somit gewonnene Erkenntnis über den Zusammenhang von zwei Fabrikzielen ist von besonderer Wichtigkeit, um KMU auch ohne Erfahrungswert bei der späteren Anwendung der Methode die nötige Transparenz über sich widersprechende oder unterstützende Zielgrößen zu geben. Dadurch können Priorisierungsentscheidungen bei der Projektkonfiguration von vorneherein im Konsens getroffen werden (vgl. Anforderungen in Abschnitt 2.4).

Eine exemplarische Darstellung der resultierenden ZZ-Matrix ist in Abbildung 15 dargestellt. Die vollumfängliche Matrix ist bereits durch BUSSEMER (2019) veröffentlicht worden. Sowohl die Zeilen, als auch die Spalten beinhalten die Fabrikziele. Die aus dem Zielsystem (vgl. Abschnitt 3.2) hervorgehenden Zielfelder, Kriterien und Kennzahlen sind aus Gründen der Lesbarkeit der Matrix in dieser Darstellung vernachlässigt worden. Zur Nutzung der ZZ-Matrix ist die Leserichtung ‚Spalte beeinflusst Zeile‘ zu verwenden. Ein exemplarischer Zielkonflikt lässt sich so zwischen dem Fabrikziel ‚Flächenproduktivität‘ und dem Fabrikziel ‚Räumliche Veränderungsfähigkeit von Produktionskapazitäten‘ ablesen.

ZZ-Matrix		Zielsystem									
		Logistikkosten	Logistikleistung	Flächenproduktivität	Mitarbeiterproduktivität	Räumliche Veränderungsfähigkeit von Produktionskapazitäten	Technische und organisatorische Veränderungsfähigkeit von Produktionskapazitäten	Räumliche Unterstützung der Kommunikation	Organisatorische Unterstützung der Kommunikation	Räumliche Unterstützung der Mitarbeiterorientierung	Ergonomische Arbeitsabläufe
Zielsystem	Logistikkosten		-								
	Logistikleistung	-									
	Flächenproduktivität	+			-	-					
	Mitarbeiterproduktivität	+									
	Räumliche Veränderungsfähigkeit von Produktionskapazitäten			-							
	Technische und organisatorische Veränderungsfähigkeit von Produktionskapazitäten	-	+	-	-						
	Räumliche Unterstützung der Kommunikation				+						

+ : Zielunterstützung (Die Erreichung von Ziel A kann die Erreichung von Ziel B unterstützen)
 - : Zielkonflikt (Die Erreichung von Ziel A kann die Erreichung von Ziel B behindern).

Abbildung 15: Ausschnitt der entwickelten ZZ-Matrix (Bussemer 2019)

ZO-Matrix

Durch die ZO-Matrix wird die Identifikation derjenigen Fabrikobjekte unterstützt, die nach einer Auswahl von relevanten Fabrikzielen gestaltet werden müssen.

Für die Erstellung der ZO-Matrix (vgl. Abbildung 16) wurde eine paarweise Gegenüberstellung der Fabrikziele mit den Fabrikobjekten vorgenommen. Die daraus hervorgehenden Annahmen über Zusammenhänge wurden im projektbegleitenden Ausschuss diskutiert und präzisiert, bevor sie durch argumentative Logik und Literaturnachweise weiter ausdetailliert wurden. Die so erhaltenen Zusammenhänge konnten anschließend in die ZO-Matrix aufgenommen werden.

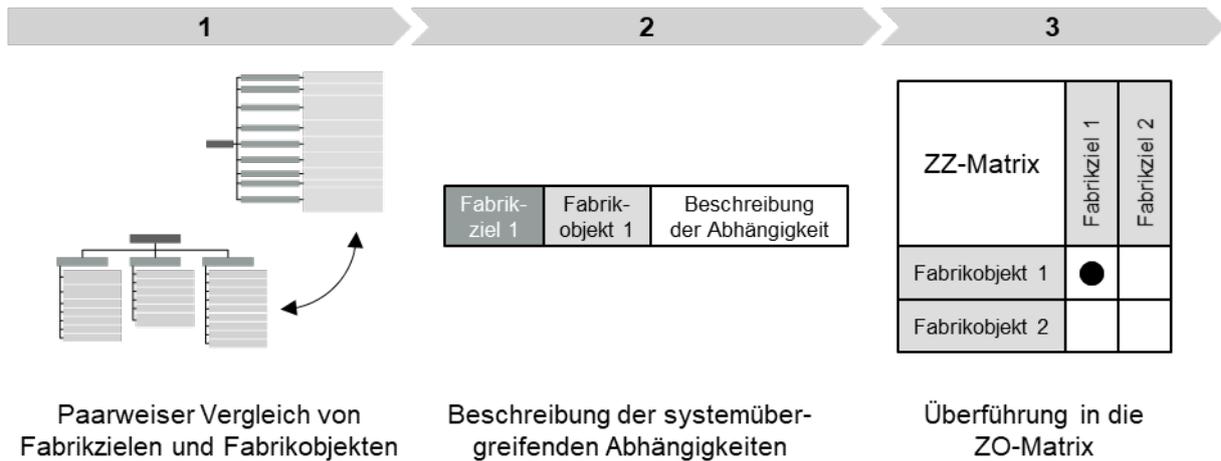


Abbildung 16: Vorgehensweise zur Entwicklung der ZO-Matrix (Bussemer 2019)

Gesamtheitlich sind durch dieses Vorgehen 67 Zusammenhänge zwischen Fabrikzielen und Objektsystem identifiziert und beschrieben worden. Die vollständige Darstellung der Zusammenhänge wurde bereits im Rahmen der Projektbearbeitung durch BUSSEMER (2019) der Öffentlichkeit zugänglich gemacht. In Abbildung 17 ist ein Ausschnitt der dort ganzheitlich dargestellten Zusammenhänge dargestellt. In der Abbildung werden beispielhafte Einflüsse des ‚Produktionskonzepts‘, des ‚Logistikkonzepts‘, der ‚Struktur‘ und des ‚Layouts‘ auf die ‚Flächenproduktivität‘ dargestellt.

	Fabrikziel	Fabrikobjekt	Beschreibung der Abhängigkeit
Ressourcenproduktivität	Flächenproduktivität	Produktionskonzept	Das Produktionskonzept umfasst u. a. den Automatisierungsgrad der Produktion, der einen direkten Einfluss auf die Produktivität der Fertigungseinrichtung hat (vgl. Eversheim und Schuh 1999, S. 10). Der Automatisierungsgrad beschreibt das Verhältnis automatisierter Fertigungsschritte zur Gesamtanzahl der Fertigungsschritte und bezieht sich dabei auf „den Programmablauf der Werkzeug- und Werkstückbewegung, den Werkzeugwechsel und den Werkstückwechsel“ (vgl. Wiendahl 2014, S. 182). Somit kann durch eine Veränderung des Automatisierungsgrades die ‚Flächenproduktivität‘ direkt mittels des Produktionskonzeptes beeinflusst werden.
		Logistikkonzept	Das Logistikkonzept umfasst u. a. das Bevorratungskonzept . Dieses kann hinsichtlich unterschiedlicher Auftragsabwicklungsarten (bspw. make-to-order) unterschieden werden und wird maßgeblich durch den Kundenauftragsentkopplungspunkt (KEP) bestimmt. Dieser wird in Form eines Lagers realisiert und trennt die Produktion in einen kundenauftragsneutralen (Produktionsvorstufe) und kundenauftragsanonymen (Produktionsendstufe) Teil. Die Position des KEP bestimmt maßgeblich, welche Losgrößen in der Produktionsvorstufe gefertigt werden, und hat damit einen direkten Einfluss auf die Auslastung der entsprechenden Produktionskapazitäten, (vgl. Sharman 1984, S. 72 f; Hoekstra et al. 1992, S. 6; Nywlt 2016, S. 31). Folglich kann durch die Positionierung des KEP die ‚Produktivität der Flächenressource‘ mittels des Logistikkonzeptes direkt beeinflusst werden.
		Struktur	Die Struktur fasst u. a. alle Struktureinheiten der Fabrik mithilfe von Strukturierungskriterien (bspw. Kundenauftragsentkopplungspunkt) zu Strukturbereichen zusammen. Durch die Strukturierung in eine oder mehrere Struktureinheiten wird die Produktionsmenge der Einheit definiert (vgl. Wiendahl 2014, S. 182). Demzufolge kann durch die Festlegung der Anzahl der Struktureinheiten die ‚Flächenproduktivität‘ direkt mittels der Struktur beeinflusst werden.
		Layout	Das Layout beinhaltet u. a. sämtliche Flächen der Fabrik. Der Flächenbedarf der Fertigungs- und Montagefläche ergibt sich aus der Grundfläche der Produktionsmittel sowie weiteren Flächen für Betrieb, Wartung und Logistik. Die einzelnen Teilflächen können entweder kompakt oder weiträumig angeordnet werden und bestimmen somit den notwendigen Flächenbedarf (vgl. Grundig 2018, S. 93). Folglich kann die ‚Flächenproduktivität‘ mittels des Layouts direkt beeinflusst werden.

Abbildung 17: Exemplarische Darstellung der beschriebenen Abhängigkeiten (Bussemer 2019)

Die daraus resultierende ZO-Matrix wird in Abbildung 18 dargestellt. Auch hier sei auf die bereits veröffentlichte vollständige Darstellung verwiesen (Bussemer 2019). Die ZO-Matrix beinhaltet in den Spalten die Fabrikziele und in den Zeilen die Fabrikobjekte erster Ordnung. Die Fabrikobjekte zweiter Ordnung sind der Logik folgend jeweils ebenfalls gemeint. Unter Verwendung der Leserichtung ‚Spalte beeinflusst Zeile‘ ist so der exemplarische Zusammenhang zwischen dem Ziel ‚Flächenproduktivität‘ und den vier Objekten ‚Layout‘, ‚Struktur‘, ‚Logistikkonzept‘ und ‚Produktionskonzept‘ abzulesen.

ZO-Matrix		Zielsystem										
		Logistikkosten	Logistikleistung	Flächenproduktivität	Mitarbeiterproduktivität	Räumliche Veränderungsfähigkeit von Produktionskapazitäten	Technische und organisatorische Veränderungsfähigkeit von Produktionskapazitäten	Räumliche Unterstützung der Kommunikation	Organisatorische Unterstützung der Kommunikation	Räumliche Unterstützung der Mitarbeiterorientierung	Ergonomische Arbeitsabläufe	Nachhaltigkeit des Fabrikgebäudes und der
Objektsystem	Arbeitsplatzgestaltung									●		●
	Ausbau					●		●				
	Hülle											●
	Tragwerk					●						
	Bauform											●
	Layout			●		●		●		●		
	Generalbebauung											
	Arbeitsorganisation				●		●			●	●	
	Struktur			●	●		●		●	●		
	Logistikkonzept	●	●	●	●		●					
	Produktionskonzept			●	●		●				●	

● Systemübergreifende Abhängigkeit zwischen Fabrikziel und Fabrikobjekt

Abbildung 18: Ausschnitt der entwickelten ZO-Matrix (Bussemer 2019)

OP-Matrix

Durch die OP-Matrix wird die Ableitung von benötigten Prozessschritten in Abhängigkeit von den identifizierten Fabrikobjekten abgebildet.

Das Vorgehen zur Erstellung dieser Matrix (vgl. Abbildung 19) erfolgte durch den paarweisen Vergleich des Objektsystems mit dem Prozesssystem. Hierbei ist zu betonen, dass die Fabrikobjekte bei den Prozessschritten als Input- oder Outputgrößen auftreten können, weshalb die Bedeutung eines Fabrikobjektes als Eingangsgröße auf einen Prozessschritt beurteilt wurde.

Außerdem können Outputgrößen von Prozessschritten ein Fabrikobjekt beeinflussen, weshalb auch diese Zusammenhänge modelliert wurden. Grundsätzlich sind lediglich diejenigen Einflussgrößen in die OP-Matrix aufgenommen worden, die auf einer binären Skala als relevant bewertet wurden.

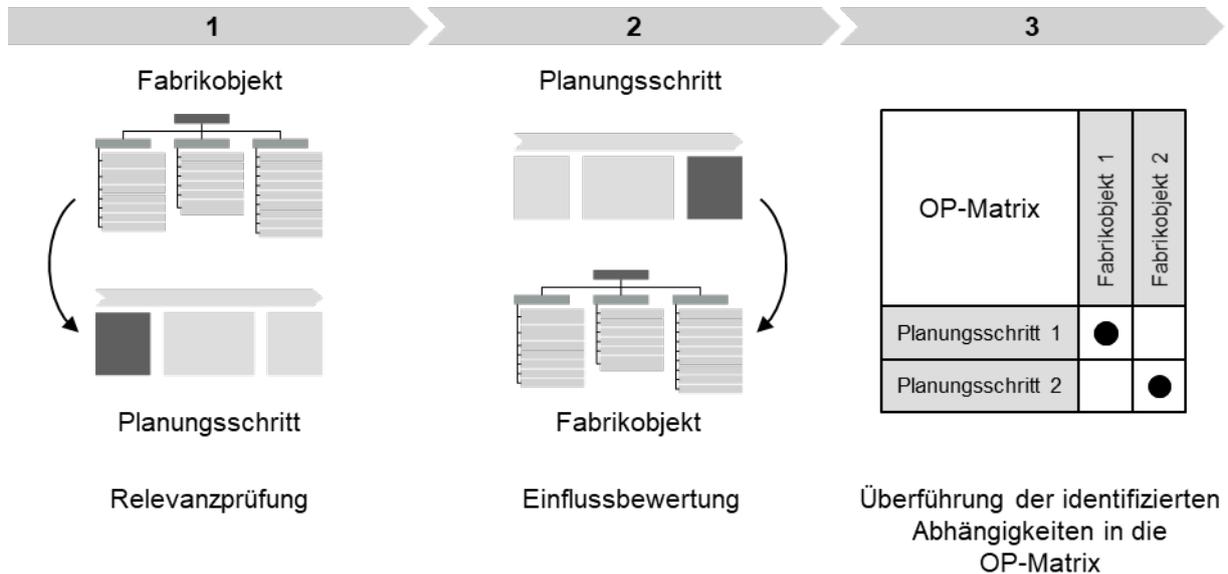


Abbildung 19: Vorgehen zur Entwicklung der OP-Matrix (Bussemer 2019)

Die Prozessphase ‚Analyse‘ beinhaltet 22 Fabrikobjekte, die als Eingangsgröße für Prozessschritte als relevant identifiziert werden konnten. Dabei ist der Hinweis wichtig, dass durchaus mehrere Fabrikobjekte für einen Prozessschritt als Eingangsgröße dienen können. Außerdem kann ein Prozessschritt auch mehrere Fabrikobjekte als Outputgröße adressieren. Dies ist entsprechend in der OP-Matrix berücksichtigt.

Die Prozessphasen ‚Synthese‘ und ‚Integration‘ beinhalten elf Prozessschritte mit einem Einfluss auf die Fabrikobjekte. Wichtig ist die Einschränkung, dass lediglich Zusammenhänge mit direktem Einfluss modelliert werden und nicht solche, die lediglich einen mittelbaren Einfluss haben. Die Prozessschritte in der Phase ‚Realisierung‘ beinhalten keine Zusammenhänge mit den Fabrikobjekten, weshalb die OP-Matrix in diesem Bereich keine Einträge aufweist.

Zusammenfassend lassen sich 33 Zusammenhänge zwischen Fabrikobjekten und Prozessschritten in der OP-Matrix finden. In Abbildung 20 ist ein exemplarischer Bereich der DMM dargestellt. Die Matrix beinhaltet das Objektsystem (wie zuvor begründet lediglich erster Ordnung) in den Spalten und das Prozesssystem in den Zeilen. Die gesamtheitliche OP-Matrix wurde ebenfalls bereits im Rahmen der Projektbearbeitung durch BUSSEMER (2019) veröffentlicht und kann dort eingesehen werden. Durch die OP-Matrix ist es dem Anwender durch die Leserichtung ‚Spalte beeinflusst Zeile‘ möglich, die Prozessschritte zu identifizieren, welche einen Zusammenhang in Form einer Input- oder Outputgröße mit einem bestimmten Fabrikobjekt aufweist. Für das beispielhafte Fabrikobjekt ‚Layout‘ kann damit ein Zusammenhang mit den Prozessschritten ‚Produktionsabläufe‘, ‚Flüsse‘, ‚Flächendimensionierung‘, ‚Ideallayoutplanung‘, ‚Groblayoutplanung‘ und ‚Feinlayoutplanung‘ abgelesen werden.

OP-Matrix		Objektsystem																		
		Bauform	Layout	Generalbebauung	Arbeitsorganisation	Struktur	Logistikkonzept	Produktionskonzept	Produktionsmittel	Transportmittel	Lagermittel	Informationstechnik								
Prozesssystem	Produkte																			
	Standort	●		●																
	Technik																			
	Produktionsabläufe		●																	
	Flüsse		●			●		●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
	Produktionslogistische Abläufe					●														
	Organisation				●		●													
	Planungsgrundlage																			
	Produktionskonzeptplanung																			
	Strukturplanung									●										
	Logistikkonzeptplanung					●														
	Produktionsmittel-dimensionierung						●													
	Personaldimensionierung																			
	Flächendimensionierung		●																	
	Ideallayoutplanung		●																	
	Groblayoutplanung		●																	
	Kostenabschätzung																			
	Feinlayoutplanung		●																	
	Prozessplanung					●														
Arbeitsorganisationsplanung				●																

● Systemübergreifende Abhängigkeit zwischen Fabrikobjekt und Planungsschritt

Abbildung 20: Ausschnitt der entwickelten OP-Matrix (Bussemer 2019)

PP-Matrix

Durch die OP-Matrix können Anwender bei der Auswahl weiterer notwendiger interner Prozessschritte unterstützt werden, die von zuvor ausgewählten Prozessschritten als Eingangsgrößen benötigt werden.

Für das Vorgehen zur Erstellung der PP-Matrix (vgl. Abbildung 21) wurden die bereits im Prozesssystem (AP 1) vollständig erarbeiteten Input- und Outputgrößen der Prozessschritte herangezogen und diejenigen identifiziert, welche von anderen intern durchzuführenden Prozessschritten ausgehen und in weiteren internen Prozessschritten Verwendung finden. Die diese Bedingung erfüllenden Zusammenhänge wurden folglich in der PP-Matrix modelliert. Zusammenhänge, die auf externe Input- oder Outputgrößen abzielen, sind gemäß der oben genannten Zielsetzung für die PP-Matrix nicht von Relevanz.

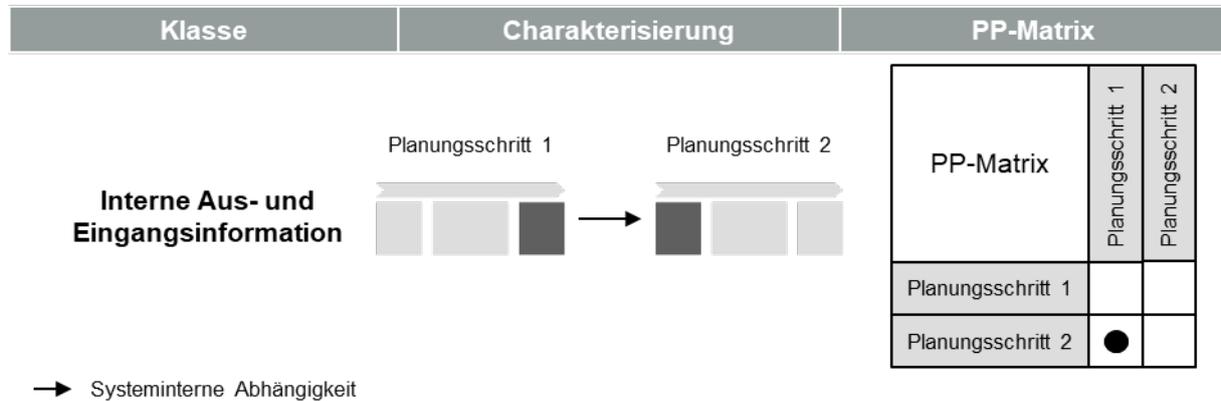


Abbildung 21: Schematische Darstellung der modellierten Abhängigkeiten der PP-Matrix (Bussemer 2019)

Nach einer vollständigen Untersuchung konnten 70 Zusammenhänge der Prozessschritte untereinander identifiziert werden, die in der PP-Matrix modelliert sind. Durch die Möglichkeit der Matrixtransponierung sind die weiteren kehrseitigen Zusammenhänge ebenfalls dargestellt. Durch die Leserichtung ‚Spalte beeinflusst Zeile‘ sind dadurch vor- und nachgelagerte Prozessschritte für den Anwender aus der PP-Matrix abzulesen. Ein exemplarischer Bereich der PP-Matrix ist als DSM in Abbildung 22 dargestellt, wobei die Spalten und Zeilen das Prozesssystem aufführen. Die vollumfängliche PP-Matrix wurde durch BUSSEMER (2019) bereits der Fachöffentlichkeit zugänglich gemacht. Auffällig bei der PP-Matrix ist die hohe Anzahl der Einträge von direkt über der Diagonalen dargestellten Zusammenhängen. Diese sind durch die direkte gegenseitige Beeinflussung von unmittelbar aufeinander folgenden Prozessschritten zu erklären. Gemäß der Leserichtung ‚Spalte beeinflusst Zeile‘ sind für den beispielhaften Prozessschritt ‚Produktionsabläufe‘ die als Eingangsgröße notwendigen Prozessschritte ‚Produkte‘ und ‚Technik‘ abzulesen. Außerdem sind die aus dem Prozessschritt ‚Produktionsabläufe‘ hervorgehenden Outputgrößen zur weiteren Verwendung in den Prozessschritten ‚Flüsse‘ und ‚Planungsgrundlage‘ geeignet.

PP-Matrix		Prozesssystem													
		Produkte	Standort	Technik	Produktionsabläufe	Flüsse	Produktionslogistische Abläufe	Organisation	Planungsgrundlage	Produktionskonzeptplanung	Strukturplanung	Logistikkonzeptplanung	Produktionsmittel-dimensionierung	Datensystemintegration	
Prozesssystem	Produkte	●			●	●	●		●						
	Standort		●						●						
	Technik			●					●						
	Produktionsabläufe	○		○	●	●			●						
	Flüsse	○			○	●			●						
	Produktionslogistische Abläufe	○					●		●			●			
	Organisation							●	●						
	Planungsgrundlage	○	○	○	○	○	○	○	●	●	●	●	●	●	●
	Produktionskonzeptplanung								○	●	●	●	●		
	Strukturplanung								○	○	●	●	●		
	Logistikkonzeptplanung						○		○	○	○	●	●		
	Produktionsmittel-dimensionierung								○	○	○	○	●	●	●

Abhängigkeit zur Identifikation logisch vorgelagerter Planungsschritte
 Transponierte Abhängigkeit zur Identifikation logisch nachgelagerter Planungsschritte

Abbildung 22: Ausschnitt der entwickelten PP-Matrix (Bussemer 2019)

PH-Matrix

Der Anwender kann durch die PH-Matrix die Abschätzung des Ressourcenbedarfs aus angrenzenden Planungsdisziplinen durchführen. Dabei wird auf die zuvor als notwendig ausgewählten Prozessschritte zurückgegriffen.

Das Vorgehen zur Erstellung der PH-Matrix beinhaltet eine paarweise Untersuchung des Prozesssystems und des Handlungssystems (vgl. Abschnitt 3.2) zur Identifikation denkbarer Zusammenhänge. Diese wurden anschließend in einer Diskussion mit dem projektbegleitenden Ausschuss auf ihre Relevanz überprüft. Außerdem wurden die zahlreichen Dokumentationen von vergangenen Fabrikplanungsprojekten des IFA herangezogen. Die so generierte Übersicht der relevanten Zusammenhänge zwischen Prozessschritten (Prozesssystem) und angrenzenden Planungsdisziplinen (Handlungssystem) wurde in die PH-Matrix aufgenommen.

In der PH-Matrix sind für einen Prozessschritt auch mehrere angrenzende Planungsdisziplinen denkbar. Die für die Abschätzung des Ressourcenbedarfs notwendige Kenntnis über die beteiligten Planungsdisziplinen je Prozessschritt ist für jedes Projekt individuell zu bestimmen und wird aus diesem Grund im später folgenden Vorgehensmodell (AP 3) berücksichtigt.

Eine Zuordnung von In- und Outputgrößen des Prozesssystems zu der exemplarischen angrenzenden Planungsdisziplin ‚Architektur/Gebäudeplanung‘ ist in Abbildung 23 dargestellt. Die vollständige Darstellung aller Input- und Outputgrößen zu den angrenzenden Planungsdisziplinen wurde durch BUSSEMER (2019) bereits veröffentlicht.

H1: Architektur/Gebäudeplanung	
<p>Die Schnittstellen zwischen der Fabrikplanung und der Architektur/Gebäudeplanung dienen zur Abstimmung bezüglich räumlicher Restriktionen und Anforderungen sowie zum Abgleich und ggf. zur Anpassung des Flächenangebotes und -bedarfs der Fabrik. Falls notwendig, erfolgt eine gemeinsame Definition erforderlicher Baumaßnahmen und die Ermittlung der entsprechenden Investitionskosten. Darüber hinaus sind ggf. Absprachen bezüglich der Realisierung der durchzuführenden Baumaßnahmen sowie Abstimmungen bei der Auswahl und Dokumentation der Lieferantenleistung zu treffen.</p>	
Informationsabgleich bezüglich:	
<ul style="list-style-type: none"> • Abnahmedokumentation (inkl. Restmängel) • Abschätzung der Investitionskosten • Alle Auswertungen hinsichtlich der Fabrikziele • Ausbau • Außenanlagen • Ausführungspläne der Lieferanten • Ausschreibungsunterlagen • Bauform • Baustelleneinrichtungsplan • Bautagebuch • Bieterliste • Detaillierte Leistungsbeschreibung • Eingeholte Genehmigungen (Baumaßnahmen, BImSchG) • Feinlayout • Flächenbedarf • Freigegebene Ausführungspläne • Funktionale Leistungsbeschreibung 	<ul style="list-style-type: none"> • Gebäudeentwurf • Gebäudeprofil • Generalbebauung • Grundstück • Hülle • Ideale Gebäudehülle • Ideallayout • Kostenberechnung (DIN 276-1) • Kostenfeststellung (DIN 276-1) • Kostenplan • Pflichtenheft (DIN 69905) • Realer Gebäudevorentwurf • Reales Groblayout • Standortprofil • Tatsächlich erbrachte Leistungen • Tragwerk • Umzugsplan • Verdichtete Planungsgrundlage • Vergabepreise

Abbildung 23: Relevante In- und Outputgrößen des Prozesssystems für die angrenzende Planungsdisziplin ‚Architektur/Gebäudeplanung‘ (Bussemer 2019)

Über alle Prozessschritte hinweg konnten 84 Zusammenhänge zu den angrenzenden Planungsdisziplinen in der PH-Matrix abgebildet werden. Ein beispielhafter Bereich der PH-Matrix (DMM) ist in Abbildung 24 abgebildet. Die Spalten der PH-Matrix beinhalten die Prozessschritte des Prozesssystems (P), wohingegen die Zeilen die angrenzenden Planungsdisziplinen des Handlungssystems (H) darstellen. Auch an dieser Stelle sei auf die vollständige Illustration der PH-Matrix nach BUSSEMER (2019) hingewiesen. Durch die Leserichtung ‚Spalte beeinflusst Zeile‘ können hier für Prozessschritte die zu involvierenden angrenzenden Planungsdisziplinen abgelesen werden. Ein exemplarischer Prozessschritt ‚Standort‘ wird gemäß PH-Matrix damit einen Einbezug der angrenzenden Planungsdisziplin ‚Architektur/Gebäudeplanung‘ notwendig machen.

PH-Matrix		Prozesssystem												
		Produkte	Standort	Technik	Produktionsabläufe	Flüsse	Produktionslogistische Abläufe	Organisation	Planungsgrundlage	Produktionskonzeptplanung	Strukturplanung	Logistikkonzeptplanung	Produktionsmittel-dimensionierung	Darstellung
Handlungssystem	Architektur/Gebäudeplanung		●						●					
	Behörden/Gutachter													
	Fachplanung (IT, TGA)			●					●					
	Finanzplanung								●					
	Logistikplanung	●					●		●		●	●		
	Personalplanung							●	●					●
	Produktentwicklung	●							●					
	Prozessplanung	●			●	●			●	●	●			
	Technologieentwicklung			●					●	●			●	
	Unternehmensplanung	●							●					

● Abhängigkeit zwischen einem Planungsschritt und einer angrenzenden Planungsdisziplin

Abbildung 24: Ausschnitt der entwickelten PH-Matrix (Bussemer 2019)

Sobald ein Zusammenhang in der PH-Matrix modelliert wurde, ist im individuellen Fall die Notwendigkeit der Expertise der angrenzenden Planungsdisziplin zu prüfen. Gegebenenfalls kann sogar die Übertragung der Verantwortung an die angrenze Planungsdisziplin in Erwägung gezogen werden. Andererseits ist die Nicht-Modellierung eines Zusammenhangs in der PH-Matrix kein abschließendes Indiz dafür, dass keine Notwendigkeit einer Beteiligung der angrenzenden Planungsdisziplin besteht. Teilweise ist eine Projektbeteiligung trotzdem sinnvoll, kann jedoch in einer reduzierten Form – bspw. durch Workshopbeteiligung auf Basis eines Tages-satzes – umgesetzt werden.

3.4 Arbeitspaket 3: Entwicklung eines Modells für Restrukturierungsprojekte

Ziel: Nach Erarbeitung eines Gesamtsystems der Planungsbestandteile sowie der teilsystem-übergreifenden und -inhärenten Zusammenhänge, sollen KMU befähigt werden, dieses Wissen in eine an den Projektzielen ausgerichtete vollständige Konfiguration ihres Restrukturierungsvorhabens zu überführen. Das Ziel von AP 3 war infolgedessen die Entwicklung eines Vorgehensmodells, welches ausgehend von einer Zieldefinition eine schrittweise Projektkonfiguration unter Berücksichtigung aller für KMU relevanten Restrukturierungselemente (AP 1) mit ihren Abhängigkeiten (AP 2) ermöglicht.

Vorgehen: Um das avisierte Ziel dieses Arbeitspakets zu erreichen, war in Zusammenarbeit mit dem projektbegleitenden Ausschuss gemäß des Systems-Engineering Ansatzes vorzugehen (Zielkonkretisierung, Lösungssuche und Lösungsauswahl; in Anlehnung an Hall 1962).

Nach einer Aufnahme der Anforderungen der KMU an das in diesem Arbeitspaket zu entwickelnde Modell, wurden die notwendigen Rahmenbedingungen festgehalten. In stetem Austausch mit dem projektbegleitenden Ausschuss wurde zunächst ein Vorgehensmodell entwickelt, das die Projektkonfiguration eines aufwendigen Restrukturierungsprojektes von Fertigungs- und Montagebereichen in KMU auch ohne Vorerfahrungen ermöglicht.

Anschließend folgte die Erstellung eines Softwaredemonstrators zur automatisierten Abbildung der aus den vorherigen Arbeitspaketen erarbeiteten Logiken. Dabei stand die praxistaugliche Gestaltung und Anwendbarkeit durch KMU im Fokus und wurde durch den projektbegleitenden Ausschuss kritisch verfolgt. Die eingangs durch die Unternehmen erarbeiteten Anforderungen an das Modell wurden laufend in die Überprüfung des Ergebnisses einbezogen.

Ergebnis: Das Ergebnis dieses Arbeitspakets stellt ein Vorgehensmodell zur Konfiguration von Projekten zur Restrukturierung von Fertigungs- und Montagebereichen vor. Durch Überführung des in den AP 1 und 2 erarbeiteten Grundmodells in ein anwendbares Vorgehensmodell werden KMU befähigt, die erarbeiteten Zusammenhänge in wirtschaftlichen Nutzen zu überführen. Insbesondere der zu entwickelnde Demonstrator erlaubt KMU als Ergebnis einen inhaltlich strukturierten Projektplan unter Einbezug der relevanten angrenzenden Planungsdisziplinen und Berücksichtigung der projekthärenten Zusammenhänge, trotz geringer oder keiner Vorkenntnisse für ein Restrukturierungsprojekt zu erstellen.

Die Ergebnisse dieses Arbeitspakets wurden bereits durch den Projektbearbeiter BUSSEMER (2019) veröffentlicht und werden aus diesem Grund hier in etwas gekürzter Form beschrieben. Nach der Vorstellung des logischen Ablaufs des Vorgehensmodells, wird auf die Inhalte der Teilschritte und deren jeweiligen Bezug zum zuvor in AP 1 und 2 entwickelten Grundsystem dargestellt.

Das Vorgehensmodell gliedert sich in fünf sequentielle Schritte (vgl. Abbildung 25).



Abbildung 25: Schritte im Vorgehensmodell der Projektstrukturierung der Fabrikplanung (Bussemer 2019)

Zur methodischen Durchführung der einzelnen Schritte des Vorgehensmodells wird eine Kombination aus Workshops unter Beteiligung einer breiten Stakeholderauswahl und der Anwendung des später in diesem Schlussbericht vorgestellten Demonstrators gewählt.

Schritt 1: Festlegung der Fabrikziele

Zunächst wird für den konkreten Anwendungsfall die Auswahl, Bewertung und Operationalisierung der Fabrikziele vorgenommen. Hierzu wird das zuvor entwickelte Zielsystem (vgl. Abschnitt 3.2) herangezogen. Als Eingangsgröße für diesen Schritt werden unter anderem die übergeordnete Unternehmensplanung, das Unternehmensumfeld und der Ist-Zustand der Fabrik verwendet. Nach Auswahl der relevanten Fabrikziele, wird dem Anwender durch die ZZ-Matrix (vgl. Abschnitt 3.3) die Feststellung von Zielsynergien oder -konflikten ermöglicht. Die außerdem vorzunehmende Bewertung und Operationalisierung der Fabrikziele hinsichtlich ihrer Gewichtung, ermöglicht später eine Priorisierung in Entscheidungssituationen (vgl. Abbildung 26).

1. Festlegung der Fabrikziele

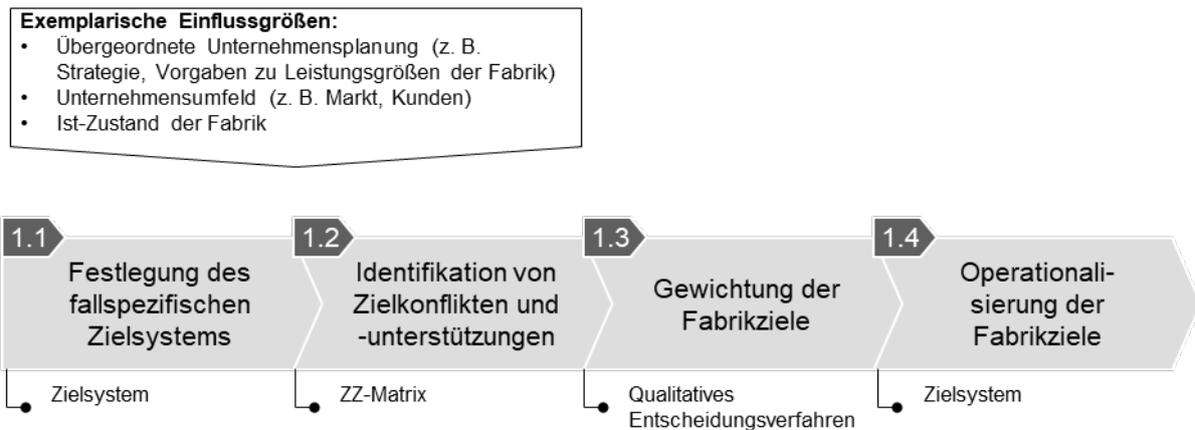


Abbildung 26: Schritte und exemplarische Einflussgrößen bei der Festlegung der Fabrikziele (Bussemer 2019)

Schritt 2: Definition der zu gestaltenden Fabrikobjekte

Im nächsten Schritt des Vorgehensmodells wird durch Zuhilfenahme der ZO-Matrix (vgl. Abschnitt 3.3) die Ableitung der potenziell zu verändernden Fabrikobjekte vorgenommen. Sobald die Ableitung stattgefunden hat, ist durch ein qualitatives Entscheidungsverfahren die Auswahl der Fabrikobjekte zu treffen, die im folgenden Projekt weiter berücksichtigt werden sollen (vgl. Abbildung 27). Die Betrachtung des Kosten- und Nutzenverhältnisses sollte dabei im Vordergrund bei der Auswahl stehen.

2. Definition der zu gestaltenden Fabrikobjekte

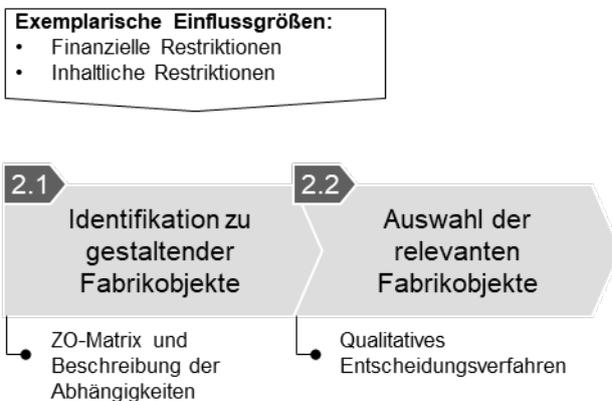


Abbildung 27: Schritte und exemplarische Einflussgrößen bei der Definition der zu gestaltenden Fabrikobjekte (Bussemer 2019)

Da bei einer Neuplanung in der Regel alle Objekte von Grund auf zu gestalten sind, ist für den vorliegenden Fokus auf ein Restrukturierungsprojekt lediglich eine Teilmenge der Fabrikobjekte zu verändern. Das Vorgehensmodell gibt hierzu eine wichtige Hilfestellung zur Verdeutlichung der Abhängigkeiten. Verursacht durch unvollständige oder widersprüchliche Planungsinformationen zum Start eines Projekts ist ein möglichst breit besetztes Team aus involvierten Personen des Unternehmens die Auswahl der Objekte auf Basis einer Aufwand-Nutzen-Abschätzung zu treffen.

Schritt 3: Festlegung der Planungsinhalte

Der dritte Schritt im Vorgehensmodell beinhaltet die Identifikation der notwendigen Planungsinhalte für die zu verändernden Fabrikobjekte sowie die Erstellung eines Projektstrukturplans inklusive der notwendigen Arbeitspakete und Vorgänge. Hierzu kommen die OP-Matrix, die PP-Matrix (vgl. jeweils Abschnitt 3.3) sowie die Beschreibungen des Prozesssystems (vgl. Abschnitt 3.2) zum Einsatz.

3. Festlegung des Planungsinhalte

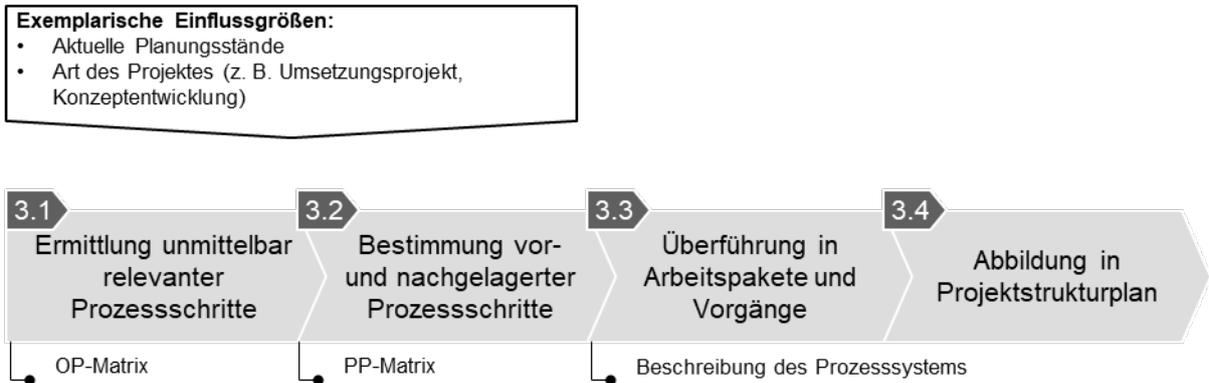


Abbildung 28: Schritte und exemplarische Einflussgrößen bei der Festlegung der Planungsinhalte (Bussemer 2019)

Auf Basis der in den vorherigen Schritten ausgewählten Fabrikobjekte werden durch die OP-Matrix diejenigen Prozessschritte identifiziert, die für die Veränderung der Fabrikobjekte zu durchlaufen sind. Im Anschluss kann mittels PP-Matrix eine Aussage über die ebenfalls notwendigen vor- und nachgelagerten Prozessschritte getroffen werden. Darauf folgt die Überführung der Prozessschritte in Arbeitspakete und Vorgänge sowie schlussendlich in den Projektstrukturplan. Die Darstellung der Vorgänge im Projektstrukturplan ist nicht zwingend erforderlich, kann jedoch für die später folgende Aufwandsabschätzung zur Steigerung der Genauigkeit verwendet werden.

Schritt 4: Abschätzen des Ressourcenbedarfs aus angrenzenden Planungsdisziplinen

Durch den vierten Schritt des Vorgehensmodells (vgl. Abbildung 29) werden die Ressourcenbedarfe der angrenzenden Planungsdisziplinen abgeschätzt. Hierzu wird die PH-Matrix (vgl. Abschnitt 3.3) sowie die Beschreibung des Handlungssystems (vgl. Abschnitt 3.2) verwendet. Durch die dokumentierten Outputgrößen je Prozessschritt kann unter Berücksichtigung des Planungsfalls und der Art des Projektes die Aufwandsabschätzung erfolgen.

4. Abschätzen des Ressourcenbedarfs aus angrenzenden Planungsdisziplinen

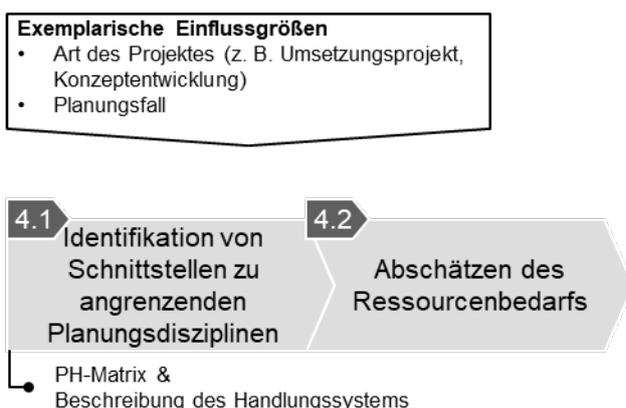


Abbildung 29: Schritte und exemplarische Einflussgrößen bei der Abschätzung des Ressourcenbedarfs aus angrenzenden Planungsdisziplinen (Bussemer 2019)

Während bei einer Neuplanung üblicherweise Ressourcenbedarfe aus allen angrenzenden Planungsdisziplinen zu berücksichtigen sind, muss bei der hier fokussierten Restrukturierung eine individuelle Einschätzung der bereits vorliegenden oder noch zu erarbeitenden Anteile getroffen werden. Außerdem ist die avisierte Planungstiefe (z.B. sehr hoch bei einem Umsetzungsprojekt oder vergleichsweise grob bei einer Konzeptentwicklung) für die Abschätzung des Aufwands von zentraler Bedeutung.

Schritt 5: Abschätzung des Projektaufwandes und der Projektdauer

Im fünften Schritt des Vorgehensmodells (vgl. Abbildung 30) wird unter Zuhilfenahme der Dreipunktschätzung eine Aufwandsprognose sowie eine Abschätzung der Auftretenswahrscheinlichkeit vorgenommen. Die voraussichtliche Projektdauer kann als Folge daraus bestimmt werden.

5. Abschätzung des Projektaufwandes und der Projektdauer

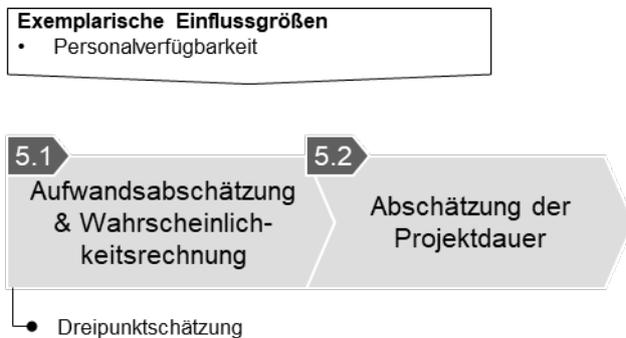


Abbildung 30: Schritte und exemplarische Einflussgrößen bei der Abschätzung des Projektaufwandes und der Projektdauer (Bussemer 2019)

Der Anwender muss als Erstes die abgeschätzten Aufwände der einzelnen Vorgänge, Arbeitspakete oder Bestandteile des Projektstrukturplans vornehmen. Durch die Methode der Dreipunktschätzung (vgl. Abschnitt 2.2) werden optimistische, pessimistische und realistische Einschätzungen aufgenommen und in einen Erwartungswert sowie eine Standardabweichung überführt. Basierend darauf werden die vermutete Projektdauer und ein etwaiger Projektpuffer errechnet.

Demonstrator

Im Rahmen dieses Arbeitspakets wurde neben dem vorgestellten Vorgehensmodell ebenfalls ein Softwaredemonstrator erarbeitet, der die dargestellten Schritte anwenderfreundlich in einer dialogbasierten Oberfläche durchläuft (vgl. Abbildung 31).

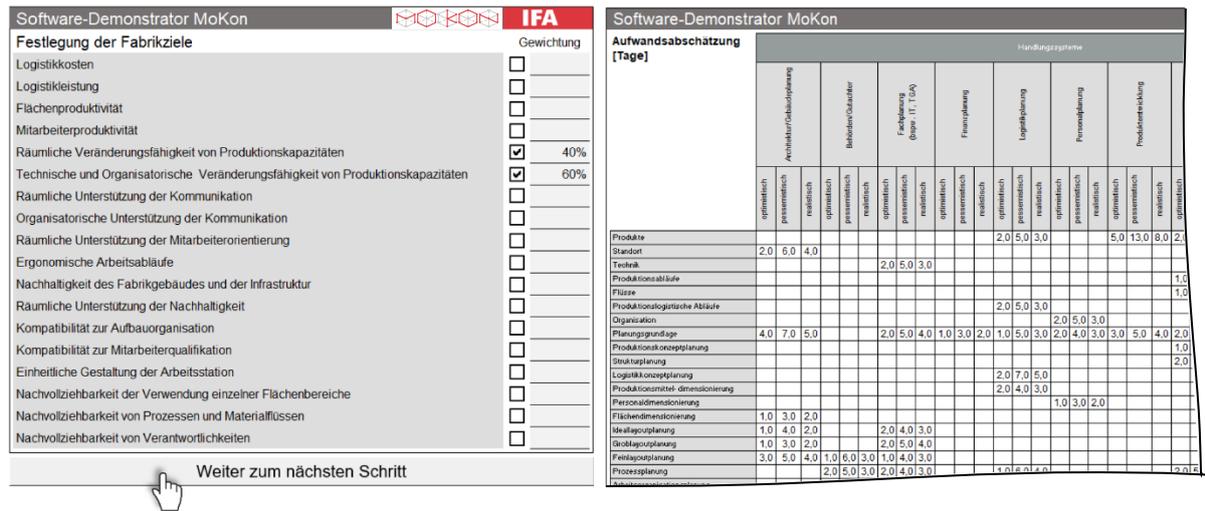


Abbildung 31: Screenshots des Softwaredemonstrators; verfügbar zum Download auf der Projekt-homepage (vgl. Abschnitt 7)

Die Vorstellung des Demonstrators erfolgt hier lediglich anhand dieser Abbildung, da eine ausführliche Schritt-für-Schritt Anleitung mit zahlreichen Screenshots im Rahmen der Leitfadenerstellung des folgenden Arbeitspakets (AP 4) erarbeitet worden ist.

3.5 Arbeitspaket 4: Validierung des Modells und Erstellung eines Leitfadens

Ziel: Aufgrund der intensiven Beteiligung des projektbegleitenden Ausschusses zur Erarbeitung der Ergebnisse der vorangegangenen Arbeitspakete, stand in AP 4 die Überprüfung der Praxistauglichkeit mit den KMU im Fokus. Ziel von AP 4 war daher die Evaluierung und ggf. Anpassung des operationalisierten Modells gemäß den Inputs der Unternehmen im projektbegleitenden Ausschuss. Darüber hinaus sollte ein Leitfaden erstellt werden, der die Anwendung des Demonstrators erläutert.

Vorgehen: Zur Validierung des erarbeiteten Modells sowie des Softwaredemonstrators sind aktuelle Restrukturierungsprojekte der Unternehmen im projektbegleitenden Ausschuss zur Überprüfung herangezogen worden. Diese Restrukturierungsprojekte wurden entweder bei einem Projektausschusstreffen oder in individuellen Treffen zwischen Forschungsinstitut und Unternehmen retrospektiv oder durch aktuelle Projekte untersucht und auf die Ergebnisqualität der Modellergebnisse überprüft. Eine anschließende Diskussion im projektbegleitenden Ausschuss ermöglichte die kritische Reflektion der erzielten Ergebnisse und erlaubte die iterative Anpassung des Modells mit zugehörigem Softwaredemonstrator während der Bearbeitungsdauer des AP 4. Die aus diesen Tätigkeiten hervorgehenden Erkenntnisse wurden in einem Leitfaden dokumentiert, sodass späteren Nutzern eine Anwendung auch ohne Vorwissen ermöglicht wird.

Ergebnis: Der im Folgenden dargestellte Anwendungsfall wurde bereits durch BUSSEMER (2019) ausführlich beschrieben und veröffentlicht, weshalb hier eine in Teilen gekürzte Darstellung erfolgt.

Die hier dargestellte Validierung des Modells wurde bei einem deutschen Produktionsunternehmen für Antriebstechnik und Automation durchgeführt. Die Erzeugnisse des Unternehmens aus Ostwestfalen werden in verschiedenen Branchen eingesetzt (Automotive, Konsumgüter, Intralogistik etc.). Für die Erprobung des Modells kamen drei Standorte zur Produktion und Wiederaufbereitung von Getriebemotoren für den industriellen Einsatz zum Zuge, die im Rahmen einer Restrukturierung der Fertigungs- und Montagebereiche in einem der Werke zusammengeführt werden sollten.

Für die Methodenanwendung zur systematischen Strukturierung des Fabrikplanungsprojektes wurde das Vorgehensmodell aus dem vorherigen Arbeitspaket durchlaufen.

Schritt 1: Festlegung der Fabrikziele

Im ersten Schritt werden die Fabrikziele für das vorliegende Projekt identifiziert und bewertet. Hierfür wird auf das entwickelte Zielsystem zurückgegriffen (vgl. Abschnitt 3.2) und in Zusammenarbeit mit den Unternehmensansprechpartnern sowie in Orientierung an der Unternehmensstrategie und der Ausgangssituation die folgenden Fabrikziele festgelegt:

- Flächenproduktivität
- Logistikkosten
- Räumliche Veränderungsfähigkeit von Produktionskapazitäten
- Räumliche Unterstützung der Kommunikation

Sobald die Fabrikziele festgelegt wurden, konnte durch die ZZ-Matrix (vgl. Abschnitt 3.3) eine Überprüfung der Zielsynergien und Zielkonflikte vorgenommen werden. Die Zielkonflikte konnten in diesem Fall zwischen der räumlichen Unterstützung der Kommunikation und der Flächenproduktivität sowie zwischen der räumlichen Veränderungsfähigkeit von Produktionskapazitäten und der Flächenproduktivität abgelesen werden. Für diese Zielkonflikte ist eine Priorisierung notwendig, die durch eine Punktebewertung der Teilnehmer in eine prozentuale Bewertung der Ziele umgewandelt wurde. Für die spätere Messung der Zielerreichung wurde anschließend eine Operationalisierung der Ziele vorgenommen (vgl. Abbildung 32).

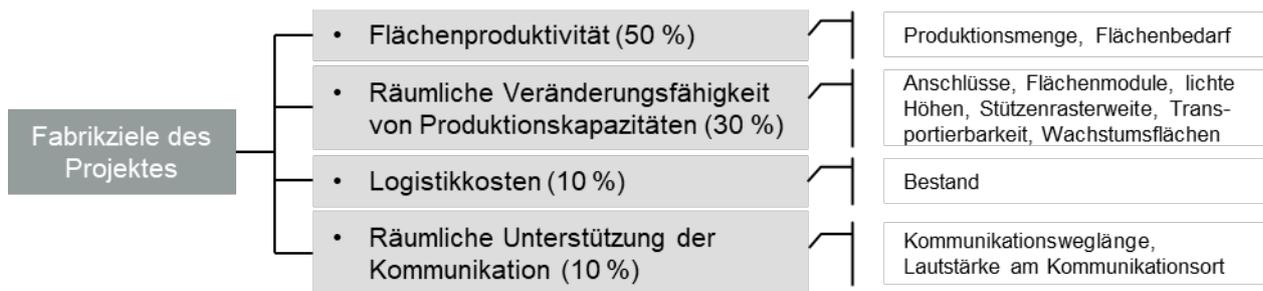


Abbildung 32: Spezifisches Zielsystem im Anwendungsbeispiel mit Gewichtung der Ziele (Bussemer 2019)

Schritt 2: Definition der zu gestaltenden Fabrikobjekte

Anschließend konnten im zweiten Schritt mithilfe der ZO-Matrix (vgl. Abschnitt 3.3) die von den Fabrikzielen ausgehenden Fabrikobjekte abgelesen werden (vgl. Abbildung 33).

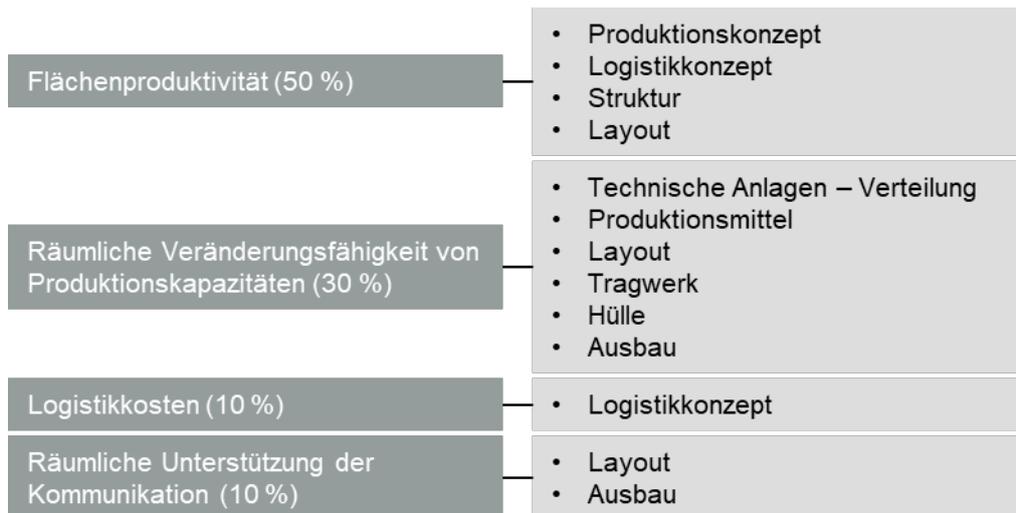


Abbildung 33: Mithilfe der ZO-Matrix identifizierte Fabrikobjekte im Anwendungsbeispiel (Bussemer 2019)

Zur Einschätzung des Nutzens der weiteren Berücksichtigung der Fabrikobjekte wurde eine Aufwand-Nutzen-Bewertung durch die Teilnehmer auf einer dreistufigen Skala durchgeführt (vgl. Abbildung 34). Dabei wurden solche Fabrikobjekte, die ein ähnliches Aufwand-Nutzen-Verhältnis aufweisen, in Clustern zusammengefasst.

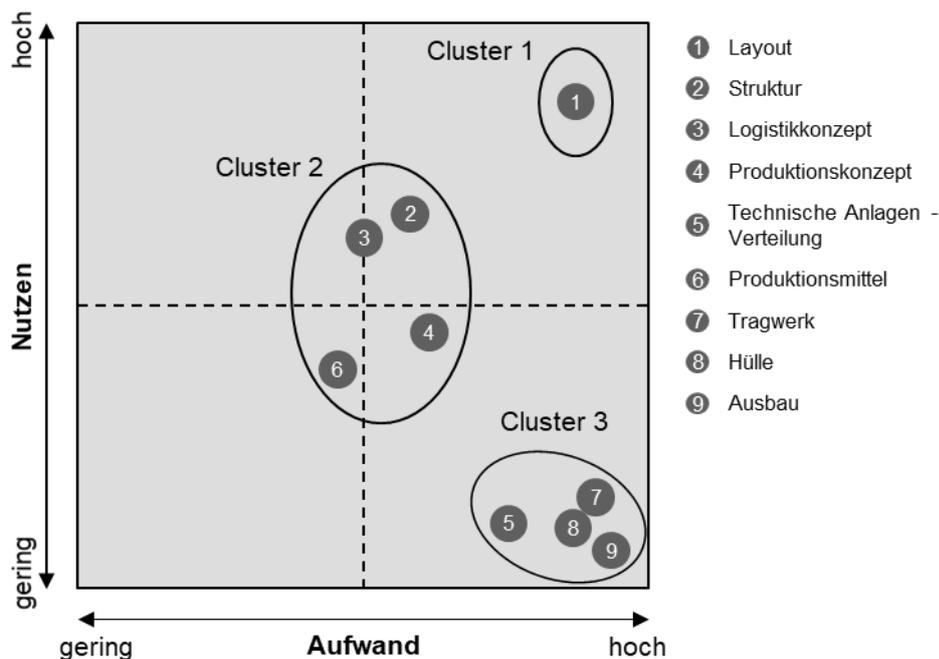


Abbildung 34: Gesamtergebnis der qualitativen Aufwand-Nutzen-Analyse (Bussemer 2019)

Der Cluster 1 zeichnet sich durch einen hohen Aufwand, jedoch auch einen hohen Nutzen aus. Das Fabrikobjekt Layout scheint damit für die weitere Betrachtung im Projektverlauf den höchsten Nutzen für die Zielerreichung der ausgewählten Ziele aufzuweisen. Hinzuweisen ist jedoch auf den oben dargestellten Zielkonflikt mit der Flächenproduktivität.

Die ebenfalls intuitiv aus dem Projektauftrag abzuleitende zentrale Relevanz des Fabrikobjekts Layout für die weitere Projektbearbeitung konnte somit durch das Vorgehen bestätigt werden.

Der Cluster 2 ist charakterisiert durch einen mittleren Aufwand, bei einem mittleren Nutzen. Um die spätere Projektumsetzung in einem verträglichen Rahmen zu halten, werden die Fabrikobjekte Produktionskonzept und Produktionsmittel im Konsens von der Gestaltung ausgeschlossen. Darüber hinaus wurde das Logistikkonzept auf die Ausgestaltung des Lagerkonzepts und des internen Transportkonzepts eingegrenzt.

Cluster 3 lässt einen hohen Aufwand bei gleichzeitig geringem Nutzen erwarten. Aufgrund dieser Paarung wurden die Fabrikobjekte dieses Clusters von der weiteren Bearbeitung ausgeschlossen.

Eine Übersicht über den resultierenden Objektstrukturplan wird durch Abbildung 35 geboten. Ausgewählte relevante Fabrikobjekte zweiter Ordnung sind zur Verdeutlichung hier ebenfalls dargestellt. Die als nicht zu gestaltende Fabrikobjekte dargestellten Einträge sind im Folgenden als Planungsrestriktion zu werten.

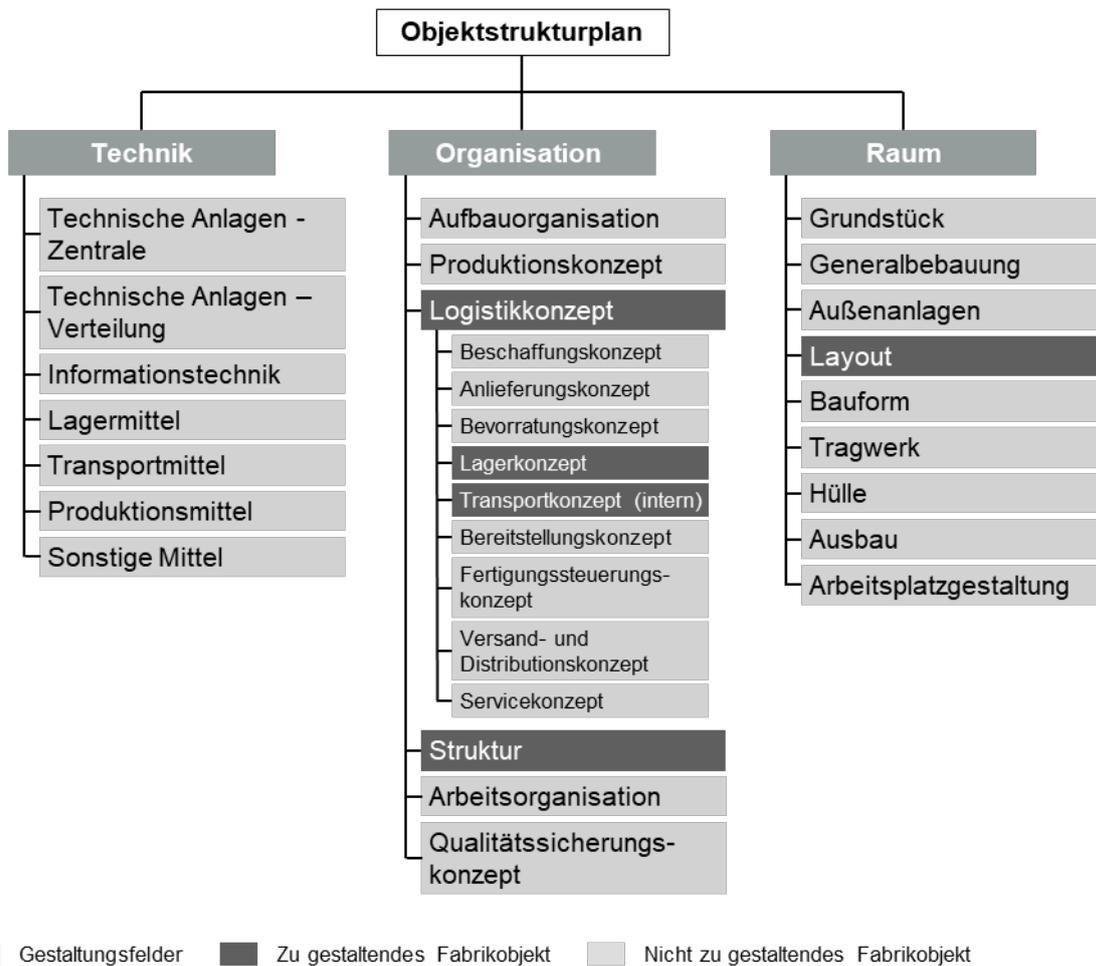


Abbildung 35: Objektstrukturplan im Anwendungsbeispiel (Bussemer 2019)

Schritt 3: Festlegung der Planungsinhalte

Im dritten Schritt wird durch die OP-Matrix (vgl. Abschnitt 3.3) der Zusammenhang zwischen denen als relevant identifizierten Fabrikobjekten aus dem vorherigen Schritt und den Prozessschritten abgelesen (vgl. Tabelle 1).

Tabelle 1: Mittels der OP-Matrix identifizierte Prozessschritte im Anwendungsbeispiel (Bussemer 2019)

Fabrikobjekt	Prozessschritte
Struktur	Produktionsabläufe, Flüsse, Strukturplanung, Prozessbeschreibung
Logistikkonzept	Produktionslogistische Abläufe, Logistikkonzeptplanung
Layout	Produktionsabläufe, Flüsse, Flächendimensionierung, Ideallayout, Groblayout, Feinlayout

Anschließend wurde die Bedeutung der abgelesenen Prozessschritte zusammen mit den daraus hervorgehenden Outputgrößen für die Veränderung der Fabrikobjekte und folglich die Erreichung der Fabrikziele besprochen. Dazu wurden die Prozesskarten (vgl. Abschnitt 3.2) konsultiert. Basierend auf den unterschiedlichen Detaillierungsgraden der zu erwartenden Ergebnisse wurden einige Prozessschritte für die weitere Bearbeitung ausgeschlossen.

Die resultierenden Prozessschritte des Validierungsfalls wurden anschließend in einen Projektstrukturplan überführt (vgl. Abbildung 36). Die Prozessschritte werden dabei durch die Arbeitspakete repräsentiert, wohingegen die Outputgrößen als Vorgänge dargestellt werden. Eine übergeordnete Gliederung des Projektstrukturplans wurde durch die vier Phasen des Prozesssystems (vgl. Abschnitt 3.2) vorgenommen. Die Teilaufgabe Projektmanagement wird aus Gründen der Übersichtlichkeit aggregiert dargestellt.

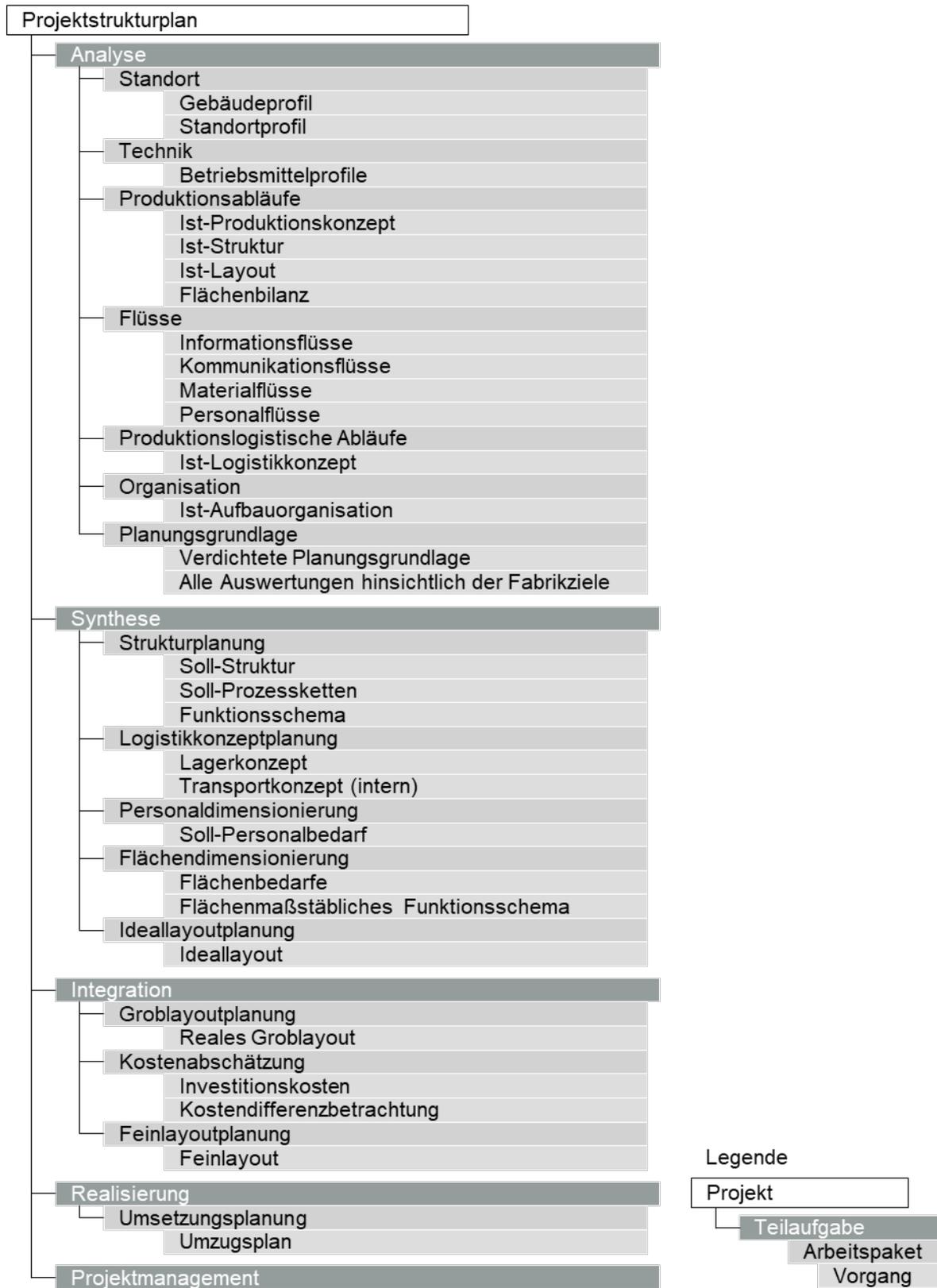


Abbildung 36: Vollständige Gliederung des Projektstrukturplans (Listendarstellung) im Anwendungsbeispiel (Bussemer 2019)

Schritt 4: Abschätzen des Ressourcenbedarfs aus angrenzenden Planungsdisziplinen

Im vierten Schritt werden durch die PH-Matrix (vgl. Abschnitt 3.3) zuerst für alle Prozessschritte des Projektstrukturplans die Zusammenhänge zu den angrenzenden Planungsdisziplinen abgelesen. Die grundsätzlichen binären (vorhandenen / nicht vorhandenen) Ressourcenbedarfe der angrenzenden Planungsdisziplinen für die jeweiligen Arbeitspakete sind in der Abbildung 37 dargestellt. Zur Steigerung der Übersichtlichkeit wurde auf die Abbildung der Vorgänge an dieser Stelle verzichtet.

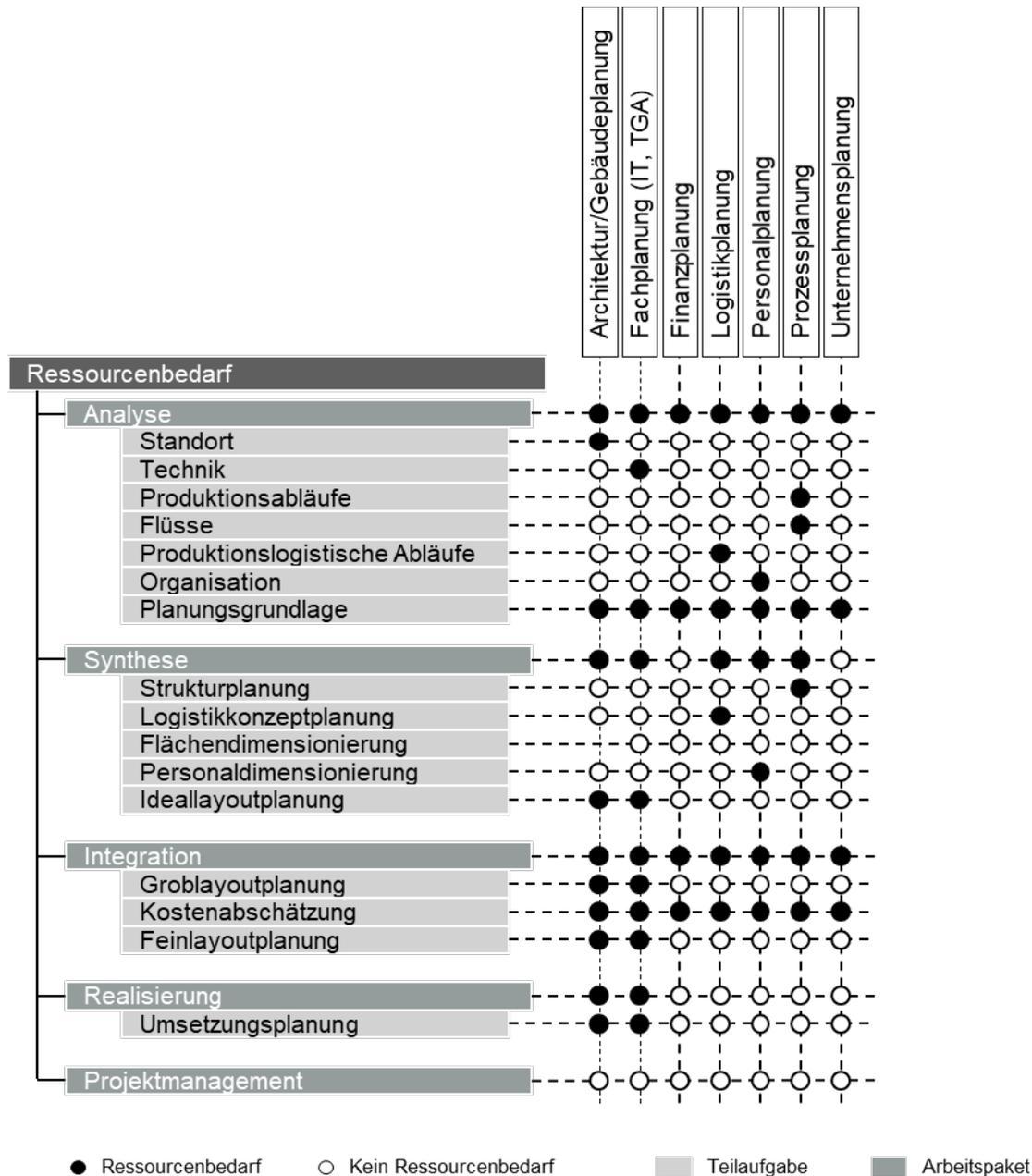


Abbildung 37: Abgeschätzter Ressourcenbedarf aus angrenzenden Planungsdisziplinen im Anwendungsbeispiel (Bussemer 2019)

Schritt 5: Abschätzung des Projektaufwandes und der Projektdauer

In Schritt fünf findet die quantitative Bewertung des Projektaufwandes für die im Projekt beteiligten Personen statt. Die Aufwandsabschätzung erfolgte in Personentagen (PT) durch eine Dreipunktschätzung (vgl. Abschnitt 2.2). Das Ergebnis der Abschätzung des Projektaufwandes

des ist in Tabelle 2 dargestellt. Die Errechnung des Erwartungswertes (E) und der Standardabweichung (S) erfolgt direkt in den entsprechenden Spalten. Außerdem findet sich die Summe der geschätzten Aufwände und des Erwartungswertes. Detaillierte Angaben zur Berechnung und den dazugehörigen Formeln finden sich bei BUSSEMER (2019).

Tabelle 2: Abschätzung des Projektaufwandes mithilfe der Dreipunktschätzung (Bussemer 2019)

Arbeitspakete _i	a _i	b _i	c _i	E _i	S _i
Standort	0,5	2,5	1,0	1,2	0,3
Technik	2,0	4,0	2,5	2,7	0,3
Produktionsabläufe	3,0	5,0	4,0	4,0	0,3
Flüsse	3,0	5,0	4,0	4,0	0,3
Produktionslogistische Abläufe	3,0	5,0	4,0	4,0	0,3
Organisation	0,5	2,5	0,5	0,8	0,3
Planungsgrundlagen	1,0	4,0	2,0	2,2	0,5
Strukturplanung	9,0	12,0	10	10,2	0,5
Logistikkonzeptplanung	3,0	8,0	4,0	4,5	0,8
Flächendimensionierung	4,0	8,0	6,0	6,0	0,7
Personaldimensionierung	0,5	1,5	1,0	1,0	0,2
Ideallayoutplanung	4,0	8,0	5,0	5,3	0,7
Groblayoutplanung	4,0	8,0	5,0	5,3	0,7
Kostenabschätzung	0,5	4,0	2,0	2,1	0,6
Feinlayoutplanung	4,0	8,0	6,0	6,0	0,7
Umsetzungsplanung	1,0	3,0	2,0	2,0	0,3
Projektmanagement	4,0	10	6,0	6,3	1,0
Summe	47,0	98,5	65,0	67,6	-

I: Index; a: optimistischer Wert; b: pessimistischer Wert; c: realistischer Wert; E: Erwartungswert; S: Standardabweichung

Aus der Summenzeile ist ersichtlich, dass der Gesamtaufwand für das Projekt im realistischen Fall auf 65,0 PT, im optimistischen Fall auf 47,0 PT und im pessimistischen Fall auf 98,5 PT geschätzt wurde. Der Erwartungswert liegt demzufolge bei 67,6 mit einer Standardabweichung von 2,3 PT.

Als Resultat wurde der zu erwartende Projektaufwand mit 72,0 PT abgeschätzt. Dies beinhaltet einen zeitlichen Puffer von 4,4 PT, der auf der Standardabweichung in Höhe von 1,96 fußt. Durch den Puffer können Ungenauigkeiten bei der Aufwandsschätzung (bspw. durch Mehraufwände) ausgeglichen werden. In Konsequenz ist das Projekt innerhalb von 72,0 PT mit einer Wahrscheinlichkeit von 95 % realisierbar.

Die erwartete Projektbearbeitungszeit konnte dementsprechend wie folgt abgeschätzt werden. Ein Projektleiter übernimmt die Tätigkeiten des Projektmanagements (6,3 PT), sodass die restlichen Tätigkeiten (65,7 PT, inkl. Puffer) auf zwei Projektmitarbeiter aufgeteilt werden können. Aus dem Projektaufwand von 65,7 PT konnte durch den Einsatz von zwei Mitarbeitern mit einer Verfügbarkeit von 60 % eine Projektbearbeitungszeit von ~ 33 PT respektive ~ 11 Wochen errechnet werden.

Leitfaden

Der im Zuge der Modellvalidierung erarbeitete Leitfaden für den Softwaredemonstrator ist allen interessierten Personenkreisen auf der Projekthomepage (<http://www.ifa.uni-hannover.de/mokon.html>) als PDF zugänglich gemacht worden (vgl. Abschnitt 7). Aus diesem Grund wird an dieser Stelle von einer ausführlichen Darstellung abgesehen und lediglich in

Abbildung 38 das grundsätzliche Erscheinungsbild und der Aufbau des Leitfadendokuments verdeutlicht.

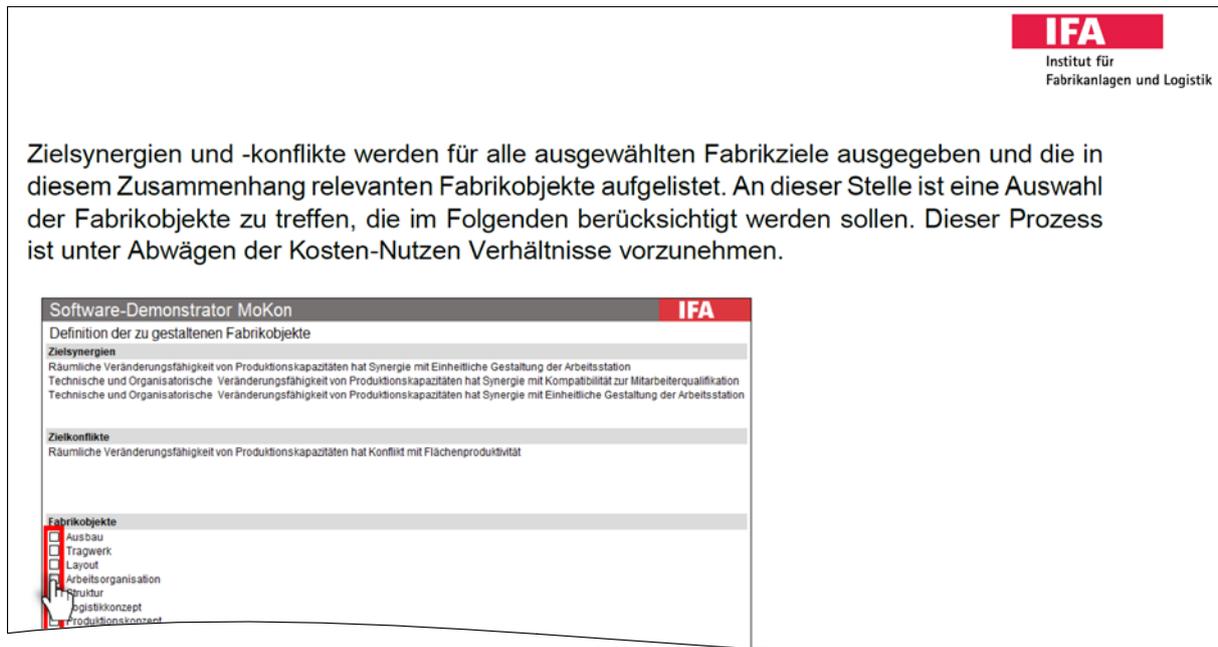


Abbildung 38: Screenshots des Leitfadens; verfügbar zum Download auf der Projekthomepage (vgl. Abschnitt 7)

3.6 Arbeitspaket 5: Dokumentation und Verbreitung der Ergebnisse

Ziel: Um die erzielten Ergebnisse einem möglichst breiten Publikum von KMU, wirtschaftlicher Praxis und wissenschaftlicher Fachöffentlichkeit zugänglich zu machen, wurden die Projektergebnisse dokumentiert, veröffentlicht und inkl. Softwaredemonstrator auf einer Webseite zugänglich gemacht.

Vorgehen: Für die Dokumentation der Ergebnisse des Forschungsprojekts wurden die Vorgaben des Förderers eingehalten. Darüber hinaus wurden die erzielten Resultate in praxisnahen Fachzeitschriften publiziert, in Fabrikplanungsseminaren für Führungskräfte vorgestellt und in der Hochschullehre als Bestandteil der Vorlesung Fabrikplanung platziert. Weiterhin wurden Vorstellungen auf Fachkonferenzen vorgenommen und die Erweiterung der VDI-Richtlinie 5200 angestrebt, indem eine Teilnahme am Fachausschuss Fabrikplanung des VDI sichergestellt wurde. Die Internetseite des IFA wurde durch eine Publikationsliste sowie einen dauerhaften barrierefreien Zugang zu den Projektergebnissen inkl. Softwaredemonstrator erweitert. Dadurch wird interessierten KMU auch nach Projektbeendigung die Nutzung der Projektergebnisse ermöglicht und bei der Einnahme einer Multiplikatorrolle geholfen.

Ergebnis: Ergebnisse dieses Arbeitspakets umfassen die Dokumentation der Projektergebnisse entsprechend der Auflagen des Förderers (in Form dieses Schlussberichts) sowie die darüberhinausgehende Verbreitung der Ergebnisse über die bei der Beantragung des Vorhabens benannten Kanäle. Darüber hinaus sind die wesentlichen Projektergebnisse auf der Projekthomepage einsehbar (<http://www.ifa.uni-hannover.de/mokon.html>). Durch die hohe Relevanz der in diesem Arbeitspaket erzeugten Resultate für den Ergebnistransfer in die Wirtschaft, wird an dieser Stelle auf die ausführlichere Darstellung in dem entsprechenden Abschnitt 7 dieses Schlussberichts verwiesen. Dort werden die Veröffentlichungen in Fachzeitschriften, Konferenzbeiträge, erstellte studentische Abschlussarbeiten, die im Rahmen des Projektes erstellte Dissertation sowie sonstige Dokumentations- und Publikationstätigkeiten abschließend aufgeführt.

4 Ergebnistransfer in die Wirtschaft

Erste Schritte zum Ergebnistransfer sind bereits während der Projektlaufzeit durchgeführt worden. Weitere Maßnahmen zur Verwertung und Verbreitung der Projektergebnisse sind noch im Anschluss an das Projekt vorgesehen.

Die starke Einbindung des projektbegleitenden Ausschusses spiegelte sich in der attestierten hohen Praxisrelevanz und der vielseitigen Weiterverwendung der Projektergebnisse in den beteiligten Unternehmen wider. Während der Projektdurchführung wurden die (Zwischen-)Ergebnisse laufend in den Projektausschusstreffen sowie gegenüber weiteren interessierten Unternehmen bekannt gemacht. Dadurch konnte zum einen ein erster Wissenstransfer in die Wirtschaft angestoßen und zum anderen wichtiger Input für die Modellerstellung gewonnen werden. Die Umsetzbarkeit der Ergebnisse ist damit zu jeder Zeit gewährleistet gewesen. Da neben KMU auch zwei größere Unternehmen zum projektbegleitenden Ausschuss zählten, konnten ebenfalls bereits Multiplikatoren mit großer Reichweite gewonnen werden. Durch die Insolvenz eines beteiligten Unternehmens hat sich während des Projektverlaufs zwar der Unternehmensname verändert, jedoch konnten die involvierten Mitarbeiter auch nach der Neugründung mit neuem Unternehmensnamen die Projektbeteiligung sicherstellen (Details siehe Tabelle).

Die Mitglieder des projektbegleitenden Ausschusses sind in der Tabelle 3 aufgeführt:

Tabelle 3: Mitglieder des projektbegleitenden Ausschusses

Unternehmen	kmU
INTORQ GmbH& Co. KG	X
Heinz Schwarz GmbH& Co. KG	
Andreas Schlüter Maschinenbau GmbH	X
Grean GmbH	X
Bünemann & Kollegen	X
Sartorius AG	
Laserworking Garbsen GmbH (nach Insolvenz BKB Hannover GmbH)	X
BKB Hannover GmbH (zuvor Laserworking Garbsen GmbH)	X

Tabelle 4: Plan zum Ergebnistransfer in die Wirtschaft (spezifische durchgeführte und geplante Transfermaßnahmen)

Maßnahme	Ziel	Rahmen	Zeitraum
Im Berichtszeitraum umgesetzte Transfermaßnahmen			
Projektbegleitender Ausschuss	Sicherstellung der Ausrichtung an KMU-Anforderungen	Arbeitsreffen am IFA und bei den Unternehmen vor Ort (PA-Sitzungen)	3/2017 – 9/2018
		Rücksprachen mit PA-Mitgliedern nach Abschluss von Arbeitspaketen (Quality-Gates)	1/2018 – 9/2018
		Abschlussevaluation bei den PA-Mitgliedern)	9/2018
		Abschließende Vorstellung der erzielten Ergebnisse	9/2018
Anfertigung und Veröffentlichung von Zwischenberichten	Verbreitung und Vermittlung von Teilergebnissen zur Sicherstellung der Vorwettbewerblichkeit	Internetseiten des Projekts http://www.ifa.uni-hannover.de/mokon.html	seit 2/2017
Publikation von Teilergebnissen in Fachzeitschriften	Verbreitung und Vermittlung von Teilergebnissen zur Sicherstellung der Vorwettbewerblichkeit	Veröffentlichung: Bussemer, F.; Herberger, D.; Richter, L.: Konfiguration von Fabrikplanungsprojekten in KMU. In: ZWF Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb. 112 (2017) 4. S: 215-217	4/2017
		Veröffentlichung: Bussemer, F.; Herberger, D.; Nyhuis, P.: Configuration Elements for Restructuring Manufacturing and Assembly Areas. In: Review of Business and Finance Studies. 9 (2018) 1. S. 95–101	1/2018
		Veröffentlichung: Bussemer, F.; Schmitz, J.; Nyhuis, P.: Projektkonfiguration in der Fabrikplanung. In: wt Werkstatttechnik online. 108 (2018) 4. S. 240-244	4/2018
Teilnahme an Messen und Fachkonferenzen	Vorstellung der Teilergebnisse vor und Diskussion mit Fachpublikum	Teilnahme an: Fachkongress Fabrikplanung Hannover Messe Industrie (HMI) Global Conference on Business and Finance (GCBF)	4/2017 – 04/2018
Beispielhafte Anwendung der Ergebnisse in der Industrie	Verbesserung und Validierung der Teilergebnisse	Unternehmen des PA und weitere Interessenten – siehe vDL-Bögen sowie Arbeitspaket 4	7-9/2018

Maßnahme	Ziel	Rahmen	Zeitraum
Im Berichtszeitraum umgesetzte Transfermaßnahmen (Fortsetzung)			
Bereitstellung des Demonstrators sowie des Leitfadens	Diskriminierungsfreier Ergebnistransfer in die wirtschaftliche Praxis	Internetseiten des Projekts: http://www.ifa.uni-hannover.de/mokon.html	9/2018
Weiterbildung während der Projektlaufzeit	Akademische Ausbildung	Betreuung der Masterarbeit: „Standardisierte Planungsabläufe in der Fabrikplanung für KMU“	1/2017
		Betreuung der Masterarbeit: „Entwicklung eines Konzeptes für eine Methode zur Konfiguration von Reorganisationsprojekten in KMU“	5/2017
		Betreuung der Bachelorarbeit: „Entwicklung einer Methode zur kompetenzbasierten Zusammenstellung von Fabrikplanungsteams“	9/2017
		Betreuung der Masterarbeit: „Entwicklung einer Methode zur Auswahl standardisierter Planungsaufgaben in der Fabrikplanung“	9/2017
Nach dem Berichtszeitraum geplante Transfermaßnahmen			
Anfertigung und Veröffentlichung eines Endberichts	Dokumentation und Verbreitung der Ergebnisse an die Öffentlichkeit	Internetseiten des IFA und der GVB e. V.	voraussichtlich 3/2019
Integration der Ergebnisse in das institutseigene Seminarangebot	Vermittlung der Ergebnisse an Mitarbeiter und Führungskräfte aus kmU	IFA Lernfabrik (2014 eröffnet). Aufnahme in die Schulung „Praxisseminar Fabrikplanung“ sowie „Werkzeugkasten der Fabrikplanung“	voraussichtlich 4/2019
Einbringung der Ergebnisse in VDI-Arbeitstreffen	Weiterentwicklung der VDI-Richtlinie 5200 „Fabrikplanung“	VDI-Fachausschuss Fabrikplanung. Als regelmäßiger Teilnehmer ist das IFA in der Lage einen Vortrag zu diesem Thema auf der Tagesordnung zu platzieren.	voraussichtlich 11/2019
Weiterbildung während der Projektlaufzeit	Akademische Ausbildung	Erstellung der Dissertation: Bussemer, Felix (2019): Methode zur systematischen Strukturierung von Fabrikplanungsprojekten. Garbsen: PZH Produktionstechnisches Zentrum (2019,1).	2/2019

5 Durchführende Forschungsstelle

Das Forschungsprojekt „Modellbasierte Konfiguration von Projekten zur Restrukturierung von Fertigungs- und Montagebereichen in KMU (MoKon)“ wurde über die gesamte Laufzeit von der Forschungsinstitution IFA - Institut für Fabrikanlagen und Logistik (IFA) bearbeitet. Verantwortlich für die Projektleitung bei der Forschungsstelle war die Fachgruppe Fabrikplanung. Dadurch wurde sichergestellt, dass jahrelange fabrikplanerische und organisatorische Erfahrungen in die Projektergebnisse einfließen.

Forschungsstelle:

IFA – Institut für Fabrikanlagen und Logistik
An der Universität 2
30823 Garbsen

Leiter der Forschungsstelle

Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. Peter Nyhuis
Institutsleitung
An der Universität 2, 30823 Garbsen
Tel: 0511 762 3390

Projektbearbeiter

Zeitraum 01.02.2017 bis 15.06.2018

Dipl.-Ing. Felix Bussemer

Wissenschaftlicher Mitarbeiter der Fachgruppe Fabrikplanung des IFA

An der Universität 2, 30823 Garbsen

Tel: 0511 762 2440

Email: office@ifa.uni-hannover.de

Zeitraum 01.08.2018 bis 30.09.2018

Lars Nielsen M.Sc.

Wissenschaftlicher Mitarbeiter der Fachgruppe Fabrikplanung des IFA

An der Universität 2, 30823 Garbsen

Tel: 0511 762 2440

Email: office@ifa.uni-hannover.de

6 Literaturverzeichnis

- Aggteleky, Béla (1981): Fabrikplanung. Werksentwicklung und Betriebsrationalisierung. 2., durchges. Aufl. der Neuausg. München [u.a.]: Hanser.
- Andersch, T.; Jugel, S. (2004): Unternehmensrestrukturierung durch Private Equity-Häuser. Ergebnisse einer empirischen Vollerhebung. In: Volker Brühl und Burkard Göpfert (Hg.): Unternehmensrestrukturierung. Strategien und Konzepte. Stuttgart: Schäffer-Poeschel, S. 131–148.
- Bartlett, John (2004): Project Risk Analysis and Management Guide. PRAM. 2. ed., repr. Buckinghamshire: APM Publishing Limited; APM Publishing.
- Bea, Franz Xaver; Scheurer, Steffen; Hesselmann, Sabine (2008): Projektmanagement. Stuttgart: Lucius & Lucius (Grundwissen der Ökonomik Betriebswirtschaftslehre, 2388).
- Brieke, Michael (2009): Erweiterte Wirtschaftlichkeitsrechnung in der Fabrikplanung. Garbsen: PZH, Produktionstechn. Zentrum (Berichte aus dem IFA, 2009, 1).
- Bussemer, Felix (2019): Methode zur systematischen Strukturierung von Fabrikplanungsprojekten. Garbsen: PZH Produktionstechnisches Zentrum (Berichte aus dem IFA, 2019,1).
- Bussemer, Felix; Herberger, David; Nyhuis, Peter (2018a): Configuration Elements for Restructuring Manufacturing and Assembly Areas. In: The Institute for Business and Finance Research, LLC (Hg.): Review of Business & Finance Studies. Unter Mitarbeit von Terrance Jalber und Mercedes Jalbert. 9. Aufl. (1), S. 95–101.
- Bussemer, Felix; Herberger, David; Richter, Lukas (2017): Konfiguration von Fabrikplanungsprojekten in KMU. In: *ZWF* 112 (4), S. 215–217.
- Bussemer, Felix; Schmitz, Jan; Nyhuis, Peter (2018b): Projektkonfiguration in der Fabrikplanung. In: *wt Werkstatttechnik online* 109 (4), S. 240–244.
- Claussen, Peter (2012): Die Fabrik als soziales System. Wandlungsfähigkeit durch systemische Fabrikplanung und Organisationsentwicklung – ein Beispiel aus der Automobilindustrie. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden.
- Danilovic, Mike; Browning, Tyson R. (2007): Managing complex product development projects with design structure matrices and domain mapping matrices. In: *International Journal of Project Management* 25, S. 300–314.
- Dombrowski, Uwe; Hennersdorf, Sibylle; Palluck, Markus (2007): Die wirtschaftliche Bedeutung der Fabrikplanung am Standort Deutschland. In: *ZWF Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb* 102 (1-2), S. 14–18.
- Edelmann, Christina; Aslanidis, Stephanie; Schraft, Rolf Dieter; Bierschenk, Sabine; Kuhlmann, Timm; Müller, Cornel (2003): PI@Net. Integrierte Gestaltung der Produkt- und Produktionentstehung. In: *Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb: ZWF* 98 (6), 297-282, zuletzt geprüft am 28.01.2017.
- Ekker, Reinhard (2015): Steigerung der Mitarbeiterproduktivität. Die Wirkungskette zwischen der Mitarbeiterzufriedenheit und der Produktivität von Produktionsmitarbeitern. Hamburg: Diplomica Verlag GmbH.
- VDI-Richtlinie 5200, 2011: Fabrikplanung Planungsvorgehen, zuletzt geprüft am 24.01.2018.
- Felix, Herbert (1998): Unternehmens- und Fabrikplanung. Planungsprozesse, Leistungen und Beziehungen. 1. Aufl. München: Hanser (REFA-Fachbuchreihe Betriebsorganisation).
- Forrester, Jay Wright (1961): Industrial dynamics. Mansfield Centre, Conn.: Martino Publ.
- Gasco, Lou (2013): A Project manager's guide to the top 10 obstacles to project success. [S.I.]: Lulu Com.

- Goodpasture, John C. (2003): Quantitative Methods in Project Management. Fort Lauderdale: J. Ross Publishing.
- Grundig, Claus-Gerold (2018): Fabrikplanung. Planungssystematik - Methoden - Anwendungen: Carl Hanser Verlag GmbH & Company KG.
- Haberfellner, Reinhard; Weck, Olivier de; Fricke, Ernst; Vössner, Siegfried (2012): Systems Engineering. Grundlagen und Anwendung. 12., völlig neu bearbeitete und erweiterte Auflage. Zürich: Orell Füssli Verlag AG.
- Hall, A. D. (1962): A Methodology for Systems Engineering. Princeton, N. J.: Van Nostrand.
- Heger, Christoph Lutz (2007): Bewertung der Wandlungsfähigkeit von Fabrikobjekten. Hannover: PZH Produktionstechn. Zentrum (Berichte aus dem IFA, 2007,1), zuletzt geprüft am 28.01.2017.
- Hernández Morales, Roberto (2003): Systematik der Wandlungsfähigkeit in der Fabrikplanung. Zugl.: Hannover, Univ., Diss., 2002. Als Ms. gedr. Düsseldorf: VDI-Verl. (Fortschritt-Berichte VDI Reihe 16, Technik und Wirtschaft, 149).
- Hilchner, Rick (2012): Typenorientiertes Lösungsraum-Management in der Fabrikplanung. Zugl.: Aachen, Techn. Hochsch., Diss., 2012. 1. Aufl. Aachen: Apprimus-Verl. (Edition Wissenschaft Apprimus, 2012,13).
- Hoekstra, Sjoerd; Romme, Jac (Hg.) (1992): Integral logistic structures. Developing customer-oriented goods flow. London, New York: McGraw-Hill.
- Jakoby, Walter (2015): Projektmanagement für Ingenieure. Ein praxisnahes Lehrbuch für den systematischen Projekterfolg. 3., aktualisierte und erw. Aufl. Wiesbaden: Springer Vieweg.
- Jørgensen, Hans Henrik; Owen, Lawrence; Neus, Andreas (2008): Making change work. IBM Global Service. Somers, NY. Online verfügbar unter <http://www-935.ibm.com/services/us/gbs/bus/pdf/gbe03100-usen-03-making-change-work.pdf>.
- Kettner, Hans; Schmidt, Jürgen; Greim, Hans-Robert (2010): Leitfaden der systematischen Fabrikplanung. Mit zahlreichen Checklisten. Unveränd. Nachdr. der Ausg. 1984. München: Hanser.
- Köbler, Jürgen; Pleuler, Matthias (2011): Digitale Fabrikplanung bei KMUs. In: *IAF, Beiträge aus Forschung und Technik*, S. 105–107.
- Kuster, Jürg; Huber, Eugen; Lippmann, Robert; Schmid, Alphons; Schneider, Emil; Witschi, Urs; Wüst, Roger (2011): Handbuch Projektmanagement. 3. Auflage. Berlin Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg; Springer.
- DIN ISO 21500, 2016: Leitlinien Projektmanagement (ISO 21500:2012).
- Lindemann, Udo; Maurer, Mike; Braun, Thomas; Maurer, Maik (2009): Structural Complexity Management. An Approach for the Field of Product Design. Berlin Heidelberg: Springer Verlag; Springer Berlin Heidelberg.
- Linnhoff, Markus (1996): Eine Methodik für das Benchmarking von Entwicklungskooperationen. Zugl.: Aachen, Techn. Hochsch., Diss., 1996. Als Ms. gedr. Aachen: Shaker-Verl.; Shaker (Berichte aus der Produktionstechnik, 96,24).
- Maurer, Maik; Lindemann, Udo (2007): Facing Multi-Domain Complexity in Product Development. In: *CiDaD Working Paper Series* 03 (1), S. 1–12.
- Meyer, Helga; Reher, Heinz-Josef (Hg.) (2016): Projektmanagement. Von der Definition über die Projektplanung zum erfolgreichen Abschluss. Projekte definieren. Wiesbaden: Springer Gabler; Springer Fachmedien Wiesbaden.
- Mobley, R. Keith (Hg.) (2001): Plant engineer's handbook. Boston: Butterworth-Heinemann.
- Mochal, Tom; Mochal, Jeff (2011): Lessons in Project Management. Berkeley, CA: Apress.

Online verfügbar unter https://doi.org/10.1007/978-1-4302-3835-5_45.

Möhrle, Martin G.; Isenmann, Ralf (2008): Technologie-Roadmapping. Zukunftsstrategien für Technologieunternehmen. 3., neu bearbeitete und erweiterte Auflage. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag Berlin Heidelberg (VDI-Buch).

Neff, Thomas (2002): Front Load Costing. Produktkostenmanagement auf der Basis unvollkommener Information. Wiesbaden: Springer Wiesbaden.

Negele, Herbert (2006): Systemtechnische Methodik zur ganzheitlichen Modellierung am Beispiel der integrierten Produktentwicklung. Zugl.: München, Techn. Univ., Diss., 1998. 2., unveränd. Aufl. München: Herbert Utz Verlag; Utz (Systems engineering).

Nöcker, Jan (2012): Zustandsbasierte Fabrikplanung. Dissertation. RWTH Aachen, Aachen. Laboratorium für Werkzeugmaschinen und Betriebslehre (WZL).

Nyhuis, Peter; Harms, Thomas; Elscher, Andreas (2004): Prozessmodell der Fabrikplanung. In: *Industrie Management* 20, S. 32–35.

Nyhuis, Peter; Wiendahl, Hans-Peter (2012): Logistische Kennlinien. Grundlagen, Werkzeuge und Anwendungen. 3. Aufl. 2012. Berlin, Heidelberg: Springer (VDI-Buch). Online verfügbar unter <http://dx.doi.org/10.1007/978-3-540-92839-3>.

Nywlt, Johannes (2016): Logistikorientierte Positionierung des Kundenauftragsentkopplungspunktes. Dissertation. Hannover: PZH Verlag (Berichte aus dem IFA, 2016, Band 1).

Patzak, Gerold (2013): Systemtechnik. Planung komplexer innovativer Systeme: Grundlagen, Methoden, Techniken. Berlin Heidelberg: Springer Verlag; Springer Berlin Heidelberg.

Pawellek, Günther (2013): Ganzheitliche Fabrikplanung. Grundlagen, Vorgehensweise, EDV-Unterstützung. 2. Auflage. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag Berlin Heidelberg.

DIN 69901-5: Projektmanagement - Projektmanagementsysteme - Teil 5: Begriffe.

REFA (1985): Methodenlehre der Planung und Steuerung. Netzplantechnik, Projektmanagement, Betriebsstättenplanung. 4. Aufl. 5 Bände. München: Carl Hanser Verlag; Hanser.

Reichardt, J.; Gottswinter, C. (2003): Synergetische Fabrikplanung. Am Fallbeispiel der Neuplanung eines Automobilzulieferers. In: *Werkstattstechnik online* 93 (4), S. 275–281, zuletzt geprüft am 28.01.2017.

Rietiker, Stephen; Scheurer, Steffen; Wald, Andreas (2013): Mal andersrum gefragt: Ergebnisse einer Studie zu Misserfolgsk Faktoren in der Projektarbeit. In: *Projektmanagement aktuell* (4), S. 33–39.

Ropohl, Günter (2009): Allgemeine Technologie. Eine Systemtheorie der Technik. 3. überarbeitete Auflage. s.l.: Universitätsverlag Karlsruhe; KIT Scientific Publishing.

Schenk, Michael; Wirth, Siegfried; Müller, Egon (2014): Fabrikplanung und Fabrikbetrieb. Methoden für die wandlungsfähige, vernetzte und ressourceneffiziente Fabrik. 2. Auflage. Berlin/Heidelberg: Springer-Verlag, zuletzt geprüft am 28.01.2017.

Schlink, Heiko (2004): Bestimmung von Funktionskosten. Grundlage für die kostenorientierte Entwicklung technischer Produkte. Wiesbaden: Deutscher Universitäts-Verlag/GWV Fachverlage GmbH.

Schraft, Rolf Dieter; Bierschenk, Sabine; Kuhlmann, Timm (2004): PI@net plus. Mit wissensbasierter Prozessgestaltung zur effizienteren Produktion. In: *Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb: ZWF* 99 (1-2), S. 59–62.

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>.

Schulte, Christof (2016): Logistik. Wege zur Optimierung der Supply Chain. 7. Auflage. München: Vahlen (Vahlers Handbücher der Wirtschafts- und Sozialwissenschaften).

Schwalbe, Kathy (2008): *Information Technology Project Management*, Reprint. 5. Aufl. Boston, Massachusetts: Cengage Learning.

Serrador, Pedro (2013): *The Impact of Planning on Project Success-A Literature Review*. In: *The Journal of Modern Project Management* 1 (2).

Snow, Dennis A. (2002): *Plant engineer's reference book*. 2nd ed. Oxford: Butterworth-Heinemann.

Söllner, René (2011): *Ausgewählte Ergebnisse für kleine und mittlere Unternehmen in Deutschland 2009*. In: *Statistisches Bundesamt: Wirtschaft und Statistik*, S. 1087–1097.

Spath, Dieter; Bauer, Wilhelm; Rief, Stefan (2010): *Green Office. Ökonomische und ökologische Potenziale nachhaltiger Arbeits- und Bürogestaltung*. Wiesbaden: Gabler Verlag / Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH; Gabler Verlag / Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH Wiesbaden.

Stepping, Andreas (2007): *Fabrikplanung im Umfeld von Wertschöpfungsnetzwerken und ganzheitlichen Produktionssystemen. Eine Methode zur Konfiguration von Fabrikplanungsprojekten*. Zugl.: Karlsruhe, Univ., Diss., 2007. Aachen: Shaker (Forschungsberichte aus dem wbk, Institut für Produktionstechnik, Universität Karlsruhe (TH), 136).

Sterman, John D. (2000): *Business dynamics. Systems thinking and modeling for a complex world*. [Nachdr.]. Boston: Irwin/McGraw-Hill.

Stires, David M.; Murphy, Maurice M. (1962): *Modern Management Methods PERT and CPM. Program Evaluation Review Technique and Critical Path Method*. Michigan: Materials Management Institute.

Thommen, Jean-Paul; Achleitner, Ann-Kristin; Gilbert, Dirk Ulrich; Hachmeister, Dirk; Kaiser, Gernot (2012): *Allgemeine Betriebswirtschaftslehre. Umfassende Einführung aus managementorientierter Sicht*. 7., vollständig überarbeitete Auflage. Wiesbaden: Springer Gabler.

van Aartsengel, Aristide; Kurtoglu, Selahattin; Kurtoğlu, Selahattin (2013): *Handbook on continuous improvement transformation. The lean six sigma framework and systematic methodology for implementation*. Berlin, Heidelberg: Springer.

Wang, Yu-Ren; Gibson, Edward G. (2008): *A Study of Preproject Planning and Project Success Using ANN And Regression Models*. The 25th International Symposium on Automation and Robotics in Construction (26.-29. Juni 2008). Institute of Internet and Intelligent Technologies. Vilnius Gediminas Technical University. Vilnius, Lithuania, 2008.

Warnecke, Jürgen; Wiendahl, Hans-Peter; Brankamp, Klaus; Eversheim, Walter; Henn, Gunter; Kühnle, Hermann et al. (1999): *Fabrikplanung*. In: Walter Eversheim und Günther Schuh (Hg.): *Produktion und Management 3. Gestaltung von Produktionssystemen*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg (Hütte), S. 1–117.

Whitaker, Sean (2016): *PASS the PMP Exam. Tools, Tips and Tricks to Succeed*. 2nd ed. 2016. New York: Apress.

Wiendahl, Hans-Peter (2010): *Betriebsorganisation für Ingenieure*. 7. Auflage. München: Carl Hanser Verlag.

Wiendahl, Hans-Peter; Reichardt, Jürgen; Nyhuis, Peter (2014): *Handbuch Fabrikplanung. Konzept, Gestaltung und Umsetzung wandlungsfähiger Produktionsstätten*. 2., überarbeitete und erweiterte Auflage. München, Wien: Carl Hanser Verlag.

Wirth, Siegfried; Enderlein, Hartmut; Förster, Alfred; Petermann, Joachim (1999): *Zukunftsweisende Unternehmens- und Fabrikkonzepte für KMU*. In: *TBI '99, Tage des System- und Betriebsingenieurs*, S. 25–34.

Wöhe, Günter; Döring, Ulrich (1993): *Einführung in die allgemeine Betriebswirtschaftslehre*. 18. Auflage. München: Franz Vahlen.

Wulf, Serjosha (2011): Bewertung des Einflusses von Produkt- und Technologieveränderungen auf die Fabrik. Hannover: PZH Verlag, TEWISS-Technik und Wissen GmbH.

Zwikael, Ofer (2009): The relative importance of the PMBOK® Guide's nine Knowledge Areas during project planning. In: *Project Management Journal* 40 (4), S. 94–103. DOI: 10.1002/pmj.20116.