

STUTTGARTER BEITRÄGE ZUR PRODUKTIONSFORSCHUNG

PHILIPP RIFFELMACHER

Konzeption einer Lernfabrik für die variantenreiche Montage



Universität Stuttgart



Fraunhofer

IPA

Herausgeber:

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Thomas Bauernhansl

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Dr. h.c. mult. Alexander Verl

Univ.-Prof. em. Dr.-Ing. Prof. e.h. Dr.-Ing. E.h. Dr. h.c. mult. Engelbert Westkämper

Philipp Riffelmacher

**Konzeption einer Lernfabrik für die
variantenreiche Montage**

Kontaktadresse:

Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung IPA, Stuttgart
Nobelstraße 12, 70569 Stuttgart
Telefon 07 11 9 70-00, Telefax 07 11 9 70-13 99
info@ipa.fraunhofer.de, www.ipa.fraunhofer.de

STUTTGARTER BEITRÄGE ZUR PRODUKTIONSFORSCHUNG**Herausgeber:**

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Thomas Bauernhansl
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Dr. h.c. mult. Alexander Verl
Univ.-Prof. em. Dr.-Ing. Prof. e.h. Dr.-Ing. E.h. Dr. h.c. mult. Engelbert Westkämper

Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung IPA, Stuttgart
Institut für Industrielle Fertigung und Fabrikbetrieb (IFF) der Universität Stuttgart
Institut für Steuerungstechnik der Werkzeugmaschinen und Fertigungseinrichtungen (ISW)
der Universität Stuttgart

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie;
detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

ISSN: 2195-2892

ISBN: 978-3-8396-0576-9

D 93

Zugl.: Stuttgart, Univ., Diss., 2013

Druck: Mediendienstleistungen des Fraunhofer-Informationszentrum Raum und Bau IRB, Stuttgart
Für den Druck des Buches wurde chlor- und säurefreies Papier verwendet.

© by **FRAUNHOFER VERLAG**, 2013

Fraunhofer-Informationszentrum Raum und Bau IRB
Postfach 80 04 69, 70504 Stuttgart
Nobelstraße 12, 70569 Stuttgart
Telefon 07 11 9 70-25 00
Telefax 07 11 9 70-25 08
E-Mail verlag@fraunhofer.de
URL <http://verlag.fraunhofer.de>

Alle Rechte vorbehalten

Dieses Werk ist einschließlich aller seiner Teile urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung, die über die engen Grenzen des Urheberrechtsgesetzes hinausgeht, ist ohne schriftliche Zustimmung des Verlages unzulässig und strafbar. Dies gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen sowie die Speicherung in elektronischen Systemen.

Die Wiedergabe von Warenbezeichnungen und Handelsnamen in diesem Buch berechtigt nicht zu der Annahme, dass solche Bezeichnungen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und deshalb von jedermann benutzt werden dürften. Soweit in diesem Werk direkt oder indirekt auf Gesetze, Vorschriften oder Richtlinien (z.B. DIN, VDI) Bezug genommen oder aus ihnen zitiert worden ist, kann der Verlag keine Gewähr für Richtigkeit, Vollständigkeit oder Aktualität übernehmen.

GELEITWORT DER HERAUSGEBER

Produktionswissenschaftliche Forschungsfragen entstehen in der Regel im Anwendungszusammenhang, die Produktionsforschung ist also weitgehend erfahrungsbasiert. Der wissenschaftliche Anspruch der „Stuttgarter Beiträge zur Produktionsforschung“ liegt unter anderem darin, Dissertation für Dissertation ein übergreifendes ganzheitliches Theoriegebäude der Produktion zu erstellen.

Die Herausgeber dieser Dissertations-Reihe leiten gemeinsam das Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung IPA und jeweils ein Institut der Fakultät für Konstruktions-, Produktions- und Fahrzeugtechnik an der Universität Stuttgart.

Die von ihnen betreuten Dissertationen sind der marktorientierten Nachhaltigkeit verpflichtet, ihr Ansatz ist systemisch und interdisziplinär. Die Autoren bearbeiten anspruchsvolle Forschungsfragen im Spannungsfeld zwischen theoretischen Grundlagen und industrieller Anwendung.

Die „Stuttgarter Beiträge zur Produktionsforschung“ ersetzt die Reihen „IPA-IAO Forschung und Praxis“ (Hrsg. H.J. Warnecke / H.-J. Bullinger / E. Westkämper / D. Spath) bzw. ISW Forschung und Praxis (Hrsg. G. Stute / G. Pritschow / A. Verl). In den vergangenen Jahrzehnten sind darin über 800 Dissertationen erschienen.

Der Strukturwandel in den Industrien unseres Landes muss auch in der Forschung in einen globalen Zusammenhang gestellt werden. Der reine Fokus auf Erkenntnisgewinn ist zu eindimensional. Die „Stuttgarter Beiträge zur Produktionsforschung“ zielen also darauf ab, mittelfristig Lösungen für den Markt anzubieten. Daher konzentrieren sich die Stuttgarter produktionstechnischen Institute auf das Thema ganzheitliche Produktion in den Kernindustrien Deutschlands. Die leitende Forschungsfrage der Arbeiten ist: Wie können wir nachhaltig mit einem hohen Wertschöpfungsanteil in Deutschland für einen globalen Markt produzieren?

Wir wünschen den Autoren, dass ihre „Stuttgarter Beiträge zur Produktionsforschung“ in der breiten Fachwelt als substanziell wahrgenommen werden und so die Produktionsforschung weltweit voranbringen.

Alexander Verl

Thomas Bauernhansl

Engelbert Westkämper

Konzeption einer Lernfabrik für die variantenreiche Montage

Von der Fakultät für Konstruktions-, Produktions- und Fahrzeugtechnik der
Universität Stuttgart zur Erlangung der Würde eines
Doktors-Ingenieurs (Dr.-Ing.) genehmigte Abhandlung

Vorgelegt von

Philipp Riffelmacher

aus Nürnberg

Hauptberichter: Univ.-Prof. Dr.-Ing. Prof. E.h. Dr.-Ing. E.h. Dr. h.c. mult.
E. Westkämper

Mitberichter: Prof. Dr. rer. pol.
E. Zahn

Tag der Einreichung: 14.11.2012

Tag der mündlichen Prüfung: 04.02.2013

Institut für Industrielle Fertigung und Fabrikbetrieb der Universität Stuttgart

2013

Vorwort

Die vorliegende Arbeit entstand während meiner Tätigkeit als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Industrielle Fertigung und Fabrikbetrieb. Meinem Doktorvater Prof. Engelbert Westkämper danke ich für die Unterstützung und die Möglichkeit viele wichtige Erfahrungen in verschiedensten Projekten im Themengebiet des Industrial Engineering machen zu können.

Prof. Erich Zahn gebührt mein Dank für die gute Unterstützung im Projekt „Lernfabrik für advanced Industrial Engineering“ (TFB 059 T1) sowie die Übernahme des Mitberichts.

Für die stetige Förderung und die kritische Durchsicht der Arbeit danke ich Dr. Alexander Schloske. Besonderer Dank gilt meiner ehemaligen Gruppenleiterin Prof. Vera Hummel, deren Unterstützung, fachliche Diskussionen und stetige Motivation bei der Erstellung dieser Arbeit auch über ihre Tätigkeit am Institut hinaus einen wichtigen Beitrag geleistet hat.

Darüber hinaus darf ich mich bei den Kollegen Lars Aldinger, Axel Bruns, Carmen Constantinescu, Ralf Kapp, Stefan Kluge, Rita Kreuzhage und Alexandra Sautter der Arbeitsgruppe advanced Industrial Engineering für die sehr gute Zusammenarbeit in turbulenten und arbeitsreichen Tagen sowie die Kollegialität und die fachlichen Diskussionen bedanken. Ein spezieller Dank geht an meinen Kollegen Max Dinkelmann, für die sehr enge und erfolgreiche Zusammenarbeit in den letzten Jahren am Institut. Ein Dank geht auch an die Hiwi's, Studien- und Diplomarbeiter, die mich bei der Lehrtätigkeit und den Projektarbeiten unterstützt haben.

Für die moralische Unterstützung und Motivation während der Zeit als wissenschaftlicher Mitarbeiter bedanke ich mich besonders bei Christian Kohler, Michael Wolf, Wolfram Lyda, David Fleischle und Stefan Maurer. Darüber hinaus haben mich viele Freunde unterstützt und Verständnis für die wenige Freizeit aufgebracht.

Ganz besonders möchte ich aber meinen Eltern danken, die mir den Weg über das Studium bis hin zur Promotion überhaupt ermöglicht und mich auf diesem Weg stets unterstützt haben. Sie haben mich immer gefördert und motiviert meinen Weg zu gehen. Meinem Bruder danke ich für die stetige Motivation und seine Erfahrungen mit dem Dissertationsverfahren. Der Rückhalt meiner Familie hat viel zum Gelingen dieser Arbeit beigetragen.

Kurzzinhalt

Produzierende Unternehmen im Bereich der variantenreichen Serienproduktion müssen sich an Herausforderungen wie verkürzte Innovations- und Produktlebenszyklen, verändertes Bestellverhalten der Kunden sowie Entwicklungen der Produkt-, Produktions-, Informations- und Kommunikationstechnologien anpassen, um auf dem Markt wettbewerbsfähig zu bleiben.

Die notwendige Wandlungsfähigkeit, um auf kurz- und mittelfristigen Turbulenzen reagieren zu können, wird durch eine kontinuierliche Planung von Prozessen, Abläufen und Strukturen der produktionstechnischen Systeme erreicht, die in das Arbeitsgebiet des Industrial Engineering (IE) fällt. Für die Bewältigung dieser Aufgaben wird ein neues IE-Verständnis benötigt.

Diese Arbeit beschäftigt sich mit der Konzeption einer Lernfabrik für die variantenreiche Montage, um ein neues IE-Verständnis zu vermitteln, das mit den vorhandenen Potentialen der Digitalen Fabrik und modularer, wandlungsfähiger Montagesysteme Lösungswege zur Bewältigung von Turbulenzen aufzeigt.

Kern des neuen IE-Verständnisses ist ein methodisches Planungsvorgehen, das durch ein kontinuierliches Fabrikmonitoring der laufenden Produktion angestoßen wird. Zur Turbulenzbewältigung stehen dem Industrial Engineer im Planungsvorgehen Methoden und Werkzeuge der Arbeits- und Prozessplanung sowie der Digitalen Fabrik zur Verfügung.

Für den Know-how-Transfer des neuen IE-Verständnisses wurde ein handlungsorientiertes Qualifizierungskonzept entwickelt, sodass Industrial Engineers den Umgang mit Planungsmethoden und -werkzeugen kennenlernen und in realitätsnahen Szenarien selbstständig anwenden können. Für die Umsetzung des Qualifizierungskonzepts wurde eine Lernumgebung mit einer digitalen Planungsumgebung und einer physischen Montageumgebung entwickelt.

Zur Validierung des Qualifizierungskonzepts zur Nutzung einer Lernfabrik für die variantenreiche Montage wurden mehrere Schulungen durchgeführt und sowohl der kurzfristige als auch nachhaltige Lernerfolg nachgewiesen.

Short summary

Manufacturing companies in the field of multi-variant series production influenced by global general conditions must adapt themselves to challenges like shortened innovation life cycles and product life cycles, changes of customer order patterns as well as developments of product, production, information and communication technologies to be competitive on the market.

The necessary transformability to react to short- and medium-term turbulences is achieved by continuous planning of processes and the production system structures which are part of the area of responsibility of industrial engineering. To handle these tasks a new understanding of industrial engineering is necessary.

This work deal with the concept of a learning factory for the multi-variant assembly in order to impart a new understanding of industrial engineering which demonstrates solutions for handling turbulences using the potentials of the digital factory and modular, transformable assembly systems.

The main part of the new understanding of industrial engineering is a methodical planning procedure which is initiated by a continuous factory monitoring of the running production. For handling turbulences the industrial engineer methods and tools of industrial engineering and the digital factory are available in the planning procedure.

To communicate this new understanding of industrial engineering an action-oriented qualification concept was designed so that industrial engineers can become familiar with planning methods and tools. The independent usage of the methods and tools was achieved by working with scenarios in the context of a business game. A learning environment with digital planning and a physical assembly environment was designed in order to realise the qualification concept.

To validate the qualification concept for using a learning factory for multi-variant assembly, several training courses have been held. The results show that short-term and sustainable learning success was achieved.

Inhaltsübersicht

1	Ausgangssituation	- 1 -
1.1	Reaktionsfähigkeit der Produktion auf den Kundenbedarf in turbulenten Märkten	- 2 -
1.2	Problemstellung	- 6 -
1.3	Zielsetzung und Aufgabenstellung.....	- 9 -
1.4	Gliederung und Aufbau der Arbeit	- 11 -
2	Begriffsdefinitionen und Eingrenzung des Untersuchungsbereichs	- 13 -
2.1	Variantenreiche Serienproduktion in turbulentem Umfeld	- 13 -
2.2	Fabrikplanung und Fabrik-Lifecycle-Management.....	- 18 -
2.3	Industrial Engineering	- 23 -
2.4	Digitale Fabrik	- 25 -
2.5	Montage / Montagesystem.....	- 27 -
2.6	Berufliche Weiterbildung von Industrial Engineers	- 29 -
2.7	Fazit der Begriffsdefinitionen und der Eingrenzung des Untersuchungsbereichs	- 34 -
3	Grundlegende Ansätze zur Konzeption einer Lernfabrik	- 35 -
3.1	Industrial Engineering	- 35 -
3.2	Umgang mit Wandlungsfähigkeit	- 51 -
3.3	Konzepte, Methoden und Werkzeuge der Digitalen Fabrik	- 53 -
3.4	Wandlungsfähige Montagesysteme	- 61 -
3.5	Qualifizierungskonzepte der beruflichen Weiterbildung.....	- 73 -
3.6	Fazit zum Stand der Technik	- 88 -
4	Lösungsansatz zur Konzeption einer Lernfabrik	- 90 -
4.1	Advanced Industrial Engineering	- 90 -
4.2	Methodisches Planungsvorgehen zur Turbulenzbewältigung	- 92 -
4.3	Entwicklung eines Qualifizierungskonzepts für Industrial Engineers.....	- 119 -
4.4	Konzeption einer Lernumgebung zur Umsetzung einer nachhaltigen Qualifizierung.....	- 129 -
4.5	Zusammenfassung des Lösungsansatzes.....	- 141 -
5	Lernumgebung für Industrial Engineers	- 142 -
5.1	Digitale Planungsumgebung	- 142 -
5.2	Physische Lernumgebung.....	- 150 -
5.3	Verzahnung der digitalen Planungsumgebung und der physischen Lernumgebung	- 155 -
5.4	Variantenreiches Produkt.....	- 157 -
6	Qualifizierungskonzept zur Nutzung einer Lernfabrik	- 161 -
6.1	Lernziele der einzelnen Planungsabschnitte zur Turbulenzbewältigung	- 161 -
6.2	Qualifizierungskonzept für Industrial Engineers.....	- 191 -
7	Validierung des Qualifizierungskonzepts zur Nutzung einer Lernfabrik für die variantenreiche Montage	- 212 -
7.1	Struktur der Validierungsgruppe	- 216 -
7.2	Validierung (unmittelbar)	- 217 -
7.3	Validierung des Qualifizierungskonzeptes hinsichtlich Nachhaltigkeit (mittelbar)	- 224 -
7.4	Ergebnis der Validierung.....	- 226 -
8	Zusammenfassung der Ergebnisse und Ausblick	- 228 -

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	XVI
Abkürzungsverzeichnis	XVIII
1 Ausgangssituation	- 1 -
1.1 Reaktionsfähigkeit der Produktion auf den Kundenbedarf in turbulenten Märkten	- 2 -
1.2 Problemstellung	- 6 -
1.3 Zielsetzung und Aufgabenstellung	- 9 -
1.4 Gliederung und Aufbau der Arbeit	- 11 -
2 Begriffsdefinitionen und Eingrenzung des Untersuchungsbereichs	- 13 -
2.1 Variantenreiche Serienproduktion in turbulentem Umfeld	- 13 -
2.1.1 <i>Variantenreiche Serienproduktion</i>	- 13 -
2.1.2 <i>Turbulenz im produktionstechnischen Umfeld</i>	- 15 -
2.1.3 <i>Wandlungsfähigkeit als Lösung zur Turbulenzbewältigung</i>	- 17 -
2.2 Fabrikplanung und Fabrik-Lifecycle-Management	- 18 -
2.2.1 <i>Das System Fabrik</i>	- 18 -
2.2.2 <i>Fabrikplanung</i>	- 20 -
2.2.3 <i>Fabrik-Lifecycle Management</i>	- 22 -
2.3 Industrial Engineering	- 23 -
2.4 Digitale Fabrik	- 25 -
2.5 Montage / Montagesystem	- 27 -
2.6 Berufliche Weiterbildung von Industrial Engineers	- 29 -
2.6.1 <i>Begriffliche Grundlagen des Lernens und der Didaktik</i>	- 29 -
2.6.2 <i>Gestaltungsrahmen des Qualifizierungskonzepts für Industrial Engineers</i>	- 32 -
2.7 Fazit der Begriffsdefinitionen und der Eingrenzung des Untersuchungsbereichs	- 34 -
3 Grundlegende Ansätze zur Konzeption einer Lernfabrik für die variantenreiche Montage	- 35 -
3.1 Industrial Engineering	- 35 -
3.1.1 <i>Aufgaben und Methoden des klassischen Industrial Engineering</i>	- 35 -
3.1.1.1 <i>Arbeitsablaufplanung</i>	- 36 -
3.1.1.2 <i>Arbeitssystemplanung</i>	- 39 -
3.1.1.3 <i>Arbeitssteuerung</i>	- 42 -
3.1.2 <i>Industrial Engineering im internationalen Vergleich</i>	- 45 -
3.1.3 <i>Künftige Rolle des Industrial Engineers</i>	- 49 -
3.1.4 <i>Fazit: Industrial Engineering</i>	- 50 -
3.2 Umgang mit Wandlungsfähigkeit	- 51 -
3.3 Konzepte, Methoden und Werkzeuge der Digitalen Fabrik	- 53 -
3.3.1 <i>Methoden und Werkzeuge der Digitalen und Virtuellen Fabrik</i>	- 53 -
3.3.2 <i>Konzepte zur Integration der Werkzeuge der Digitalen Fabrik</i>	- 56 -
3.4 Wandlungsfähige Montagesysteme	- 61 -
3.4.1 <i>Wandlungsbefähiger für Montagesysteme</i>	- 61 -
3.4.2 <i>Grundkonzepte modularer Montagesysteme</i>	- 64 -
3.4.3 <i>Modulare Montagesysteme in der industriellen Anwendung</i>	- 68 -
3.4.4 <i>Fazit: Wandlungsfähige Montagesysteme</i>	- 72 -

3.5	Qualifizierungskonzepte der beruflichen Weiterbildung.....	- 73 -
3.5.1	<i>Konzepte zur didaktisch-methodischen Gestaltung von Qualifizierung</i>	- 73 -
3.5.1.1	Modelle zum Aufbau von Qualifizierungskonzepten.....	- 73 -
3.5.1.2	Fazit: Konzeptmodelle zum Aufbau von Qualifizierungskonzepten.....	- 78 -
3.5.2	<i>Lernmethoden zur Umsetzung von Qualifizierungskonzepten</i>	- 79 -
3.5.2.1	Lehrmethoden.....	- 79 -
3.5.2.2	Methoden des selbstgesteuerten Lernens.....	- 81 -
3.5.2.3	Fazit: Lernmethoden.....	- 87 -
3.6	Fazit zum Stand der Technik.....	- 88 -
4	Lösungsansatz zur Konzeption einer Lernfabrik für die variantenreiche Montage	- 90 -
4.1	Advanced Industrial Engineering.....	- 90 -
4.2	Methodisches Planungsvorgehen zur Turbulenzbewältigung.....	- 92 -
4.2.1	<i>Betrachtungsrahmen einer kontinuierlichen Turbulenzbewältigung</i>	- 93 -
4.2.2	<i>Vorgehensweise zur Planung und Optimierung von Produktionsprozessen</i>	- 94 -
4.2.2.1	IST-Analyse.....	- 95 -
4.2.2.2	Prozessplanung.....	- 96 -
4.2.2.3	Kapazitätsplanung.....	- 98 -
4.2.2.4	Layoutplanung.....	- 98 -
4.2.2.5	Logistische Dimensionierung.....	- 99 -
4.2.2.6	Feinplanung.....	- 100 -
4.2.2.7	Realisierung.....	- 102 -
4.2.2.8	Fabrikbetrieb.....	- 102 -
4.2.2.9	Zusammenhang zwischen Planungsaufgaben und Methoden.....	- 104 -
4.2.3	<i>Methoden und Werkzeuge der Digitalen und Virtuellen Fabrik</i>	- 105 -
4.2.4	<i>Turbulenzen als Auslöser von Veränderungsplanungen</i>	- 109 -
4.2.4.1	Identifikation von Turbulenzindikatoren.....	- 110 -
4.2.4.2	Auswirkungen der Turbulenzen auf die laufende Produktion.....	- 112 -
4.2.4.3	Handlungsoptionen zur Bewältigung von Turbulenzen.....	- 114 -
4.3	Entwicklung eines Qualifizierungskonzepts für Industrial Engineers.....	- 119 -
4.3.1	<i>Methodenauswahl zur Reaktivierung der Grundlagen des klassischen IE</i>	- 120 -
4.3.2	<i>Methodenauswahl für das Erlernen neuer Methoden und Werkzeuge des IE</i>	- 122 -
4.3.3	<i>Methodenauswahl zur selbstständigen Anwendung der IE-Methoden und Werkzeuge</i>	- 124 -
4.3.4	<i>Zusammenfassung Qualifizierungskonzept für Industrial Engineers</i>	- 127 -
4.4	Konzeption einer Lernumgebung zur Umsetzung einer nachhaltigen Qualifizierung.....	- 129 -
4.4.1	<i>Konzeption einer digitalen Planungsumgebung</i>	- 129 -
4.4.2	<i>Konzeption einer physischen Lernumgebung</i>	- 132 -
4.4.2.1	Anforderungen aus den Planungsprozessen.....	- 133 -
4.4.2.2	Anforderungen aus dem Produktionsprogramm.....	- 136 -
4.4.2.3	Anforderungen an die Wandlungsfähigkeit einer Montageumgebung.....	- 136 -
4.4.2.4	Konzeption einer physischen Montageumgebung.....	- 137 -
4.4.3	<i>Konzeption eines Produktes für die Lernumgebung</i>	- 139 -
4.5	Zusammenfassung des Lösungsansatzes.....	- 141 -

5	Lernumgebung für Industrial Engineers	- 142 -
5.1	Digitale Planungsumgebung	- 142 -
5.1.1	<i>Basisebene der digitalen Planungsumgebung</i>	<i>- 143 -</i>
5.1.2	<i>Integrations-ebene der digitalen Planungsumgebung</i>	<i>- 146 -</i>
5.1.3	<i>Werkzeugebene der digitalen Planungsumgebung</i>	<i>- 146 -</i>
5.2	Physische Lernumgebung	- 150 -
5.3	Verzahnung der digitalen Planungsumgebung und der physischen Lernumgebung	- 155 -
5.4	Variantenreiches Produkt.....	- 157 -
6	Qualifizierungskonzept zur Nutzung einer Lernfabrik für die variantenreiche Montage	- 161 -
6.1	Lernziele der einzelnen Planungsabschnitte zur Turbulenzbewältigung.....	- 161 -
6.1.1	<i>IST-Analyse.....</i>	<i>- 162 -</i>
6.1.1.1	Analyse des Produktionsprogrammes	- 165 -
6.1.1.2	Analyse der Prozessstrukturen	- 166 -
6.1.1.3	Analyse der Layoutstruktur	- 167 -
6.1.2	<i>Prozessplanung</i>	<i>- 167 -</i>
6.1.2.1	Arbeitsablaufplanung	- 170 -
6.1.2.2	Produktionsstrukturierung	- 172 -
6.1.3	<i>Kapazitätsplanung</i>	<i>- 173 -</i>
6.1.3.1	Personalplanung	- 175 -
6.1.3.2	Flächenbedarfsermittlung	- 175 -
6.1.4	<i>Layoutplanung.....</i>	<i>- 175 -</i>
6.1.4.1	Ideallayoutplanung.....	- 177 -
6.1.4.2	Reallayoutplanung	- 178 -
6.1.4.3	Layoutauswahl	- 178 -
6.1.5	<i>Logistische Dimensionierung.....</i>	<i>- 179 -</i>
6.1.5.1	Feinplanung des Materialflusses	- 180 -
6.1.5.2	Feinplanung des Informationsflusses	- 181 -
6.1.6	<i>Feinplanung</i>	<i>- 181 -</i>
6.1.6.1	Arbeitsorganisation	- 183 -
6.1.6.2	Feinlayoutplanung.....	- 184 -
6.1.6.3	Roboterprogrammierung.....	- 185 -
6.1.7	<i>Realisierung</i>	<i>- 185 -</i>
6.1.7.1	Ausführungsplanung	- 187 -
6.1.7.2	Umsetzung der Planungsergebnisse	- 187 -
6.1.8	<i>Fabrikbetrieb</i>	<i>- 188 -</i>
6.1.8.1	Produktionsplanung und -steuerung.....	- 190 -
6.1.8.2	Controlling.....	- 190 -
6.2	Qualifizierungskonzept für Industrial Engineers	- 191 -
6.2.1	<i>Wiederholung methodischer Grundlagen des klassischen IE</i>	<i>- 191 -</i>
6.2.2	<i>Vermittlung neuer Methoden und Werkzeuge des IE.....</i>	<i>- 192 -</i>
6.2.3	<i>Selbstständige Anwendung neuer Methoden und Werkzeuge des IE</i>	<i>- 196 -</i>
6.2.4	<i>Szenarien für die Durchführung des Qualifizierungskonzepts.....</i>	<i>- 197 -</i>
6.2.4.1	Produktmixverschiebung aufgrund der Integration eines neuen Produktes	- 198 -
6.2.4.2	Produktmixverschiebung und Bewältigung eines Ressourcenausfalls in der Produktion.....	- 205 -
6.2.5	<i>Zusammenfassung des Qualifizierungskonzepts</i>	<i>- 210 -</i>

7	Validierung des Qualifizierungskonzepts zur Nutzung einer Lernfabrik für die variantenreiche Montage	- 212 -
7.1	Struktur der Validierungsgruppe	- 216 -
7.2	Validierung (unmittelbar)	- 217 -
7.2.1	<i>Validierung des Lernmoduls Grundlagen zur Turbulenzbewältigung (unmittelbar)</i>	- 217 -
7.2.2	<i>Validierung des Lernmoduls Fabrikanalyse (unmittelbar)</i>	- 218 -
7.2.3	<i>Validierung des Lernmoduls Arbeitsablaufplanung (unmittelbar)</i>	- 219 -
7.2.4	<i>Validierung des Lernmoduls Fabrik- und Logistikplanung (unmittelbar)</i>	- 220 -
7.2.5	<i>Validierung des Lernmoduls Arbeitssystemplanung (unmittelbar)</i>	- 222 -
7.2.6	<i>Validierung des Lernmoduls Planspiel mit Szenarien (unmittelbar)</i>	- 223 -
7.3	Validierung des Qualifizierungskonzeptes hinsichtlich Nachhaltigkeit (mittelbar)	- 224 -
7.4	Ergebnis der Validierung.....	- 226 -
8	Zusammenfassung der Ergebnisse und Ausblick	- 228 -
Summary	- 239 -
Anhang A	Detaillierte Auswertung modularer Montagesysteme	- 239 -
Anhang B	Fragebogen zur unmittelbaren Validierung	- 241 -
Anhang C	Fragebogen zur mittelbaren Validierung	- 242 -
Anhang D	Industrial Engineering im internationaleN Vergleich	- 243 -
	Literaturverzeichnis	- 250 -

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1-1:	Globale Rahmenbedingungen des Marktes für produzierende Unternehmen	- 1 -
Abbildung 1-2:	Wesentliche Herausforderungen in der Produktion aus Unternehmenssicht	- 3 -
Abbildung 1-3:	Zielsetzung und Aufgabenstellung	- 10 -
Abbildung 1-4:	Vorgehen zur Bearbeitung der Aufgabenstellung	- 12 -
Abbildung 2-1:	Einflussfaktoren auf ein Unternehmen	- 15 -
Abbildung 2-2:	Phasenmodell des Fabrikplanungsprozesses.....	- 21 -
Abbildung 2-3:	Bereiche des Industrial Engineering.....	- 25 -
Abbildung 2-4:	Digitale Fabrik und Virtuelle Fabrik	- 26 -
Abbildung 2-5:	Ganzheitliches Montagesystemmodell	- 29 -
Abbildung 2-6:	Lerntheorien	- 30 -
Abbildung 2-7:	Lernarten	- 31 -
Abbildung 2-8:	Kompetenzmodell des ganzheitlichen Lernens.....	- 33 -
Abbildung 3-1:	Aufgaben des Industrial Engineering	- 36 -
Abbildung 3-2:	Prozessschritte der Arbeitsablaufplanung.....	- 37 -
Abbildung 3-3:	Aufgaben des Aachener PPS-Modells	- 43 -
Abbildung 3-4:	Internationaler Vergleich von Universitäten	- 48 -
Abbildung 3-5:	Gesamtauswertung aller Bereich des Industrial Engineering	- 49 -
Abbildung 3-6:	Simulation auf den verschiedenen Fabrikebenen	- 54 -
Abbildung 3-7:	Wandlungsbefähiger.....	- 63 -
Abbildung 3-8:	Ausprägungsformen von Modulen in Modulsystemen	- 66 -
Abbildung 3-9:	Paarweiser Vergleich zur Gewichtung der Bewertungskriterien	- 69 -
Abbildung 3-10:	Auswertung der Ergebnisse des Herstellervergleichs.....	- 72 -
Abbildung 3-11:	Hamburger Modell.....	- 76 -
Abbildung 3-12:	Methodenspektrum der beruflichen Bildung.....	- 79 -
Abbildung 3-13:	Phasen einer vollständigen Handlung.....	- 84 -
Abbildung 4-1:	Ansatz des advanced Industrial Engineering	- 91 -
Abbildung 4-2:	Regelkreis zur Turbulenzbewältigung	- 93 -
Abbildung 4-3:	Vorgehensweise zur Planung und Optimierung von Produktionsprozessen	- 95 -
Abbildung 4-4:	Zuordnung der Methoden zur jeweiligen Aufgabe eines Planungsabschnitts	- 104 -
Abbildung 4-5:	Zuordnung der Werkzeuge zur jeweiligen Aufgabe eines Planungsabschnitts	- 109 -
Abbildung 4-6:	Zusammenhang zwischen Turbulenzkeimen und Turbulenzindikatoren	- 111 -
Abbildung 4-7:	Zusammenhang zwischen den Turbulenzen und den Planungsaufgaben zur Turbulenzbewältigung	- 118 -
Abbildung 4-8:	Entscheidungsebenen zum Aufbau eines Qualifizierungskonzepts	- 119 -
Abbildung 4-9:	Methodenauswahl zur Reaktivierung der Grundlagen des klassischen IE	- 122 -
Abbildung 4-10:	Methodenauswahl für das Erlernen neuer Planungsmethoden und Werkzeuge.....	- 124 -
Abbildung 4-11:	Methodenauswahl zur selbstständigen Anwendung der IE-Methoden und Werkzeuge.....	- 126 -
Abbildung 4-12:	Qualifizierungskonzept für Industrial Engineers	- 128 -
Abbildung 4-13:	Konzept der digitalen Planungsumgebung	- 132 -
Abbildung 5-1:	Struktur der IT-Systeme in der digitalen Planungsumgebung	- 143 -
Abbildung 5-2:	Produkt-, Prozess- und Ressourcenstruktur der Basisebene	- 145 -
Abbildung 5-3:	Funktionale Module des wandlungsfähigen Montagesystems.....	- 152 -
Abbildung 5-4:	Verzahnung der digitalen Planungsumgebung und des wandlungsfähigen Montagesystems	- 156 -
Abbildung 5-5:	Produktkomponenten des Schreibtischsets	- 159 -
Abbildung 6-1:	Planungsabschnitte zur Turbulenzbewältigung.....	- 162 -
Abbildung 6-2:	IST-Analyse – Vorgehensweise, Methoden und Hilfsmittel	- 164 -

Abbildung 6-3:	Prozessplanung – Vorgehensweise, Methoden und Hilfsmittel	- 169 -
Abbildung 6-4:	Kapazitätsplanung – Vorgehensweise, Methoden und Hilfsmittel	- 174 -
Abbildung 6-5:	Layoutplanung – Vorgehensweise, Methoden und Hilfsmittel	- 177 -
Abbildung 6-6:	Logistische Dimensionierung – Vorgehensweise, Methoden und Hilfsmittel	- 180 -
Abbildung 6-7:	Feinplanung – Vorgehensweise, Methoden und Hilfsmittel	- 182 -
Abbildung 6-8:	Realisierung – Vorgehensweise, Methoden und Hilfsmittel	- 186 -
Abbildung 6-9:	Fabrikbetrieb – Vorgehensweise, Methoden und Hilfsmittel	- 189 -
Abbildung 6-10:	Bereiche und Methoden des Qualifizierungskonzepts	- 191 -
Abbildung 6-11:	Struktur und Layout des Ausgangszustandes.....	- 199 -
Abbildung 6-12:	Projektionen der Turbulenzen (Szenario 1)	- 200 -
Abbildung 6-13:	Vergleich der Produktionsprogramme (Szenario 1)	- 201 -
Abbildung 6-14:	IST-Wertstrom der Ausgangssituation in der Produktion (Szenario 1)	- 202 -
Abbildung 6-15:	Ergebnis der Layoutplanung (Szenario1).....	- 204 -
Abbildung 6-16:	Projektionen der Turbulenzen (Szenario 2)	- 206 -
Abbildung 6-17:	Vergleich der Produktionsprogramme (Szenario 2)	- 207 -
Abbildung 6-18:	Ergebnis der Layoutplanung (Szenario2).....	- 209 -
Abbildung 6-19:	Qualifizierungskonzept für Industrial Engineers	- 211 -
Abbildung 7-1:	Vorgehensweise der Validierung.....	- 213 -
Abbildung 7-2:	Fragen an die Lernenden zur Validierung	- 215 -
Abbildung 7-3:	Anforderungen an die Teilnehmenden der Validierungsgruppe	- 216 -
Abbildung 7-4:	Validierung des Lernmoduls Grundlagen zur Turbulenzbewältigung (unmittelbar)	- 218 -
Abbildung 7-5:	Validierung des Lernmoduls Fabrikanalyse (unmittelbar)	- 219 -
Abbildung 7-6:	Validierung des Lernmoduls Arbeitsablaufplanung (unmittelbar)	- 220 -
Abbildung 7-7:	Validierung des Lernmoduls Fabrik- und Logistikplanung (unmittelbar)	- 221 -
Abbildung 7-8:	Validierung des Lernmoduls Arbeitssystemplanung (unmittelbar)	- 222 -
Abbildung 7-9:	Validierung des Lernmoduls Planspiel mit Szenarien (unmittelbar).....	- 224 -
Abbildung 7-10:	Validierung Nachhaltigkeit (mittelbar).....	- 226 -

Abkürzungsverzeichnis

aIE	advanced Industrial Engineering
AIIE	American Institute of Industrial Engineering
AR	Augmented Reality
AS	automatisches Lager
BDE	Betriebsdatenerfassung
BSC	Balanced Scorecard
CAD	Computer Aided Design
CAE	Computer Aided Engineering
CAP	Computer Aided Planning
CAQ	Computer Aided Quality
CIM	Computer Integrated Manufacturing
DIN	Deutsches Institut für Normung e.V.
DLZ	Durchlaufzeit
DPE	Delmia Process Engineer
e-Learning	electronic learning / elektronisch unterstütztes Lernen
EPEI	Every Part Every Interval
ERP	Enterprise Resource Planning
FIFO	First in First out
FMEA	Failure Mode and Effects Analysis
IAENG	International Association of Engineers (Hong Kong)
IE	Industrial Engineering
IfaA	Institut für angewandte Arbeitswissenschaft e.V.
IFF	Institut für Industrielle Fertigung und Fabrikbetrieb
IIE	Institute of Industrial Engineers
IMSE	Department of Industrial and Manufacturing Systems Engineering of the University of Hong Kong
IT	Informationstechnologie
KMU	kleine und mittlere Unternehmen

MDE	Maschinendatenerfassung
MES	Manufacturing Execution System
ML	Handarbeitsplatzmodul
MRP	Material Requirement Planning
MSB	Manufacturing Service Bus
MSRR	Modellierungs- und Simulationsressourcen Repository
MTM	Methods Time Measurement
OEM	Original Equipment Manufacturer
PDM	Produktdatenmanagement
PLM	Produktlebenszyklusmanagement
PPS	Produktionsplanung und -steuerung
PSImes	MES-System der PSI AG
PZE	Personalzeiterfassung
QDE	Qualitätsdatenerfassung
REFA	Rechtsausschuss für Arbeitszeitermittlung, Verband für Arbeitsgestaltung, Betriebsorganisation und Unternehmensentwicklung
RS	Robotermodul
SFB	Sonderforschungsbereich
SPS	Speicherprogrammierbare Steuerung
ST.E.P	Stein Experten Pool
SUM	Stuttgarter Unternehmensmodell
UGS	Unigraphics Solutions Incorporation
USA	Vereinigte Staaten von Amerika
VDI	Verein Deutscher Ingenieure e.V.
VDMA	Verband Deutscher Maschinen- und Anlagenbau e.V.
VR	Virtual Reality
XML	Extensible Markup Language

1 Ausgangssituation

Auf Deutschlands stark exportorientierte Wirtschaft wirken sich die Veränderungen und Faktoren der Globalisierung aufgrund seiner engen weltweiten wirtschaftlichen Vernetzung besonders stark aus. Neben neuen Wettbewerbern und Märkten sind hierbei aber auch der schnellere Austausch von Wissen, Qualität und Technik [Kaluza/Behrens 2005; Schuh 2007] zu nennen. Die Globalisierung führt auch zu einer Veränderung des Kundenverhaltens und der Individualisierung der Produkte, was eine starke Erhöhung der Produktvarianten mit sich bringt [Zäh/Alders 2006; Schenk/Wirth 2004; Kinkel 2005]. Außerdem wird eine Veränderung des Bestellverhaltens beobachtet. Die kurzen Abrufzeiten und die damit verbundenen kurzen Lieferfristen führen zu erheblichen Schwankungen im Auftragseingang [Schuh 2007] und einer sinkenden Prognostizierbarkeit der Produktionsstückzahlen [Zäh/Alders 2006]. Ein weiterer wichtiger Faktor ist die Verkürzung der Innovations- und Produktlebenszyklen, die dem Kundenverhalten wie auch dem steten Fortschritt bei Produkt-, Prozess- sowie Informations- und Kommunikations-technologien geschuldet ist [Schuh 2007] (s. Abbildung 1-1).

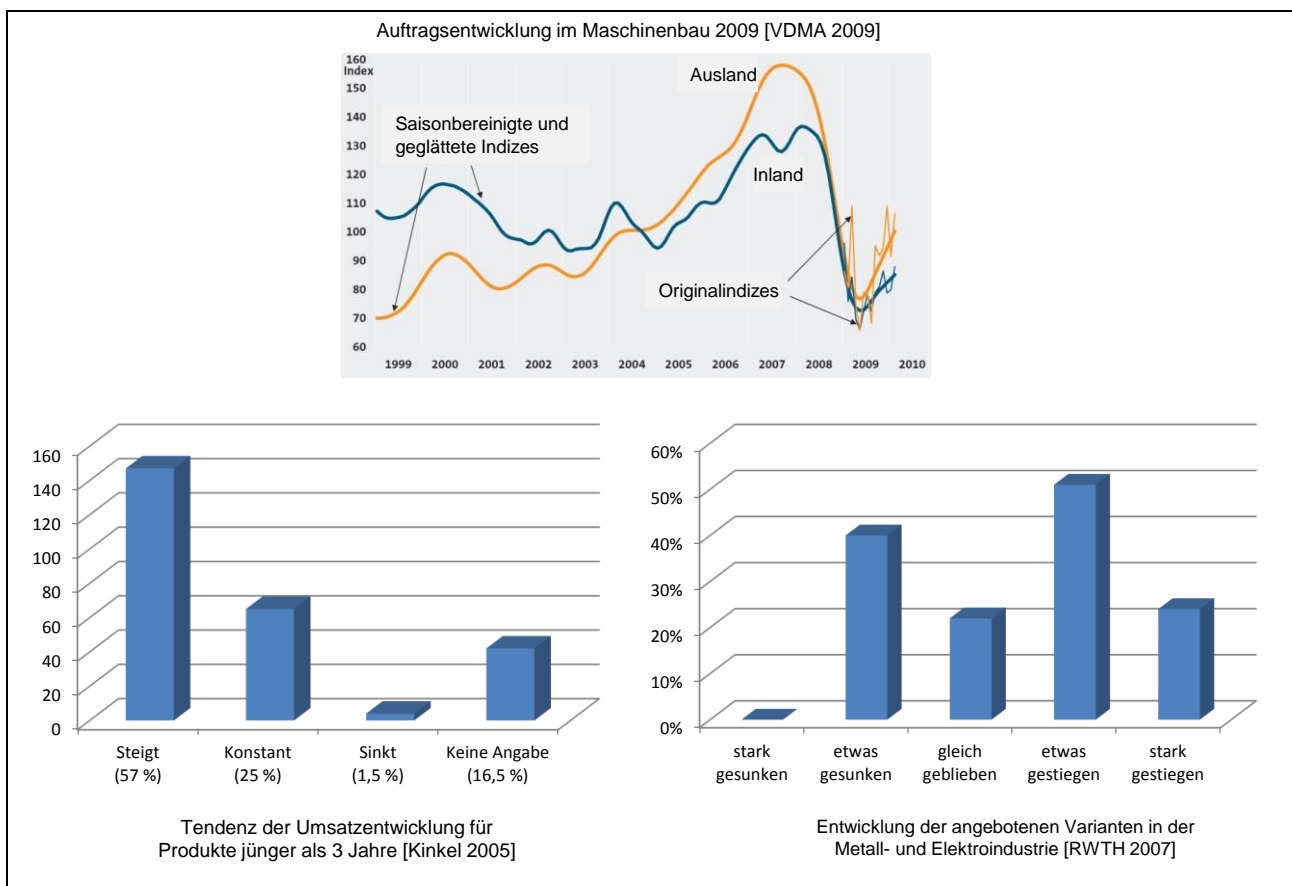


Abbildung 1-1: Globale Rahmenbedingungen des Marktes für produzierende Unternehmen

Diese Rahmenbedingungen stellen die wesentlichen Herausforderungen für Unternehmen im Sektor der industriellen Produktion dar und werden in der Literatur als Turbulenz [Reinhart/Wildemann 2000; Westkämper 2002b, S. 17ff], Dynamik und Komplexität [Warnecke/Hüser 1996; Horváth 2009] oder Unsicherheit beschrieben [Zäh u. a. 2003c; Baumgarten u. a. 2003]. Welche Begrifflichkeit auch immer für die Herausforderungen in produzierenden Unternehmen herangezogen wird, die Autoren kommen stets zu denselben bzw. ähnlichen Schlussfolgerungen: Die Marktprognosen für die Entwicklung des Marktverhaltens und damit die Planung von Produktionskapazitäten wird immer schwieriger oder nahezu unmöglich. Wenn zuverlässige Prognosen zur Produktionsplanung fehlen, müssen Unternehmen Fähigkeiten entwickeln, auf die stetigen Veränderungen kurz- und mittelfristig reagieren zu können. Die Fähigkeiten, auf Kundenwünsche flexibel eingehen zu können, sichere Produktqualität zu gewährleisten und kurze Lieferzeiten zu realisieren, werden als Wettbewerbsfaktor immer wichtiger [Lay/Maloca 2005; Zahn/Dillerup 1994]. Der Faktor Zeit und seine Bedeutung spiegeln sich auch in den Turbulenzen wider, die in Form von kürzeren und dem Kunden geforderten Lieferzeiten bei nicht prognostizierbaren Auftragseingängen zu bewältigen sind. Diese Turbulenzen wirken sich direkt auf die Produktion aus und lassen den Herstellern keinen Puffer, um eine Glättung der Auslastung der vorhandenen Produktionskapazitäten vorzunehmen [Wiendahl 2008; Spath 2008; Scheer 2003; Westkämper/Zahn 2009; Milberg 2002].

1.1 Reaktionsfähigkeit der Produktion in turbulenten Märkten

Um die bestmögliche zeitliche Reaktion auf Turbulenzen identifizieren zu können, gilt es, die oben genannten Faktoren wie die Globalisierung, die Änderung des Kundenverhaltens, die Steigerung der Variantenzahlen und die Verkürzung der Produktlebenszyklen sowie deren Einfluss auf die Produktion, näher zu betrachten. Zunächst ist eine Gliederung der Turbulenzen nach der notwendigen zeitlichen Reaktionsfähigkeit erforderlich, da auf eine geringe Verschiebung des Produktmixes schneller reagiert werden kann und muss, als auf die Einlastung neu zu entwickelnder Produkte in die Produktion oder die Einführung neuer Technologien. Als zeitliche Skalen für Turbulenzen wird in der Literatur häufig eine Gliederung in kurzfristige, mittelfristige und langfristige Reaktionszeit vorgenommen. Bei einer kurzfristigen Reaktionszeit wird meist von einem Zeitraum von Stunden bis wenigen Tagen gesprochen, bei mittelfristiger Reaktionszeit von Wochen oder Monaten, bei langfristiger Reaktionszeit bis zu Jahren [Westkämper/Zahn 2009, S. 271ff; Kirchner u. a. 2003; Hernández Morales 2003, S. 58f]. Zu den kurzfristigen Turbulenzen zählen dabei aus Unternehmenssicht Änderungen des Bedarfstermins, Mengenänderungen eines

Auftrags und Änderungen an der Produktkonfiguration durch den Kunden, die als externe Faktoren auf die Produktion einwirken. Hinzu kommen dann noch interne Faktoren wie organisatorische und technische Störungen, die bewältigt werden müssen. Als mittel- und langfristige externe Turbulenzen sehen Unternehmen hingegen Änderungen der Nachfragemenge, der Lieferbedingungen (Preis, Qualität und Zeit), Verschiebungen des Produktmixes sowie technologische Veränderungen bei Produkten und Produktionsprozessen. Als interne Turbulenzen werden dabei die steigende Variantenzahl, die Veränderung der Unternehmensziele und der Abfluss von Know-how durch Mitarbeiterfluktuation betrachtet [Kirchner u. a. 2003; Spath 2008] (s. Abbildung 1-2)

<u>Kurzfristige Turbulenzen</u>			
	Auftreten	Turbulenzursache	Einfluss
extern	86,0 %	Änderungen des Bedarfstermins (Kunde)	stark
	74,1 %	Mengenänderung eines Auftrags (Kunde)	mittel
	61,1 %	Änderungen an der Produktkonfiguration (Kunde)	mittel
intern	89,9 %	Organisatorische Störungen	mittel
	85,5 %	Technische Störungen	mittel
<u>Mittelfristige Turbulenzen</u>			
	Auftreten	Turbulenzursache	Einfluss
extern	94,4 %	Änderungen der Nachfragemenge	mittel
	91,1 %	Änderungen der Lieferbedingungen (Preis, Qualität und Zeit)	mittel
	84,0 %	Verschiebungen des Produktmixes	mittel
	74,3 %	Technologische Veränderungen bei Produkten	mittel
	59,6 %	Technologische Veränderungen bei Produktionsprozessen	mittel
intern	80,3 %	Steigende Variantenzahl	mittel
	64,9 %	Veränderung der Unternehmensziele	mittel
	53,6 %	Abfluss von Know-How durch Mitarbeiterfluktuation	mittel

Abbildung 1-2: Wesentliche Herausforderungen in der Produktion aus Unternehmenssicht [vgl. Westkämper/Zahn 2009, S. 271 ff]

Vor dem Hintergrund der Turbulenzen ist festzustellen, dass die Planung von Prozessen, Abläufen und Strukturen eine wettbewerbsentscheidende Bedeutung für Unternehmen hat und produktionstechnische Systeme immer öfter in kürzerer Zeit umgestaltet oder neu geplant werden müssen [Westkämper 2004; Dombrowski/Tiedemann 2004; Zäh u. a. 2003a]. Als mögliche Lösung zur Bewältigung der kurz- und mittelfristigen Turbulenzen und zur Aufrechterhaltung und zum Ausbau der Wettbewerbsfähigkeit von Fabriken wird in der Literatur und von Seiten der Unternehmen die Wandlungsfähigkeit genannt [National Research Council 1998, S. 30ff; Westkämper/Zahn 2009; Wiendahl 2002b; Reinhart 1997;

Schuh u. a. 2004b; Kinkel u. a. 2007; Jovane u. a. 2009]. Die verschiedenen, sich geringfügig unterscheidenden Definitionen beschreiben Wandlungsfähigkeit zusammenfassend als taktische Fähigkeit einer ganzen Fabrikstruktur, internen und externen Turbulenzen reaktiv und proaktiv begegnen zu können. Dabei werden strukturelle Eingriffe in das Produktionssystem einer Fabrik, seiner Ressourcen und Abläufe erforderlich, was mit einer entsprechenden Planung erfolgen kann und eine Rekonfiguration des Systems auf allen Ebenen zur Folge haben kann [Westkämper/Zahn 2009; Wiendahl 2002b; Schenk/Wirth 2004].

Die stetige Adaption produktionstechnischer Systeme ist als kontinuierlicher Prozess anzusehen [Nyhuis u. a. 2004, S. 95], mit dem Ziel die Fabrik, trotz Turbulenz, Dynamik und Komplexität des Umfelds, in den Grenzen der zur Verfügung stehenden Technik und Leistungsfähigkeit, am wirtschaftlich optimalen Betriebspunkt zu halten [Westkämper u. a. 2001; Constantinescu u. a. 2009]. Diese stetige Veränderung der Produktion und die einhergehenden verkürzten Planungszeiten mit der Forderung nach steigender Planungsqualität machen es notwendig, neue Verfahren, Methoden und Werkzeuge zu entwickeln [Kühn 2006b, S.3; Westkämper/Zahn 2009, S. 12ff; Wiendahl 2005, S. 31ff]. Im Fokus steht hier die Arbeitsvorbereitung, das sogenannte Industrial Engineering (IE), in dessen Bereich die Planung und Optimierung der Strukturen und insbesondere die kontinuierlichen Optimierung der Produktion und die Verkürzung der Prozessketten fällt [Aldinger u. a. 2006b, S. 60].

Um den steigenden Anforderungen an die Planung gerecht zu werden, wurde in den letzten Jahren eine Reihe von IT-Werkzeugen entwickelt, die als Werkzeuge der Digitalen Fabrik bezeichnet werden und die Planungsprozesse unterstützen. Dabei wird das Ziel verfolgt, Gestaltungsvorschläge und Optimierungsmaßnahmen zu erarbeiten, ohne den laufenden Produktionsprozess zu stören. Parallel hierzu erfolgt eine Prüfung der erstellten Lösungsmöglichkeiten hinsichtlich ihrer Qualität, der Produktivität und der Robustheit des Produktionssystems gegen Turbulenzen [Bley u. a. 2006; Dombrowski u. a. 2001a; Feldmann 2000, S. 28ff; Westkämper 2004]. Mit dem heutigen Stand der Technik wird es dem Industrial Engineering bereits ermöglicht, komplexe Planungsaufgaben zu bearbeiten und Veränderungsprozesse schneller und präziser zu planen [BDI 2005; Zäh u. a. 2005]. Der Aufwand, der für eine effektive und effiziente Nutzung der Digitalen Fabrik anfällt ist jedoch noch zu hoch für einen Einsatz bei KMUs [BDI 2005; Bracht u. a. 2011, S. 22f]. Die am Markt verfügbaren IT-Werkzeuge sind bisher im Wesentlichen auf Großbetriebe wie die OEMs in der Automobilindustrie zugeschnitten, die eine Vorreiterrolle beim Einsatz der Digitalen Fabrik einnehmen und hochqualifizierte Spezialisten in ihren Fachabteilungen haben [Kapp u. a. 2005; Wiendahl u. a. 2005]. Für KMUs müssen noch Lösungen

entwickelt und gefunden werden, um die Planung einer robusten und adaptiven Produktion mithilfe der Digitalen Fabrik zu realisieren [BDI 2005].

Eine wandlungsfähige Fabrik setzt neben der kontinuierlichen Anpassung der Produktion und einem flexiblen Auftragsmanagement auch auf Restrukturierungsmöglichkeiten der ganzen Fabrikstruktur. Die an diese Rahmenbedingungen angepasste Planung der Fabrik macht strukturelle Eingriffe in die Produktions- und Logistiksysteme, in die Gebäudestrukturen und Einrichtungen erforderlich. Wandlungsfähigkeit setzt flexible, rekonfigurierbare und umrüstbare Systeme auf Produktionssystemebene und darunter voraus [Westkämper/Zahn 2009, S. 18f; Wiendahl 2002b; BMBF 2007, S. 102]. Der Montage als letztem Produktionsschritt kommt dabei eine besondere Rolle zu, denn hier entsteht die Produktvarianz; sie steht in direktem Kontakt zum Kunden; Änderungen am Produkt bis kurz vor dessen Fertigstellung werden ermöglicht und viele Fehler der Fertigung werden erst in der Montage erkannt und müssen dort behoben werden [Lotter/Wiendahl 2006; Grundig 2006; Konold/Reger 2009; Müller/Brecher 2009, S.3]. Der bestehende Automatisierungsgrad steht der Wandlungsfähigkeit von Systemen oft entgegen, da eine Restrukturierung und Inbetriebnahme meist mit einem hohen Kosten- und Zeitaufwand verbunden ist [Westkämper/Zahn 2009, S. 84ff; Nyhuis 2008b, S. 142; Reinhart u. a. 2007]. Modulare Montagesysteme entsprechen den Forderungen nach schneller Umrüstbarkeit, Mobilität des Systems, Restrukturierbarkeit sowie Standardisierung und Wiederverwendbarkeit ohne dabei Kompromisse bei Qualitätsstandards eingehen zu müssen [Hoppenstedt 2007; Kuhn 2007; Schuh u. a. 2004b]. Am Markt sind solche modularen Montagesysteme vorhanden, die den Ansprüchen der Wandlungsfähigkeit in vielen Punkten genügen, jedoch sind diese Systeme in ihrem Investment um schätzungsweise 20-25% höher als konventionelle Systeme, so dass noch kein großflächiger Einsatz solcher Systeme zu erkennen ist [von der Weiden 2008, S. 20].

Zusammenfassend zeigt sich, dass es für produzierende Unternehmen in turbulenten Märkten überlebenswichtig ist, mit einer hohen Reaktionsfähigkeit auf den Kundenbedarf einzugehen. Im Bereich der variantenreichen Serienproduktion wird diese Reaktionsfähigkeit maßgeblich von der Planung der Produktion und deren Umsetzung im realen Produktionssystem beeinflusst. In der Planung der Produktion gilt es, den Ressourceneinsatz effektiv und effizient zu gestalten, wobei die Planungsgeschwindigkeit eine zentrale Rolle einnimmt, um Veränderungen kurzfristig begegnen zu können. Diese Herausforderungen lassen sich nur mit neuen Planungsmethoden, IT-Werkzeugen sowie Mitarbeitern, die die Komplexität beider Aspekte beherrschen lösen. Bei der Umsetzung der Planung in der Fabrik gilt es besonders in der Montage, neue modulare Konzepte zu

integrieren, um die Restrukturierung durch die Verringerung von Stillstands- und Anlaufzeiten wirtschaftlich gestalten zu können. Es ist also notwendig, die Geschwindigkeit sowohl der Planung der Produktion als auch Umsetzung der Planungsergebnisse in der Fabrik zu erhöhen, um eine hohe, wirtschaftliche Reaktionsfähigkeit auf Markt-anforderungen zu erreichen.

1.2 Problemstellung

Flexibel auf Kundenwünsche eingehen zu können, sichere Produktqualität zu gewährleisten und kurze Lieferzeiten zu realisieren, stellen entscheidende Zielgrößen für den Erfolg eines Unternehmens dar, das im Bereich der variantenreichen Serienproduktion operiert [Schuh 2007, S. 27ff]. Für das dauerhafte Erreichen dieser Zielgrößen ist eine deutliche Effizienzsteigerung in der Produktion notwendig. Mit der Standardisierung der Vorgehensweise zur Bearbeitung der komplexen Aufgaben in der Planung und Optimierung der Produktion und der Synchronisation dieser Prozesse wurden in Unternehmen wichtige Schritte zur Effizienzsteigerung eingeleitet. Mit der Standardisierung und Synchronisation wurde in den Unternehmen die Basis für ganzheitliche Produktionssysteme gelegt. Wie verschiedene Studien zeigen, haben viele KMU mit der Einführung ganzheitlicher Produktionssysteme begonnen oder beabsichtigen diese. Die organisatorischen Befähigerkonzepte zur Steigerung der betrieblichen Flexibilität werden aber bislang noch lange nicht so intensiv genutzt, wie es in der öffentlichen Debatte um neue Produktionskonzepte den Anschein hat [Kinkel u. a. 2007; Spath 2008, S. 65]. Unternehmen mit mehr als 500 Mitarbeitern erweisen sich dabei als Vorreiter [Westkämper u. a. 2008, S. 1; Schuh 2007, S. 44; Kirner u. a. 2006].

Effizienzsteigerung kann jedoch nicht nur durch den Einsatz klassischer Planungsmethoden erfolgen, die in Methodenbaukästen ganzheitlicher Produktionssysteme enthalten sind. Wie in Kapitel 1.1 dargestellt, hängt viel von der Wandlungsfähigkeit der Produktion als Versicherung gegen Risiken [Schuh u. a. 2004a], als entscheidendem Wettbewerbsfaktor [Spath 2008, S. 49ff], wichtigster Eigenschaft eines Produktionssystems [Zäh u. a. 2004] oder als Befähiger für nachhaltiges und profitables Wachstum ab [Westkämper/Zahn 2009, S. 14].

Eine kontinuierliche Planung muss eine höhere Planungsgeschwindigkeit bei hoher Planungsqualität und Realitätsnähe gewährleisten, ohne dabei den laufenden Betrieb zu stören [Westkämper 2006b; Dombrowski/Tiedemann 2004; Bracht u. a. 2011, S. 52f]. Voraussetzung für eine kontinuierliche Planung, die im Industrial Engineering angesiedelt ist, ist die Verfügbarkeit aller für Planungsprozesse benötigten Daten sowie von Systemen, welche die partizipative und kontinuierliche Planung unterstützen. Es gilt Informations- und

Kommunikationstechniken in den methodischen Planungsablauf zu integrieren, um den aktuellen Zustand der Produktion durch einen Informationsrückfluss von der Produktion in die Planung schnell beurteilen zu können. Um die Planungsgeschwindigkeit bei der Optimierung der Produktion zu erhöhen wird ein bidirektionaler Austausch sowohl zwischen den Werkzeugen der Digitalen Fabrik als auch der realen Fabrik benötigt. Die Umsetzung der Integration beider Bereiche ist bisher allerdings nur in sehr begrenztem Maße realisiert [Westkämper/Zahn 2009, S. 16ff]. Zusätzlich haben sich Methoden und Werkzeuge der Digitalen Fabrik als wirksame Werkzeuge zur Bewältigung von dynamischen Veränderungen in zeitlichen und räumlichen Skalen bewährt. Der Aufwand zur effektiven Nutzung dieser Werkzeuge ist allerdings noch zu hoch, um bei KMUs eingesetzt zu werden [BDI 2005; Bracht u. a. 2011, S. 22f].

Wandlungsfähigkeit ist eine Herausforderung für alle Ebenen der Produktion von den Prozessen bis zu den Produktionsnetzwerken. Die komplexen, sich stetig verändernden Produktionssysteme müssen ganzheitlich, über alle Phasen der Leistungserstellung hinweg betrachtet und optimiert werden. Für diese Aufgaben ist ein neues Verständnis des Industrial Engineering notwendig, das sowohl in die strategische als auch operative Planung und Gestaltung von Produktionsprozessen eingebunden wird [Westkämper/Zahn 2009, S. 19]. Die Herausforderung im Umgang mit Turbulenzen ist im Bereich der Montage, der letzten Produktionsstufe besonders stark, da hier die Produktvarianz entsteht und sie durch den direkten Kundenkontakt als erstes mit externen Turbulenzen konfrontiert ist [Lotter/Wiendahl 2006; Konold/Reger 2009; Müller/Brecher 2009, S.3].

Neben der Planung und Optimierung der Produktion werden physische Produktionsstrukturen benötigt, um eine schnelle und effiziente Umsetzung der Planungsergebnisse zu erreichen. Es werden Systeme benötigt, die es erlauben, die Produktionssystemstruktur zu verändern, so dass eine beliebige Konfiguration ermöglicht wird. Lange Stillstände durch Restrukturierungsmaßnahmen und somit kostspielige Produktionsausfälle können zukünftig vermieden werden, indem im Montagebereich modulare Montagesysteme eingesetzt werden, die bisher nur in begrenztem Maße auf dem Markt verfügbar sind [Wiendahl 2005, S. 93ff; Reinhart u. a. 2007].

Für die beschriebenen Herausforderungen in der Planung und Optimierung von Produktionsprozessen und den unterstützenden Möglichkeiten der Digitalen Fabrik werden im Industrial Engineering Mitarbeiter mit dem entsprechenden fachlichen Know-how benötigt, die diese Aufgaben bewältigen können. Vielen Unternehmen stehen für solche Maßnahmen jedoch nur wenige hochqualifizierte Mitarbeiter zur Verfügung [Armbruster u. a. 2005; Spath 2008, S. 115; Zahn u. a. 2004]. Aufgrund der stetigen Weiterentwicklung der Methoden und Werkzeuge des IE müssen die Unternehmen ihren

Mitarbeitern Weiterbildungsmöglichkeiten bieten, um durch den Zugang zu neuen Erkenntnissen aus Wissenschaft und Forschung die eigene Wettbewerbs-fähigkeit zu stärken. Die Industrial Engineers müssen ihrerseits gewillt sein diese Möglichkeiten zu ergreifen, um durch lebenslanges Lernen für die künftigen Aufgaben gerüstet zu sein. Bisher stehen Ausbildungszentren und Seminarangebote zur Verfügung, die den Lernenden in den oben genannten Bereichen die notwendige Sachkenntnis und das Methodenwissen vermitteln können. Dies geschieht in der Regel mit Fachvorträgen auf Konferenzen, dem Selbststudium der Literatur oder Tagesseminaren, an denen die Grundlagenthematik erläutert und Planungsmethoden vorgestellt werden können. Umfassende Qualifizierungsangebote, die den Bezug zwischen dem Veränderungsbedarf in der Produktion, den Methoden und Werkzeugen des IE und dem unterstützenden Einsatz der Digitalen Fabrik herstellen existieren bisher nicht [IFF 2006].

Für die Qualifizierung von Führungskräften des Industrial Engineerings, die in ihren Unternehmen als Multiplikator fungieren und Reorganisationsmaßnahmen leiten sollen, werden Lernformen benötigt, die nicht nur sachliches Wissen, sondern Know-how für die Bewältigung von Herausforderungen vermitteln [Pätzold u. a. 2003]. Mit handlungsorientierten Lehr-Lern-Methoden, kann ganzheitliches Lernen erreicht werden, so dass der Lernende Zusammenhänge und Verknüpfungen mit dem Kopf, den Händen und allen Sinnen (auch seinen Emotionen) begreifen kann [Bonz 2009b, S. 113ff; Seifert/Weitz 1999, S. 10]. Die Lernstrategie muss dabei neben den Lernzielen und der Zielgruppe auch die gesamte Lehr-Lern-Situation im Blick haben [Gräsel 2006, S. 325ff]. Für den nachhaltigen Lernerfolg des ganzheitlichen Lernens ist es wichtig, dass die Lernenden fachliche Inhalte erlernen, selbstständig anwenden und umsetzen können. Somit wird eine Lernumgebung benötigt, die gezielt auf die Ausbildungsbedürfnisse des Industrial Engineers und seine künftigen Aufgaben zugeschnitten ist.

Zusammenfassend lassen sich die Defizite bezüglich einer kundenorientierten Produktion in der variantenreichen Montage folgendermaßen beschreiben:

- Das aktuelle Verständnis und Aufgabenspektrum des Industrial Engineering ist den Herausforderungen an eine wandlungsfähige Produktion nicht gewachsen.
- Zudem existiert keine zielgerichtete Planungsvorgehensweise, die eine schnelle Reaktionsfähigkeit zur Bewältigung von Turbulenzen ermöglicht.
- Potentiale durch den Einsatz von Methoden und Werkzeugen der Digitalen Fabrik werden nicht ausreichend genutzt, um die Planung zur Turbulenzbewältigung zu unterstützen.
- Aufgrund des geringen Informationsaustauschs zwischen Planung und Produktion, ist eine kurzfristige Reaktion auf Turbulenzen nur eingeschränkt möglich.

- Potentiale zur Wandlungsfähigkeit der Produktionsstrukturen werden bisher nicht ausreichen erkannt und durch den geringen Einsatz modularer, flexibler Montagesysteme nicht ausgeschöpft.
- In den Unternehmen fehlen Mitarbeiter des Industrial Engineering mit erforderlichem Methodenwissen zur Turbulenzbewältigung.
- Es ist keine Lernumgebung vorhanden, die auf das Aufgabengebiet des Industrial Engineerings und sein neues Verständnis zugeschnitten ist.

1.3 Zielsetzung und Aufgabenstellung

Langwierige Planungsabläufe und geringe Veränderbarkeit in den Produktionsstrukturen lassen keine schnelle Reaktionsfähigkeit der Produktion auf kurz- und mittelfristige Turbulenzen zu. Dies liegt an den Defiziten in der Vorgehensweise zur Planung und Optimierung der Produktion, unflexiblen Produktionsstrukturen und dem Qualifizierungsstand der Mitarbeiter in den betroffenen Bereichen des Industrial Engineerings. Den Defiziten kann mit einem neuen Verständnis des Industrial Engineering und der Qualifizierung von Industrial Engineers begegnet werden. Aus den beschriebenen Anforderungen und Defiziten der Problemstellung leitet sich daher die Zielsetzung ab, eine Lernfabrik für die variantenreiche Montage zu konzipieren, um ein neues Verständnis des Industrial Engineerings zu vermitteln, das mit den vorhandenen Potentialen der Digitalen Fabrik und modularer, wandlungsfähiger Montagesysteme Lösungswege zur Bewältigung von Turbulenzen aufzeigt. Zielgruppe dieser Lernfabrik sind Manager, Planer und Gestalter des Industrial Engineerings, die sowohl in die strategische als auch operative Planung und Gestaltung von Produktionsprozessen eingebunden sind. Der Know-how-Transfer des neuen Verständnisses im Industrial Engineering wird durch ein Qualifizierungskonzept realisiert, so dass die Industrial Engineers, den Umgang mit Planungsmethoden und -werkzeugen sowie den notwendigen Strukturen von Produktionsressourcen kennenlernen. So kann die Produktion wandlungsfähig gestaltet werden, so dass auch in Zukunft wirtschaftlich produziert werden kann.

Das neue Verständnis des Industrial Engineering und die damit verbundenen Aufgaben legen den Rahmen der vorliegenden Arbeit fest. Dabei steht eine Vorgehensweise für eine zielgerichtete und effiziente Bewältigung von Turbulenzen im Vordergrund, die durch Methoden und Werkzeuge des Industrial Engineerings und der Digitalen Fabrik unterstützt wird. Die Betrachtung von Montagesystemen ist erforderlich, da diese die notwendigen Informationen für die Planung liefern und eine schnelle Umsetzung der Planungsergebnisse ermöglichen. Diese Inhalte spannen den Rahmen für ein nachhaltiges Qualifizierungskonzept mit einer entsprechenden Lernumgebung. Daraus

kann dann die Konzeption einer Lernfabrik für die variantenreiche Montage erfolgen. Zur Zielerreichung sind somit folgende Aufgabenstellungen zu bewältigen (s. Abbildung 1-3):

- Konzeption einer methodischen Vorgehensweise, die, unter Einsatz der Methoden und Werkzeuge des Industrial Engineerings und der Digitalen Fabrik, eine zielgerichtete und effiziente Bewältigung von Turbulenzen ermöglicht.
- Konzeption einer digitalen Lernumgebung, die die Potentiale der Digitalen Fabrik zur schnellen und effizienten Turbulenzbewältigung aufzeigt.
- Konzeption einer physischen Lernumgebung, die die Potentiale modularer, wandlungsfähiger Montagesysteme in Bezug auf den bidirektionalen Informationsaustausch zwischen Planung und Produktion und die schnelle Umsetzung der Planungsergebnisse veranschaulicht.
- Entwicklung eines Qualifizierungskonzepts für Industrial Engineers das diese befähigt, ihre aktuellen und künftigen Aufgaben zur Planung und Optimierung der Produktion zu erfüllen.

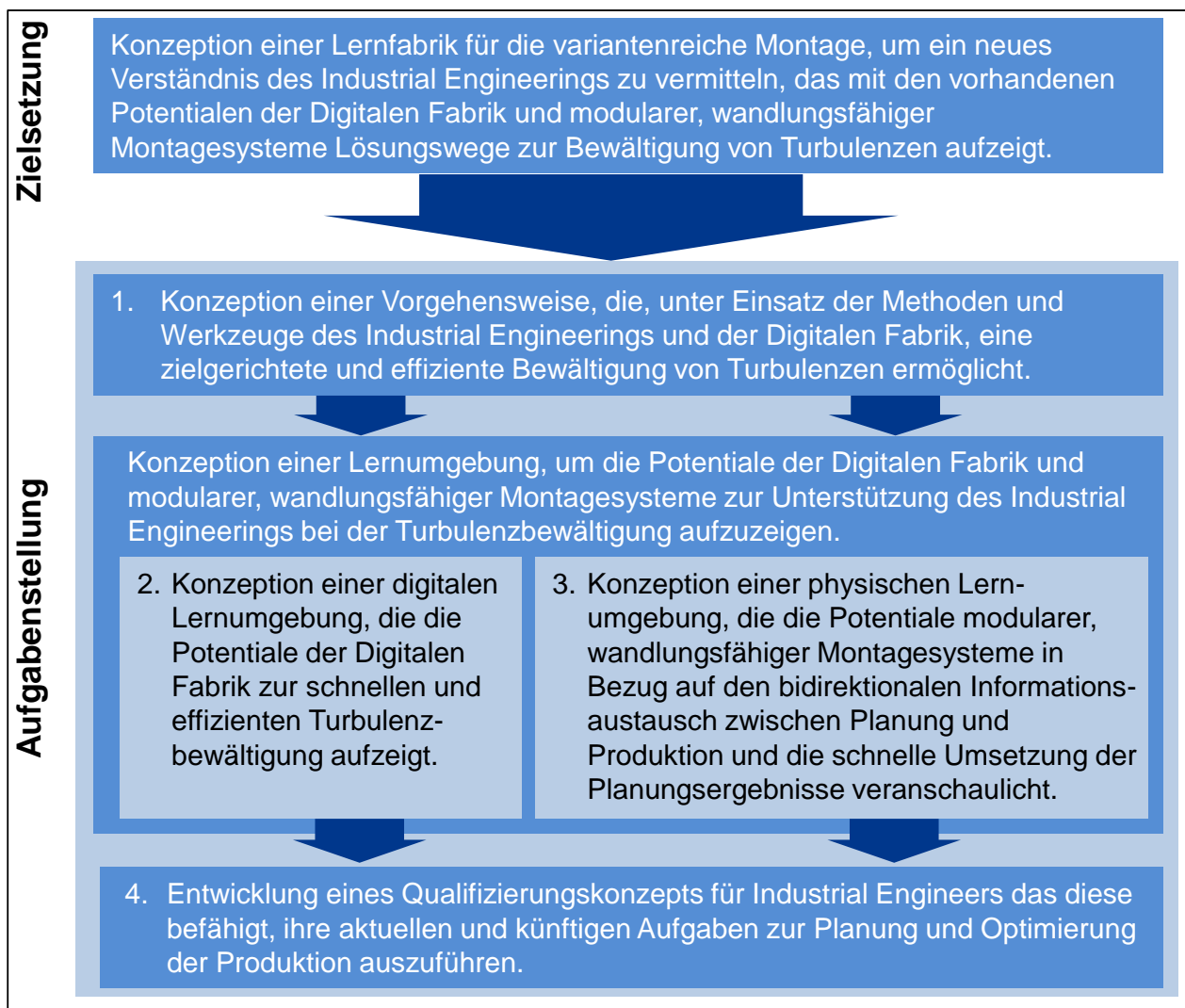


Abbildung 1-3: Zielsetzung und Aufgabenstellung

1.4 Gliederung und Aufbau der Arbeit

Zum Erreichen der oben genannten Zielsetzung und der sich daraus ergebenden Aufgabenstellung wird folgende Vorgehensweise gewählt (s. Abbildung 1-4).

In Kapitel 2 erfolgt die genaue Einordnung der Aufgabenstellung durch die weitere Eingrenzung und Detaillierung des Untersuchungsbereichs. Des Weiteren wird die Definition wesentlicher Zusammenhänge und Begriffe der Arbeit vorgenommen.

In Kapitel 3 werden die detaillierten Anforderungen an die Konzeption und der daraus resultierende Handlungsbedarf hergeleitet. Dazu werden alle Teilbereiche analysiert und hinsichtlich der Zielsetzung der vorliegenden Arbeit bewertet. Zunächst wird das klassische Industrial Engineering und seine künftigen Aufgaben betrachtet. Als Grundlage für den Umgang mit Turbulenzen wird das Stuttgarter Unternehmensmodell als umfassendes Organisationskonzept zur Erhöhung der Wandlungsfähigkeit analysiert. Anschließend werden kommerzielle und wissenschaftliche Methoden und Werkzeuge der Digitalen Fabrik zur Unterstützung der Wandlungsfähigkeit untersucht. Parallel dazu werden wissenschaftliche und kommerzielle Lösungen modularer Mon-tageanlagen hinsichtlich ihrer Wandlungsfähigkeit betrachtet. Abschließend erfolgt eine Analyse der Qualifizierungskonzepte zur nachhaltigen Vermittlung des künftigen IE-Verständnisses.

Aufbauend auf den in Kapitel 3 ermittelten Anforderungen wird in Kapitel 4 zunächst das künftige Verständnis des Industrial Engineerings erarbeitet, bevor eine integrierte Planungs-vorgehensweise entwickelt wird, die die Potentiale der Digitalen Fabrik zur Turbulenzbewältigung einschließt. Daraus aufbauend erfolgt die Konzeption eines Qualifizierungskonzepts, zur Vermittlung des künftigen IE-Verständnisses sowie einer digitalen und physischen Lernumgebung.

In Kapitel 5 wird dann die Umsetzung einer Lernumgebung für Industrial Engineers betrachtet, die zur Vermittlung des künftigen Industrial Engineering Verständnisses dient.

In Kapitel 6 wird das Qualifizierungskonzept zur Nutzung einer Lernfabrik für die variantenreiche Montage ausgearbeitet. Zunächst werden die Zielsetzung und die Planungsaufgaben der einzelnen Planungsabschnitte definiert. Danach werden die Lernziele für Industrial Engineers festgelegt, die in diesem Planungsabschnitt erreicht werden sollen. Anschließend erfolgt eine detaillierte Betrachtung des Zusammenhangs zwischen den kurz- und mittelfristigen Turbulenzen und der Notwendigkeit, einzelne Planungsaufgaben durchzuführen, um die Turbulenzen in diesem Planungsabschnitt zu bewältigen. Darauf aufbauend folgen die Umsetzung des Qualifizierungskonzeptes und die Gestaltung von Szenarien zur Turbulenzbewältigung.

In Kapitel 7 wird dargestellt, wie das entwickelte Qualifizierungskonzept auf seine Praxistauglichkeit getestet und anhand mehrerer Schulungen validiert wurde.

In Kapitel 8 wird die Arbeit mit einer Zusammenfassung der Ergebnisse und deren kritischen Betrachtung sowie einem Ausblick auf zukünftige Forschungs- und Entwicklungsperspektiven abgeschlossen.

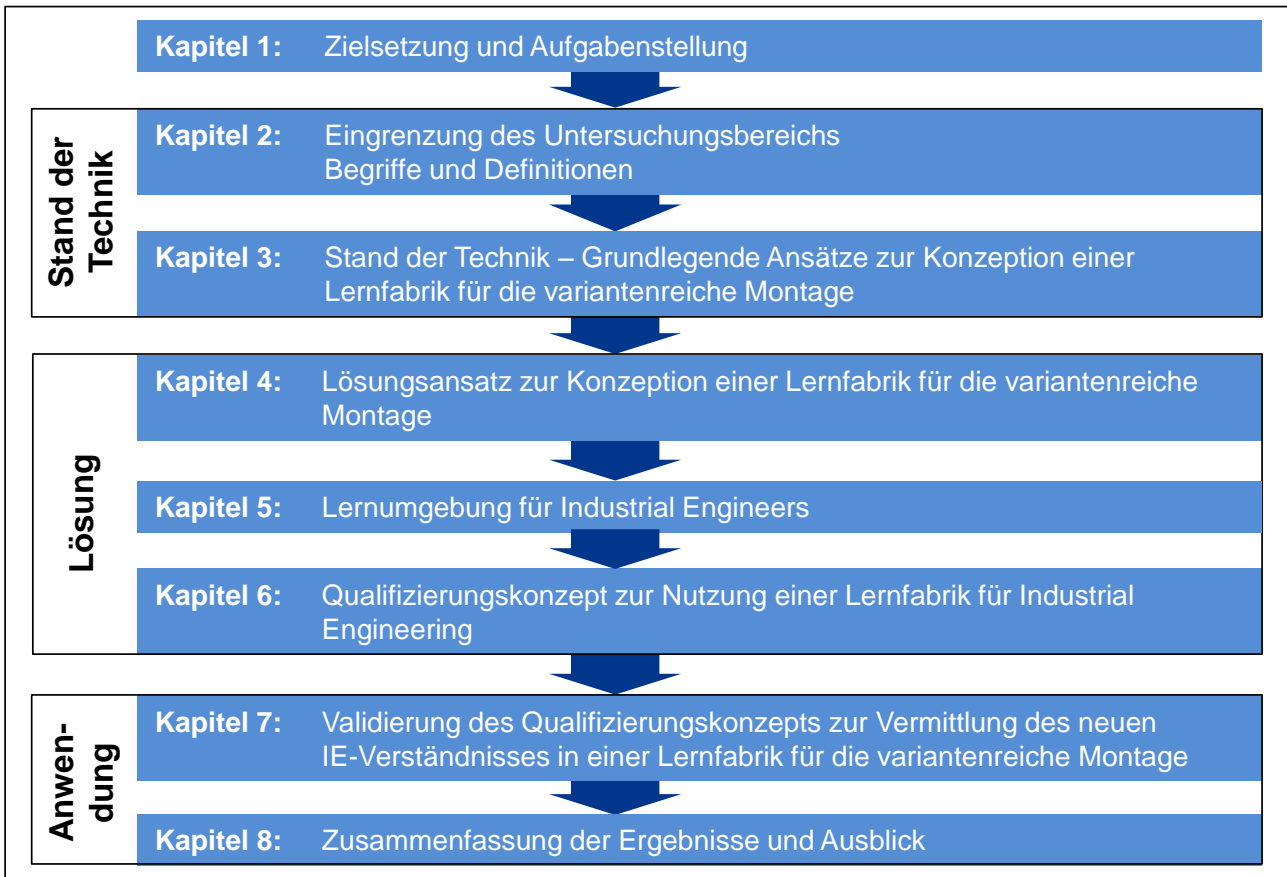


Abbildung 1-4: Vorgehen zur Bearbeitung der Aufgabenstellung

2 Begriffsdefinitionen und Eingrenzung des Untersuchungsbereichs

Im folgenden Kapitel werden grundlegende Begriffsdefinitionen und die Eingrenzung des Untersuchungsbereichs für die Konzeption einer Lernfabrik für die variantenreiche Montage durchgeführt. Zunächst wird der Themenbereich der Planung und Optimierung von Produktionsprozessen in den Kontext der Fabrikplanung und des Fabrik-Lifecycle-Managements eingeordnet. In diesem Rahmen werden die Begriffe und Aufgabenbereiche des Industrial Engineerings definiert. Die Digitale Fabrik als wesentlicher Baustein zur Erhöhung der Wandlungsfähigkeit der Produktion wird mit dem Fokus der Planungsunterstützung betrachtet. Anschließend wird die Montage, die von den stetigen Veränderungen einer kundenindividuellen Produktion besonders beeinflusst wird, abgegrenzt. Abschließend wird auf den Betrachtungsrahmen für die Entwicklung eines Qualifizierungskonzepts und die notwendigen Begriffe der Didaktik und der Wissensvermittlung eingegangen.

2.1 Variantenreiche Serienproduktion in turbulentem Umfeld

Im produktionstechnischen Gewerbe spielt in Deutschland neben der Fahrzeugindustrie der Maschinen- und Anlagenbau eine besondere Rolle. Zusammen erwirtschaften beide Industriezweige einen Umsatz von fast 360 Mrd. Euro (vor der Finanzkrise im Jahr 2008 fast 500 Mrd. Euro) [VDMA 2010, S. 4], was circa 26 % des Bruttoinlandsprodukts der deutschen Volkswirtschaft bedeutet. Die Unternehmen im sekundären Wirtschaftsbereich beschäftigen knapp 1,7 Mio. Erwerbstätige, was 25,5 % der Beschäftigten in Deutschland entspricht [Statistisches Bundesamt 2008, S. 83/115]. Die starke Exportorientierung der deutschen Wirtschaft (Exportanteil am Bruttoinlandsprodukt von 40%), in der circa 50% der Beschäftigten im produzierenden Gewerbe direkt oder indirekt vom Export abhängen, hat zur Folge, dass sich Umfeldveränderungen besonders stark auswirken [Statistisches Bundesamt 2008, S. 90].

2.1.1 Variantenreiche Serienproduktion

Die Produktion als zentraler Bereich eines produzierenden Unternehmens trägt maßgeblich zur Wertschöpfung bei. Als Produktion werden die technischen und organisatorischen Prozesse zur Herstellung, zum Erhalt und zum Recycling von materiellen und immateriellen Produkten und deren Betreuung im gesamten Produkt-Lebenslauf bezeichnet [Westkämper 2006c, S. 24].

Eversheim hingegen beschränkt sich bei der Produktion auf die Gesamtheit der wirtschaftlichen, technologischen und organisatorischen Maßnahmen, die unmittelbar zur

Be- und Verarbeitung von Stoffen zusammenhängen [Eversheim 1996]. Weitere Definitionen stellen die Produktion als Umwandlungs- und Transformationsprozess dar, durch den aus den Einsatzgütern andere Güter oder Dienstleistungen erstellt werden [Corsten 2007, S. 7; Gienke u. a. 2007, S. 5; Günther/Tempelmeier 2005, S. 6; Schwalbach/Oberhammer 2008]. Dabei werden allerdings nur die Vorgänge betrachtet, die dem Zweck der Wertschöpfung dienen. Alle nicht direkt wertschöpfenden Prozesse werden nicht betrachtet. Als Wertschöpfung wird der Transformationsprozess verstanden, in dem eine Veredelung des Inputs (Material, Energie, Betriebsmittel, Information, Mensch) zu einem höherwertigen Erzeugnis (sowie Informationen und Abfall) stattfindet [Günther/Tempelmeier 2005, S. 2ff; Westkämper 2006c, S.34; Wiendahl 2010, S. 10].

Die Produktion gliedert sich im engeren Sinne in die Bereiche Fertigung und Montage [Westkämper 2006c, S. 44], im weiteren Sinne werden zusätzlich die Konstruktion und Arbeitsvorbereitung einbezogen [Wiendahl 2010, S. 11]. Im Rahmen dieser Arbeit wird der Begriff der Produktion mit Fokus auf die Fertigung und Montage verwendet.

Die variantenreiche Serienproduktion stellt eine besondere Produktionssituation dar, die anhand der Fertigungsart und des Erzeugnisspektrums charakterisiert werden kann. Die Fertigungsart ergibt sich aus der Wiederholhäufigkeit der Produktionsprozesse und wird in Einmalfertigung, Einzel- und Kleinserienfertigung, Serienfertigung sowie Massenfertigung gegliedert. Für den Bereich der Serienfertigung wird eine (Auftrags-) Losgröße von größer oder gleich 50 sowie eine durchschnittliche jährliche Wiederholhäufigkeit (Anzahl Fertigungslose pro Jahr) der Produkte zwischen 12 bis 24 angenommen. Der Übergang zwischen den Fertigungsarten ist jedoch fließend und die Grenzen sind lediglich als Richtwerte zu verstehen [Schotten u. a. 1998, S. 86ff]. Mit dem Erzeugnisspektrum wird der konstruktionsbedingte Produktaufbau beschrieben und der Standardisierungsgrad bzw. die Kundenspezifität des Produktes aufgezeigt. Eine Variante wird dabei als eine geringfügige Abweichung von einem Standard betrachtet, die sich auf die Zeit, Menge, Produktstruktur sowie die Produktion beziehen. In der variantenreichen Serienproduktion werden meist mehrteilige Erzeugnisse mit einfacher oder komplexer Struktur hergestellt [Lindemann u. a. 2006, S. 45ff; Schotten u. a. 1998, S. 86ff].

Die Betrachtung der Montage ist im Bereich der variantenreichen Serienproduktion besonders interessant, da ihr als letztem Produktionsschritt eine besondere Rolle zukommt. Zum einen entsteht hier die Produktvarianz und zum anderen steht die Montage in direktem Kontakt mit dem Kunden, so dass marktseitige Turbulenzen sofort zu bewältigen sind. Auch werden erst viele Fehler der Fertigung in der Montage entdeckt [Müller/Brecher 2009, S. 3], die mit 15 bis 70% [Lotter/Wiendahl 2006, S. 3] der

Gesamtbearbeitungszeit in der Einzel- und Serienproduktion einen Wertschöpfungsanteil von bis zu 70 % aufweist [Westkämper 2001b, S. 1].

2.1.2 Turbulenz im produktionstechnischen Umfeld

Die deutschen Produktionsunternehmen sehen sich in Zeiten der Globalisierung und der Kundenorientierung mit vielen sich verändernden Einflussfaktoren konfrontiert, die es zu bewältigen gilt. Betrachtet man die Entwicklung einzelner Bereiche im Unternehmensumfeld wird deutlich, welche Herausforderungen auf die Unternehmen zukommen und welche Auswirkungen sich daraus ergeben. Bei der Gliederung der Herausforderungen wird zwischen dem globalen Umfeld, dem Branchenumfeld und dem unternehmensinternen Umfeld unterschieden (s. Abbildung 2-1) [Dürschmidt 2001, S. 25ff; Hungenberg/Wulf 2007, S. 16]. Weitere Autoren beschreiben dieselben Einflussfaktoren, nehmen jedoch andere Gliederungen vor [Wiendahl u. a. 2009, S. 14f; Westkämper/Zahn 2009, S. 9f; Schenk/Wirth 2004, S. 10ff].

Zu den Einflussfaktoren des globalen Umfeldes zählen weitergehende politisch-rechtliche, ökonomische, technologische, gesellschaftliche und ökologische Rahmenbedingungen.

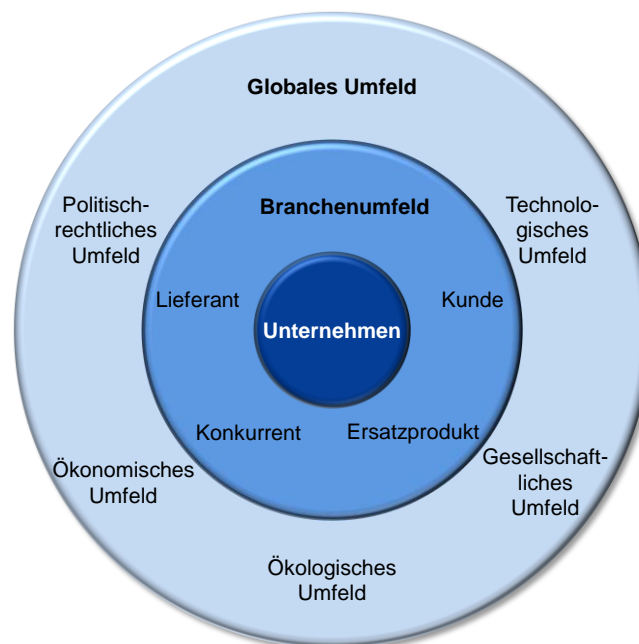


Abbildung 2-1: Einflussfaktoren auf ein Unternehmen [vgl. Hungenberg/Wulf 2007, S. 16]

Im Bereich des politisch-rechtlichen Umfeldes sind besonders die staatlichen Regularien für das wirtschaftliche Handeln von Bedeutung. Die Abschaffung von Handelsschranken und die Internationalisierung seit Mitte der 90er Jahre führen zu neuen Absatz- und Beschaffungsmärkten, aber auch zu neuer Konkurrenz auf angestammten Märkten [EU-Kommission 2006, S. 5ff; Westkämper u. a. 2000, S.22].

Im Bereich des ökonomischen Umfeldes führen schwankenden Absatzzahlen bei verschärften Lieferbedingungen und steigender Komplexität der Produkte zum Aufbau von Überkapazitäten, um Produktionsspitzen bewältigen zu können oder bedürfen einer schnellen Adaptionsfähigkeit der Produktion [Nyhuis u. a. 2008, S. 20ff; Schuh 2002, S. 2]. Im Bereich des technologischen Umfeldes sind Entwicklungen in den Produkt- und Produktionstechnologien zu beobachten, die durch den massiven Einsatz neuer Informations- und Kommunikationstechnologien vorangetrieben werden. Die sich so verkürzenden Innovations- und Produktlebenszyklen ziehen stetige Integrationsaufwände in der Produktion nach sich und liefern ihren Beitrag zu einem diskontinuierlichen Kapazitätsbedarf [Niemann 2009, S. 224ff; Schuh 2005, S. 3ff; Westkämper u. a. 2000, S. 22].

Im Bereich des gesellschaftlichen Umfeldes ist zunächst die Nachfrage nach kundenindividuellen Produkten zu nennen, die neben den kurzen Produktlebenszyklen zu einem starken Anstieg der Produktvarianz führt. Des Weiteren ist der demographische Wandel in den Industrieländern zu beachten, der sich einerseits auf eine Verschiebung der Kundengruppen und deren Interessen und andererseits auf die Gestaltung des Arbeitssystems auswirkt [Spanner-Ulmer 2009; Westkämper u. a. 2000, S. 22; Wiendahl 2002b, S. 122ff].

Im Bereich des ökologischen Umfeldes werden die Unternehmen sowohl durch die steigende Kostenbelastung als auch durch das Umweltbewusstsein der Gesellschaft veranlasst, ressourcenschonende Strategien und Technologien einzusetzen sowie strenge Umweltauflagen zu erfüllen. Im Rahmen dessen wird beispielsweise versucht, recycelbare Materialien einzusetzen und interne sowie externe Transportverpackungen zu reduzieren [Erlach/Westkämper 2009].

Für die Beschreibung der Einflussfaktoren des Branchenumfeldes eignet sich das Modell nach PORTER, welches komplexe Interaktionen zwischen den Marktteilnehmern einer Branche definiert. Einflussfaktoren stellen demnach potentielle Konkurrenten und Ersatzprodukte sowie auf der Auftragsseite die Marktmacht der Kunden und der Lieferanten dar [Porter 2008].

Unternehmensinternen Einflussfaktoren entstehen durch strategische Impulse der Unternehmensführung wie der Ausweitung des Leistungsangebotes oder die Erschließung neuer Märkte. Aber auch durch die Beseitigung von Schwächen in den technischen und organisatorischen Produktionsabläufen sowie die Nutzung von Potentialen neuer Technologien [Wiendahl u. a. 2009, S. 14f]. Diese Einflussfaktoren, die auch Turbulenzkeime genannt werden, führen zu Herausforderungen in der Produktion, die in der Literatur häufig als Turbulenzen bezeichnet werden [Reinhart/Wildemann 2000;

Westkämper 2002b, S. 17ff; Wiendahl 2002b, S. 122ff]. Der Begriff „Turbulenz“ wird im technischen Bereich vor allem in der Strömungsmechanik verwendet. Im Gegensatz zu einer geordneten und gleichmäßigen Strömung ist das Verhalten und die Bewegungsrichtung einzelner Teilchen im turbulenten Zustand nicht vorhersagbar und nur sehr aufwendig und ungenau zu berechnen [Lackmann 2007, S. B48ff; Böswirth 2007, S. 6ff/162ff].

Turbulente Zustände in der Produktion treten meist aufgrund von mehreren, gleichzeitig auftretenden Turbulenzkeimen auf. Dabei lassen sich einzelne Turbulenzkeime schwer lokalisieren, da nur ihre Auswirkungen in Form von Veränderungen in einem Unternehmen wahrgenommen werden. Ihre Ursache und Wirkung verteilt sich über mehrere Systemebenen und zieht zahlreiche Abhängigkeiten zwischen Systemelementen mit sich [Westkämper 2008a, S.89ff.]. Da die Ausprägungen von Turbulenzkeimen beziehungsweise Wandlungstreibern unterschiedlicher Art und Dauer sind, wird für diese Arbeit eine Klassifizierung nach der Turbulenzursache (intern / extern) und der erforderlichen Reaktionszeit (kurz- / mittel- / langfristig) vorgenommen [Westkämper/Zahn 2009, S. 271ff; Hernández Morales 2003, S. 58f]. Die Reaktionszeit liegt bei kurzfristigen Turbulenzen im Bereich von Stunden bis Tagen, bei mittelfristigen Turbulenzen bei Wochen bis Monaten und bei langfristigen Turbulenzen bei Jahren.

In dieser Arbeit werden nur kurz- und mittelfristige Turbulenzen betrachtet (s. Abbildung 1-2), da die Bewältigung in den Bereich der Planung und Optimierung der Produktion, dem Aufgabengebiet des Industrial Engineering, fällt. Langfristige Turbulenzen mit strategischer Bedeutung fallen in den Bereich der Unternehmensplanung und werden daher nicht betrachtet.

2.1.3 Wandlungsfähigkeit als Lösung zur Turbulenzbewältigung

Wandlungsfähigkeit wird von vielen Unternehmen als Lösung zur Bewältigung von kurz- und mittelfristigen Turbulenzen genannt [Westkämper/Zahn 2009, S.14; Wiendahl 2002b, S. 125ff; Reinhart 1997; Schuh u. a. 2004b; Kinkel u. a. 2007; Jovane u. a. 2009, S. 144ff]. Da Wandlungsfähigkeit teilweise auch als neue Dimension der Flexibilität verstanden wird [Reinhart 1997], werden im Folgenden, die Begrifflichkeiten Flexibilität, Wandelbarkeit und Wandlungsfähigkeit voneinander abgegrenzt. Als Flexibilität wird die reversible Anpassungsfähigkeit eines Systems innerhalb eines vordefinierten Handlungsspielraumes verstanden, wobei ein gestalterischer Eingriff von außen erforderlich ist [Westkämper u. a. 2000, S. 24]. In der Produktion wird dabei vor allem die Anpassungsfähigkeit verfügbarer Kapazitäten gesehen [DeToni/Tonchia 1998, S. 1587]. Im Gegensatz zur Flexibilität sind bei der Wandelbarkeit auch räumliche Veränderungen

möglich und das System ist an künftige Forderungen adaptierbar, die zum Zeitpunkt der Systemspezifikation noch nicht umfassend bekannt waren. Der vordefinierte Handlungsspielraum der Flexibilität kann also überwunden werden [Westkämper u. a. 2000, S. 24]. Kommt zur Wandelbarkeit noch die Kreativität und Intelligenz des Menschen hinzu, der den Wandel initiiert und gestaltet kann von Wandlungsfähigkeit gesprochen werden. Wandlungsfähigkeit kann daher als die taktische Fähigkeit einer ganzen Fabrikstruktur beschrieben werden, auf interne und externe Turbulenzen reaktiv und proaktiv reagieren zu können. Die strukturellen Eingriffe und Veränderungen in das Produktionssystem, die Betriebsmittel und Prozessabläufe können mit entsprechender Planung durchgeführt werden. Ein wandlungsfähiges System erkennt die Anforderung zur Veränderbarkeit rechtzeitig, zieht den Schluss zum Wandel für sich und ist in der Lage neue Fabrikstrukturen und Prozessabläufe zu entwickeln und umzusetzen [Westkämper u. a. 2000, S. 24f; Wiendahl 2002b; 125ff]. Während sich die Wandelbarkeit auf technische Systeme bezieht, wird bei Flexibilität und Wandlungsfähigkeit zusätzlich zum technischen auch das soziale System einer Fabrik einbezogen [Westkämper u. a. 2000, S. 24f]. Grenzen der Wandlungsfähigkeit im Unternehmen werden durch die Veränderbarkeit von Ressourcen, Prozessen, Strukturen und Kosten bestimmt. Gebäude, Anlagen und Maschinen mit einer Nutzungsdauer von 30 bzw. 15 Jahren stellen Hemmnisse für Prozess- und Strukturveränderungen dar, wie auch Organisationsstrukturen oder die Qualifikation der Beschäftigten [Westkämper/Zahn 2009, S. 15; Westkämper 1999, S. 131ff]. Aus Kostensicht stellen hohe Wandlungskosten oft ein Hindernis dar, die in der Gestaltung der Ressourcen widerspiegelt wird [Witte u. a. 2005]. Möglichkeiten, diese Hemmnisse im Bereich von Montagesystemen zu überwinden, werden im weiteren Verlauf der Arbeit aufgezeigt.

2.2 Fabrikplanung und Fabrik-Lifecycle-Management

Nachdem die für die Produktion relevanten Turbulenzen auf die Fabriken einwirken, gilt es die Turbulenzbewältigung in den Rahmen der Planungsaktivitäten von Fabriken einzuordnen und dabei auf die Forderung nach einer kontinuierlichen Adaption der Fabrik an die Gegebenheiten in Zusammenhang mit dem Trend des Fabrik- Lifecycle-Managements zu bringen.

2.2.1 Das System Fabrik

Der Begriff der Fabrik entstammt dem lateinischen Wort „fabrica“ und bedeutet so viel wie „Werkstätte“. In der Literatur gibt es viele Autoren, die den Begriff aus unterschiedlichen Blickwinkeln betrachten. Eine allgemeine Definition liefert SCHMIGALLA, der die Fabrik als

einen industriellen Betrieb bezeichnet, der erwerbswirtschaftliche oder gemeinwirtschaftliche Zwecke verfolgt. Der Begriff Fabrik wird insbesondere dann verwendet, wenn der produktionstechnische und produktionsorganisatorische Aspekt im Vordergrund steht [Schmigalla 1995, S. 34]. Dabei werden in einem gewerblichen Produktionsbetrieb die Gewinnung, Veredelung und Verarbeitung von Stoffen zur Erzeugung von Konsumgütern oder Produktionsmitteln nach dem Prinzip der tayloristischen Arbeitsteilung durchgeführt [Kettner u. a. 1984]. Der systemtechnische Begriff findet sich bei der Betrachtung der Fabrik als Kombination der Arbeits- und Betriebsmittel, der menschlichen Arbeitsleistung und der Informationsprozesse wieder [Pawellek 2008, S. 2]. WESTKÄMPER sieht Fabriken als Produkte, die zugleich komplexe sozio-technische Systeme darstellen und als zentrale Aufgabe die wirtschaftliche Herstellung von Produkten durch den Einsatz von Menschen, Ressourcen, Material und Energie haben. Fabriken sind demnach ein neuer komplexer Produkttyp mit langer Lebensdauer, der an die ständigen operativen, taktischen und strategischen Veränderungen angepasst werden muss [Aldinger u. a. 2006a; S. 111f].

Zur Darstellung dieses komplexen Gebildes hat sich die Systemtheorie bewährt, die sowohl von WIENDAHL als auch von WESTKÄMPER herangezogen wird [Westkämper/Zahn 2009, S. 25; Wiendahl 2010, S. 124]. Ein System besteht demnach aus einer Menge von Elementen mit Eigenschaften und Handlungsmöglichkeiten die über Relationen in Verbindung stehen und zweckorientiert für das System agieren. Die aus der Vernetzung der Elemente entstehende Struktur des Systems kann in Subsysteme zerlegt werden. Das System interagiert über seine Systemgrenze hinaus mit der Umwelt [Krieger 1998, S. 20ff; Gomez u. a. 1975]. Hinsichtlich der Anforderungen der Wandlungsfähigkeit einer Fabrik eignet sich diese Art der Betrachtung, da somit die erforderliche Strukturdynamik abgebildet werden kann.

Das System Fabrik kann als Leistungseinheit verstanden werden, das den Transformationsprozess der Wertschöpfung in der Produktion hinsichtlich der Unternehmenszielsetzung organisiert und durchführt. Die Leistungseinheit besteht dabei aus Mitarbeitern und Ressourcen, die Material und Informationen in Produkte und Informationen umwandeln. Sie besitzt Fähigkeiten der Selbstorganisation, der Selbstoptimierung, der Selbstkontrolle und der Selbstkonfiguration. Die Teilsysteme einer Fabrik bilden wiederum Leistungseinheiten, die sowohl innerhalb ihrer Ebene als auch mit über- bzw. untergeordneten Leistungseinheiten kooperieren. Als Systemebenen werden dabei Produktionsnetzwerk, Produktionsstandorte, Produktionssegmente, Produktionssysteme, Produktionszellen, Arbeitsplätze / Maschinen und Prozesse unterschieden [Westkämper/Zahn 2009, S. 47ff].

Im Rahmen dieser Arbeit werden die Systemebenen einer Fabrik vom Produktionssystem bis zu den Arbeitsplätzen und Maschinen betrachtet. Der fabrikübergreifende Bereich des Produktionsnetzwerkes wird nur über die Schnittstellen der Fabrik betrachtet. Nachdem die Betrachtung langfristiger Turbulenzen ausgeschlossen wurde, wird die Ebene der Produktionsstandorte ebenfalls ausgeschlossen, da diese im Bereich der kurz- und mittelfristigen Turbulenzen als feste Rahmenbedingungen angesehen wird. Die Prozessebene wird nicht einbezogen, da die damit verbundene Entwicklung und Optimierung von Prozesstechnologien zu den langfristigen Turbulenzen zählt.

2.2.2 Fabrikplanung

Fabrikplanung ist der systematische, zielorientierte, in aufeinander aufbauende Phasen strukturierte und mit Methoden und Werkzeugen durchgeführte Prozess zur Planung einer Fabrik von der Zielfestlegung bis zum Anlauf der Produktion [VDI 5200, S. 2]. Ziel der Fabrikplanung ist es, als Teil der Unternehmensplanung, die Wirtschaftlichkeit, Wandlungsfähigkeit und Attraktivität der Fabrik unter Berücksichtigung der Rand- und Rahmenbedingungen sicherzustellen. Wirtschaftlichkeit bedeutet dabei die konsequente Ausrichtung der Fabrik auf die kundenorientierte Marktleistung mit der Herstellung von Produkten und produktintegrierten Dienstleistungen [Gaus99]. Die Wandlungsfähigkeit zielt auf die Anpassungsfähigkeit der Fabrik ab (s. Kapitel 2.1.3). Die Attraktivität beinhaltet sowohl die Motivationsförderung der Mitarbeiter durch eine angemessene Arbeitsplatzgestaltung und Arbeitsumgebung als auch das gesellschaftliche Erscheinungsbild dem Kunden gegenüber und die Reduzierung der Umweltbelastungen auf ein Minimum. Für diese Zielsetzung ist eine interdisziplinäre Zusammenarbeit im Unternehmen notwendig denn nur so kann die Komplexität der klassischen Planungsfelder beherrscht werden.

Die Auslöser der Fabrikplanung bestimmen im Wesentlichen den Umfang der Planungsaufgabe und die zu betrachtenden Planungsfelder. In der Literatur wird zwischen vier Planungsgrundfällen, der Neuplanung, der Umplanung, dem Rückbau und der Revitalisierung von Fabrikbetrieben unterschieden. Die Neuplanung stellt dabei den umfangreichsten Planungsgrundfall dar. Im Rahmen der stetigen Anpassung der Produktion an sich verändernde Rahmenbedingungen stehen jedoch alle anderen Planungsgrundfälle stärker im Fokus, was insbesondere auf die Umplanung zutrifft [Grundig 2006, S. 14ff; Schenk/Wirth 2004, S. 229; VDI 5200, S. 3].

Im Rahmen der Fabrikplanung werden vier Planungsbereiche unterschieden. Am Anfang steht immer der Bereich der Zielfestlegung. Der weitere Planungsinhalt kann übergreifen aus den Bereichen Standortplanung, externe Logistik (Beschaffungs-, Distributions- und

Entsorgungslogistik) sowie Fabrik und Produktionslogistik zusammen. Dabei werden die Planungsebenen vom Produktionsnetzwerk bis zum Arbeitsplatz betrachtet.

Der Fabrikplanungsansatz nach VDI 5200 gliedert den Fabrikplanungsprozess in sieben Phasen, die sequentiell und teilweise iterativ durchlaufen werden (s. Abbildung 2-2). Zum Abschluss einer jeden Phase muss ein Meilenstein mit einem definierten Ergebnis erreicht sein, bevor die nächste Phase freigegeben werden kann. Die Planungsphasen beinhalten die Layout-, Logistik-, Materialfluss- und Prozessplanung und die damit verbundene Planung der dazugehörigen Ressourcen und Einrichtungen [VDI 5200, S. 5ff].



Abbildung 2-2: Phasenmodell des Fabrikplanungsprozesses [VDI 5200, S. 5]

In der Zielfestlegung werden in der Strategie- und Zieldefinition die Planungsziele festgelegt. Für das Controlling des Planungsprozesses werden dabei Bewertungskriterien aufgestellt und der Planungsablauf für ein zielgerichtetes Vorgehen in Arbeitspakete gegliedert.

In der Grundlagenermittlung erfolgt eine detaillierte IST-Analyse und Potentialanalyse, um die Projektziele zu konkretisieren und auf ihre Erreichbarkeit zu überprüfen. Die Grundlagenermittlung schafft die Datengrundlage für die weiteren Planungsphasen.

In der Konzeptplanung wird anhand der Zielsetzung und Anforderungen ein Idealkonzept entwickelt, das keinerlei Restriktionen betrachtet. Dies schließt die Erarbeitung von Prozessplänen und Produktionsstrukturkonzepten mit der Layout- und Logistikplanung ein. Anschließend werden in der Realplanung verschiedene Lösungsvarianten entwickelt, die die Rahmenbedingungen wie z. B. Gebäudestrukturen, Maschinenpark oder verfügbares Personal einhalten. Die ausgewählte Lösungsvariante stellt den SOLL-Zustand der künftigen Fabrik dar.

In der Detailplanung wird die Lösungsvariante der Konzeptplanung weiter detailliert, so dass sie letztendlich zur Umsetzung freigegeben werden kann. In dieser Phase werden die Dimensionierung des Logistiksystems, die Gestaltung der Arbeitsplätze sowie die Feinlayoutplanung mit dem Maschinenaufstellungsplan durchgeführt. Abschließend werden die notwendigen Genehmigungen eingeholt und die Leistungsbeschreibungen für die Angebotseinholung erstellt.

In der Realisierungsvorbereitung werden die Lieferanten anhand der Leistungsbeschreibungen ausgewählt und die Pflichtenhefte erstellt. Parallel dazu erfolgt

die Umsetzungsplanung, um den Produktionsstillstand in der Fabrik während der Umbaumaßnahmen so gering wie möglich zu halten.

Die Realisierungsüberwachung übernimmt das Controlling für die Sicherheitsmaßnahmen, die Einhaltung der Kosten, der Qualitätsstandards und des Zeitplans der Umsetzung. Außerdem erfolgt die Dokumentation der Umsetzung.

Im Rahmen der Hochlaufbetreuung wird die Fabrik in Betrieb genommen und abschließend die Leistungsfähigkeit der Fabrik bewertet. Dabei erfolgt auch der finale Abgleich mit den anfangs festgelegten Projektzielen.

Zum Vergleich mit der VDI-Richtlinie 5200 wurden die klassischen Fabrikplanungsansätze von KETTNER, AGGTELEKY, GRUNDIG, FELIX, WIENDAHL und ROCKSTROH analysiert. Bei der Betrachtung der verschiedenen Fabrikplanungsansätze zeigt sich, dass der Fabrikplanungsprozess von den meisten Autoren in verschiedene Planungsphasen gegliedert wird, je nachdem welchen Schwerpunkt der Autor setzt. Die generellen Inhalte der Planungsphasen stimmen jedoch weitgehend überein. Die Planungsphasen werden zeitlich nacheinander abgearbeitet und die Ergebnisse der vorhergehenden Planungsphase detailliert. Die vorgestellte Systematik der Fabrikplanung ist in der Literatur und Praxis anerkannt und mit geringfügigen Abwandlungen von zahlreichen Autoren veröffentlicht worden [Aggteleky 1987; Kettner u. a. 1984; Grundig 2006; Wiendahl 2005; Schmigalla 1995; Felix 1998; Fraunhofer IPA 2010].

2.2.3 Fabrik-Lifecycle Management

Während die klassischen Fabrikplanungsvorgehensweisen auf Basis einer genauen und langfristig geltenden Datenbasis erfolgen, sind Fabriken heutzutage im turbulenten Umfeld sich stetig ändernden Rahmenbedingungen ausgesetzt. Diesen Anforderungen können die klassischen Ansätze oftmals nicht gerecht werden [Nyhuis u. a. 2004; Dombrowski/Tiedemann 2005; Spath u. a. 2002; Pawellek 2008; Schenk/Wirth 2004]. Die moderne Fabrikplanung sollte es erlauben, das wandlungsfähige System einer Fabrik stets an die Rahmenbedingungen anzupassen und somit am wirtschaftlichen und technischen Optimum zu betreiben. Es gilt eine sinnvolle Balance zwischen den kurzen Lebenszyklen von Produkten und Prozessen und der langen Lebens- und Nutzungsdauer der Fabriken zu finden.

Basierend auf dem Grundgedanken, Fabriken als komplexe langlebige Produkte zu sehen und den Erkenntnissen aus dem Konzept des Produkt-Lifecycles, in dessen Mittelpunkt die ökonomische Betrachtung eines Produktes über seine gesamte Lebenszeit steht, wurde der Ansatz des Fabrik-Lifecycle-Management entwickelt [Aldinger u. a. 2006a, S. 111]. Dabei werden die Bereiche der Fabrikplanung und des Fabrikbetriebs zu einem

ganzheitlichen Ansatz verbunden [Schenk/Wirth 2004, S. 105]. Im Vordergrund steht die Kostenoptimierung der Fabrik über alle Lebensphasen hinweg von der Fabrikplanung, über die Errichtung, den Betrieb bis zum Rückbau [Aldinger u. a. 2006a, S. 111]. Um den neuen Anforderungen gerecht zu werden, hat ERLACH das klassische Zieldreieck mit den Zielgrößen Zeit, Qualität und Kosten um die Zielgröße der Variabilität erweitert. Die Variabilität beinhaltet dabei die Produktvarianz und die Wandlungsfähigkeit [Erlach/Westkämper 2009, S. 25ff]. Wandlungsfähigkeit bedeutet in diesem Zusammenhang, dass die Veränderungen in einzelnen Phasen und deren phasenübergreifenden Wirkungen im gesamten Fabriklebenszyklus berücksichtigt werden. Im Bereich der Fabrikplanung müssen also die Rahmenbedingungen geschaffen werden, um den Veränderungsbedarf im Fabrikbetrieb realisieren zu können. Es werden folglich neue Fabrikplanungsvorgehensweisen benötigt, die eine zeitliche Koordination und inhaltliche Integration der Planungsprozesse aller an der Fabrikplanung beteiligten Disziplinen erlauben. Dabei darf die Fabrikplanung nicht mehr als einmaliges Projekt betrachtet werden, sondern muss aufgrund der geforderten Planungshäufigkeit und -geschwindigkeit zu einem kontinuierlich durchführbaren Prozess werden. Durch ein konsequentes Fabrik-Lifecycle-Management werden Anpassungs- oder Veränderungsprozesse der Unternehmen wesentlich transparenter und effizienter durchführbar. Der Planungsanstoß für die in Kapitel 2.2.2 genannten Planungsgrundfälle erfolgt dabei meist während dem Fabrikbetrieb, was die Notwendigkeit der Verknüpfung zwischen Fabrikplanung und Fabrikbetrieb nochmals unterstreicht.

In der Literatur finden sich Ansätze von SCHENK/WIRTH, WIENDAHL/NYHUIS, DOMBROWSKI, SCHUH, PAWELLEK und WESTKÄMPER, die diese Sichtweise unterstützen, wenngleich die Gliederung der Planungsprozesse und die eingesetzten Methoden und Werkzeuge leicht unterschiedlich ausfällt [Aldinger u. a. 2006a; Bergholz 2006; Constantinescu u. a. 2009; Dombrowski/Tiedemann 2005; Nyhuis u. a. 2004; Pawellek 2008; Schenk/Wirth 2004; Schuh u. a. 2007a; Schuh u. a. 2007b; Schuh u. a. 2007c; Spath u. a. 2002; Wiendahl 2005; Wiendahl u. a. 2009; Westkämper 2008b].

2.3 Industrial Engineering

Die Grundlagen des Industrial Engineering haben ihren Ursprung Anfang des 20. Jahrhunderts in den Arbeiten von Frederick W. TAYLOR, der mit seinen Prinzipien der wissenschaftlichen Betriebsführung im Grundsatz eine Planung der Fertigung mit wissenschaftlichen Methoden forderte, und Frank und Lilian GILBRETH, die mit ihren Bewegungsstudien die Grundlage für synthetische Zeitermittlungsverfahren legten

[Maynard/Zandin 2001, S. 1.5f]. In den frühen 60'er Jahren wurde vom American Institute of Industrial Engineering (AIIE) erstmals der Begriff des Industrial Engineering definiert:

“Industrial Engineering is concerned with the design, improvement and installation of integrated systems of men, materials, equipment and energy. It draws upon specialized knowledge and skill in the mathematical, physical and social sciences together with the principles and methods of engineering analysis and design to specify, predict and evaluate the results to be obtained from such systems” [AIIE 2010].

Während das Industrial Engineering in den USA als eigenständige Disziplin der Ingenieurwissenschaften gilt, wird es in Deutschland und vielen europäischen Staaten als Teilgebiet des Maschinenbaus gesehen. Somit gibt es zwar Parallelen aber kein einheitliches Verständnis für das Industrial Engineering. Weitere Definitionen des Industrial Engineerings schließen dabei die Kernbereiche wie die Gestaltungs-, Planungs- und Optimierungsaufgaben in der Produktion und der peripheren Bereiche ein. Die einzelnen Definitionen weisen jedoch unterschiedliche Schwerpunkte auf und schließen teilweise weitere Aufgabengebiete wie das Prozessmanagement, das Produkt- und Servicemanagement oder das Produktionsmanagement ein [IMSE 2010; REFA 1984; S.37; Bokranz u. a. 2006, S. 73; darin enthalten sind weitere IE-Definitionen der Industrial Engineering Departements der North Carolina State University, der University of Tennessee und der Mississippi State University sowie des AIIE].

Das Industrial Engineering als Bindeglied zwischen Konstruktion und Produktion umfasst die Planung und Optimierung der Produktionsprozesse mit dem Ziel, den optimalen wirtschaftlichen Betriebspunkt der Produktion und eine humanorientierte Arbeitsgestaltung zu erreichen.

Das Industrial Engineering lässt sich grundsätzlich in die Bereiche Arbeitsplanung und Arbeitssteuerung gliedern (s. Abbildung 2-3). Die Arbeitsplanung befasst sich als auftrags- und terminneutrale Planung mit den Fragestellungen aus welchem Material nach welchem Verfahren mit welchen Fertigungsmitteln und in welcher Zeit ein Produkt hergestellt wird. Die Arbeitsplanung beinhaltet dabei die Arbeitssystemplanung als strategische Komponente mit einem langfristigen Zeithorizont und die Arbeitsablaufplanung mit den operativen, kurzfristigen Aufgaben zur Erstellung von Arbeitsplänen. Die Arbeitssteuerung baut auf den Ergebnissen der Arbeitsplanung auf und umfasst mit der termin-, kapazitäts- und mengenbezogenen Planung und Steuerung der Produktion die Maßnahmen zur Auftragsabwicklung. Dabei werden Fragestellungen nach der Anzahl der zu fertigenden Teile, der Terminierung der Arbeitsvorgänge und dem ausführenden Arbeitsplatz / Mitarbeiter beantwortet [Eversheim 2002, S. 6ff; Binner 2003, S. 11f; Westkämper 2006c, S. 154f; Wiendahl 2010, S. 198f].

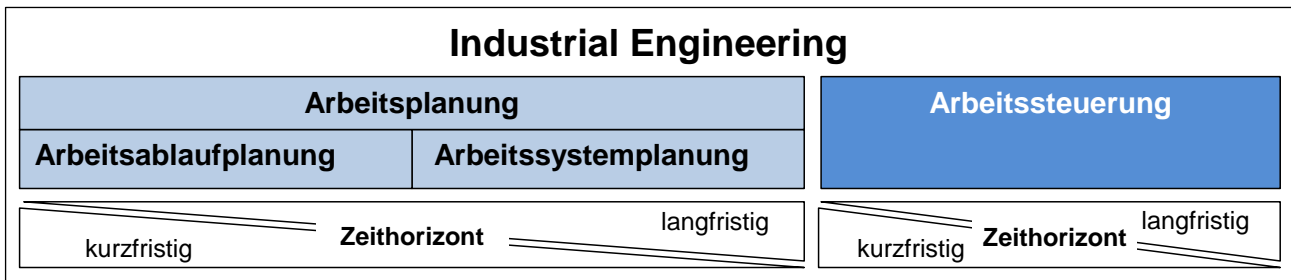


Abbildung 2-3: Bereiche des Industrial Engineering

Dem Industrial Engineer stehen für seine Aufgaben über 80 klassische Methoden und Werkzeuge zur Verfügung, die in den umfangreichen Methodensammlungen von REFA, MTM und des Instituts für angewandte Arbeitswissenschaft (IfaA) beschrieben sind.

2.4 Digitale Fabrik

Die Digitale Fabrik wird als wesentlicher Faktor im Umgang mit kurz- bis langfristigen Turbulenzen angesehen und gilt als wichtiger Baustein des Industrial Engineering. Diese Sichtweise wird mit der höheren Planungsgeschwindigkeit bei gleichzeitiger Steigerung der Planungsqualität und reduzierten Kosten im Fabrikbetrieb begründet [Feldmann 2000, S. 28ff; Bierschenk u. a. 2005].

Der Ursprung der Digitalen Fabrik liegt im Einsatz von CAD-Werkzeugen (Computer Aided Design) und den darauf aufbauenden Simulationssystemen des Computer Aided Engineerings (CAE) in der Produktentwicklung. Das Konzept einer durchgängigen Unterstützung des Produktentwicklungsprozesses wurde mit der Vision des Computer Integrated Manufacturing (CIM) in den Bereich der Produktionsplanung und -absicherung übertragen. Ziel war der durchgängige, rechnerunterstützte Informationsfluss im Unternehmen auf Grundlage einer gemeinsamen Datenbasis, was sich in den 80er Jahren als eine informationstechnisch, organisatorisch und wirtschaftlich zu komplexe Aufgabenstellung für die Unternehmen erwies [Abramovici/Schulte 2005]. Der komplexe und sehr stark IT-getriebene Ansatz des CIM wurde korrigiert und in mehrere Teilbereiche aufgliedert. Zusätzlich wurde der Mensch in den Vordergrund der Planungsaktivitäten gestellt, der durch die Digitale Fabrik unterstützt werden soll.

„Die Digitale Fabrik ist der Oberbegriff für ein umfassendes Netzwerk von digitalen Modellen, Methoden und Werkzeugen - u. a. der Simulation und der dreidimensionalen Visualisierung - die durch ein durchgängiges Datenmanagement integriert werden. Ihr Ziel ist die ganzheitliche Planung, Evaluierung und laufende Verbesserung aller wesentlichen Strukturen, Prozesse und Ressourcen der realen Fabrik in Verbindung mit dem Produkt.“ [VDI 4499].

Die VDI-Richtlinie 4499 liefert eine allgemein anerkannte Definition, die den Begriff weitläufig fasst. Als Anwendungsgebiete werden alle Planungen von der Produktentwicklung, der Produktionsplanung, dem Anlauf der Produktion bis hin zum Auftragsmanagement in der laufenden Produktion gesehen.

Enger gefasste Definitionen sehen die Digitale Fabrik als Rechnermodell, in dem sämtliche Produkte, Prozesse und Ressourcen einer Fabrik abgebildet sind. Des Weiteren werden unterschiedliche Simulationstechnologien einbezogen, die in der Produktionsplanung über Unternehmensebenen hinweg verknüpft sind. Eine gemeinsame Datennutzung soll zu Synergieeffekten führen [Wiendahl 2002a; Dombrowski u. a. 2001b; Bley/Franke 2001].

Westkämper differenziert zwischen der Digitalen Fabrik und der Virtuellen Fabrik (s. Abbildung 2-4). Als Digitale Fabrik wird dabei ein statisches Modell der Fabrik mit all seinen Objekten und Relationen verstanden, das Produkte, Produktionsprozesse und Ressourcen wie Gebäude, Gebäudetechnik, Betriebsmittel und Werkzeuge sowie Menschen umfasst. In dieses statische Modell fließen zusätzlich die Erfahrungen der bisherigen Entwicklungen der Fabrik ein. Wird diese Digitale Fabrik in die Zukunft projiziert und das zeitliche Verhalten der Fabrik simuliert, wird von der Virtuellen Fabrik gesprochen. Die dynamische Betrachtung beruht auf Simulationen des Material- und Betriebsmittelflusses sowie von Prozessabläufen [Aldinger u. a. 2006b; Westkämper 2009, S. 520ff; Zäh u. a. 2003b]. KÜHN hingegen sieht die Digitale Fabrik als übergreifenden Begriff, der die virtuelle Fabrik und die Integration in die reale Fabrik beinhaltet [Kühn 2006b, S.2].

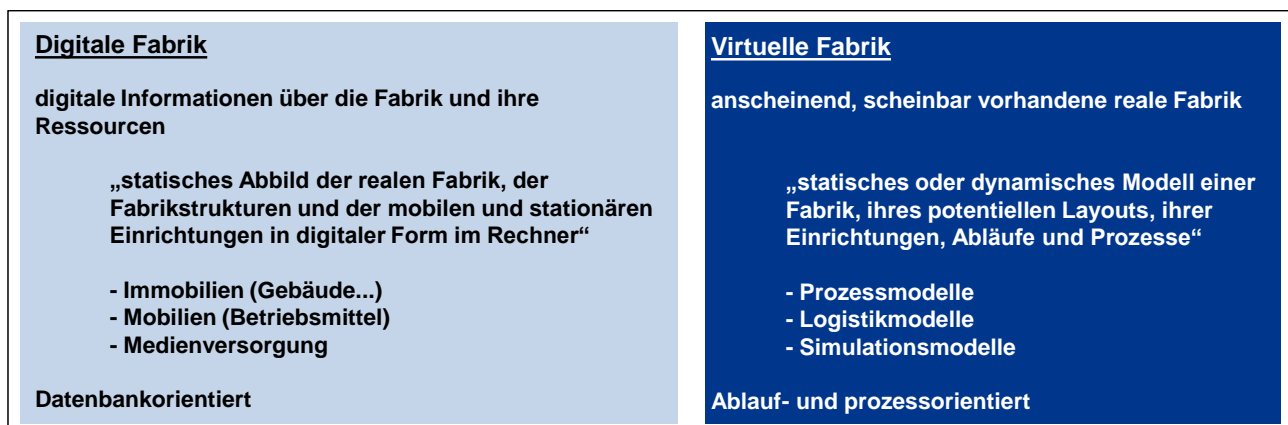


Abbildung 2-4: Digitale Fabrik und Virtuelle Fabrik [nach Westkämper 2006b, S. 477]

In dieser Arbeit wird der Betrachtungsrahmen der Digitalen und Virtuellen Fabrik nach WESTKÄMPER auf den Aufgabenbereich des Industrial Engineering eingeschränkt, der zur Planung und Optimierung der Produktion erforderlich ist. Dies betrifft die Unterstützung des Industrial Engineers bei der Bewältigung kurz- und mittelfristiger Turbulenzen. Des

Weiteren wird der Bereich des Fabrikbetriebs eingeschlossen, um dem Gedanken des Fabrik-Lifecycle-Managements folgend den kontinuierlichen Planungsprozess zu unterstützen.

Das Datenmanagement spielt im Ansatz der Digitalen Fabrik eine wichtige Rolle. Die Grundarchitektur basiert auf einer strukturierten Datenbasis, auf welche die einzelnen Werkzeuge zur Durchführung von Planungsaufgaben über eine Integrationsschicht zugreifen können.

2.5 Montage / Montagesystem

Industrielle Produkte zeichnen sich dadurch aus, dass sie aus vielen Einzelteilen bestehen, die getrennt voneinander (auch von unterschiedlichen Unternehmen) gefertigt werden. Aufgabe der Montage ist es, aus den verschiedenen in der Fertigung produzierten Einzelteilen ein System höherer Komplexität mit vorgegebenen Funktionen zusammenzubauen, was in einem vordefinierten Zeitraum erfolgen muss [Warnecke u. a. 1975, S. 11; Westkämper 2001b, S. 4]. Nach Richtlinien wird die Montage mit den Grundfunktionen des Fügens [DIN 8593] und den weiteren Tätigkeitsfelder wie dem Zubringen, Kontrollieren, Justieren und den Hilfsfunktionen [VDI 2860], zu denen auch der Materialtransport zwischen den Bearbeitungsstationen zählt, beschrieben. Die Montage wird im Rahmen dieser Arbeit näher betrachtet, da sie als Bereich der variantenreichen Serienproduktion besonders mit den genannten kurz- und mittelfristigen Turbulenzen konfrontiert wird (s. Kapitel 2.1.1). Betrachtet man die Montage hinsichtlich des Fabrik-Lifecycle-Managements, gilt es einerseits die Vorgehensweise zur Montageplanung und andererseits das Montagesystem einzubeziehen. Die Vorgehensweise der Montageplanung wird im Rahmen der beschriebenen Fabrikplanungsvorgehensweise abgehandelt (s. Kapitel 2.2.2), so dass auf eine detaillierte Betrachtung an dieser Stelle verzichtet wird. Das Montagesystem ist sowohl Ausgangspunkt für den Planungsanstoß als auch der Bereich, in dem die Ergebnisse der Montageplanung umgesetzt werden sollen.

In der Literatur gibt es unterschiedliche Auffassungen über die Definition von Montagesystemen. Einige Autoren ziehen eine sehr enge Systemgrenze und betrachten ausschließlich die hardwaretechnischen Elemente, die direkt zu einzelnen Montagestationen gehören. Sie sehen den Menschen innerhalb dieser Montagestation [Hesse 1993; Schmidt 1992]. Andere Autoren fassen die Systemgrenze weiter und betrachten in einem Montagesystem alle Betriebsmittel und Menschen, die an der Durchführung von Montageprozessen beteiligt sind [Hesse 1993; Schmidt 1992; Feldmann/Slama 2003;

Konold/Reger 2009]. Ganzheitliche Ansätze beinhalten zusätzlich planerische und koordinierende Aufgaben [Spur 1986; Katalinic 2002; Westkämper 2006d].

Für ein Montagesystem, das in turbulentem Umfeld angemessen auf Veränderungen reagieren kann, muss eine ganzheitliche Betrachtungsweise herangezogen werden. Im System Fabrik wird das Montagesystem als Teil der Produktionssystemebene betrachtet und lässt sich weiter in Montagezellen, Montagestationen und Montageprozesse untergliedern (s. Abbildung 2-5). Im Rahmen dieser Arbeit werden, wie auch schon in Kapitel 2.2.1 definiert, die Ebenen vom Montagesystem bis zur Montagestation betrachtet. Den Kern der Montage bilden die Montageprozesse, die an den Montagestationen mithilfe peripherer Funktionen durchgeführt werden. Eine Montagezelle beinhaltet sowohl mehrere Montagestationen als auch die notwendigen Informations-, Material-, Betriebsmittel- und Medienversorgungssysteme. Der Mensch spielt in den Montagezellen eine wichtige Rolle, da er sowohl durch direkte als auch indirekte Tätigkeiten an den Prozessen beteiligt ist. Das Informations- und Kommunikationssystem verfügt über Schnittstellen zur Umgebung und versorgt die Montageplanung und -steuerung mit den notwendigen Informationen wie Montageaufträgen, Stücklisten oder Montageanweisungen. Des Weiteren beinhaltet die Montagezelle Organisations- und Optimierungsmethoden, um sich gemäß einer Leistungseinheit selbstständig an Gegebenheiten anpassen zu können. Über Rückmeldedaten der Montagestationen erfolgen die Betriebsdatenerfassung und die Leistungsabstimmung, die wiederum die Grundlagen für weitere Kapazitätsplanungen liefern. Die Versorgung mit Material und Betriebsmitteln erfolgt durch Logistiksysteme. Um dezentral gesteuerte Logistikkonzepte realisieren zu können, verfügen Montagezellen in der Regel über interne Puffer. Die Medienversorgung liefert z. B. Energie, Kühlmittel und Druckluft und übernimmt die Entsorgung der Abfälle.

Für eine schnelle und effiziente Umsetzung der Planungsergebnisse muss das Wandlungspotential eines Montagesystems dem Veränderungsbedarf (Umfang und Zeit) entsprechen. Als Wandlungsbefähiger werden in der Literatur für die Objekte eines Montagesystems die fünf Kriterien Modularität, Mobilität, Universalität, Skalierbarkeit, Kompatibilität genannt [Heger 2007; Nyhuis 2008b; Hernández Morales 2003; Wiendahl 2005].

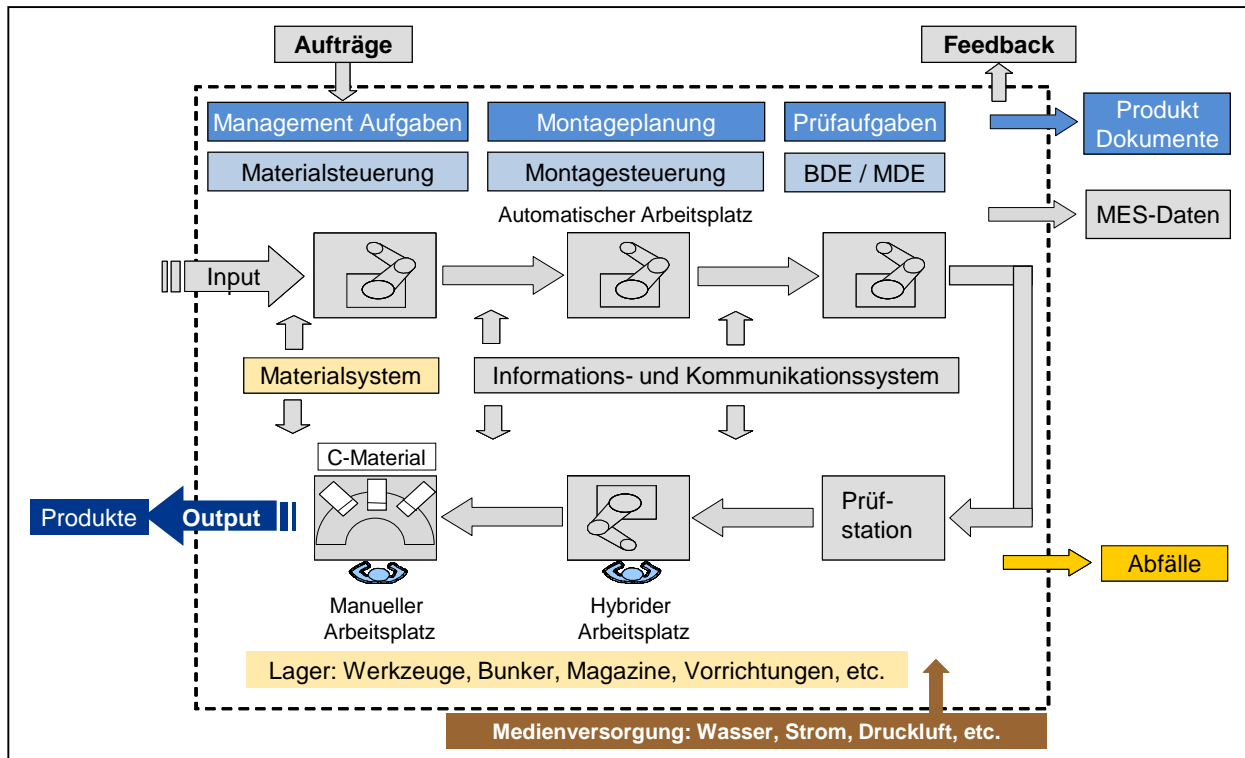


Abbildung 2-5: Ganzheitliches Montagesystemmodell [Kluge u. a. 2007, S. 154]

2.6 Berufliche Weiterbildung von Industrial Engineers

Der fachliche Rahmen für die Qualifizierung von Industrial Engineers wurde mit den Herausforderungen und den Handlungsoptionen zur Bewältigung der Einflüsse des turbulenten Unternehmensumfeldes gelegt. Für den Aufbau einer beruflichen Weiterbildung von Industrial Engineers werden zunächst begriffliche Grundlagen im Bereich des Lernens und der Didaktik gelegt, bevor auf den Gestaltungsrahmen des Qualifizierungskonzepts im Sinne des lebenslangen Lernens eingegangen wird.

2.6.1 Begriffliche Grundlagen des Lernens und der Didaktik

Unter Lernen werden nicht direkt zu beobachtende Vorgänge in einem Organismus, vor allem in seinem zentralen Nervensystem (Gehirn) verstanden, die auf Erfahrungen (aber nicht durch Reifung, Ermüdung, Drogen usw.) beruhen, die als Ergebnis des Lernprozesses eine relativ dauerhafte Veränderungen bzw. Erweiterung des Verhaltens zur Folge haben [Bower u. a. 1983, S. 16; Tremel 2010, S. 97; Brockhaus 2010].

Der Lernprozess, der die Art und Weise des Lernvorgangs beschreibt, hat seinen Ursprung bei der Wahrnehmung von Problemen oder Fehlern, so dass ein Erneuerungslernen oder ein Verbesserungslernen eintritt [Zahn u. a. 2000, S. 117ff; Argyris/Schön 2006, S. 19]. Für die Abläufe und Mechanismen der Lernprozesse wird zwischen individuellen und organisationalen Lerntheorien unterschieden. Während die

individuellen Lerntheorien das Individuum in den Mittelpunkt stellen, wird das Individuum bei den organisationalen Lerntheorien im Zusammenhang eines sozialen System (einer Organisation oder Gruppe) gesehen [Bower u. a. 1983, S. 17ff]. Nachdem das Qualifizierungskonzept auf kleine Lerngruppen ausgelegt werden soll und die Gruppen nur während der zeitlich begrenzten Qualifizierungsmaßnahme zusammenarbeiten, greifen die organisationalen Lernprozesse nicht. Somit sind für die Entwicklung eines Qualifizierungskonzepts nur die individuellen Lerntheorien zu beachten, für die in der Literatur behavioristische, kognitive und soziale Ansätze herangezogen werden [Weidenmann 1989; Hanselmann 2001, S. 58] (s. Abbildung 2-6).

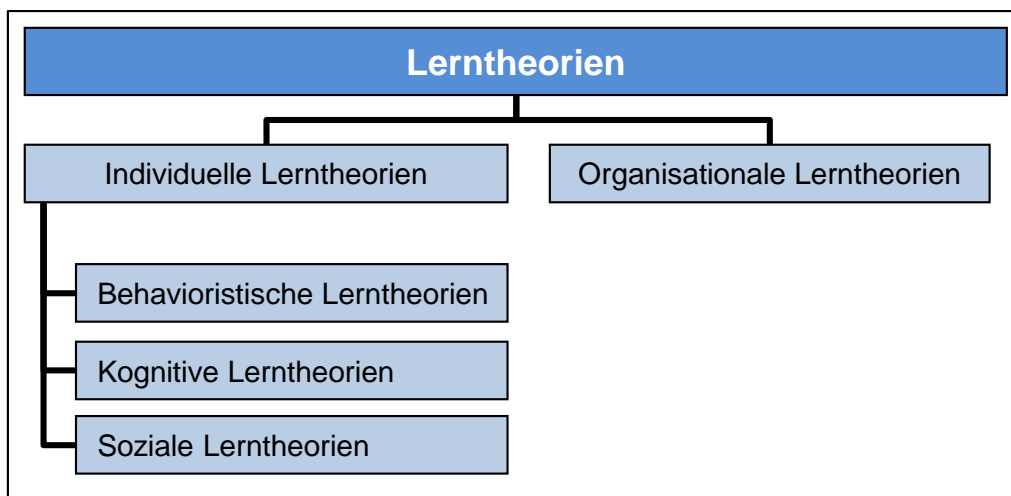


Abbildung 2-6: Lerntheorien

Der Grundgedanke der behavioristischen Lerntheorien versteht Lernen als eine Veränderung von Verhaltensweisen, die durch den Erwerb von Reiz-Reaktions-Verbindungen (Stimulus-Response-Modell) entstehen, welche durch Situationen in der Umwelt ausgelöst werden. Wird das angestrebte Ziel erreicht, wird die Reiz-Reaktions-Verbindung mit jeder Wiederholung verstärkt [Pawlowsky 1992, S. 199; Steinmann/Schreyögg 2005, S. 506; Skinner 1938; Olbert-Bock 2002, S. 37; Lefrancois 2006, S. 36ff]. Mit dem neobehavioristischen Ansatz (Stimulus-Organism-Response-Modell) werden zusätzlich sogenannte intervenierende Variablen des Individuums wie z. B. Angst einbezogen [Hull 1958].

Die kognitiven Ansätze gehen davon aus, dass das Individuum Sachverhalte als Wissen und Erfahrung speichert und diese so zur Bewusstseinsweiterung beitragen. Probleme oder Aufgaben werden durch eine strukturierte Wahrnehmung und durch Verständnis der Aufgabe gelöst. Betrachtet man diesen Vorgang als Regelkreis, wird die Fähigkeit zur Wahrnehmung und Selbstoptimierung durch die Erweiterung des Bewusstseins mit jeder Problemlösung erweitert [Greschner 1996, S. 53f; Edelman 2005, S. 9; Klimecki u. a. 1992, S. 128]. Einen wesentlichen Ansatz liefert PIAGET, der annimmt, dass

sich höhere Strukturen aus bestimmten Ausgangsstrukturen entwickeln. So lässt sich erklären, warum Individuen nicht in jedem Alter alles erlernen können, denn ihnen stehen bestimmte Strukturen noch nicht als Voraussetzung zur Verfügung. Piaget unterscheidet zwischen der Assimilation (Integration von Erfahrungen), der Akkomodation (Veränderung bestehender Verhaltensmaxima) und der Äquilibration (Balance zwischen Erhaltens- und Erweiterungsstreben). Dieser Ansatz ist von hoher Bedeutung für das organisationale Lernen als auch die sozialen Lerntheorien, da er die individuelle Erkenntnisgewinnung und die Interaktion mit anderen einschließt [Piaget 2003, S. 15ff; Piaget/Fatke 1981, S. 41/101ff]. Während bei behavioristischen Lerntheorien das Individuum aus seiner Umwelt herausgelöst betrachtet und der Lernprozess als mechanisierter Vorgang in einer Black-Box angesehen wird steht bei den kognitiven Lerntheorien mehr das Verhalten als das Wissen des Individuums im Fokus. GAGNÉ, der die kognitive Lerntheorie als höchste Form des Lernens betrachtet, entwickelte einen acht-stufigen Ansatz hierarchischer Lernstrukturen der die verschiedenen Aspekte der behavioristischen und kognitiven Lerntheorien verbindet [Gagné 1980].

Die sozialen Lerntheorien versuchen das Defizit der behavioristischen und kognitiven Lerntheorien, die sich nur mit dem Individuum beschäftigen, aufzuheben und können somit als Zwischenschritt zu organisationalen Lerntheorien betrachtet werden. Dementsprechend sind Individuen in der Lage, nicht nur aus eigenen Erfahrungen, sondern auch durch die Beobachtung anderer zu lernen und somit an deren Erfahrungen zu antizipieren. Wichtige Fähigkeiten stellen dabei die Selbstreflexion und Selbstregulation dar [Bandura 1979, S. 22ff/31ff; Miller 1986, 207ff].

Die beschriebenen Lernprozesse lassen sich mithilfe von mentalen Modellen als Regelkreis darstellen. ARGYRIS und SCHÖN entwickelten das Modell des Single- und des Double-Loop-Learning [Argyris/Schön 2006] (s. Abbildung 2-7).

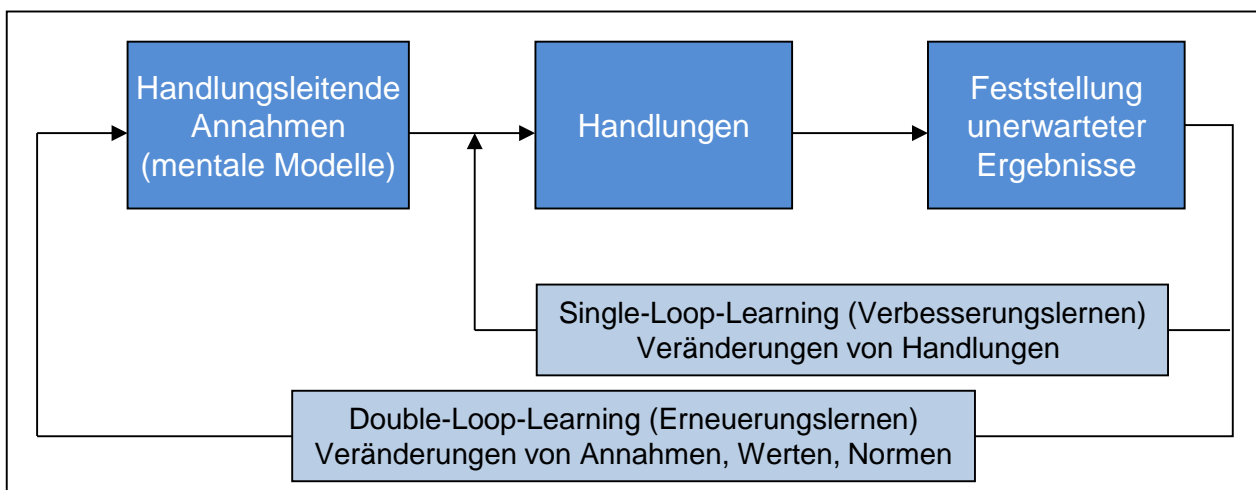


Abbildung 2-7: Lernarten [Argyris/Schön 1978, S. 18]

Das Single-Loop-Learning wird als Verbesserungslernen bezeichnet, da das Individuum Fehlerquellen entdeckt und versucht diese durch Veränderungen seiner Handlungen zu eliminieren. Somit werden stetige Verbesserungen erreicht. Grundlegende kognitive Veränderungen werden mit dem Double-Loop-Learning erreicht, das auch als Erneuerungslernen bezeichnet wird. Dies beinhaltet nicht nur die Berichtigung von Handlungen und Fehlern sondern auch die Entwicklung neuer Vorgehensweisen. Durch das Erneuerungslernen werden aber nicht nur neue Routinen erlernt, sondern auch alte Routinen verlernt. Während das Verbesserungslernen die Eigenschaften von Stabilität, Kontinuität und Konsistenz mitbringt, trägt das Erneuerungslernen entscheidend zur Fortschrittsfähigkeit und Innovationsfähigkeit bei. Für einen umfangreichen Lernprozess gilt es beide Lernarten gleichermaßen zu fördern [Argyris/Schön 2006; Argyris/Schön 1978, S. 18ff]. Für die Entwicklung eines Qualifizierungskonzepts und die damit verbundene Planung und Steuerung der Lernprozesse sind im Bereich der Berufs- und Arbeitspädagogik die Begriffe der Didaktik und der Methodik von Bedeutung.

Die Didaktik (griechisch: „didaktike techne“ = Kunst/Wissenschaft des Lehrens und Lernens) im engeren Sinn beschäftigt sich mit der Theorie des Unterrichts, im weiteren Sinne mit der Theorie und Praxis des Lehrens und Lernens. Die Didaktik beschäftigt sich mit inhaltlichen Belangen des Qualifizierungskonzepts wie der Auswahl der Bildungsinhalte, der Definition der Lernziele sowie der Lernerfolgskontrolle. Des Weiteren sorgt sie für die inhaltliche und zeitliche Strukturierung der Bildungsinhalte [Küppers u. a. 2001, S. 301; Bonz 2009c, S. 7f; Kron 2004, S. 42ff].

Die Methodik (griechisch: „methodos“ = ein nach Sache und Ziel planmäßiges Verfahren) beschäftigt sich mit der Gestaltung der Lehr-Lernsituation und den Lernmethoden zur Aufbereitung und Vermittlung der Lerninhalte sowie der Auswahl der einzusetzenden Lernhilfsmittel. Zusätzlich beinhaltet der Bereich der Methodik auch die Durchführung der Lernerfolgskontrolle. Die methodischen Überlegungen bauen dabei immer auf den Ergebnissen der didaktischen Überlegungen auf [Küppers u. a. 2001, S. 301; Bonz 2009c, S. 7f].

2.6.2 Gestaltungsrahmen des Qualifizierungskonzepts für Industrial Engineers

Um die komplexen Herausforderungen in der Planung und Optimierung von Produktionsprozessen zu bewältigen, benötigt der IE berufliche Handlungskompetenz, d.h. die Fähigkeit, Wissen in konkreten Situationen anzuwenden und neue Situationen zu modellieren. Berufliche Handlungskompetenz verknüpft Wissen und Handeln bezogen auf Fach-, Methoden-, Sozial- und Individualkompetenz, die durch ganzheitliches Lernen

erreicht werden kann (s. Abbildung 2-8) [Ott 2008, S. 39]. Fachkompetenz umfasst dabei das berufsspezifische Fachkönnen und Fachwissen. Die Methodenkompetenz bezieht sich auf die Fähigkeit, Aufgaben mit zielgerichtetem und planmäßigem Vorgehen zu bearbeiten. Sozialkompetenz zielt auf die Kommunikation und Zusammenarbeit mit anderen ab, was bei der Zusammenarbeit mit mehreren Abteilungen unabdingbar ist. Die Individualkompetenz bezieht sich auf die Entscheidungs- und Urteilsfähigkeit, d. h. Informationen zu verstehen, auszuwerten und in die gedanklichen Strukturen einzuordnen. Das Ziel des ganzheitlichen Lernens, um berufliche Handlungskompetenz zu erreichen, erfordert ein entsprechendes didaktisch-methodisches Konzept, das die Lernprozesse optimal unterstützt. Besonders eignen sich dafür handlungsorientierte Konzepte, die den Lernenden als Ganzes ansprechen [Bonz 2009b, S. 113ff; Seifert/Weitz 1999, S. 10] und sich an den realen Arbeits- und Geschäftsprozessen orientieren. Die Rolle des Lehrenden besteht vor allem darin, eine offene Lernumgebung zu organisieren und zu moderieren, so dass im Sinne des selbstgesteuerten Lernens die Lernenden Verantwortung für ihr Handeln übernehmen müssen und ihnen Möglichkeiten zur (Selbst-) Reflexion gegeben werden [Ott 2008, S. 41].

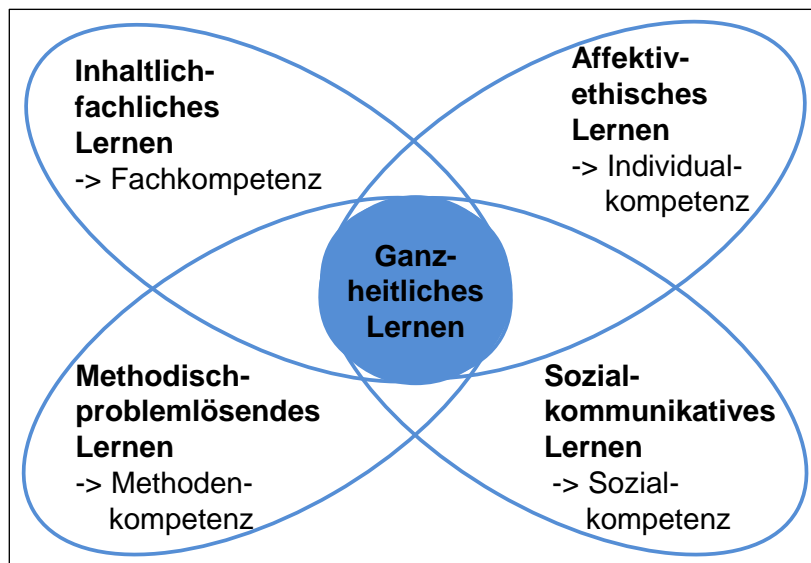


Abbildung 2-8: Kompetenzmodell des ganzheitlichen Lernens [Ott 2007, S. 13]

Die berufliche Weiterbildung von Industrial Engineers, die im Rahmen dieser Arbeit betrachtet wird, hat das Ziel, ein neues Industrial Engineering Verständnis zu vermitteln. Hierzu ist es notwendig berufliche Kenntnisse und Fertigkeiten zu erhalten, zu erweitern und der technischen Entwicklung anzupassen [Küppers u. a. 2001, S. 75]. Das heißt, die Lernenden sollen eine entsprechende Vorbildung und Arbeitserfahrung auf den verschiedenen Themengebieten des Industrial Engineering mitbringen.

2.7 Fazit der Begriffsdefinitionen und der Eingrenzung des Untersuchungsbereichs

Zusammenfassend kann der abgegrenzte Untersuchungsbereich einer Lernfabrik für die variantenreiche Montage in drei Bereiche gegliedert werden.

Die vorliegende Arbeit beschäftigt sich mit produzierenden Unternehmen der variantenreichen Serienproduktion und deren Reaktionsfähigkeit bei kurz- und mittelfristigen Turbulenzen. Dabei werden sowohl interne als auch externe Einflussfaktoren auf die Produktion betrachtet. Der Montage kommt dabei als letztem Produktionsbereich eine besondere Rolle zu, da sie durch die dort entstehende Produktvarianz und ihren direkten Kundenkontakt am stärksten von Turbulenzen betroffen ist.

Im Fokus der Turbulenzbewältigung steht das Industrial Engineering, dessen Aufgabenbereich die Planung und Optimierung der Produktionsprozesse beinhaltet. Als Betrachtungsrahmen dienen die Systemebenen einer Fabrik vom Produktionssystem bis zu den Arbeitsplätzen und Maschinen. Zur Erhöhung der Planungsgeschwindigkeit kann das Industrial Engineering durch Methoden und Werkzeuge der Digitalen und Virtuellen Fabrik unterstützt werden. Die schnelle Umsetzung der Planungsergebnisse kann durch modulare Montagesysteme erfolgen, die die Wandlungsfähigkeit in der Montage unterstützen.

Durch ganzheitliches Lernen kann das neue Verständnis für das Industrial Engineering vermittelt werden, so dass die Lernenden die Turbulenzbewältigung im Unternehmen erfolgreich umsetzen können.

3 Grundlegende Ansätze zur Konzeption einer Lernfabrik für die variantenreiche Montage

Im vorliegenden Kapitel werden wissenschaftliche und in der Praxis angewandte Ansätze analysiert und diskutiert, die die Grundlage für die Konzeption einer Lernfabrik für die variantenreiche Montage bilden. Die Analyse des Stands der Technik beschäftigt sich dabei zunächst mit dem Industrial Engineering, in dessen Aufgabenbereich die Turbulenzbewältigung liegt. Das Konzept des Stuttgarter Unternehmensmodells liefert dabei den methodischen Ansatz zur Turbulenzbewältigung. Anschließend werden die Bereiche der Digitalen und Virtuellen Fabrik sowie modularer, wandlungsfähiger Montagesysteme analysiert, um ihre Potentiale zur Unterstützung des künftigen Industrial Engineering zu identifizieren. Zur Vermittlung des künftigen Industrial Engineering Verständnisses werden abschließend die Gestaltungsmöglichkeiten eines Qualifizierungskonzeptes und die dafür einsetzbaren Lehr- / Lernmethoden betrachtet.

3.1 Industrial Engineering

Um ein neues Verständnis des Industrial Engineerings zur stetigen Adaption der Produktion entwickeln zu können gilt es zunächst die Aufgaben und Methoden des klassischen Industrial Engineering als Grundlage aufzuarbeiten. Darauf aufbauend werden dann in einem internationalen Vergleich aktuelle Forschungsbereiche des Industrial Engineering analysiert, bevor die Aufgaben und die Rolle des künftigen Industrial Engineers betrachtet werden.

3.1.1 Aufgaben und Methoden des klassischen Industrial Engineering

Das klassische Industrial Engineering gliedert sich, wie in Kapitel 2.3 gezeigt in die Arbeitsplanung und die Arbeitssteuerung. Die Arbeitsplanung beinhaltet dabei die Arbeitssystemplanung als strategische Komponente mit einem langfristigen Zeithorizont und die Arbeitsablaufplanung mit den operativen, kurzfristigen Aufgaben zur Erstellung von Arbeitsplänen. Die Arbeitssteuerung baut auf den Ergebnissen der Arbeitsplanung auf und umfasst mit der termin-, kapazitäts- und mengenbezogenen Planung und Steuerung der Produktion die Maßnahmen zur Auftragsabwicklung (s. Abbildung 3-1).

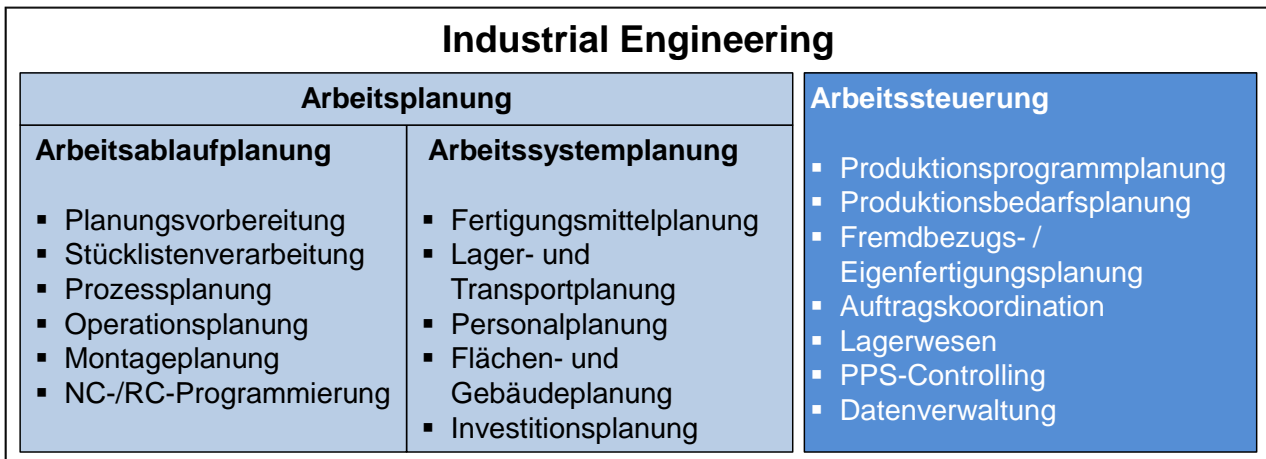


Abbildung 3-1: Aufgaben des Industrial Engineering [in Anlehnung an Eversheim 2002]

3.1.1.1 Arbeitsablaufplanung

Ziel der Arbeitsablaufplanung ist es Prozessabläufe für die wirtschaftliche Fertigung und Montage von Produkten unter Berücksichtigung des bestehenden Betriebsmittelspektrums zu entwickeln.

Die Arbeitsablaufplanung gliedert sich in vier Stränge, die Planung der Fertigung und Montage (1), die Kostenplanung (2), die Prüfplanung (3) und die Betriebsmittel-/Prüfmittelplanung (4). Der Kern der Arbeitsablaufplanung, die Planung von Fertigung und Montage gliedert sich wiederum in sechs Prozessschritte, die Planungsvorbereitung, die Stücklistenverarbeitung, die Prozessplanung, die Operationsplanung, die Montageplanung und die NC-Programmierung. Nachdem der Fokus dieser Arbeit, wie in Kapitel 1 eingegrenzt, auf dem Bereich der Montage liegt werden die Prozessplanung und die Operationsplanung, in denen die Fertigungsschritte einzelner Bauteile geplant werden, im Folgenden nicht weiter berücksichtigt (s. Abbildung 3-2) [Eversheim 2002].

Eingangsinformationen für die Arbeitsablaufplanung (Strang 1) sind sowohl die Arbeitspläne bestehender Produkte als auch Stücklisten und Konstruktionsdaten für neu einzuführende Produkte.

Im ersten Schritt, der Planungsvorbereitung werden die zur Arbeitsablaufplanung benötigten Informationen identifiziert, geprüft und bereitgestellt. Zunächst wird geprüft, ob es sich um eine Neuplanung, eine Anpassungsplanung, eine Variantenplanung oder eine Wiederholplanung handelt. Eine Neuplanung stellt den umfangreichsten Planungsprozess dar, der alle möglichen Prozessschritte beinhaltet und angestoßen wird, wenn es um die Einführung neuer Produkte oder Technologieveränderung bei Produkten oder Produktionsprozesse geht. In diesem Fall muss auf die Konstruktionsdaten wie technische Zeichnungen, CAD-Modelle und Konstruktionsstücklisten zurückgegriffen werden. Im Rahmen der Planungsvorbereitung werden die zu montierenden Produkte hinsichtlich ihrer

Montagegerechtigkeit und Vollständigkeit geprüft und falls erforderlich Änderungen eingeleitet. Um Mängel zu identifizieren ist eine enge Zusammenarbeit mit den Mitarbeitern der Montage notwendig, um die Erfahrungen mit diesem oder ähnlichen Produkten zu erfassen. Diese Abstimmung zwischen Konstruktion, Arbeitsablaufplanung und Produktion sollte jedoch langfristig angelegt sein und nicht nur bei konkreten Planungsanlässen durchgeführt werden. Es sollte vielmehr ein konstruktionsbegleitender Prozess sein, um Änderungen in den frühen Entwicklungsphasen und damit kostengünstig einfließen zu lassen [Westkämper 2006c, S. 159f; Eversheim 2002, S. 57ff].

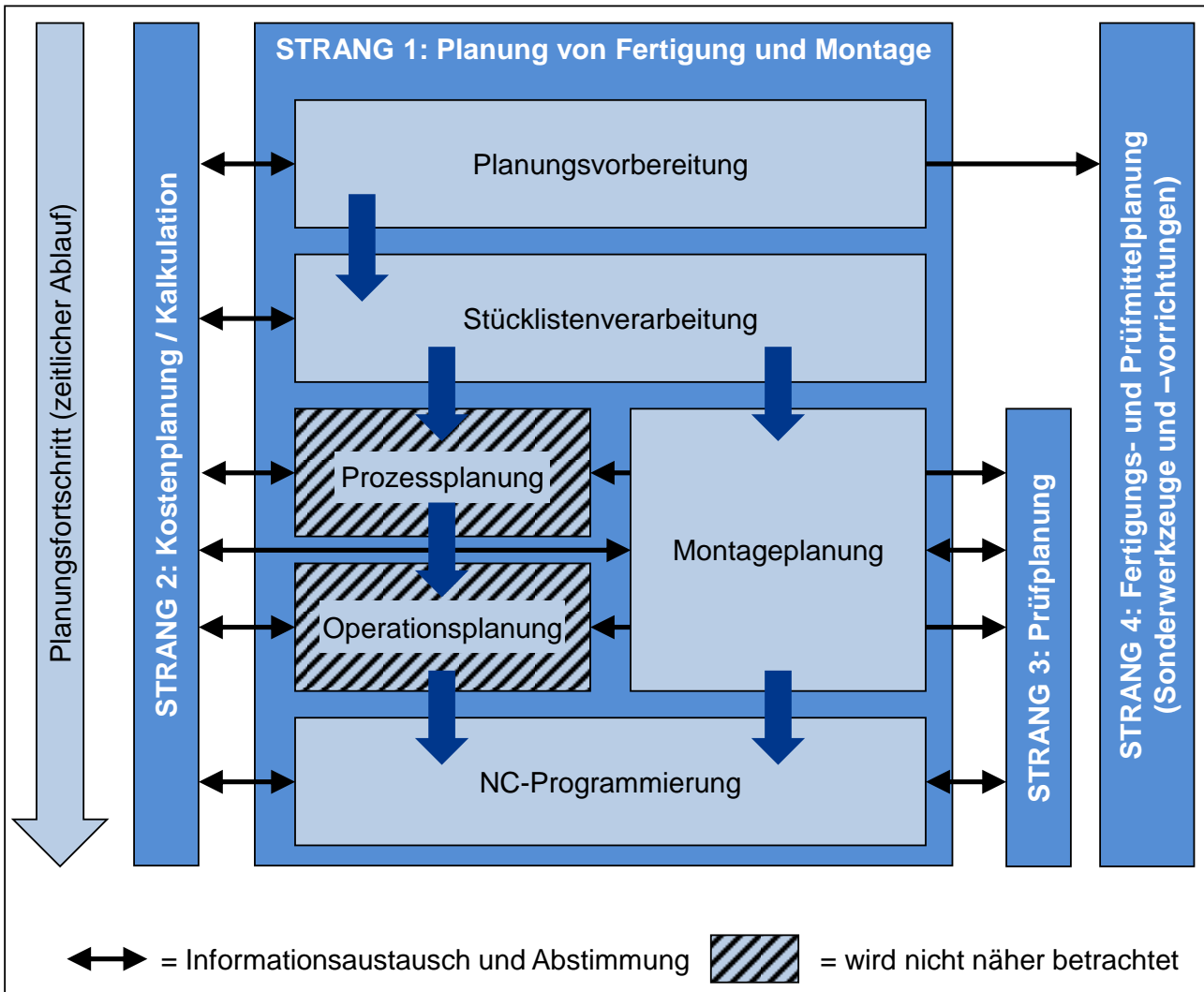


Abbildung 3-2: Prozessschritte der Arbeitsablaufplanung [vgl. Eversheim 2002, S. 18]

Im zweiten Schritt, der Stücklistenverarbeitung wird aus den funktionsorientierten Konstruktions-Stücklisten (Struktur-, Mengen- oder Baukastenstückliste) eine Montagestückliste abgeleitet. Die Montagestückliste ist nach Montagegesichtspunkten erstellt und enthält zusätzlich zu den Bauteilinformationen ablauforientierte Daten sowie Angaben über den Montagearbeitsplatz [REFA 1984].

Im dritten Schritt, der Montageplanung erfolgt die auftragsneutrale Gestaltung des Montagevorranggraphen, einer grafischen Darstellung der einzelnen Montagevorgänge und ihren Abhängigkeiten untereinander. Neben den Montagestücklisten, der Produktstruktur und technischen Zeichnungen werden die bisher vorhandenen Arbeitspläne herangezogen. Zur Erstellung bieten sich zwei Ansätze, die Ermittlung der Demontagefolge und die Ableitung der Vorgänge aus der Produktstruktur an. Bei der Ermittlung der Demontagereihenfolge wird ein Prototyp oder ein CAD-Modell schrittweise zerlegt. Die umgekehrte Reihenfolge wird dann als Montagevorranggraph festgehalten. Bei der Ableitung der Montageschritte aus der Produktstruktur wird zunächst eine Grobstruktur erstellt, die an den Knotenpunkten der Strukturstückliste ansetzt. Die Bauteile einer Ebene werden somit zur Baugruppe der nächst höheren Ebene montiert. Im nächsten Schritt erfolgt dann die detaillierte Betrachtung jeder Baugruppe, sodass die Reihenfolge innerhalb der Baugruppen definiert wird. Der Vorranggraph gibt an, welche Montagetätigkeiten Vorrang vor anderen Tätigkeiten haben, welche Teile benötigt werden und welche Montagetätigkeiten parallel bzw. in beliebiger Reihenfolge ausgeführt werden können. Nach der Montagereihenfolge gilt es die jeweiligen Montageverfahren auszuwählen. Anhand der Werkstoffe und der Konstruktion sowie den Produktionsdaten in Form des geplanten Produktionsprogrammes sind die möglichen Verfahren meist schon eng eingegrenzt. Dem IE stehen die Fertigungsverfahren des Fügens [DIN 8593] und die unterstützenden Tätigkeiten des Zubringens, des Kontrollierens, des Justierens und den Hilfsfunktionen [VDI 2860] zur Verfügung. Für die endgültige Auswahl der Betriebsmittel werden für eine ökonomische Bewertung noch Vorgabezeiten benötigt. Die Zeitermittlung verfügt sowohl über analytische Methoden der IST-Zeitaufnahme als auch über synthetische Methoden der SOLL-Zeitbestimmung [Binner 2003]. Die Auswahl des Zeitermittlungsverfahrens hängt dabei stark von der zu produzierenden Stückzahl ab und ob manuelle oder automatisierte Prozesse betrachtet werden. Die Betriebsmittelauswahl erfolgt anhand des geplanten Produktionsprogrammes, den erforderlichen Montageverfahren und den Fähigkeiten der Betriebsmittel sowie einer Wirtschaftlichkeitsbetrachtung [Westkämper 2006c, S. 162ff; Eversheim 2002, S. 57ff].

Im vierten Schritt, der NC-Programmierung erfolgt die Programmierung der Betriebsmittel auf Basis der Montage- und Prüfplanung sowie der Verteilung der Produktionsprozesse auf die Betriebsmittel. Die Programmierung kann dabei Online am Betriebsmittel oder Offline (parallel zur laufenden Produktion) durchgeführt werden [Binner 2003, S.90].

Parallel zur Montageplanung und der NC-Programmierung erfolgt die Prüfplanung (Strang 3), mit dem Ziel fehlerhafte Zwischenprodukte frühzeitig zu erkennen und keine weiteren Produktionsprozess zu durchlaufen ohne dabei unnötige Prüfkosten zu

verursachen. Kurz- und mittelfristig werden in der Prüfplanung Entscheidungen über die Notwendigkeit, den Ablauf und die Häufigkeit von Prüfungen getroffen. Ausgehend vom Montagevorranggraphen und den Konstruktionszeichnungen werden Prüfmerkmale identifiziert und ausgewählt. Anhand des Arbeitsplans werden der Prüfzeitpunkt und die Prüfhäufigkeit festgelegt werden. Die Prüfung kann dabei entweder als eigener Prozessschritt in den Montagevorranggraph integriert oder parallel zu einem Montageprozess durchgeführt werden. Abschließend erfolgt die Auswahl der Prüfmittel, für die folgende Kriterien herangezogen werden: Prüfanzahl, Meßbereich, Meßunsicherheit des Prüfmittels, Auswertemöglichkeiten, Prüfzeit und Prüfkosten. Langfristig müssen im Qualitätsmanagementbereich technische und organisatorische Voraussetzungen geschaffen werden, um Prüfungen in der Produktion soweit wie möglich zu vermeiden [Eversheim 1996].

Parallel zur Planung von Fertigung und Montage erfolgt die Betriebsmittelplanung (Strang 4), die nur erforderlich wird, wenn spezielle Werkzeuge, Vorrichtungen oder Meß- und Prüfmittel benötigt werden, die für die Produktion aktuell nicht zur Verfügung stehen. Dieser Prozess stößt den Betriebsmittelbau an und liefert alle notwendigen Informationen bzgl. der geplanten Montage- und Prüfprozesse sowie der Produktkomponenten. Im Rahmen der Arbeitsablaufplanung wird die auftrags- bzw. produktbezogene Betriebsmittelplanung betrachtet. Die produktionsprogrammbezogene Betriebsmittelplanung ist Teil der Arbeitssystemplanung [Eversheim 2002, S. 70ff].

Die Kostenplanung (Strang 2) wird parallel zur Planung von Fertigung und Montage durchgeführt, sodass bei allen Prozessen eine wirtschaftliche Betrachtung herangezogen werden kann. Die Kostenplanung führt eine zukunftsorientierte Kostenprognose zur Unterstützung der Entscheidungsfindung aus, bei der vor allem der wirtschaftliche Vergleich in den Bereich der Montage- und Prüfplanung im Fokus steht [Warnecke 2003]. Nachdem im Bereich der Arbeitsplanung circa 15% der Herstellkosten festgelegt werden [Eversheim 1996] ist eine ausführliche Betrachtung notwendig.

Ergebnis der Arbeitsablaufplanung ist der Arbeitsplan, der als zentralen Punkt die Produktionsvorgangsfolge beinhaltet. Dieser Produktionsvorgangsfolge sind zusätzlich die Betriebsmittel, Zeitinformationen und Kostenkalkulationen zugeordnet. Der Arbeitsplan dient als Grundlage für die Produktionsstrukturierung und die Feinplanung der Produktion.

3.1.1.2 Arbeitssystemplanung

Ziel der Arbeitssystemplanung, die auf den Ergebnissen der Arbeitsablaufplanung aufbaut, ist eine langfristige wirtschaftliche Gestaltung und Auslegung der Fertigung und Montage. Dabei spielt vor allem das Produktspektrum und die damit verbundenen Technologien

sowie die Fertigungstiefe eine Rolle. Im Bereich der variantenreichen Serienproduktion erfolgt eine produktneutrale Arbeitssystemplanung, da flexible, reaktionsfähige Fertigungs- und Montagesysteme benötigt werden, wohingegen bei hohen Stückzahlen eine produktspezifische Arbeitssystemplanung erfolgt [Eversheim 2002, S. 7].

Die Arbeitssystemplanung umfasst dabei folgende Aufgaben, um die Aspekte der Technik, Organisation und Ergonomie bei der Gestaltung zu berücksichtigen:

- Fertigungsmittelplanung
- Lager- und Transportplanung
- Personalplanung
- Flächenplanung
- Investitionsplanung

In der Fertigungsmittelplanung erfolgt zunächst die Auswahl der Betriebsmittel. Für eine Festlegung geeigneter Betriebsmittel gilt es zunächst die erforderlichen Bearbeitungsaufgaben für das Produktspektrum zu ermitteln. Dazu werden Produktfamilien mit ähnlichen Prozessabläufen gebildet. Diese Produktfamilien berücksichtigen sowohl technologische Anforderungen als auch produktmerkmalsorientierte (Maß- und Formähnlichkeit) Anforderungen. Nachdem die Lebensdauer des betrachteten Produktspektrums deutlich geringer als die der Betriebsmittel ausfällt gilt es geplante Veränderungen zu berücksichtigen. Die Produktfamilien werden anschließend um die Kundensicht (Nachfrageorientierung oder Marktorientierung) erweitert und zu Produktionssegmenten zusammengefasst [Erlach 2010, S. 118ff]. Somit kann eine fundierte Betriebsmittelauswahl anhand der Kriterien Werkstückdaten (Geometrie, Werkstoff, Toleranzen), Maschinendaten (Prozess-technologie, Maschinenfähigkeit, Abmessungen), aktuelle Prozessfolge (Arbeitsplan) und Auftragsdaten (Stückzahl, Losgröße) erfolgen. Anschließend wird die Anzahl der erforderlichen Betriebsmittel bestimmt [Eversheim 2002, S. 103]. Der Kapazitätsbedarf ergibt sich aus dem Produktionsprogramm und den ermittelten Bearbeitungszeiten, wobei bei der verfügbaren Kapazität der Betriebsmittel reduzierende Faktoren wie die Rüstzeiten, Störungen, Wartungs- / Instandhaltungsarbeiten oder Ausschuss und Nacharbeit zu berücksichtigen sind. Zusätzlich gilt es mit dynamischen Betrachtungen die Lieferfähigkeit auch bei Auftragschwankungen zu erhalten. Nach der Betriebsmittelauswahl erfolgt die die Planung der Organisationsprinzipien und der Anordnungsstruktur, die die Funktionsfähigkeit und Effizienz eines Arbeitssystems maßgeblich beeinflussen. Im Bereich der variantenreichen Serienproduktion liegt der Fokus auf Montageprinzipien wie der Inselfertigung und der Fließfertigung, die mit

Organisationsprinzipien wie der Montageinsel und der Reihen- / Taktstraßenmontage realisiert werden können. Ziel ist es, einen gerichteten Materialfluss ohne Rückflüsse zu erreichen, der der Montagereihenfolge entspricht. Parallel ist die Arbeitsorganisation und ergonomische Aspekte zu beachten, um die Mitarbeiter in manuellen oder hybriden Montagesystemen einzubinden. Dabei spielt auch die Taktabstimmung der Arbeitsinhalte eine Rolle, um die Ausbringungsmenge realisieren zu können. Im Rahmen der Fertigungsmittelplanung ist auch die ergonomische Gestaltung der manuellen Arbeitsplätze angesiedelt [Erlach 2010, Wiendahl u. a. 2009].

Bei der Lager- und Transportplanung erfolgt nach der Gestaltung des Materialflusses die Planung des Informationsflusses. Nachdem in der Durchlaufzeit der Produktion bis zu 90% Transport-, Liege- und Wartezeit enthalten sind, ist eine effiziente Verknüpfung der Produktionsprozesse für das Erreichen kurzer Lieferfristen sehr bedeutend. Zunächst werden die Lageraufgaben wie die Taktabstimmung, Rüstzeitausgleich, Störungsausgleich, Chargenbildung oder die Koordination verzweigter Materialflüsse identifiziert. Der Puffer kann dabei verschiedene Funktionen wie die Taktabstimmung, Rüstzeitausgleich, Störungsausgleich oder Chargenbildung übernehmen sowie verzweigte Materialflüsse miteinander koordinieren. Darauf aufbauend kann mit der Lagerbedienung und den Lagerhilfsmitteln die Organisation des Lagers sowie die Lagerausführung bestimmt werden. Dies bildet die Grundlage für die Transportplanung. Die Transportaufgaben zur Unterstützung des Materialflusses bestimmen die Transportwege und die anzusteuern Positionen, die Transportorganisation (Transportmenge, -zeit und -frequenz). Daraus lassen sich dann die notwendigen Transportmittel ableiten. Da sich Lager- und Transportkosten gegenseitig stark beeinflussen sind diese Planungsaufgaben eng aufeinander abzustimmen. In der Lager- wie auch der Transportplanung gilt es anhand der Anforderungen alternative Systemlösungen zu ermitteln, zu bewerten und auszuwählen [Pawellek 2008, S. 2009ff; Grundig 2006, S. 164f].

Die Montagestruktur, die Montageprinzipien und -aufgaben sowie die Organisationsstruktur liefern die wichtigsten Eingangsinformationen für die Personalplanung, um die Anforderungsprofile an die Mitarbeiter zusammenzustellen. In der Personalbedarfsplanung erfolgt zunächst die quantitative Bestimmung des Personalbedarfs. Bei der Kapazitätsplanung sind die Veränderungsmöglichkeiten einer flexiblen Arbeitsorganisation zu berücksichtigen. Anschließend wird durch einen Abgleich der Fähigkeitsprofile der Mitarbeiter mit den Anforderungsprofilen ermittelt, an welchen Punkten Defizite bestehen. Eventuelle Defizite können durch Qualifizierungsmaßnahmen oder Personalbeschaffungsmaßnahmen beseitigt werden [Grundig 2006, S. 78ff; Wittlage 1995, S.39ff].

In der Flächenplanung erfolgt die Layoutgestaltung des Arbeitssystems. Die Flächenbedarfsermittlung liefert mit den erforderlichen Nutz-, Funktions- und Verkehrsflächen [VDI 3644] die Grundlage für die Layoutplanung. Den Ausgangspunkt stellt dabei die Betriebsmittelgrundfläche dar, die um Flächen für Transport, Wartung, Materialbereitstellung, Medienversorgung, Medienentsorgung und Werkzeug- / Vorrichtungsbereitstellung erweitert wird. Darauf aufbauend erfolgt die Ideallayoutplanung, in der die funktionsorientierte Materialflussstruktur in ein flächenmaßstäbliches Blocklayout überführt wird. Anschließend werden unter Berücksichtigung organisatorischer, technischer, technologischer und bautechnischer Restriktionen realisierbare Reallayoutvarianten entwickelt. Die alternativen Reallayoutvarianten werden abschließend bewertet und eine Layoutvariante ausgewählt. In der folgenden Feinplanung wird daraus ein detaillierter Maschinenaufstellungsplan, der eine maßgenaue räumliche Anordnung der Betriebsmittel, der erforderlichen Produktionsflächen, der Transporttechnik und der Medienversorgung beinhaltet [Grundig 2006, S. 84ff].

Im Rahmen der Investitionsplanung werden alle Entscheidungen, der Arbeitssystemplanung auf ihre Wirtschaftlichkeit geprüft. Die statischen und dynamischen Verfahren der Investitionsrechnung liefern eine Entscheidungsgrundlage zur Auswahl alternativer Systemlösungen und werden vor allem für die Anschaffung von Betriebsmitteln, Lagereinrichtungen und Personalentscheidungen herangezogen [Warnecke 2003; Westkämper 2006c].

3.1.1.3 Arbeitssteuerung

Während die Arbeitsplanung den Inhalt der einzelnen Produktionsprozesse gestaltet, regelt die Auftragssteuerung den Ablauf der Produktionsprozesse. Dabei gilt es die Marktziele von kurzen Lieferzeiten und hoher Liefertermintreue in wirtschaftlichen Einklang mit den Betriebszielen von hoher, gleichmäßiger Kapazitätsauslastung und niedrigen Beständen zu bringen [Schuh 2006]. Die Arbeitssteuerung, in der Literatur auch als Produktionsplanung und -steuerung (PPS) bezeichnet, lässt sich in Kernaufgaben zur Auftragsabwicklung und Querschnittsaufgaben zur Optimierung des ganzheitlichen PPS gliedern (s. Abbildung 3-3), die im Folgenden näher betrachtet werden.

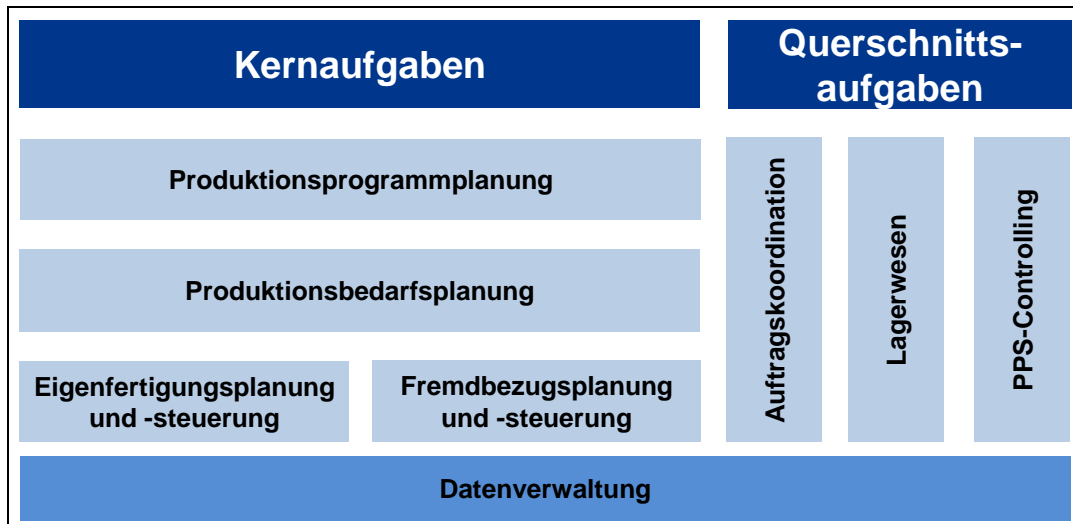


Abbildung 3-3: Aufgaben des Aachener PPS-Modells [vgl. Schuh 2006, S. 29]

Kernaufgaben

Die Kernaufgaben bestehen aus der langfristigen Produktionsprogrammplanung, der mittelfristigen Produktionsbedarfsplanung und den zwei kurzfristigen Aufgaben der Eigenfertigungsplanung und -steuerung und der Fremdbezugsplanung und -steuerung [Schuh 2006, S. 37].

Die Produktionsprogrammplanung legt mit einem Zeithorizont von bis zu zwei Jahren die Grundlage für die Planung des Arbeitssystems. Zunächst wird aus Vertriebsprognosen, des Produktportfolios und Absatzstrategien ein Absatzplan erstellt. Durch einen Abgleich mit dem aktuellen Lagerbestand wird der Nettoprimärbedarf bestimmt und als vorläufiger Produktionsplan für die weitere Planung herangezogen wird. Eine auftragsanonyme Ressourcengrobplanung überprüft anhand der Produktfamilien und Arbeitspläne, ob die Produktionskapazität der vorhandenen Ressourcen ausreicht. Für die Gestaltung des Logistiksystems (s. Lager- und Transportplanung) erfolgt eine Bestandsplanung, zur Festlegung von Sicherheitsbeständen und Bestellauslösepunkten [Schuh 2006, S. 37f; Grundig 2006, S. 52ff; Lödding 2008].

Die Produktionsbedarfsplanung baut auf dem Produktionsplan auf und hat die Aufgabe die Realisierbarkeit des Produktionsprogramms sicherzustellen. Zunächst wird der Bruttosekundärbedarf, der Bedarf an untergeordneten Baugruppen und Einzelteile ermittelt. Aus dem Abgleich mit dem Lagerbestand, der auch den Sicherheits-, Umlauf- und Meldebestand sowie Bestellungen umfasst, wird der Nettosekundärbedarf ermittelt. Im Rahmen der Beschaffungsartzuordnung werden die Bestell- und Fertigungsaufträge an die Eigen- oder Fremdfertigung weitergeleitet, da die grundsätzliche Make-or-buy-Entscheidung im Rahmen der Serienproduktion auf der strategischen

Unternehmensebene entschieden wurde. Für die Eigenproduktion erfolgt anschließend eine Durchlaufterminierung, um Ecktermine für die Kapazitätsplanung zu ermitteln. Darauf aufbauend wird der tatsächliche Kapazitätsbedarf für alle Ressourcen (Betriebsmittel und Personal) des gesamten Nettosekundärbedarfs berechnet. Aufgrund des begrenzten Kapazitätsangebots in der Produktion erfolgt abschließend die Kapazitätsabstimmung mit dem Ziel die notwendigen DLZ zu erreichen. Dabei besteht die Möglichkeit einer Kapazitätsanpassung, eines Kapazitätsabgleichs oder die Fremdvergabe [Wiendahl 2010, Eversheim 2002, S. 133ff].

Die Eigenfertigungsplanung und -steuerung übernimmt die Feinplanung der Produktion sowie die operative Auftragsdurchführung. Das Produktionsprogramm der Produktionsbedarfsplanung liefert die Grundlage für die Losgrößenberechnung. Dabei gilt es die Kapazitätsauslastung in Einklang mit der Flexibilität der Produktion zu bringen und ein Gleichgewicht zwischen Rüstzeit und Produktionszeit zu finden und die strategischen Entscheidungen zur Gestaltung des Logistiksystems weiter zu detaillieren. Anschließend erfolgt in der Feinterminplanung und der Ressourcengrobplanung die detaillierte Kapazitätsauslegung der Produktion. Für die Einlastung der Aufträge in die Produktion erfolgt eine Reihenfolgeplanung, um eine gleichmäßige Auslastung der Produktion zu erreichen. Direkt vor der Auftragsfreigabe wird eine Verfügbarkeitsprüfung durchgeführt, um sicherzustellen, dass Material, Betriebsmittel und Personal in ausreichender Form vorhanden sind. Mit der Auftragsfreigabe beginnt die Fortschrittsüberwachung des Auftrages bis zur Fertigstellung. Parallel dazu werden auch die Materialbestände und die Ressourcen überwacht. Die gesammelten Informationen der Betriebsdatenerfassung werden auch an die Querschnittsaufgaben weitergeleitet [Westkämper 2006c, S. 182ff; Schmigalla 1995; Lödding 2008].

Das Beschaffungsprogramm der Produktionsbedarfsplanung bildet die Grundlage für die Fremdbezugsplanung und -steuerung, der bei einer geringen Fertigungstiefe eine hohe Bedeutung zukommt. Bestehen für den Fremdbezug keine Rahmenverträge bzw. stehen mehrere Lieferanten zur Auswahl werden Angebote eingeholt und bewertet, bevor die Bestellfreigabe erfolgt. Die Lieferantenauswahl wird in der variantenreichen Serienproduktion bereits vor dem Produktanlauf durchgeführt. Die optimale Bestellmenge ergibt sich aus dem Zusammenspiel der Beschaffungskosten und der Lagerkosten sowie der Berücksichtigung der Losgrößen in der eigenen Produktion. Die Bestellüberwachung beinhaltet die Lieferterminüberwachung sowie die Qualitätsprüfung beim Wareneingang [Schuh 2006, S. 56ff].

Querschnittsaufgaben

Die Querschnittsaufgaben umfassen die Auftragskoordination, die Verwaltung des Lagerwesens und das PPS-Controlling zur wirtschaftlichen Lenkung der Produktion [Schuh 2006, S. 28f].

Die Auftragskoordination dient zur ganzheitlichen Abstimmung der Aufgaben zur Auftragsabwicklung in den beteiligten Bereichen, um die Transparenz in den Prozessen und die Flexibilität zur Reaktion auf Turbulenzen zu erhöhen. Der Kundenauftrag wird von der Auftragskoordination angenommen und bis zur Auslieferung begleitet. Als Schnittstelle zum Kunden führt die Auftragskoordination eine Grobplanung der Aufträge hinsichtlich Terminen, Kapazitäten, Materialien und Kosten durch. Bei Bedarf werden so auch Vorlaufbereiche und die Vorabdisposition angestoßen [Schuh 2006, S.60].

Das Lagerwesen übernimmt die operative Verwaltung des Lagerbestandes. Im Lagerwesen erfolgen die Überwachung der Lagerbewegungen sowie die Lagerplatzverwaltung. Somit wird eine aktuelle Bestandsführung ermöglicht, die in der Inventur mit dem Buchbestand abgeglichen wird. Das Lagerwesen liefert die Grundlage für die planerischen und dispositiven Kernaufgaben der PPS.

Das PPS-Controlling hat die Aufgabe in der laufenden Produktion Informationen über den aktuellen Zustand der Produktion und die Erreichung von Zielwerten zu gewinnen und aufzubereiten. Die transparenten, interpretierbaren Informationen können danach ausgewertet und der Produktionsleitung als Entscheidungsgrundlage vorgelegt werden [Horvath 2009].

3.1.2 Industrial Engineering im internationalen Vergleich

Das Industrial Engineering hat seinen Ursprung in Amerika und wird dort, wie aus den unterschiedlichen Definitionen hervorgeht im Gegensatz zu Deutschland und Europa als eigenständige Disziplin angesehen. Für die strategische Weiterentwicklung des Industrial Engineerings zur Unterstützung der Wandlungsfähigkeit in der Produktion gilt es daher, die verschiedenen Entwicklungsrichtungen und Forschungsgebiete zu identifizieren.

Hierzu wurden Studien- und Forschungsschwerpunkte an Universitäten sowie aus einschlägigen Zeitschriften und Journalen herangezogen. Um weltweit führende Universitäten im IE-Bereich ausfindig zu machen wurden Rankings wie der U.S. News & World Report [US News 2010] oder der „Gourman Report“ [Gourman 1997] herangezogen. Zusätzlich wurden die wichtigsten IE-Kongresse in den USA nach teilnehmenden Universitäten analysiert. Des Weiteren wurden Mitgliedsuniversitäten des Institute of Industrial Engineering (IIE) und der International Association of Engineers (IAENG), den größten Verbänden in den USA bzw. Asien einbezogen. Die Analyse

umfasste schließlich insgesamt 81 Universitäten (38 in Amerika, 28 in Asien und 15 in Europa). Die Auswahl der Zeitschriften / Journals mit hohem Bezug zu Industrial Engineering erfolgt anhand des Impact-Faktors, der angibt wie häufig Artikel dieser Zeitschriften / Journals in der Wissenschaft zitiert werden. Darüber hinaus wurden Präsentationen auf Kongressen des IIE und des IAENG sowie von MTM und REFA betrachtet. Als letztem Bereich wurden die Tätigkeitsfelder von Beratungsunternehmen eingeschlossen, die im IE-Bereich arbeiten.

Anhand dieser Analyse wurden die 14 Themenbereiche identifiziert, die mit Roadmaps wie der „Visionary Manufacturing Challenges for 2020“ (USA) [National Research Council 1998] und „Manufuture“ (Europa) [Jovane u. a. 2009] abgeglichen wurden. Die folgenden 14 Themenbereiche können als wesentliche Aufgaben des Industrial Engineerings angesehen werden und zeigen auf, in welchen Bereichen das klassische Industrial Engineering Potentiale besitzt [Hummel 2007]:

- Arbeitswissenschaft und Organisation
(Arbeitsplanung; Zeitwirtschaft; Ergonomie; Arbeitssicherheit; Human Factors / Psychologie)
- Automatisierung / Robotics
(Automatisierungstechnik; Steuerungs- und Regelungstechnik; Produktionssysteme; NC- / CNC- / RC-Programmierung)
- Engineering Management / BWL
(Managementkonzepte; Lean Management; KVP; Finanzwirtschaft; Life-Cycle-Costing)
- Computer Science / Technology
(Informationsmanagement, -systeme; -technologie; Datenmanagement)
- Fabrikplanung
(Standortplanung; Fabriklayout; Fertigungszellenplanung; Wertstromdesign; Materialflussplanung; Produktionsprogrammplanung; Life Cycle Management)
- Mathe / Statistik
(Algebra; Statistik; Stochastik; Lineare Programmierung)
- Operations Research
(Entscheidungsfindungsprozesse; Algorithmen; Methoden der künstlichen Intelligenz;
- Digitales Engineering
(Digitale und Virtuelle Fabrik; Modellierung; Simulation; VR- / AR-Systeme)

- Produktionsmanagement
(Produktionssysteme; Produktionswirtschaft; Produktionsplanung und -steuerung)
- Produktmanagement
(Produktdesign; Innovationsmanagement; Concurrent und Simultaneous Engineering)
- Prozessmanagement
(Prozessanalyse; Controlling / Leistungsmessung; Prozessoptimierung; Standardisierung)
- Qualitätsmanagement und -sicherung
(Total Quality Management; Null-Fehler-Produktion; Statistische Prozessregelung)
- Supply Chain Management / Logistik
(Beschaffungsmanagement; Bevorratungsstrategien; JIT / JIS, KANBAN)
- Zukunft des Industrial Engineering
(Entwicklung des IE; Bestandteile; Rolle des Industrial Engineers)

Der internationale Vergleich der Forschungsaktivitäten an Universitäten zeigt, wie es sich auch aus den unterschiedlichen Definitionen des Industrial Engineering herausfiltern lässt, dass in den einzelnen Regionen unterschiedliche Schwerpunkte gesetzt werden (s. Abbildung 3-4). In Deutschland liegt der Schwerpunkt in den klassischen IE-Bereichen wie der Arbeitswissenschaft und Organisation, dem Engineering Management, dem Produktionsmanagement, dem Qualitätsmanagement sowie der Logistik. Diese Bereiche spielen zwar auch in den anderen Regionen eine überproportionale Rolle, die Forschungsaktivitäten schließen jedoch deutlich mehr Forschungsbereiche ein. Auffällig ist aber, dass Deutschland in Themengebieten wie Automatisierung / Robotics, Fabrikplanung, Mathematik / Statistik, Operations Research und Prozessmanagement nicht vertreten ist. Dies lässt sich damit begründen, dass diese Themengebiete in Deutschland anderen Disziplinen zugeordnet sind. Hier zeigt sich eindeutig, dass das Industrial Engineering in den USA und Asien (das sich sehr stark an den USA orientiert) als eigenständige, umfassende Disziplin gesehen wird. Des Weiteren wird dem Themengebiet des Digitalen Engineering, das für die kontinuierliche Adaption der Produktion erhebliche Potentiale bietet, relativ wenig Aufmerksamkeit gewidmet. Betrachtet man jedoch den gesamten IT-Sektor mit den Themengebieten Digitalen Engineering, Computer Science / Technology, Mathematik / Statistik und Operations Research, die nur in ihrer Gesamtheit einen wesentlichen Beitrag zur Wandlungsfähigkeit leisten können, ergibt sich ein anderes Bild [Hummel 2007].

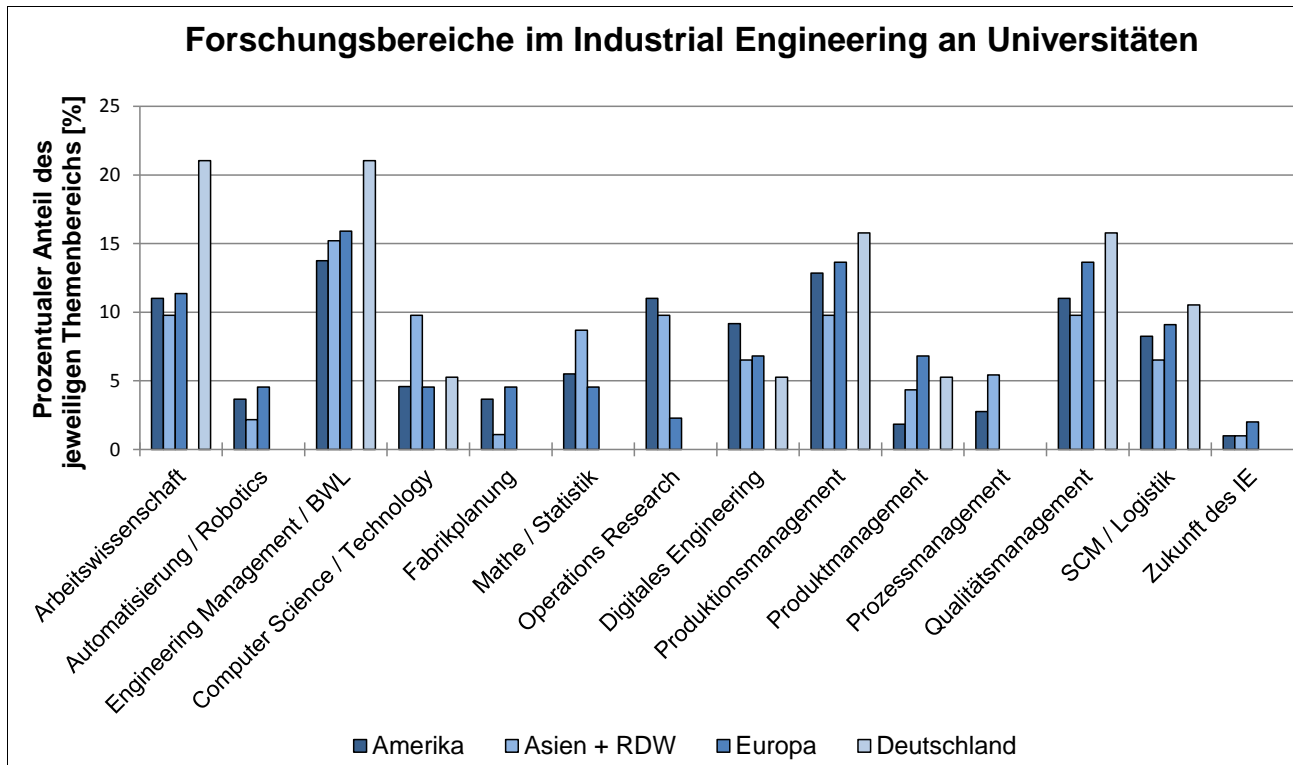


Abbildung 3-4: Internationaler Vergleich von Universitäten [vgl. Hummel 2007]

Vergleicht man die Forschungsfelder an Universitäten mit den behandelten Themen auf Kongressen und in Zeitschriften / Journalen sowie den Tätigkeitsfelder von Beratungsunternehmen zeigt sich, dass wieder die fünf Themenbereiche des klassischen Industrial Engineerings in allen Bereichen am häufigsten vertreten sind. Der starke Fokus auf den Themenbereich Engineering Management bei Kongressen und Beratungsunternehmen kann damit erklärt werden, dass in den Unternehmen aktuell die Umsetzung von Managementkonzepten in Form von ganzheitlichen Produktionssystemen sowie des Lean Management und Lean Production auch in KMUs vorangetrieben wird. Im Forschungsbereich, der sich durch die Universitäten und den Veröffentlichungen in den Zeitschriften/Journalen widerspiegelt, ist man schon über diese Entwicklung hinweg und widmet sich bereits den künftigen Herausforderungen [Hummel 2007].

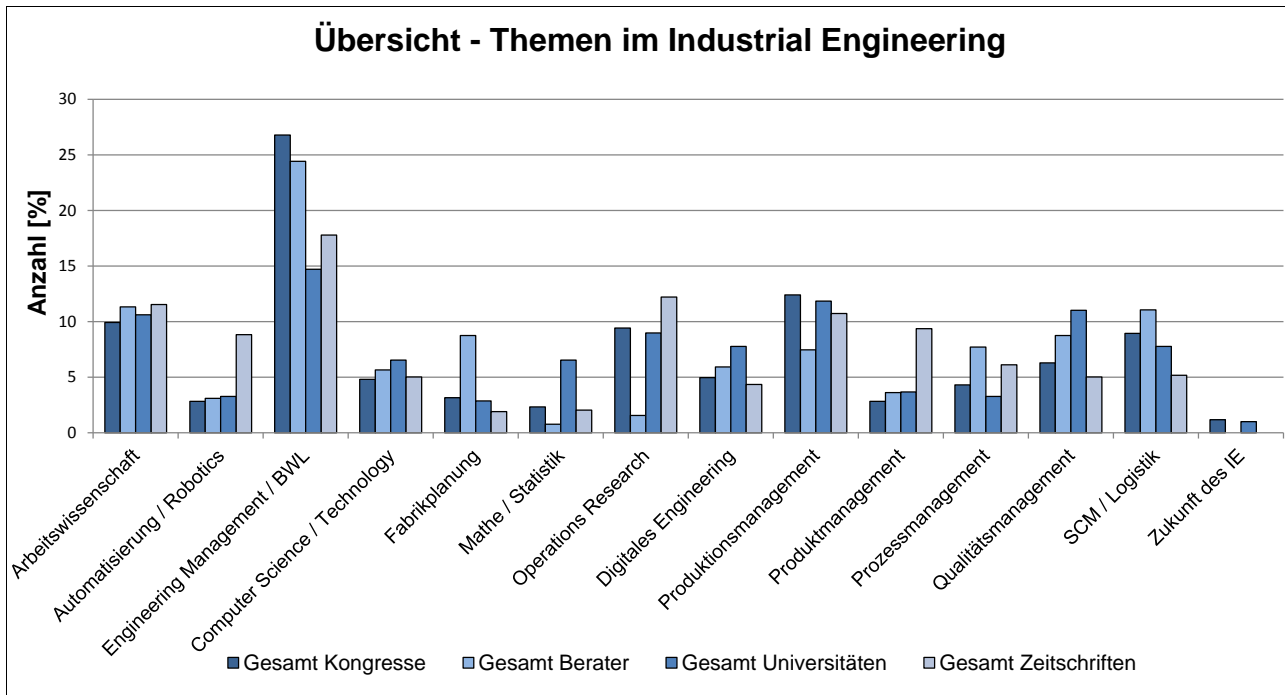


Abbildung 3-5: Gesamtauswertung aller Bereich des Industrial Engineering [vgl. Hummel 2007]

3.1.3 Künftige Rolle des Industrial Engineers

Das Industrial Engineering begleitet als Schnittstelle zwischen Konstruktion und Produktion den gesamten Produktentwicklungsprozess. Aufgrund der immer kürzeren Produktlebenszyklen, dem Einsatz von IT-Systemen in der Produktentwicklung und dem zunehmenden Automatisierungsgrad in der Produktion hat sich eine immer stärkere Vernetzung des Produkt-, Prozess- und Produktionsmanagements ergeben [Stowasser 2010, S. 50f]. Diese Entwicklungen haben dazu geführt, dass das Industrial Engineering neben den Aufgaben des klassischen IE immer mehr Managementaufgaben und Aufgaben zur Unterstützung der strategischen Planung erhalten hat [Maynard/Zandin 2001, S. 1.15]. Das Industrial Engineering ist durch die kontinuierliche Planung und Optimierung von Produktionsprozessen für das Produktivitätsmanagement in der Produktion verantwortlich. Somit haben sich weitere Planungs-, Gestaltungs- und Steuerungsaufgaben im Bereich des Prozessmanagement, des Qualitätsmanagements, des Veränderungs- und Verbesserungsmanagements, der Ergonomie, Materialfluss und Logistik sowie der Produkt- und Technologiestrategieentwicklung ergeben [Stowasser 2010, S. 49f].

Aufgrund der Veränderungen im Aufgabenbereich des Industrial Engineering muss auch die Rolle und das Profil des Industrial Engineers angepasst werden. Zur Bewältigung seiner Aufgaben benötigt der Industrial Engineer Kenntnisse über die Gesamtabläufe (Material- und Informationsfluss) in der Produktion, um eine ganzheitliche Optimierung zu

erreichen. Dazu kommt Wissen über die einsetzbaren und im Unternehmen zur Verfügung stehenden Fertigungs- und Montagetechnologien sowie die Informations- und Kommunikationstechnik. Gerade die Begleitung des komplexen Produktentstehungsprozesses erfordert ein gutes Projektmanagement und ein hohes Maß an Methodenkompetenz.

Dem Industrial Engineer fällt die Rolle als Systemintegrator und Wissensmanager zwischen den beteiligten Bereichen Entwicklung, Produktion und Vertrieb zu, der Konzepte mit Hilfe von „Best Practice-Beispielen“ kritisch beurteilt und bewertet.

Der Industrial Engineer benötigt die Fähigkeit, in komplexen Systemen und Prozessen zu denken, um die Gesamtabläufe und Zusammenhänge erfassen zu können. Darüber hinaus benötigt er die Fähigkeit neue Vorgehensweisen zu erarbeiten und anderen, am Prozess beteiligten zu erläutern und die Anwendung neuer Methoden und Standards voranzutreiben. Aufgrund der engen Zusammenarbeit mit vielen verschiedenen Bereichen ist eine sehr gute Kommunikationsfähigkeit und soziale Kompetenz notwendig.

3.1.4 Fazit: Industrial Engineering

Das klassische Industrial Engineering ist auf konstante Rahmenbedingungen für die Produktion ausgelegt und ist somit den Herausforderungen im turbulenten Umfeld nicht gewachsen. Die Analyse der aktuellen Arbeitsgebiete sowie der Forschungsschwerpunkt des Industrial Engineering im internationalen Vergleich haben ergeben, dass die Weiterentwicklung in den klassischen IE-Bereichen weiterhin vorangetrieben wird. Darüber hinaus werden in einzelnen Regionen aber eine Reihe von Themengebieten wie das Digitale Engineering, das Produkt-, Prozess- und Produktionsmanagement in das Industrial Engineering eingebunden und deren Entwicklung massiv vorangetrieben. Die identifizierte, notwendige Integration des Digitalen Engineering und neuer Technologien von Produktionssystemen in das Planungsvorgehen ist bisher allerdings nur unzureichend gelöst. Der Industrial Engineer kann mit den, ihm bisher zur Verfügung stehenden Methoden und Werkzeugen die Anforderungen einer kontinuierlichen Adaption der Produktion nicht erfüllen. Es wird ein ganzheitliches Industrial Engineering Verständnis benötigt, das die klassischen IE-Bereiche mit dem Digitalen Engineering und dem Technologiemanagement verknüpft, so dass es den Herausforderungen einer wandlungsfähigen Produktion gerecht wird und auf kurz- und mittelfristige Turbulenzen reagieren kann.

3.2 Umgang mit Wandlungsfähigkeit

Die Notwendigkeit zur Wandlungsfähigkeit in produzierenden Unternehmen, um in turbulentem Umfeld zu bestehen wurde in den Kapiteln 1.1, 2.1.2 und 2.1.3 ausführlich dargestellt. Das Stuttgarter Unternehmensmodell (SUM) verfolgt das Ziel Unternehmen unter Einbeziehung aller verfügbaren Ressourcen in den Grenzbereichen von Technik und Leistung, an den wirtschaftlich optimalen Betriebspunkt zu bringen. Für die stetige Adaption komplexer Systeme und die Gestaltung eines proaktiven Wandels, der menschliche Kreativität und Intelligenz erfordert, wird ein skalierbarer Ansatz mit Leistungseinheiten verfolgt, die Merkmale wie Kooperation, Selbstorganisation, Selbstoptimierung, Selbstkontrolle, Selbstkonfiguration und technische Intelligenz besitzen [Westkämper/Zahn 2009].

Andere Produktionskonzepte, wie die Fraktale Produktion [Warnecke/Hüser 1996], Bionic Manufacturing, Agile Manufacturing [Kidd 1994], Holonic Manufacturing [Okino 1994] oder das Total Quality Management, welche ebenfalls die Wandlungsfähigkeit der Produktion unterstützen haben immer den Kunden und die Markorientierung im Fokus. Dabei werden jedoch nie alle Aspekte und Merkmale wie die Flexibilität, die Dynamik, die Kooperation und die konsequente Markorientierung in ihrer Gesamtheit betrachtet [Westkämper/Zahn 2009, S. 48].

Die Basis für das Stuttgarter Unternehmensmodell mit seinen Leistungseinheiten liefert die Systemtheorie und das Wirkmodell der Leistungseinheiten. Die Systemtheorie ermöglicht eine dynamische Gliederung des Systems Fabrik, wie sie in Kapitel 2.2.1 ausführlich erläutert ist. Die erreichbare Wandlungsfähigkeit hängt davon ab, wie effizient sich die einzelnen Elemente und im Zusammenspiel des gesamten Systems Fabrik an Veränderungen anpassen können [Westkämper/Zahn 2009]. Das Wirkmodell einer Leistungseinheit liefert die Fähigkeit sich an Rahmenbedingungen anzupassen. Einzelne Prozesse (Ausführungsprozess) stehen im Mittelpunkt einer Leistungseinheit und werden von dieser gesteuert. Führungsprozesse übernehmen dabei die Gesamtkoordination innerhalb der Leistungseinheit. Planungsfunktionen ermöglichen eine stetige Adaption des Systems und die Einbindung von erforderlichen Ressourcen über die Grenzen einer Leistungseinheit hinweg. Die strategischen Funktionen richten sich auf grundlegende Veränderungen innerhalb des Systems Fabrik [Malik 2003, S. 84ff].

Das Stuttgarter Unternehmensmodell, mit seiner konsequenten Ausrichtung auf Wandlungsfähigkeit liefert als ganzheitliches Produktionssystem Lösungsmodelle, Methoden, Instrumente und Vorgehensweisen für die wesentlichen Problemstellungen im Betrieb eines Unternehmens zur Steigerung der Wandlungsfähigkeit. Mit den folgenden sechs Bereichen wurden sowohl die wertschöpfenden als auch die peripheren Bereiche

eines produzierenden Unternehmens abgedeckt [Westkämper/Hummel 2005; Westkämper/Zahn 2009]:

- Strategie, Führung und Controlling in wandlungsfähigen Unternehmen
- Wandlungsfähigkeit in Planungs- und Steuerungsprozessen der Auftragsabwicklung
- Wandlungsfähige Strukturen und Ressourcen
- Potentiale der Humanressourcen
- Wandlungsfähige Informationssysteme
- Wissensbasiertes Management für die wandlungsfähige Produktion

Die hohe Dynamik die zur Turbulenzbewältigung benötigt wird, muss in produzierenden Unternehmen bei gleichzeitig robusten und sicheren Prozessen erreicht werden, um den Qualitätsansprüchen weiterhin gerecht zu werden. Diesen Spagat schafft das Stuttgarter Unternehmensmodell aufgrund seiner dezentral organisierten und teilautonomen Leistungseinheiten. Das Unternehmen lässt sich auf Basis der Systemtheorie in einem hierarchischen Modell aus einzelnen Leistungseinheiten aufbauen. Die Mitarbeiter und Ressourcen einer Leistungseinheit führen die Ausführungsprozesse mithilfe von Informations- und Produktionstechnologien aus, die durch Führungsprozesse koordiniert werden [Westkämper/Hummel 2005; Westkämper/Zahn 2009].

Die Leistungseinheiten erhalten von ihrem Vorgänger einen Arbeitsauftrag, der neben der Tätigkeit auch die notwendigen Informationen zur Ausführung der Tätigkeit beinhaltet. Die Leistungseinheit bearbeitet die Tätigkeit (transformiert die Eingangsinformationen) und leitet die Ergebnisse in Form von Ausgangsinformationen an die nächste Leistungseinheit weiter. Die Leistungseinheit muss sich dabei allerdings an die jeweiligen Rahmenbedingungen anpassen, die den Transformationsprozess beeinflussen. Dies sind zum einen Rahmenbedingungen von übergeordneten Leistungseinheiten wie beispielsweise dem Management, das Zielvorgaben für die Planung gibt, und untergeordneten Leistungseinheiten, die sich mit Teilaufgaben beschäftigen und deren Ergebnisse ebenfalls berücksichtigt werden müssen. Zum anderen muss die Leistungseinheit auf Umwelteinflüsse reagieren, die auf das Unternehmen in Form von Turbulenzen einwirken und dabei entweder den Gesamtprozess der Planung oder aber speziell einen Planungsprozess beeinflussen. [Westkämper/Hummel 2005; Westkämper/Zahn 2009].

Fazit

Das Stuttgarter Unternehmensmodell liefert mit dem grundlegenden Ansatz der Leistungseinheiten, den entwickelten Methoden, Instrumenten und Vorgehensweisen sowie durch die Integration neuester IT-Technologien und -werkzeugen die Basis für die Weiterentwicklung des Industrial Engineerings, um der Herausforderung der kurz- und mittelfristigen Turbulenzbewältigung gerecht zu werden. Für die Planung und Optimierung von Produktionsprozessen können die grundlegenden Modelle zur schnellen Adaption an Veränderungen, die Wandlungsfähigkeit in Planungs- und Steuerungsprozessen, die Integration von IT-Technologie in die Planungsprozesse sowie wandlungsfähiger Strukturen und Ressourcen auf den Bereich des Industrial Engineering übertragen werden.

3.3 Konzepte, Methoden und Werkzeuge der Digitalen Fabrik

Die Digitale und Virtuelle Fabrik wird als wesentlicher Faktor zur Bewältigung von kurz- und mittelfristigen Turbulenzen angesehen [Bley u. a. 2006; Dombrowski u. a. 2001a; Feldmann 2000, S. 28ff; Westkämper 2004]. Die Digitale und Virtuelle Fabrik kann ihre Potentiale in der Verkürzung der Planungsdauer und der erhöhten Planungsqualität durch vorherige Prozessabsicherung und die damit verbundene Kostenreduzierung in der Planung erst dann entfalten, wenn eine gemeinsame Nutzung von Daten durch Integrationskonzepte der leistungsfähigen Simulationswerkzeuge erfolgt und somit der hohe Aufwand der Datenerfassung und Datenbereinigung sowie der Modellierung reduziert werden kann (s. Kapitel 1.2). Im Folgenden wird auf Methoden und Werkzeuge der Digitalen und Virtuellen Fabrik eingegangen, die den Industrial Engineer in seinem Aufgabenspektrum unterstützen können, bevor verschiedene Ansätze zur durchgängigen Integration der Werkzeuge der Digitalen und Virtuellen Fabrik erläutert werden (s. Kapitel 2.4).

3.3.1 Methoden und Werkzeuge der Digitalen und Virtuellen Fabrik

Die einzelnen Methoden und Werkzeuge der Digitalen und Virtuellen Fabrik wurden für spezielle Aufgabenstellungen entwickelt. Im Rahmen dieser Arbeit werden Methoden und Werkzeuge betrachtet, die den Industrial Engineer in der Planung und Optimierung von Produktionsprozessen auf den Systemebenen einer Fabrik vom Produktionssystem bis zu den Arbeitsplätzen/Maschinen unterstützen (s. Kapitel 2.2).

Die Digitale und Virtuelle Fabrik wird in erster Linie mit planungsunterstützenden Softwarewerkzeugen assoziiert, die auf verschiedenen Planungsebenen des Systems Fabrik sowie dem Fabrikbetrieb eingesetzt werden können (s. Abbildung 3-6). Um die

Werkzeuge der Digitalen und Virtuellen Fabrik sinnvoll in das Planungsvorgehen integrieren zu können, sind allerdings Methoden mit aufbau- und ablauforganisatorische Sichten erforderlich. Eine wichtige Rolle spielen dabei Methoden wie das Simultaneous bzw. Concurrent Engineering und das Produkt- und Simulationsdatenmanagement [Schack 2008, S. 24].

Das Simultaneous bzw. das Concurrent Engineering hat die zeitliche Verkürzung des Planungsprozesses bei gleichzeitiger Steigerung der Produktqualität zum Ziel. Dies wird durch eine Parallelisierung von Planungsaufgaben und durch eine verbesserte Abstimmung zwischen den am Planungsprozess beteiligten Personen ermöglicht [Gausemeier u. a. 2001, S. 12]. Mit dem Produkt- und dem Simulationsdatenmanagement können sowohl der Informationsfluss als auch die Verwaltung von Produkt- und Simulationsdaten gesteuert werden. Die dazu erforderlichen Konzepte werden im folgenden Kapitel näher betrachtet [Eigner/Stelzer 2001, S. 17; Schöttner 1999, S. 32 f. und 93].

Die wichtigste Methode der Digitalen und Virtuellen Fabrik ist die Simulation, die durch die spezialisierten Werkzeuge für verschiedene Aufgabenstellungen unterstützt wird. Die Werkzeuge lassen sich den Planungsinhalten für verschiedene Systemebenen der Fabrik zuordnen. Den Werkzeugen liegen dabei verschiedene Simulationsmodelle zugrunde, die an die jeweiligen Aufgabenstellungen angepasst sind (s. Abbildung 3-6).

Planungsebene	Planungsinhalte	Simulationsmodell	Werkzeuge
Unternehmen / Fabrik	Geschäftsprozessebene Produktionsstrategien Material- / Informationsflüsse	Wirtschaftlichkeitssimulation Geschäftsprozesssimulation Ablaufsimulation (grob)	Materialflusssimulationssystem PDM-Systeme
Produktionsanlage	Anlagenlayout Materialflusslogistik Steuerungsstrategien Arbeitsorganisation	Grafische 3D-Simulation Ablaufsimulation (mittel)	CAD- / VR-Systeme Layoutplanungssystem Materialflusssimulationssystem ERP- / MES-Systeme
Zelle	Zellenlayout IR-Programmierung NC-Programmierung Taktzeitoptimierung Kollisionsvermeidung	Grafische 3D-Simulation Ablaufsimulation (fein) Kinematiksimulation	CAD- / VR-Systeme Layoutplanungssystem Materialflusssimulationssystem Prozessplanungssystem Zeitermittlungssysteme Robotersimulationssysteme Ergonomiesimulationssysteme

Abbildung 3-6: Simulation auf den verschiedenen Fabrikebenen [vgl. Kühn 2006b, S.56]

Im Folgenden werden die einzelnen Werkzeuge der Digitalen und Virtuellen Fabrik hinsichtlich ihres Aufgabenbereiches analysiert.

Das Enterprise Resource Planning System (ERP-System) unterstützt die Aufgaben der Auftragsabwicklung im Rahmen der Produktionsplanung und -steuerung. [Schöttner 1999, S. 6; Schuh 2006, S. 28ff]. Manufacturing Execution Systeme (MES) übernehmen

einerseits die Feinplanung in der Produktion und erfassen andererseits technische und organisatorische Daten über den aktuellen Zustand der Produktion, die an das übergeordnete ERP-System weitergeleitet werden. Für die Datenerfassung beinhalten MES-Systeme Module zur Betriebsdaten- (BDE), Maschinendaten- (MDE), Personalzeit- (PZE) und Qualitätsdatenerfassung (QDE) [Schatz/Mußbach-Winter 2010; VDI 5600; Kletti 2006, S. 123ff].

3D-Scanner liefern 3D-Modelle der Produktionsstrukturen in Form von Punktwolken, die in CAD-Systemen zu geometrischen Formen zusammengesetzt werden können [Dürr/Kuhlmann 2008].

Unter CAP-Systemen werden Prozessplanungssysteme zur rechnerunterstützten Erstellung von Arbeitsplänen verstanden, die bei der Gestaltung von Produktionsprozessen Produkt- und Ressourceninformationen berücksichtigen. Diese Werkzeuge werden im Bereich der Arbeitsablaufplanung eingesetzt [Eversheim 2002, S. 228; Rück u. a. 1992, S. 339ff].

Produktdatenmanagementsysteme (PDM-Systeme) liefern für die Prozessplanungssysteme alle erforderlichen Informationen der Produktentwicklung wie die Produktstruktur, Werkstoffe oder geometrische Daten. Sie stellen eine wichtige Schnittstelle zur Produktentwicklung dar und unterstützen die Planungsaufgaben der Arbeitsablaufplanung [Eigner/Stelzer 2009; VDI 2219; Schöttner 1999, S. 325].

Zeitermittlungssysteme unterstützen den IE gerade in der Ermittlung von Produktionszeiten manueller Produktionsprozesse, die auf standardisierten Bewegungsabläufen der Systeme vorbestimmter Zeiten beruhen.

Die eingesetzten Materialflusssimulationssysteme dienen auf der Produktionssystemebene zur Dimensionierung und Austaktung des Material- und Informationsflusses sowie zur Auswahl der Steuerungsmechanismen, die im Planungsabschnitt der Prozessplanung betrachtet werden. Dabei gilt es eine gleichmäßige Kapazitätsauslastung der Betriebsmittel zu erreichen. Die Dimensionierung der Kapazitäten bezieht sich dabei sowohl auf Maschinen als auch auf die Personalplanung. Mithilfe der Simulation können die Auswirkungen von Losgrößenveränderungen oder Änderungen bei den Steuerungsprinzipien evaluiert und die Bestände im Produktionssystem vor Produktionsbeginn optimiert werden, so dass die Puffergrößen auf ein Minimum reduziert und somit Lagerkosten gespart werden können [Kühn 2006b, S. 59f; Feldmann 2000, S. 33ff; Kudlich 2000; Engelhardt-Nowitzki u. a. 2008].

Computer Aided Design Systeme (CAD-Systeme), eignen sich für die Konstruktion und grafische 3D-Darstellungen der Produktionsressourcen im Layout und liefern schon in der Flächenbedarfsermittlung wichtige Informationen anhand der Ressourcen-Modelle.

Darüber hinaus unterstützen CAD-Systeme und Virtual Reality Systeme (VR-Systeme) und auch Layoutplanungssysteme in Form von Planungstischen die Visualisierung und vermittelt dem IE einen Eindruck über den späteren realen Zustand der Fabrik. Planungstische ermöglichen zusätzlich zur Visualisierung eine partizipative Planung, so dass die Layoutgestaltung durch mehrere Planer aktiv erfolgen kann [Dürr/Lickefett 2010; Westkämper 2000; Westkämper u. a. 2004; Gäse u. a. 2005].

CAD- und VR-Systeme eignen sich auch zur Gestaltung von Arbeitsplätzen [Schirra 2009]. Dabei stehen die räumlichen Anordnung von Betriebsmitteln und die Bereitstellung der Produktkomponenten im Vordergrund. Mithilfe von Ergonomiesimulationen können die so gestalteten Arbeitsplätze hinsichtlich der körperlichen Belastungsgrenzen untersucht und bewertet werden [Kühn 2006b, S. 82f]. Kritische Bewegungsabläufe können durch die räumliche Anordnung oder durch Veränderungen in den Produktionsprozessen, die in Prozessplanungssystemen vorgenommen werden können, entschärft werden [Schirra 2009].

Robotersimulationssysteme unterstützen die Roboterprogrammierung, so dass im Idealfall der gesamte Produktionsprozess Offline-programmiert und abgesichert werden kann, bevor er in der realen Fabrik umgesetzt wird. Somit lassen sich Stillstandszeiten und Anlaufschwierigkeiten in der Produktion reduzieren [Kühn 2006b, S. 65ff; Eversheim 2002, S. 242].

3.3.2 Konzepte zur Integration der Werkzeuge der Digitalen Fabrik

Um die Potentiale der Methoden und Werkzeuge der Digitalen und Virtuellen Fabrik zu heben und in die Planung und Optimierung von Produktionsprozessen zu integrieren ist ein durchgängiges Datenmanagement erforderlich, das einen medienbruchfreien Datenaustausch zwischen allen Werkzeugen zulässt [VDI 4499, S. 3; Bracht u. a. 2011, S. 165]. Um diesen zu realisieren muss das Datenmanagement unterschiedliche Anforderungen erfüllen. Diese Anforderungen umfassen die Korrektheit, die Konsistenz, die Vermeidung von Datenredundanz und Datensicherheit. Für die Nutzung von IT-Werkzeugen zur Planungsunterstützung ist die Unabhängigkeit der Anwenderprogramme an das Datenmanagement überaus wichtig, um die, für den Anwendungsfall geeigneten Werkzeuge auswählen zu können [Bracht u. a. 2011].

Bereits heute stehen den Anwendern verschiedene Möglichkeiten zur Integration von IT-Werkzeugen zur Verfügung. Eine vollständige Integration der IT-Werkzeuge in ein Datenbankmanagementsystem würde zwar alle genannten Anforderungen an das Datenmanagement erfüllen, ist jedoch in der Praxis nicht realisierbar, da die IT-Werkzeuge unterschiedlicher Anbieter verschiedene Datenmodelle nutzen. Eine Kopplung von IT-

Werkzeugen als interoperable Systeme bietet zwar einen Datenaustausch, der jedoch nicht immer verlustfrei (Datenqualität, Veränderbarkeit von Daten, Datenredundanz) von statten geht. Bei einer direkten Kopplung werden die IT-Werkzeuge über Schnittstellen in einer Point-to-Point-Architektur miteinander verbunden. Bei einer indirekten Kopplung werden die IT-Werkzeuge über eine gemeinsame Integrationsplattform verbunden, was eine zentrale Kommunikationslösung bedeutet. Hierfür eignen sich eine Hub&Spoke-Architektur oder eine Bus-Architektur [VDI 4499, S. 39ff; Bracht u. a. 2011, S. 163ff].

Die bisherigen Konzepte zur Integration der Digitalen Fabrik basieren auf der Grundarchitektur einer zentralen Integrationsplattform, die es den Werkzeugen der Digitalen und Virtuellen Fabrik ermöglichen durchgängig, auf eine strukturierte Datenbasis zuzugreifen. Diese Grundarchitektur hat sowohl im wissenschaftlichen als auch industriellen Umfeld Anerkennung gefunden, was vor allem auf die vorherrschende Stellung zweier kommerzieller Anbieter (Dassault System/Delmia und Siemens/UGS) in diesem Bereich zurückzuführen ist [Rudolf 2007, S. 72].

Der strukturierten Datenbasis der Digitalen Fabrik liegt das Prinzip der objektorientierten Programmierung zugrunde, damit komplexe Modelle handhabbar und wartbar sind. Die strukturierte Datenbasis beinhaltet die Objektklassen wie Produkte, Prozesse und Ressourcen, die durch weitere Objekteigenschaften näher beschrieben werden können und hierarchisch aus weiteren Objekten wie z. B. Produkte aus Baugruppen und Einzelteile bestehen können. Die Objekte stehen wiederum über Relationen miteinander in Verbindung, so dass komplexe Verknüpfungen wie z. B. in einem Arbeitsplan abgebildet werden können. Ein Montageprozess wird einerseits mit einem Produkt verknüpft, das in diesem Prozess montiert werden soll und andererseits mit einer Ressource verknüpft, mit der der Montageprozess ausgeführt werden soll. Im Informationsmodell der Integrationsplattform sind die Objektklassen mit ihren Attributen sowie die möglichen Relationen zwischen den Objekten definiert und können mithilfe eines Informationsmodelleditors in engen Grenzen an das jeweilige Unternehmen angepasst werden. Die Planungsszenarien werden mit einer zentralen Modellierungskomponente in der Integrationsplattform erstellt, parametrisiert und verwaltet. Die Werkzeuge der Virtuellen Fabrik und des Fabrikbetriebes können über Schnittstellen auf die Daten der Integrationsplattform zugreifen bzw. Daten dort ablegen [Kapp 2011; Zenner 2006, S. 164].

Auch die beiden Marktführer Dassault System/Delmia und Siemens/UGS haben ihre als Einzelsysteme entwickelten Werkzeuge der Digitalen und Virtuellen an ihre jeweilige Integrationsplattform direkt angebunden. Die Integration basiert dabei auf der Basis des objektorientierten Modells der strukturierten Datenbasis, so dass automatisiert aus der Datenbasis heraus ein ausführbares Simulationsmodell erzeugt wird. Nach Untersuchung

von ZENNER ist die Erzeugung detaillierter Simulationsmodelle anhand dieser Anbindungen jedoch nur unter begrenzten Rahmenbedingungen nutzbar [Zenner 2006, 38ff]. Begründet werden kann dies mit der Notwendigkeit des höheren Detaillierungsgrades der Daten für eine dynamische Betrachtung der Fabrik und der Notwendigkeit simulationsspezifischer Daten wie z. B. Steuerungsregelungen [Bracht u. a. 2008, S. 441; Fritz 2007].

Aufgrund der genannten Möglichkeiten zur Integration und der Tatsache, dass Unternehmen in der Regel Werkzeuge verschiedener Hersteller nutzen, wurden in der Wissenschaft weitere Integrationskonzepte erarbeitet. Wesentliche Konzepte, die die Integration von Werkzeugen unterschiedlicher Hersteller sowie den erforderlichen Detaillierungsgrad der Daten zur dynamischen Simulation ermöglichen, werden im Folgenden erläutert.

Der Ansatz von Fritz sieht für die Integration ein dreischichtiges Schnittstellenkonzept vor, bei dem aus der Datenbasis die Planungsdaten des statischen Modells der Produktion in eine Zwischenschicht exportiert wird, in der weitere, detailliertere Daten eingegeben werden können. Davon ausgehend kann eine automatisierte Simulationsmodellgenerierung erfolgen. Nach der Simulation können die Ergebnisse interpretiert werden und Veränderungen manuell in der Datenbasis aktualisiert werden [Fritz 2007].

Bei dem Ansatz von FRANKE, der sich auf die Prozesskettenplanung in der Montage konzentriert, werden unternehmensspezifische Bausteine eingesetzt. Diese Bausteine werden im Vorfeld der Simulation durch Simulationsexperten und Mitarbeiter in den Planungsbereichen aufgebaut und beinhalten neben den Produktionsressourcen Informationen zum Materialfluss und den Steuerungskomponenten. Somit können aus der Datenbasis heraus Simulationsmodelle aufgebaut werden. Für detaillierte Simulationsuntersuchungen ist jedoch trotzdem eine weitere Detaillierung notwendig, die von Planern und Simulationsexperten durchgeführt werden muss, um variantenspezifische Abläufe und steuerungstechnische Feinheiten umzusetzen. Neben Ergebnisberichten lassen sich auch manuell veränderte Parameter des Simulationsmodells in die Datenbasis zurückspielen [Franke 2003].

ZENNER baut auf dem Modell von FRANKE auf und versucht die für die Simulation notwendige Ablauflogik in den Prozessgraph und das Fertigungskonzept der Datenbasis zu integrieren. Durch diese Varianten- und Logistikelemente werden Entscheidungsknoten in das statische Modell der Digitalen Fabrik hinterlegt, um beim Aufbau des Simulationsmodells das Verhalten der Produktionssteuerung automatisiert zu generieren [Zenner 2006].

Ein ähnlicher Ansatz wurde mit der Stuttgarter Integrationsplattform im SFB 467 von WESTKÄMPER verfolgt. Dieser Integrationsansatz gliedert sich in drei Ebenen, die Basisebene, die Integrationsebene und die Werkzeugebene. Die Basisebene wird durch die kommerzielle Datenbasis, den Delmia Process Engineer (DPE) repräsentiert und verwaltet die Produkt-, Prozess- und Ressourceninformationen. Spezifische Daten für die Materialflussplanung (z. B. Dispositionsstammdaten) bzw. die Layoutplanung (z. B. Positionsangaben) wurden in das Datenmodell des DPE implementiert. Die Integrationsebene übernimmt mit standardisierten Schnittstellen die Kommunikation zwischen der Basisebene und den Werkzeugen der Digitalen und Virtuellen Fabrik. Werden keine weiteren spezifischen Daten aus der Basisebene benötigt, lassen sich weitere Werkzeuge relativ einfach anknüpfen. Die einzelnen Werkzeuge der Werkzeugebene werden über Adapter an die Integrationsebene angeschlossen, so dass ein bidirektionaler Datenaustausch ermöglicht wird. Auf der Werkzeugebene müssen die für eine dynamische Simulation notwendigen Daten zusätzlich integriert werden, bevor das Simulationsmodell generiert werden kann. Aufgrund der verteilten Datenhaltung wurde in manchen Werkzeugen eine ausgiebige Datenprüfung integriert. Die Ergebnisse auf der Werkzeugebene können über die Integrationsebene wiederum in die Basisebene transferiert werden, um bei weiteren Planungsschritten genutzt zu werden [Westkämper/Zahn 2009, S. 178ff; Kapp u. a. 2005; Westkämper 2006e, S. 729ff].

Während bei den oben genannten Ansätzen alle Werkzeuge der virtuellen Fabrik über eigene Datenbanken verfügen müssen, um spezifische Informationen zu verwalten, beschreibt STRAßBURGER einen Ansatz mit einem Simulationsbackbone, der alle Informationen und Modelle für die dynamische Simulation beinhaltet. Der Ansatz des Simulationsbackbones basiert auf einer kommerziellen Datenbasis, in der die Produkt-, Prozess- und Ressourceninformationen hinterlegt sind, die in den Simulationsbackbone exportiert werden können. Dort werden die für die dynamische Betrachtung notwendigen Informationen ergänzt. Die Simulationsmodelle werden im sogenannten Modellierungs- und Simulationsressourcen Repository (MSRR) gespeichert und stehen für Simulationen bereit. Für Simulationsexperimente werden die erforderlichen Teilmodelle aus dem MSRR geladen und mithilfe einer Run-Time-Infrastructure miteinander verknüpft, um während der Simulation Daten austauschen zu können. STRAßBURGER setzt dabei auf die Nutzung einer High Level Architecture for Modeling and Simulation, die im Bereich von verteilten Simulationsmodellen etabliert ist [Straßburger 2003]

Mit einem „Open Factory Backbone“, der als Integrationsplattform für Werkzeuge der virtuellen Fabrik und des Fabrikbetriebes dient, verfolgt KÜHN eine Open Source Lösung mit offenen und unabhängigen Schnittstellen. Der „Open Factory Backbone“ verfügt über

offene XML-basierte Schnittstellen, an die die Werkzeuge der Digitalen Fabrik gekoppelt werden können. Dieser übernimmt die Kommunikation zwischen den Werkzeugen der Virtuellen Fabrik und des Fabrikbetriebes und liefert gemeinsam genutzte Informationen des Fabrikdatenmanagements hinsichtlich Produkten, Prozessen, Ressourcen, Modellen und Szenarien [Kühn 2006a; Kühn 2006b, S. 54f].

Ein ähnlicher Ansatz wird mit einer serviceorientierten Architektur verfolgt. Als Integrationsbasis dient dabei ein Manufacturing Enterprise Bus (MSB), der über servicebasierte standardisierte Schnittstellen eine flexible Integration der Werkzeuge der Digitalen Fabrik ermöglicht. Der MSB stellt dabei einen Routingdienst, der Informationen entgegennimmt und diese nach vordefinierten Workflows an die adressierten Empfänger weiterleitet, und verschiedene Integrationsdienste zur Verfügung. Die Integrationsdienste übernehmen die Datentransformation, um unterschiedliche Datenmodelle und Datenformate zu überbrücken und Orchestrierungsdienste, die als Workflow-managementsystem Prozesse für den Datenaustausch bereitstellen. Die Werkzeuge der Digitalen Fabrik werden über eine Dienstschnittstelle wie z. B. Web-services realisiert [Bracht u. a. 2011, S. 204; Minguez u. a. 2010; Silcher u.a. 2010].

Diese beiden Ansätze setzen auf eine Integration ohne kommerzielle Integrationsplattformen und bieten die Möglichkeit, Daten aus den Planungsphasen und dem Fabrikbetrieb zu vereinen. Allerdings bedarf es hinsichtlich des zugrundeliegenden Informationsmodells sowie der Verbindungen der realen Fabrik und der Digitalen Fabrik einer weiteren Detaillierung, mit weiterem Forschungsbedarf.

Fazit:

Für den Aufbau einer digitalen Lernumgebung, mit der die Potentiale der Methoden und Werkzeuge der Digitalen und Virtuellen Fabrik zur schnellen und effizienten Turbulenzbewältigung aufgezeigt werden können, stehen dem Industrial Engineer für alle wesentlichen Bereiche der Planung und Optimierung von Produktionsprozessen Methoden und Werkzeuge der Digitalen und Virtuellen Fabrik zur Verfügung, jedoch herrschen noch Defizite beim Datenmanagement. Ihre volle Wirkung zur Erhöhung der Planungsqualität, der -geschwindigkeit und zur wirtschaftlichen Absicherung können diese allerdings erst dann entfalten, wenn sie integriert sind und Daten in den verschiedenen Systemen wiederverwendet werden können. Die Integration der Werkzeuge unterschiedlicher Hersteller ist immer noch mit einem sehr hohen Aufwand verbunden, da keine einheitlichen Datenmodelle verwendet werden. Bis auf den „Open Factory Backbone“ und den serviceorientierten Ansatz, bei denen allerdings noch weiterer Forschungsbedarf

besteht, setzen alle Konzepte auf eine Grundarchitektur mit einer zentralen Integrationsplattform, an die die Werkzeuge der Digitalen und Virtuellen Fabrik angedockt werden können. Um die unterschiedlichen Detaillierungsgrade der benötigten Daten für eine dynamische Betrachtung der Fabrik zu erreichen werden diese speziellen Informationen dezentral in den jeweiligen Werkzeugen vorgehalten.

Für die Konzeption einer digitalen Planungsumgebung gilt es zunächst IT-Werkzeuge auszuwählen die die Aufgaben des Industrial Engineering unterstützen. Um die Potentiale der Digitalen Fabrik heben zu können sind die IT-Werkzeuge über eine zentrale Integrationsplattform miteinander zu verknüpfen, um den erforderlichen Datenaustausch zu ermöglichen. Daten für die dynamische Betrachtung der Fabrik können dezentral gehalten werden, sofern die Daten in keinen weiteren IT-Werkzeugen benötigt werden.

3.4 Wandlungsfähige Montagesysteme

Um die Potentiale modularer, wandlungsfähiger Montagesysteme in Bezug auf die schnelle Umsetzung der Planungsergebnisse und den bidirektionalen Informationsaustausch zwischen Planung und Produktion aufzeigen zu können wird ein physischen Lernumgebung benötigt, die das entsprechende Wandlungspotential (s. Kapitel 2.5) aufweist. Zunächst gilt es, die Kriterien näher zu beleuchten, durch die Montagesysteme die Fähigkeit zur Wandlungsfähigkeit erreichen. Anschließend werden wissenschaftliche Ansätze modularer Montagesysteme betrachtet, die die erforderlichen Veränderungen in den Produktionsstrukturen ermöglichen. Abschließend werden modulare Montagesysteme, die sich im industriellen Einsatz befinden, analysiert, mit den wissenschaftlichen Ansätzen verglichen und hinsichtlich ihrer Eignung für eine Lernumgebung zur Qualifizierung von Industrial Engineers diskutiert.

3.4.1 Wandlungsbefähiger für Montagesysteme

Um das Wandlungspotential eines Montagesystems näher untersuchen zu können gilt es zunächst, die Wandlungsobjekte sowie die Wandlungsbefähiger zu analysieren.

Die Wandlungsobjekte lassen sich den Systemebenen der Fabrik (s. Kapitel 2.2.1) eindeutig zuordnen und können bei detaillierter Betrachtung in zwei Kategorien gegliedert werden. Wandlungsobjekte erster Ordnung stellen organisatorische Einheiten dar, die die Systemgrenze und Struktur der Wandlungsobjekte zweiter Ordnung vorgeben. Die Objekte zweiter Ordnung wie beispielsweise Maschinen lassen sich in weiteren Stufen detaillieren [Hernández Morales 2003, S. 57], was dem Ansatz modularer Montagesysteme (s. Kapitel 2.5) entspricht.

Die Wandlungsbefähiger lassen sich aus den Systemeigenschaften Dynamik, Komplexität und Vernetztheit der Systemtheorie ableiten. Die Wandlungsbefähiger charakterisieren individuelle, abrufbare Eigenschaft eines Wandlungsobjektes und tragen durch ihre Existenz, Wirkungsweise und Ausprägung zum Wandlungspotential von Objekten bei [Hernández Morales 2003, S. 57].

WIENDAHL identifizierte die Modularität, Mobilität, Universalität, Skalierbarkeit und Kompatibilität als fünf elementare Wandlungsbefähiger [Wiendahl 2005]. HERNANDEZ orientiert sich hingegen enger an den Systemeigenschaften der Systemtheorie und identifizierte die sechs Wandlungsbefähiger Mobilität, Erweiter- und Reduzierbarkeit, Modularität, Funktions- und Nutzenneutralität sowie Vernetzungsfähigkeit und Desintegrations- und Integrationsfähigkeit [Hernández Morales 2003]. DRABOW sieht den Grad der Technologie als wichtiges Kriterium [Drabow 2006], wohingegen KOREN die Diagnosefähigkeit und die Customization (Anpassungsfähigkeit an Kundenwünsche und INDIVIDUALISIERUNG) erkennt [Koren 2005]. EVERSHEIM, ENDERLEIN, WESTKÄMPER und ABELE stellen die Standardisierung in Bezug mit Modularität und mechanischen sowie technologischen Schnittstellen heraus [Eversheim/Neuhausen 2001; Enderlein u. a. 2003; Westkämper 2001a; Abele u. a. 2009]. HEISEL nennt die Refkonfigurierbarkeit von Systemen als grundlegende Eigenschaft [Heisel/Meitzner 2004]. Die Mobilität wird von vielen Autoren genannt und teilweise in innere und äußere Mobilität aufgeteilt [Wirth u. a. 2000]. SPUR und SPATH nennen darüber hinaus den Menschen als wesentlichen Teil eines wandlungsfähigen Systems [Spur 1986; Spath u. a. 2007]. In der Literatur finden sich weitere Definitionen und Gliederungen für die Wandlungsbefähiger, die jedoch im Kern die oben beschriebenen Aspekte beinhalten.

Für die Bewertung der Wandlungsfähigkeit von Montagesystemen stehen viele Kriterien zur Verfügung, die bei genauer Betrachtung ihren Beitrag zum Wandlungspotential eines Montagesystems liefern. Die identifizierten Kriterien lassen sich in primäre Wandlungsbefähiger gliedern, die durch sekundäre Wandlungsbefähiger ergänzt und unterstützt werden. Die Gliederung, die in dieser Arbeit verwendet wird, ist an die Systematik von WIENDAHL angelehnt, weist aber neben der Universalität, Mobilität, Skalierbarkeit, Modularität und Kompatibilität noch die Qualitätssicherung (s. Abbildung 3-7) auf. Aufgrund der technischen Betrachtung von Montagesystemen wird der Mensch in diesem Zusammenhang ausgeklammert.

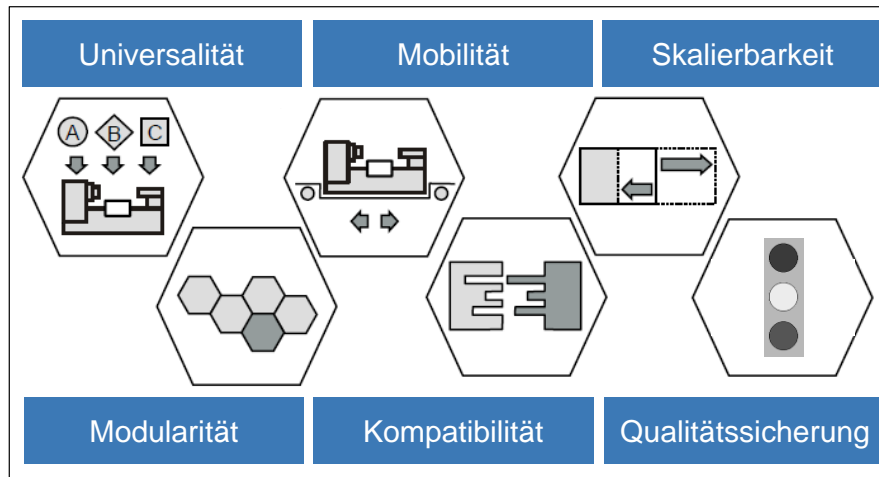


Abbildung 3-7: Wandlungsbefähiger

Die Universalität ist die Eigenschaft eines Objektes, für vielfältige Anforderungen dimensioniert und funktional ausgestaltet zu sein. Dabei ist das Objekt vernetzungsfähig mit anderen Objekten, was einen hohen Standardisierungsgrad erfordert, und ist anderen Objekten gegenüber neutral, d.h. es übt keinen negativen Einfluss wie Verschmutzung, Lärm oder Vibrationen auf andere Objekte aus [Heger 2007, S. 79].

Die Mobilität ist die ortsveränderliche Beweglichkeit und freie Positionierbarkeit von Objekten eines Montagesystems. Dabei wird zwischen einer inneren (Mobilität zwischen den Systemelementen) und einer äußeren (Standortübergreifende Beweglichkeit) Mobilität gesprochen. Wesentliche Gestaltungsfaktoren sind die Abmessungen, das Gewicht und der Verbindungsgrad, d.h. inwieweit die Komponenten eines Montagesystems mit dem Boden verbunden sind [Wiendahl 2005, S. 26].

Die Skalierbarkeit ergänzt die räumlichen Aspekte der Erweiter- und Reduzierbarkeit um technische und organisatorische Gesichtspunkte. Zu den technischen Freiheitsgraden von Objekten zählen die Fähigkeiten zur Vernetzung, Rekonfigurierung, sowie Rückbaufähigkeit im Sinne der Automatisierung. Organisatorische Freiheitsgrade ergeben sich durch flexible Arbeitszeitmodelle. Ein wichtiger Aspekt ist in diesem Zusammenhang die Geschwindigkeit, mit der die erforderlichen Erweiterungs- und Reduktionsmaßnahmen durchführbar sind [Heger 2007, S. 80].

Die Modularität basiert auf der Unabhängigkeit und Eigenständigkeit von Objekten und bildet die Grundlage für die Rekonfigurierbarkeit von Systemen. Hauptziel der Modularität ist eine Reduzierung der inneren Komplexität, die auf der Standardisierung von Elementen und Schnittstellen beruht in Verbindung mit der Bereitstellung einer hohen äußeren Vielfalt. Die Modularität ist der bedeutendste Wandlungsbefähiger, da er die anderen Wandlungsbefähiger aktiv unterstützt [Hernández Morales 2003, S. 55].

Die Kompatibilität beschreibt die Vernetzungsfähigkeit also die aufwandsarme Integration oder das Entfernen eines Objektes mittels standardisierter Schnittstellen in oder aus einem Montagesystem. Die externen Schnittstellen beziehen sich dabei im Wesentlichen auf das Material und die Medien [Drabow 2006, S. 107; Wiendahl 2005, S. 27].

Die Qualitätssicherung bezieht sich auf das Monitoring des Montagesystems, um Fehlerquellen schnell identifizieren und an die Verantwortlichen weiterleiten zu können. Des Weiteren ist die Rückverfolgbarkeit von qualitätsbezogenen Produktionsdaten durch eine geeignete Datenerfassung und Archivierung von Bedeutung [Koren 2005; Gerloff/Hartleib 2006].

Fazit:

Um die Potentiale wandlungsfähiger Montagesysteme aufzeigen zu können wird in einer physischen Lernumgebung ein Montagesystem benötigt, das möglichst alle beschriebenen Wandlungsbefähiger abdeckt. Somit kann die gegenseitige Beeinflussung der Wandlungsbefähiger demonstriert werden und der notwendige Grad an Wandlungsfähigkeit aufgrund unternehmensspezifischer Anforderungen erläutert werden.

3.4.2 Grundkonzepte modularer Montagesysteme

Modulare Montagesysteme, die in ihrer Konzeption die genannten Wandlungsbefähiger berücksichtigen, lassen sich hinsichtlich des Modularisierungsgrades ihrer Systemelemente in die Kategorien modulare Baukastensysteme, modulare Komplettsysteme und Modulsysteme gliedern, die im Folgenden kurz vorgestellt werden.

Modulare Baukastensysteme

Modulare Baukastensysteme weisen einen sehr hohen Modularisierungsgrad auf. Das Spektrum umfasst Grund- (Stützen etc.) und Funktionselemente (Greifer etc.), funktionsorientierte Teilmodule (Transportstrecken etc.) und vormontierte Grundmodule (manuelle Montagearbeitsplätze etc.), deren Kopplung über Verbindungselemente ermöglicht wird. Modulare Baukastensysteme ermöglichen somit eine hohe Anpassungsfähigkeit des Montagesystems an ein großes Aufgabenspektrum. Durch den hohen Modularisierungsgrad wird allerdings auch eine hohe Anzahl produktspezifischer Lösungen und firmenspezifischer Standards gefördert, was hohe Systemplanungs- bzw. Systemfolgekosten verursacht und das Risiko von instabilen Prozessen und einem hohen Aufwand für Justier- und Programmierarbeiten mit sich bringt [Slama 2004].

Modulare Komplettsysteme

Die modularen Komplettsysteme basieren auf verschiedenen Montagemodulen, welche alle benötigten Komponenten zur Erfüllung von Montageaufgaben besitzen. Der Materialtransport ist in diese Module integriert. Diese Komplettsysteme haben große Vorteile hinsichtlich des Aufwands für die Realisierung und Inbetriebnahme, der Flexibilität für nachfolgende Aufgaben und der Störungssicherheit. Demgegenüber stehen jedoch die oft höheren Systemkosten und eine geringere Flexibilität bei der Bereitstellung von Teilen [Slama 2004].

Modulsysteme

Modulsysteme sind als Montagezellen in Form mehrerer modular aufgebauter Montagestationen in einer räumlichen Anordnung z. B. einer Montagelinie und als Subsystem eines modularen Montagesystems zu verstehen (s. Kapitel 2.5). Modulsysteme basieren auf betriebsfertigen Grundmodulen, die mit funktionsbestimmenden Systemkomponenten (Antriebe, Materialtransport etc.) und dezentralen Steuerungen ausgestattet sind. Das Montagesystem wird aus diesen Grundmodulen aufgebaut, die durch prozessspezifische Module (z. B. Klebemodul) an die Anforderungen der Montagefähigkeit angepasst werden können. Durch das Plug & Produce Prinzip mit standardisierten Hardware- und Softwareschnittstellen wird der Planungsaufwand verringert und eine schnelle, sichere Inbetriebnahme von Modulsystemen gewährleistet. Des Weiteren kann an die Grundmodule auch die externe Materialversorgung angedockt werden, so dass eine Schnittstelle zum Logistiksystem der Fabrik besteht. Durch das konsequente Umsetzen des Plug & Produce-Prinzips können die Fabrikstrukturen durch aufwandsarme Integration, Separation oder Substituierung von mobilen und modularen Ressourcen ohne Störung des laufenden Fabrikbetriebs effizient erweitert, reduziert oder qualitativ verändert werden [Hildebrand 2005; Feldmann/Slama 2001; Fichtmüller 1996]. In der Literatur werden verschiedene Ausprägungsformen der Montagemodule eines Modulsystems aufgezeigt (s. Abbildung 3-8).

Autoren	Ausprägungsformen der Montagemodule
Spath, Baumann; Feldmann; Roßkopf, Meier	Basis-, Prozess- und Transfermodule
Heilala u.a.	Basisprozessplattform, Prozess-, Zwischenspeicher- und Materialflussmodule
Kösel-Merkel; Hildebrand	Grund-, Steuerungs- und Transporteinheiten
Witte, Vielhaber	Grund-, Prozess-, Transportsystem- und Handlingmodule
Lässig	Grund-, Prozess-, Handhabungs- und Peripheriemodule
Slama	Grundmodule und prozessspezifische Module

Abbildung 3-8: Ausprägungsformen von Modulen in Modulsystemen
 [Spath/Baumeister 2001, S.154; Feldmann/Slama 2001, S 490; Meier 2005, S. 234; Roßkopf 1999; Heilala/Montonen 2006; Kösel-Merkel/Hildebrand 2002; Witte/Vielhaber 2003; Lässig 2006; Slama 2004, S.94]

Im Rahmen dieser Arbeit wird eine Gliederung in Basismodule-, Prozess-, Transfer- und Peripheriemodule vorgenommen, die sich an die von EVERSHEIM definierten Montagesystem-komponenten anlehnt [Eversheim 1986].

Die Basismodule sind produktneutral zu gestalten, sollten einen hohen Wiederverwendungsgrad besitzen und auf die bevorstehenden Aufgaben vorbereitet sein. Des Weiteren bieten Basismodule in der Regel Aufnahmeschnittstellen für die Prozessmodule, um manuelle oder automatische Prozessschritte zu ermöglichen [Feldmann 2004].

Die Prozessmodule stellen dabei die Montagetechnologie wie z. B. eine Pressen- oder Schraubstation bereit. Ein mit dem Basismodul kombiniertes Prozessmodul bezieht sich auf einen abgegrenzten Prozessschritt wie beispielsweise das Zuführen von Bauteilen und einem anschließenden Verschraubungsprozess. Hierbei ist nicht das gesamte Prozessmodul produktspezifisch ausgestaltet, sondern kann aus einer produktneutralen Grundplattform und einem verfahrens- und kundenspezifischen Prozessaufbau bestehen, wobei im Idealfall lediglich Vorrichtungen für das Produkt anzupassen sind [Lotter/Wiendahl 2006, S. 204; Spath/Baumeister 2001].

Die Transfermodule dienen dem Transport von Werkstückträgern und Montageteilen zwischen Montagestationen [Witte u. a. 2005; S. 85].

Peripheriemodule haben die Aufgabe, die zu montierenden Bauteile in der richtigen Menge und termingerecht bereitzustellen. Über Magazine und Zuführeinrichtungen stellen sie die Schnittstelle zum Logistiksystem der Fabrik dar [Eversheim 1986].

Alle Module sind mit einer eigenen Steuerung ausgestattet, die über standardisierte Schnittstellen verfügen und somit einfach in die Gesamtanlagensteuerung integriert

werden können. Durch das konsequente Umsetzen des Plug & Produce-Prinzips können die Fabrikstrukturen mit aufwandsarmer Integration, Separation oder Substituierung von mobilen und modularen Ressourcen ohne Störung des laufenden Fabrikbetriebs effizient erweitert, reduziert oder qualitativ verändert werden [Hildebrand u. a. 2005; Lässig 2006].

Fazit:

Während Baukasten- und Komplettsysteme überwiegend bei großen Stückzahlen zum Einsatz kommen, ist das Hauptanwendungsfeld von Modulsystemen die variantenreiche Montage bei mittleren Stückzahlen. Modulsysteme weisen einerseits einen hohen Modularisierungsgrad auf und können somit an veränderte Anforderungen adaptiert werden, andererseits besitzen sie einen hohen Standardisierungsgrad, so dass Veränderungen kostengünstig und unter Einhaltung der Qualitätsstandards durchgeführt werden können. Modulsysteme können die oben genannten Wandlungsbefähiger unter wirtschaftlichen Bedingungen erfüllen. Modulare Baukastensysteme haben ihre Vorteile in der Adaptionfähigkeit, während modulare Komplettsysteme Defizite in der Wandlungsfähigkeit aufweisen. Einer Studie von FELDMANN zufolge zeichnet sich ein Trend weg von modularen Baukastensystemen, hin zu Modulsystemen ab, die die notwendige Adaptionfähigkeit an sich schnell verändernde Märkte und Produkte sowie die erforderliche Weiterverwendung der Systemelemente mit sich bringen [Feldmann/Slama 2001].

3.4.3 Modulare Montagesysteme in der industriellen Anwendung

Für die Konzeption einer Lernumgebung zur Veranschaulichung der Potentiale wandlungsfähiger Montagesysteme, die im Rahmen eines Qualifizierungskonzeptes für Industrial Engineers, wie in Kapitel 1.3 dargestellt, eingesetzt werden sollen, gilt es modulare Montagesysteme in der industriellen Anwendung hinsichtlich ihrer Eignung zu untersuchen. Die Lernumgebung soll es den Lernenden zusätzlich ermöglichen, die Planungsergebnisse zur Turbulenzbewältigung in einer Fabrik zu realisieren und in einer realitätsnahen Produktionsumgebung zu testen. Für die Analyse und Bewertung von Montagesystemen in der industriellen Anwendung, die im Team durchgeführt wurde, werden die einzelnen Bewertungskriterien den identifizierten Wandlungsbefähigern (s. Kapitel 3.4.1) zugeordnet. Die Skalierbarkeit wird dabei nicht aufgeführt, da die technische Realisierung ihrer Kriterien über die Universalität und der Modularität abgedeckt sind:

- Kompatibilität
(Anschlussflexibilität, Bedienbarkeit, Inbetriebnahme, Softwareschnittstellen)
- Mobilität
(Geometrie, Transportierbarkeit, Verbindungsgrad)
- Modularität
(Baukastensystem, Rüstvorgänge, Standardisierung, Systemarchitektur)
- Universalität
(Automatisierung, Nenntagfähigkeit, Produkt- und Variantenflexibilität, Technologieflexibilität)
- Qualitätssicherung
(Monitoring, Rückverfolgbarkeit)

Für die Bewertung der Montagesysteme, die sich in Basis-, Prozess- und Transfermodule gliedern, wurden die einzelnen Bewertungskriterien mit einem paarweisen Vergleich gegenseitig gewichtet. Für die Durchführung des paarweisen Vergleiches wurden wissenschaftliche Arbeiten herangezogen, in denen ebenfalls eine Gegenüberstellung von ähnlichen Kriterien durchgeführt wurde [Wiendahl 2005; Hernández Morales 2003; Heger 2007; Nyhius u. a. 2008]. Die ermittelte Gewichtung der Bewertungskriterien ist in Abbildung 3-9 dargestellt.

Kriterien	Wandlungsbefähiger zur Bewertung	Gewichtung der Kriterien in %	Gewichtung der Kriterien in %	Summe (Bewertung)	Anschlussflexibilität	Bedienbarkeit	Inbetriebnahme	Softwareschnittstellen	Geometrie	Transportierbarkeit	Verbindungsgrad	Baukastensystem	Rüstvorgänge	Standardisierung	Systemarchitektur	Automatisierung	Nenntragfähigkeit	Produkt- und Variantenflexibilität	Technologieflexibilität	Monitoring	Rückverfolgbarkeit	
Anschlussflexibilität	Kompatibilität	13	4	11	1	1	1	1	1	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0	2	2	
Bedienbarkeit			3	7	1	1	1	1	1	0	1	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0
Inbetriebnahme			4	11	1	1	1	1	1	0	1	0	1	0	0	0	0	2	1	1	1	0
Softwareschnittstellen			3	7	1	1	1	1	1	0	1	0	1	0	1	0	0	0	1	0	0	0
Geometrie	Mobilität	13	3	7	1	1	1	1	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	
Transportierbarkeit			8	23	1	2	2	2	1	1	0	1	2	1	1	1	2	2	1	2	2	
Verbindungsgrad			3	8	2	1	1	1	1	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Baukastensystem	Modularität	35	10	28	2	2	2	2	2	1	2	1	2	1	1	1	2	2	2	2	2	
Rüstvorgänge			5	14	1	1	1	1	2	0	2	0	1	0	1	0	2	0	1	1	1	
Standardisierung			10	27	2	2	2	2	1	1	2	1	2	1	1	1	2	2	2	2	2	
Systemarchitektur			9	25	2	2	2	2	2	1	2	1	1	1	1	1	2	2	2	2	1	1
Automatisierung	Universalität	25	10	26	2	2	2	2	2	1	2	1	2	1	1	1	1	2	2	2	1	
Nenntragfähigkeit			3	7	1	1	0	1	2	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Produkt- und Variantenflexibilität			7	19	2	2	1	2	2	0	2	0	2	0	0	0	0	2	1	1	1	
Technologieflexibilität			6	17	2	2	1	2	2	1	2	0	1	0	0	0	0	2	0	1	1	
Monitoring	Qualitätssicherung	13	6	17	0	2	1	2	2	0	2	0	1	0	1	1	2	1	1	1		
Rückverfolgbarkeit			7	18	0	2	2	2	2	0	2	0	1	0	1	1	2	1	1	1		

Abbildung 3-9: Paarweiser Vergleich zur Gewichtung der Bewertungskriterien

Für die abschließende Bewertung Montagesysteme wurden die Bewertungskriterien hinsichtlich des jeweiligen Erfüllungsgrads bewertet. Bei einer Bewertung von (0) war das Kriterium nicht erfüllt, bei einer Bewertung von (5) war das Kriterium vollständig erfüllt. Anhand der Gewichtung der Bewertungskriterien und des jeweiligen Erfüllungsgrads wurde der Gesamtnutzwert jedes Montagesystems berechnet. In Abbildung 3-10 sind die Teilnutzen für die zur Bewertung herangezogenen Wandlungsbefähiger aufgezeigt.

Im Bereich modularer Montagesysteme gibt es eine Vielzahl verschiedener Systeme. In dieser Arbeit werden die Montagesysteme von Teamtechnik, Stein, Mikron, Paro und Festo Didactic für eine nähere Betrachtung herangezogen.

TEAMOS-Montagesystem von Teamtechnik

Das TEAMOS-Montagesystem besteht aus Basismodulen mit standardisierten Abmessungen und Schnittstellen, in das verschiedene Prozessmodule integriert werden

können. Die Basismodule können in Form von Kompakt-Workstations (einfacher Handarbeitsplatz), Stand-alone-Zelle (beinhaltet mehrere Prozessmodule) oder einer Anlagenplattform (in der Stand-alone-Zelle) zusammengestellt werden. Die technik- und kostenintensiven Prozessmodule werden auf einer produktneutralen Plattform aufgebaut, so dass die Prozessmodule in den verschiedenen Grundformen wiederverwendet werden. Die Prozessmodule besitzen eine eigene Steuerung, die an der Steuerung der Gesamtanlage einfach angemeldet werden können. Neben den automatisierten Prozessmodulen können Handarbeitsplatzmodule für die manuelle Montage in die Gesamtanlage aufgenommen werden, die über dieselbe Steuerungstechnik an die Gesamtanlage angebunden werden können. Der Austausch von Prozessmodulen, kann mit gängigen Transportmitteln erfolgen. Für die Verknüpfung zwischen Montageprozessen stehen Transfer- und Umlenkmodule zur Verfügung. Die Materialversorgung an den automatisierten Prozessmodulen kann über definierte Schnittstellen zur Peripherie erfolgen. Mit diesem Anlagenkonzept werden eine Erweiterung bzw. ein Rückbau des Montagesystems aktiv unterstützt.

ST.E.P (Stein Experten Pool)-Konzept von Stein

Das modulare Montagesystem des ST.E.P-Konzeptes besteht aus Basismodulen mit Prozesseinheiten, die über ein Transfersystem und ein einheitliches Steuerungskonzept verknüpft werden. Dabei wird von Stein ein Werkstückträgertransportsystem (Transfersystem) bereitgestellt, das über verschiedene Materialflussmodule verfügt. Die Basismodule haben standardisierte Schnittstellen zum Transfersystem und nehmen die Prozesseinheiten (manuell oder automatisiert) auf, deren Gestaltung in diesem Konzept von Technologiepartnern weiterer Firmen übernommen wird. Das Steuerungskonzept sieht eine zentrale Auftragsverwaltung und Koordination der einzelnen Module vor, wobei die einzelnen Module über eigene Steuerungen mit standardisierten Schnittstellen verfügen. Somit können Veränderungen in der Anlagenstruktur schnell vorgenommen werden.

Mikron G05

Das Montagesystem Mikron G05 ist auf kleine Produkte ausgelegt und beruht auf standardisierten Basismodulen, die über ein Transfersystem miteinander verbunden werden können. Ein Basismodul kann mehrere Prozesseinheiten aufnehmen, die über standardisierte Schnittstellen mit dem Modul verknüpft werden können. Für die Ausführung der Montageaufgaben verfügen die Prozesseinheiten über eine eigene Steuerung, die mit dem Kontrollsystem des Basismoduls kommuniziert und somit an die

Anlagensteuerung angeknüpft ist. Zur Ausführung von Montageaufgaben lassen sich separate Handarbeitsplatzmodule über das Transfersystem in eine Gesamtanlage integrieren. Darüber hinaus verfügt das Montagesystem über verschiedene Zuführeinrichtungen, die die Verknüpfung des Montagesystems mit der Produktionslogistik herstellt.

Paromat von Paro

Dieses Montagesystem basiert auf dem Standard-Transfersystem Paromat, das alle notwendigen Materialflussverknüpfungsmöglichkeiten umfasst. Des Weiteren sind standardisierte Basismodule (Standard-Stationsgehäuse) definiert, in die das Transfersystem integriert werden kann. Die Basismodule können entweder individuell zu Prozessmodulen aufgebaut werden oder mit Wechselrahmen ausgestattet werden, so dass einzelne Prozessmodule schnell ausgetauscht werden können. Die Prozessmodule haben eine eigene Steuerung sowie Schnittstellen zu schneller Integration in Gesamtanlagensteuerung. Die Module sind so ausgelegt, dass sie als Stand-alone-Lösungen (auch ohne Transfersystem) benutzt werden können und bei einer Erweiterung in eine Gesamtanlage integriert werden können. Zusätzlich können in das Transfersystem Handarbeitsplatzmodule integriert werden.

ifactory von Festo Didactic

Das modulare Montagesystem von Festo Didactic ist nicht für den industriellen Einsatz vorgesehen, sondern als Lernsystem konzipiert. Es verfügt über Transfermodule, mit denen alle Materialflussfunktionen abgebildet werden können. Die Basismodule verfügen über ein integriertes Transfermodul und alle relevanten Schnittstellen der Medienversorgung. Darüber hinaus sind die Prozessmodule fest in das Basismodul integriert, so dass ein Austausch der Prozessmodule nur mit erheblichem Engineeringaufwand möglich ist. Manuelle Handarbeitsplatzmodule sind ebenfalls mit einem Transfersystem ausgestattet und somit einfach in die Gesamtanlage integrierbar. Alle Module beinhalten eigene SPS-Steuerungen und agieren weitgehend selbstständig, so dass der Leitreechner des Montagesystems im Rahmen der Kommunikation mit den Modulen weitestgehend als Datenbasis fungiert. Darüber hinaus übernimmt der Leitreechner die Kommunikation mit den PPS-Systemen. Somit verfügt dieses System über eine hohe Rekonfigurationsfähigkeit auf Ebene der Basis- und Transfermodule.

3.4.4 Fazit: Wandlungsfähige Montagesysteme

Alle vorgestellten modularen Montagesysteme wurden im Hinblick auf die genannten Wandlungsbefähiger analysiert und bewertet (s. Abbildung 3-10). Die detaillierte Auswertung der modularen Montagesysteme befindet sich im Anhang A.

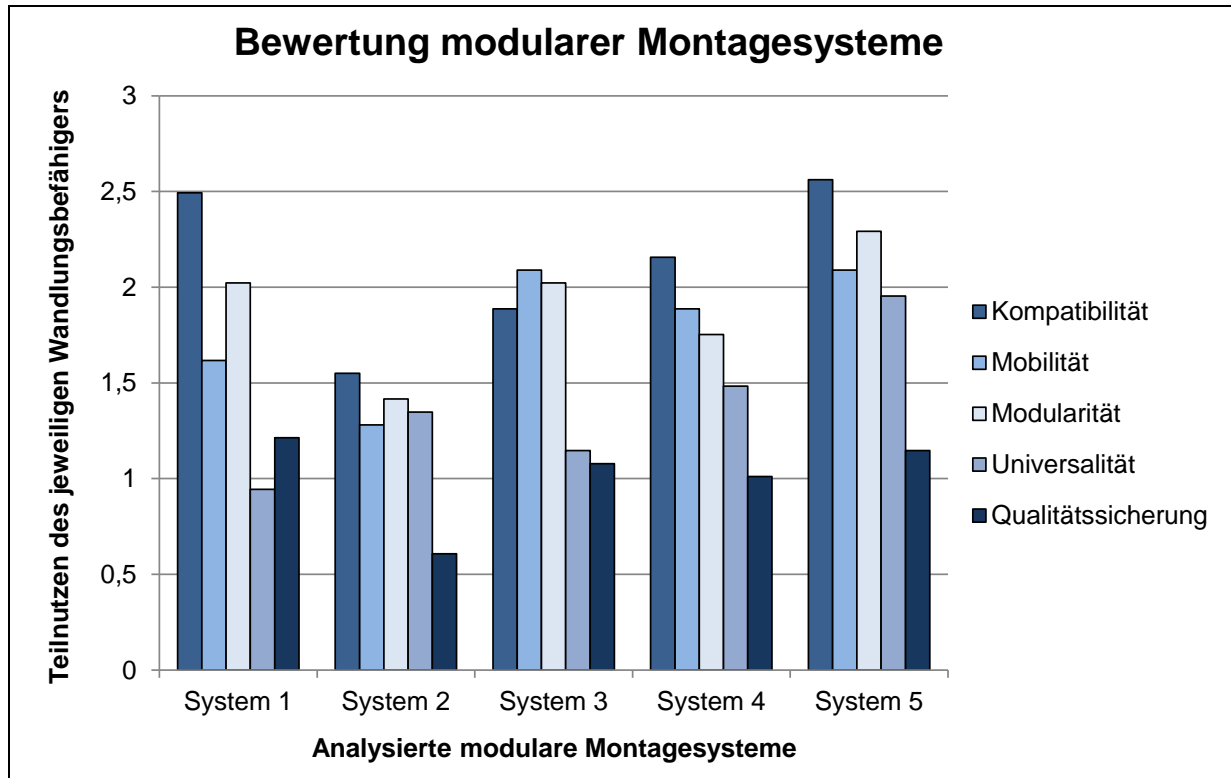


Abbildung 3-10: Auswertung der Ergebnisse des Herstellervergleichs

Dabei wird ersichtlich, dass die modularen Montagesysteme generell die Anforderungen an ein wandlungsfähiges Montagesystem erfüllen. Aufgrund der standardisierten Steuerungskonzepte und Kommunikation innerhalb des Montagesystems ist eine schnelle Inbetriebnahme mit entsprechenden Diagnosesystemen möglich.

Die Basismodule sind zwar innerhalb eines Montagesystems kompatibel, so dass eine Skalierbarkeit des Gesamtsystems möglich ist. Hinsichtlich einer Erweiterung um Module außerhalb eines Herstellers ist jedoch aufgrund der unterschiedlichen Schnittstellen schwer möglich. Die Basismodule sind nach flexiblen Rastermaßen aufgebaut und generell mit Transportmitteln beweglich. Die Wiederverwendbarkeit ist bei automatisierten Komponenten gegeben, manuelle Handarbeitsplätze können nicht zu automatisierten Basismodulen umgebaut werden.

Die Prozessmodule stellen als technisch aufwendigster Teil große Herausforderungen an die Wandlungsfähigkeit. Der Fokus der Hersteller liegt jedoch auf Baukastensystemen innerhalb der Prozessmodule, um die kundenspezifischen Anforderungen erbringen zu können. Somit ist die Universalität der Prozessmodule nur in begrenztem Umfang

gegeben. Die Prozessmodule sind durch standardisierte Schnittstellen innerhalb der Basismodule kompatibel. Aufgrund der integrierten Steuerungen können viele Prozessinformationen in der Produktion gewonnen werden.

Bei den Transfermodulen ergibt sich hinsichtlich der Kompatibilität ein ähnliches Bild. Innerhalb des Montagesystems ist diese zwar gegeben, die Verknüpfung mit anderen Transfersystemen ist allerdings nur schwer möglich. Ansonsten werden die Kriterien der Modularität, Mobilität und Universalität sehr gut erfüllt.

Peripheriemodule können zwar an die Montagesysteme über Schnittstellen angedockt werden, nur in wenigen Fällen werden diese im standardisierten Modulkatalog mit angeboten, was stets zu Kompatibilitätsproblemen führt.

Für die Konzeption einer physischen Lernumgebung gilt es ein modulares, wandlungsfähiges Montagesystem auszuwählen, das die Planungsergebnisse zur Adaption der Montage umsetzen kann und gleichzeitig die Planungsaufgaben mit aktuellen Informationen aus der Produktion versorgt.

3.5 Qualifizierungskonzepte der beruflichen Weiterbildung

Für den Aufbau eines Qualifizierungskonzeptes im Bereich der beruflichen Weiterbildung, die das Ziel der beruflichen Handlungskompetenz von Industrial Engineers unterstützt, gilt es zunächst, Konzepte zu untersuchen, die sich mit der didaktisch-methodische Gestaltung und dem Aufbau einer ganzheitlichen Lehr-Lernsituation beschäftigen. Daran anschließend werden Lernmethoden betrachtet, die zur Umsetzung eines Qualifizierungskonzeptes eingesetzt werden können.

3.5.1 Konzepte zur didaktisch-methodischen Gestaltung von Qualifizierung

Konzepte zur didaktisch-methodischen Gestaltung von Qualifizierung geben eine Gesamtorientierung für methodisches Handeln, in dem explizit ausgewiesene oder implizit vorausgesetzte Lehrprinzipien, allgemein- und fachdidaktische Theorien und Annahmen über organisatorische Rahmenbedingungen sowie Rollenerwartungen an Lehrende und Lernende integriert sind [Meyer 2008, S. 208]. Diese Konzepte unterstützen den Lehrenden bei der Auswahl geeigneter Lernmethoden, um die Zielsetzung der Qualifizierung zu erreichen.

3.5.1.1 Modelle zum Aufbau von Qualifizierungskonzepten

Für die didaktisch-methodischen Gestaltung von Qualifizierungskonzepten finden sich in der Literatur verschiedenste, teils konträre Konzepte, die den Lehrenden bei der Auswahl von Lernmethoden unterstützen. Die meisten betrachteten Konzepte wurden für die

schulische Unterrichtsplanung und die Berufsausbildung entwickelt, da diese Bereiche aus didaktischer Sicht am häufigsten untersucht wurden [Pätzold u. a. 2003]. Nachdem die Gestaltung einer ganzheitlichen Lehr-Lernsituation in der beruflichen Weiterbildung in der Regel ähnliche Spielräume bietet, können diese Konzepte für den Rahmen dieser Arbeit herangezogen werden.

Das Perspektivschema zur Unterrichtsplanung von KLAFKI soll dem Lehrenden bei der Vorbereitung von Unterrichtseinheiten unterstützen. Dabei sind fünf Perspektiven zu betrachten, die als Fragestellungen an den Lehrenden zu verstehen sind und durch deren Beantwortung das Unterrichtskonzept schrittweise aufgebaut wird [Kron 2004, S. 90]. Die Bedingungsanalyse als erste und übergeordnete Perspektive umfasst die Analyse aller Voraussetzungen der Lehr- und Lernprozesse, wie die Vorbildung der Lerngruppe, die institutionellen Rahmenbedingungen und mögliche Störfaktoren. Die zweite Perspektive, der Begründungszusammenhang, erörtert anhand der Gegenwarts- und Zukunftsbedeutung der Lernziele die Frage, ob und warum der Lernprozess erfolgen soll. In der dritten Perspektive, der thematischen Strukturierung werden die Lerninhalte und die Lernerfolgskontrolle festgelegt. In der vierten Perspektive erfolgt die Bestimmung von Zugangs- und Darstellungsmöglichkeiten, bevor in der fünften Perspektive die methodische Strukturierung des Lehr-Lernprozesses mit der Organisations-, Vollzugsform und der Interaktionsstruktur durchgeführt wird [Klafki 2007, S. 272]. Dieser Ansatz liefert zwar eine strukturierte Herangehensweise an die Unterrichtsplanung, liefert dem Lehrenden jedoch keine detaillierten Entscheidungshilfen für die Auswahl der Lernmethoden.

Als Gegensatz zu KLAFKIS globalem Ansatz liefert HEIMANN mit dem sogenannten Berliner Modell ein Entscheidungsmodell, das den Lehrenden anhand von zwei Bedingungsfaktoren und vier Entscheidungsfaktoren bei der Analyse und Planung der Lehr-Lernsituation unterstützen soll [Heimann u. a. 1979]. Der Lehrende soll sich durch den ersten Bedingungsfaktor, der anthropogenen Voraussetzung der Lernenden, mit der Zusammensetzung der Lerngruppe, dem Wissensstand, der Motivation und den Interessen der Lernenden befassen. Mit dem zweiten Bedingungsfaktor werden die sozial-kulturellen Voraussetzungen aller Beteiligten betrachtet. Dabei spielen die Rahmenbedingungen wie die Lernzeit, räumliche Bedingungen oder die Erwartungshaltung der Lernenden eine Rolle. Die Entscheidungsfaktoren können maßgeblich vom Lehrenden beeinflusst werden und beschäftigen sich direkt mit dem Lernprozess. Der Lehrende legt die Lernziele fest und begründet sie in Zusammenhang mit den Bedingungsfaktoren. Darauf abgestimmt sind die Lerninhalte und deren Umfang zu bestimmen. Die Lernmethoden bestimmen die Vorgehensweise, um die Inhalte zu

vermitteln und die Lernziele zu erreichen. Abschließend sind noch die Mittel / Medien zu definieren, die die Lernmethoden unterstützen sollen. Die Bedingungs- und Entscheidungsfaktoren stehen dabei in stetiger Interaktion, so dass die Folgen bei Entscheidungen über die Lehr-Lernsituation kontinuierlich überprüft werden müssen. Mit einer stetigen Reflexion der einzelnen Lerneinheiten gilt es, die Folgen auf die folgenden Lerneinheiten abzuschätzen und diese gegebenenfalls anzupassen [Heimann u. a. 1979; Kron 2004, S. 92f]. Das Berliner Modell liefert zwar viele Hinweise auf wichtige Elemente bei der Unterrichtsplanung, bei der Evaluation von Lernzielen und der Auswahl der Lernmethoden fehlen jedoch konkrete Handlungsanweisungen für die Lehrenden.

Das Hamburger Modell der didaktischen Unterrichtsplanung von SCHULZ stellt eine Weiterentwicklung der Berliner Modells dar und gliedert sich in vier Ebenen, die bei der Unterrichtsplanung nacheinander durchlaufen werden. Die Perspektivplanung legt die Rahmenbedingungen und die Lernziele für das gesamte Qualifizierungskonzept fest. Für die Identifikation der Lernziele wird ein Richtzielkatalog in Form einer Matrix eingesetzt, der einerseits die Intention der Qualifizierung mit den Aspekten Kompetenz, Autonomie und Solidarität und andererseits die Inhalte der Qualifizierung mit den Aspekten Sacherfahrung, Gefühlserfahrung und Sozialerfahrung berücksichtigt. All diese Aspekte sind für die Erreichung der beruflichen Handlungskompetenz erforderlich (s. Kapitel 2.6.2). In der Umrissplanung werden die einzelnen Lernabschnitte eines komplexen Qualifizierungskonzeptes unter Beachtung der Perspektivplanung detailliert. Zunächst werden die Lernziele gemäß des Richtzielkatalogs heruntergebrochen. In der Ausgangslage werden die beiden Bedingungs-faktoren der Berliner Modells analysiert. Darauf aufbauend werden die Vermittlungsvariablen des Lernabschnittes definiert. Dies beinhaltet die Lernmethoden, die Aktionsform, die Sozialform und die Medien. Abschließend wird in dieser Phase die Lernerfolgskontrolle bestimmt (s. Abbildung 3-11). In der folgenden Prozessplanung erfolgen die Ausarbeitung der Lernmittel und die Gestaltung der Lehr-Lernsituation der einzelnen Lernabschnitte. In der Phase der Planungskorrektur sind Veränderungen der Rahmenbedingungen sowie der Verlauf der Lernabschnitte aufzugreifen und in die Planung der weiteren Lernabschnitte einzubringen. Dieses Modell der didaktischen Unterrichtsplanung liefert dem Lehrenden einen umfassenden Ansatz zur Entwicklung eines Qualifizierungskonzeptes [Schulz 1980].

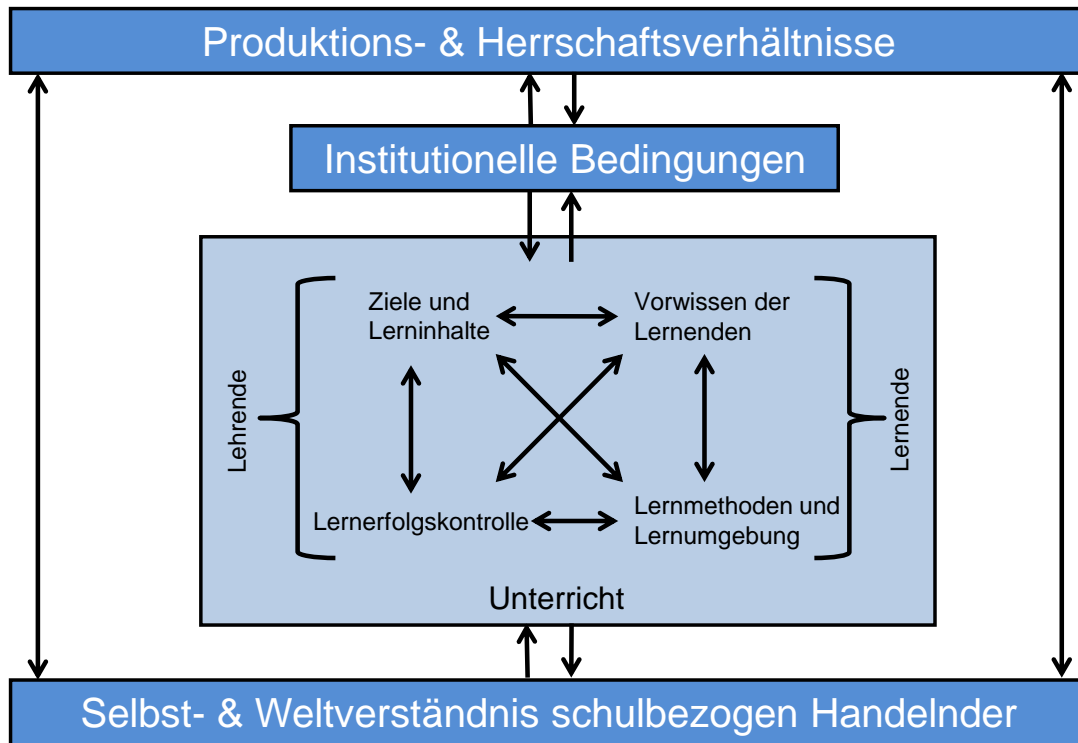


Abbildung 3-11: Hamburger Modell [nach Schulz 1980, S.82]

WINKEL geht in seinem kommunikationstheoretischen Ansatz davon aus, dass die Kommunikationsstruktur als Basis für die Gestaltung jeglichen Unterrichts geeignet ist. Darauf aufbauend gliedert er die Lernmethoden nach Kriterien der Interaktion der am Lernprozess beteiligten. Bei zweipoligen Methoden wie der Alleinarbeit besteht nur zwischen dem Lernenden und dem Lerngegenstand eine Interaktion. Bei dreipoligen Methoden werden weitere Lernende einbezogen wie z. B. bei Gruppenarbeit. Der Lehrende wird bei vierpoligen Methoden hinzugenommen. Bei fünfpoligen Methoden wird der Unterricht von mehreren Lehrenden gestaltet. Die Auswahl der Lernmethoden nimmt Winkel über fünf Entscheidungsebenen vor. Zunächst müssen die Methoden dem Lerninhalt und damit den Lernzielen genügen. Des Weiteren müssen die Lernmethoden für die Zielgruppe der Lernenden geeignet sein und von Lehrenden und Lernenden beherrscht werden. Danach ist zu prüfen, ob die Lernmethode den pädagogisch-didaktischen Ansprüchen gerecht wird und ob sie unter den vorhandenen Rahmenbedingungen realisierbar ist [Gudjons u. a. 2006; Gudjons u. a. 1991]. Die Orientierung bei der Klassifikation der Lernmethoden an den Dimensionen des methodischen Handelns ist zwar grundsätzlich positiv zu sehen, es wird aber nur die Kommunikation betrachtet, so dass kognitive, handlungsorientierte, soziale Aspekte nicht berücksichtigt werden. Außerdem liefert dieser Ansatz dem Lehrenden keine ausreichenden Handlungsanweisungen bei der Auswahl der Lernmethoden um die gesetzten Lernziele zu erreichen [Meyer 2008, S. 228ff].

Das Strukturmodell von MEYER versucht die Erscheinungsformen methodischen Handelns von Lehrenden und Lernenden eindeutig zuzuordnen und deren Wechselwirkungen mit anderen Dimensionen methodischen Handelns zu erläutern. Das Strukturmodell wird in drei Aggregatsstufen gegliedert [Meyer 2008]. Aufbauend auf den Rahmenbedingungen methodischen Handelns wie der Persönlichkeit des Lehrenden, der Methodenkompetenz der Beteiligten, dem Sozialverhalten und der Lernumgebung werden auf der ersten Aggregatsstufe, der Mikromethodik die Handlungssituationen betrachtet. Die Handlungssituationen als Interaktion des Lehrenden mit den Lernenden können durch Inszenierungstechniken wie zeigen, beobachten, nachahmen, wiederholen u.a. lebendig gestaltet werden und selbsttätiges Lernen eröffnen. Auf der zweiten Aggregationsstufe, der Mesomethodik werden die Handlungssituationen durch die Dimensionen Sozialformen, Handlungsmuster und Verlaufsformen unterstützt. Die Sozialformen (Frontalunterricht, Gruppenunterricht, Partnerarbeit oder Alleinarbeit) regeln die Beziehungsstruktur zwischen den Lehrenden und den Lernenden. Die Handlungsmuster geben die Struktur der Lehr-Lernformen wie beim Unterrichtsgespräch, Planspiel oder der Demonstration vor. Die Verlaufsformen geben den Prozessablauf der Lernabschnitte vor. Die Gestaltung dieser Dimensionen ist immer in Abstimmung mit den Zielen und Inhalten zu sehen. Auf der dritten Aggregationsstufe, der Makromethodik, werden demnach die methodischen Großformen wie Lehrgang, Workshop, Projekt, Trainingsprogramm usw. festgelegt [Meyer 1995; Meyer 2009]. Das vorgestellte Strukturmodell gibt dem Lehrenden zwar einen sehr guten Überblick über die Gestaltung von Lehr-Lernsituationen, bietet aber nur in geringem Umfang konkrete Hinweise auf die Interaktion zwischen den einzelnen Dimensionen und gibt somit nur bedingt Unterstützung bei der Auswahl von Lernmethoden.

Das Modell der methodischen Entscheidungsebenen von BONZ zur Gestaltung von Lehr-Lernprozessen greift die Ziel- und Inhaltsentscheidungen auf, die in den Lehrplänen bereits festgelegt wurden und konzentriert sich auf die Auswahl der Lernmethoden und der damit verbundenen Gestaltung der Umgebungsbedingungen [Bonz 2009b]. Die Anregung und Förderung der Lernprozesse wird anhand von sechs Entscheidungsebenen vorgenommen. Die Gesamtkonzeption bietet die Möglichkeit eines linear-zielgerichteten Unterrichts der durch den Lehrenden bestimmt wird und dem offenen Unterricht, der die Lernenden über den Lernweg entscheiden lässt. Die Entscheidung auf dieser Ebene ist in erster Linie von den Lernzielen und der Lerngruppe abhängig. Auf der zweiten Ebene der Aktionsformen wird die Interaktion zwischen Lehrenden und Lernenden festgelegt. Es bieten sich die Möglichkeiten der direkten Form, in der die Lehrenden den Lernprozess veranlassen, und der indirekten Form, in der die Lehrenden nur durch die Gestaltung der

Lernsituation Einfluss nehmen. In der dritten Ebene werden die Sozialformen (Frontalunterricht, Gruppenunterricht, Unterrichtsgespräch oder Alleinarbeit) sowie die Sitzordnung definiert. Durch die Artikulation auf der vierten Ebene werden die Lehr-Lernprozesse in einzelne Schritte gegliedert. In der fünften Ebene werden die Lehrgriffe zur Steuerung von Handlungssituationen ausgewählt. Dabei kommen Lehrgriffe wie Fragen, Impulse, Vormachen oder Informieren sowie Lehrtechniken in Form von Problemstellungen, Präsentieren, oder Moderieren in Frage. Auf der letzten Ebene werden die Medien ausgewählt, die als Kommunikationsmittel zur Unterstützung der Lernprozesse dienen [Bonz 2009c; Bonz 2009a]. Die Vorgehensweise von BONZ zur Auswahl von Lernmethoden baut auf den Ziel- und Inhaltsentscheidungen auf, die in den oben beschriebenen Modellen der Unterrichtsplanung an erster Stelle stehen. In seiner Systematik lehnt er sich an die Vorgehensweise von Schulz an, der eine Auswahl der Lernmethoden in der Phase der Umrißplanung über fünf Ebenen vornimmt. Das Modell der methodischen Entscheidungsebenen liefert dem Lehrenden die Grundlage für die Gestaltung von Lehr-Lernsituationen.

Neben den erläuterten Modellen zur Unterrichtsplanung und der Berufsausbildung existiert eine Vielzahl weiterer Modelle. Diese weisen zwar unterschiedliche Ansatzpunkte für die Unterrichtsplanung und verschiedene Schwerpunktsetzungen auf, stimmen jedoch in den grundlegenden Aspekten mit den vorgestellten Modellen in der Hinsicht überein, dass zunächst Lernziele und Lerninhalte definiert werden müssen, bevor unter Berücksichtigung der Rahmenbedingungen Lernmethoden ausgewählt werden können. Als weitere Modelle sind die Ansätze von MÖLLER [Möller 1976], PETERSEN [Peterßen 2006; Peterßen 2003], VON CUBE [Cube 1982], KÖNIG/RIEDEL [König u. a. 1979] zu nennen. Weiterführende Literatur wird von KRON [Kron 2004] zusammenfassend dargestellt.

3.5.1.2 Fazit: Konzeptmodelle zum Aufbau von Qualifizierungskonzepten

Für die Entwicklung eines Qualifizierungskonzeptes für beruflichen Handlungskompetenz von Industrial Engineers stehen verschiedene ganzheitliche Systematiken zur Verfügung. Für die Entwicklung des Qualifizierungskonzeptes wird das Hamburger Modell von SCHULZ herangezogen, das auch für viele oben genannte Modelle als Vorlage gedient hat. Dieses Modell zeigt die Zusammenhänge zwischen den Lernzielen und Lerninhalten in Kombination mit der Ausgangslage der Lernenden, den Vermittlungsvariablen (Lernmethoden und Lernumgebung) und der Lernerfolgskontrolle unter Berücksichtigung der Rahmenbedingungen und der Beziehung der Lehrenden und der Lernenden sehr gut auf. Für die konkrete Auswahl von Lernmethoden wird dann auf die Vorgehensweise nach BONZ zurückgegriffen, die das im Ansatz von Schulz beinhaltete Konzept verfeinert. Mit

diesem Ansatz werden die Lernmethoden und die dazu notwendigen Hilfsmittel über sechs Entscheidungsebenen systematisch und logisch nachvollziehbar ausgewählt. Nachdem die Lernmethoden ihre Stärken und Schwächen in den verschiedensten Bereichen haben, stehen in der Entwicklung eines Qualifizierungskonzeptes für jede Stufe des Lernprozesses optimale Voraussetzungen zur Verfügung, die der Situation entsprechend ausgewählt werden können.

3.5.2 Lernmethoden zur Umsetzung von Qualifizierungskonzepten

Für die Auswahl von geeigneten Lernmethoden zur Umsetzung eines Qualifizierungskonzeptes für Industrial Engineers ist es erforderlich, die zur Verfügung stehenden Lernmethoden hinsichtlich der Lernziele und der Art der Wissensvermittlung zu untersuchen. Das Methodenspektrum lässt sich in Lehrmethoden und Methoden des selbstgesteuerten Lernens gliedern (s. Abbildung 3-12).

Methodenspektrum der beruflichen Bildung		
Lehrmethoden	Methoden des selbstgesteuerten Lernens	
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Frontalunterricht ▪ Alleinarbeit / Lernprogramme ▪ Unterweisungsmethode 	Traditionelle Methoden <ul style="list-style-type: none"> ▪ Unterrichtsgespräch ▪ Gruppenunterricht ▪ Alleinarbeit 	Handlungsorientierte Methoden <ul style="list-style-type: none"> ▪ Projektarbeit ▪ Simulation ▪ Planspiel ▪ Rollenspiel ▪ Fallstudien ▪ Leittextmethode ▪ Szenario-Methode

Abbildung 3-12: Methodenspektrum der beruflichen Bildung [vgl. Bonz 2009b, S. 61]

3.5.2.1 Lehrmethoden

Bei den Lehrmethoden steht die zielgerichtete Vermittlung von Wissen im Vordergrund, so dass der Lehrende eine aktive und der Lernende eine passive Rolle einnimmt. Zu den typischen Lehrmethoden, die auch im Folgenden näher betrachtet werden, zählen:

- Frontalunterricht
- Alleinarbeit / Lernprogramme
- Unterweisungsmethoden (Vormachen / Nachmachen, Vier-Stufen-Methode)

Frontalunterricht

Im Frontalunterricht, der in der Berufsbildung als häufigste Form angewandt wird [Pätzold u. a. 2003, S. 241], legt der Lehrende das Ziel und den Weg der Wissensvermittlung fest und führt die Vermittlung der vorgesehenen Lerninhalte in direkter Aktionsform vor. Dabei informiert, instruiert und belehrt der Lehrende eine Gruppe von Lernenden und überprüft

anschließend, ob die Lernenden das Pensum bewältigt haben. Der Frontalunterricht kann in verschiedenen Ausprägungen vollzogen werden. Bei der Darbietung mit Vorträgen, dem Vormachen oder Vorführen werden die Lernenden nur als Empfänger einbezogen und der Lerneffekt hängt sehr stark von der Präsentation und den eingesetzten Lernmitteln ab. Beim Lehrgespräch und dem Impulsunterricht wird für die Lernenden durch Fragestellungen ein Denkfeld eröffnet, so dass die Lernenden über das vorgetragene nachdenken müssen und Schlüsse daraus ziehen sollen. Somit zielt der Frontalunterricht nicht nur auf die Wissensvermittlung ab, sondern auch auf Erkenntnisse und Einsichten der Lernenden.

Somit ergibt sich eine einfache Lenkung und eine hohe Zuverlässigkeit zur Erreichung des angestrebten Lernziels. Der Frontalunterricht eignet sich besonders zur zeitökonomischen Lehre und gilt als die vermeintlich effektivste Methode der Stoffvermittlung [Pätzold u. a. 2003, S. 240]. Problematisch ist der Frontalunterricht im Hinblick auf die unterschiedlichen Lerngeschwindigkeiten zu sehen, da nur geringe Möglichkeiten der individuellen Anpassung bestehen. Des Weiteren setzt der Frontalunterricht eine hohe Lernbereitschaft voraus und bezieht durch das Zuhören, Beobachten, Mitdenken, Nachvollziehen nur einen Teil der Sinne ein [Gudjons 2007; Meyer/Paradies 2005; Aschersleben 1999].

Alleinarbeit / Lernprogramme

Die Alleinarbeit von Lernenden mit Lernprogrammen basiert auf den Grundprinzipien des Frontalunterrichts, wobei die Lernziele und der Lernweg in Lernprogrammen abgebildet werden. Das Lernprogramm übernimmt dann die Initiierung, Steuerung und Kontrolle der Lernprozesse. Der Lehrende wird dabei durch die meist computergestützte und multimediale Präsentation der Lehrinhalte ersetzt. Der Lernende hat lediglich die Möglichkeit, den Programmablauf zu steuern, so dass Programmteile übersprungen oder wiederholt werden können. Die abschließende Lernkontrolle kann über Fragen und Aufforderungen erfolgen.

Die klassische Alleinarbeit ohne Lernprogramme kann ergänzend zu anderen Lernmethoden eingesetzt werden, um bereits bekanntes Wissen und Problemlösungsmuster einzuüben und zu vertiefen. Die Vorteile der Alleinarbeit mit oder ohne Lernprogramme liegen in der zeitlichen Unabhängigkeit des Lernenden und im individuellen Zugriff auf die benötigten Informationen und Lernhilfen. Schwachstellen zeigen sich eindeutig in der nicht vorhandenen Interaktion mit anderen Lernenden und der damit verbundenen Reflexion [Glöckel 2003; Bonz 2009b, S. 70f].

Unterweisungsmethoden (Vormachen / Nachmachen, Vier-Stufen-Methode)

Die Unterweisungsmethoden zählen zu den Verfahren der arbeitsplatznahen Qualifizierung, die neben dem kognitiven und affektiven Lernen vor allem auf das psychomotorische Lernen durch eigenes Handeln setzen. Die Unterweisungsmethoden können als Einzel-, Partner- oder Gruppenunterweisung erfolgen [Schelten 2005, S. 91f].

Die Methode des „Vormachens - Nachmachens“ beginnt mit einer Phase, in der der Lernende die vorgemachte Tätigkeit beobachtet und versucht diese nachzuvollziehen. Danach erfolgen in der zweiten Phase die eigenen praktische Ausführung und das Einüben durch Wiederholungen.

Die Vier-Stufen-Methode erweitert dieses Konzept. In der ersten Stufe, der Vorbereitung werden durch den Lehrenden vor Beginn die Voraussetzungen (Gliederung und notwendige Arbeitsmittel) der Unterweisung bereitgestellt. Wird in diesem Rahmen eine Tätigkeitsanalyse zur Gliederung der Lernabschnitte durchgeführt, spricht man von einer analytischen Arbeitsunterweisung [Schelten 2005, S. 123ff]. Während der Methodendurchführung werden die Lernziele genannt und das Basiswissen durch Frontalunterricht vermittelt, um die Lernenden an das Thema heranzuführen. In der zweiten Stufe erfolgt die Vorführung durch den Lehrenden sowie für das Verständnis erforderliche Erläuterungen und Zusammenhänge. In der dritten Stufe, der Ausführung, versuchen die Lernenden die Tätigkeit unter Beobachtung und Anleitung des Lehrenden durchzuführen, um ein Gefühl für die Arbeitsschritte und die Zusammenhänge zu bekommen. In der vierten Stufe, dem Üben, erfolgt die Ausführung der Tätigkeit durch die Lernenden selbstständig, wobei der Lehrende nur noch eine kontrollierende und bei Fragen korrigierende Funktion inne hat [Ganzenmüller 2001].

Vorteile der Unterweisungsmethoden und besonders der Vier-Stufen-Methode liegen in der aktiven Einbindung des Lernenden sowie dem hohen Grad der Wissensvermittlung, bei der der Lernende von der Erfahrung des Lehrenden profitieren kann. Kritisch zu sehen ist, dass die Lernenden in die Konzeption der Vorgehensweise nicht eingebunden sind und in der klassischen Anwendung der Vier-Stufen-Methode wenig Freiheitsgrade für das Einbringen eigener Erfahrungen bestehen.

3.5.2.2 Methoden des selbstgesteuerten Lernens

Die Methoden des selbstgesteuerten Lernens stellen den Lernenden in den Vordergrund, um den selbstständigen Erwerb der Handlungskompetenz zu erreichen, was mit den klassischen Lehrmethoden nicht möglich ist. Bei Methoden des selbstgesteuerten Lernens werden zwar die Lernziele und die Lerninhalte von den Lehrenden vorgegeben, die Lernenden haben aber Entscheidungs- und Handlungsspielräume in bestimmten

Lernbereichen, so dass sich die Lernenden mit Problem- und Aufgabenstellungen auseinandersetzen müssen und selbstständig Lösungsmöglichkeiten und Lernwege entwickeln können. Um den Lernenden diese Möglichkeiten einer lernergebnisoffenen Planung zu bieten, gilt es, Rahmenbedingungen in Form von Arbeitsmitteln und Lernumgebungen zu schaffen. Die Methoden des selbstgesteuerten Lernens lassen sich in traditionelle und handlungsorientierte Methoden gliedern. Während die Lernenden bei den traditionellen Methoden einen engen Handlungsrahmen für die selbstgesteuerte Kommunikation und Lernmöglichkeiten haben, bieten die handlungsorientierten Methoden wesentlich mehr Freiheitsgrade. Die wesentlichen, in der Literatur genannten Methoden des selbstgesteuerten Lernens werden im Folgenden näher betrachtet:

- Traditionelle Methoden
(Unterrichtsgespräch; Gruppenunterricht; Alleinarbeit)
- Handlungsorientierte Methoden
(Projektmethode; Simulationsmethode; Planspiel; Rollenspiel; Fallstudien; Leittextmethode; Szenario-Methode)

Traditionelle Methoden

Das Unterrichtsgespräch ermöglicht selbstgesteuertes Lernen in einer größeren Gruppe, in der der Lehrende ein Thema sowie verschiedene Standpunkte, Meinungen, Erfahrungen oder Begründungen vorstellt und die Diskussion mit bzw. unter den Lernenden anstößt. Diese Methode ermöglicht selbstgesteuertes Lernen, da die Lernenden den Gesprächsverlauf und die Ergebnisse weitgehend selbst bestimmen und steuern können. Die Lernziele des Unterrichtsgesprächs liegen vor allem darin, gemeinsame Standpunkte auszuarbeiten oder Folgen von Entscheidungen abzuwägen und somit die Selbstständigkeit und Kritikfähigkeit der Lernenden zu erhöhen. So kann die soziale Kompetenz der Lernenden gestärkt werden. Der Wissenszuwachs tritt dabei in den Hintergrund. Um die Interaktion zwischen den beteiligten Personen zu ermöglichen, gilt es, eine entsprechende Sitzordnung (z. B. Kreis oder Hufeisen) zu finden, bei der alle Beteiligten gleichermaßen einbezogen werden können. Das Unterrichtsgespräch kann auch im Rahmen anderer Lernmethoden wie dem Gruppenunterricht oder Planspielen eingesetzt werden, um beispielsweise die Ergebnisse zu diskutieren. Die gute Interaktion und selbstgesteuerte Kommunikation zwischen den Lernenden und die Darstellung und Begründung der eigenen Standpunkte bestimmen den Vorteil der Methode.

Der Gruppenunterricht setzt sich aus drei unterschiedlichen Phasen zusammen. In der ersten Phase, der Eröffnung des Gruppenunterrichts, erhalten die Lernenden die

Lernaufgaben. Dabei gilt es, die Gruppenaufgaben im Rahmen eines Unterrichtsgesprächs für alle zu erläutern und die Einteilung der Gruppen für die Bearbeitung der Lernaufgaben vorzunehmen. Die zweite Phase, die Gruppenarbeit, bildet den Kern dieser Methode, in der die Lernenden selbstständig in Zusammenarbeit mit den anderen Gruppenmitgliedern Problemlösungen erarbeiten sollen. Je nach Lernziel erfolgt die Gruppenarbeit mit arbeitsgleichen oder arbeitsteiligen Aufgabenstellungen. Nach Abschluss der Gruppenarbeit werden die Ergebnisse der Kleingruppen präsentiert und im Rahmen eines Unterrichtsgesprächs diskutiert und zusammengefasst. Kann eine arbeitsteilige Gruppenarbeit durchgeführt werden, was nur bei einer hohen Anzahl an Lernenden der Fall ist, kann ein Zeitersparnis beim Lernen erzielt werden, da nicht alle Lernenden alle Teilaufgaben und -gebiete bearbeiten müssen. Der hohe Lerneffekt wird erzielt, da sich die Lernenden Themen selbst erarbeiten müssen und somit den Lernweg und das Lerntempo selbst bestimmen können. Dabei werden auch noch die Problemlösungsfähigkeit und die soziale Komponente durch die Teamarbeit gefördert. Die hohe Autonomie der Gruppe kann aber auch dazu führen, dass erhebliche Abweichungen von der eigentlichen Aufgabe vorkommen oder mangels Motivation Einzelner die Aufgaben nicht im vorgegebenen Zeitraum bearbeitet werden können. Bei arbeitsteiligen Gruppenarbeiten können sich auch langwierige Abschlussdiskussionen ergeben. Des Weiteren wird in den Bereichen der Teilaufgaben ein hohes Basiswissen vorausgesetzt. Bei der selbstständigen Alleinarbeit beschäftigt sich der Lernende mit einer komplexen Lernaufgabe oder Problemstellung. Dabei muss der Lernende sich intensiv mit der gesamten Thematik beschäftigen, das Vorgehen planen und letztendlich die einzelnen Teilaufgaben bearbeiten und in ein Ergebnis überführen. Dabei haben die Lernenden einen ähnlichen Spielraum wie bei der Gruppenarbeit. Stößt der Lernende dabei an Schwierigkeiten, steht ihm in der Praxis ein Lehrender beratend zur Seite. Die selbstständige Alleinarbeit hat ein breites Spektrum an Lernzielen von dem Erwerb von Kenntnissen und Fertigkeiten bis hin zur Förderung von problemlösendem Denken und der Kreativität. Nachdem die Lernenden bei der Suche nach fachlichen Informationen, Unterlagen oder Hilfsmitteln auf sich gestellt sind, wird die Selbstständigkeit erheblich gefördert. Diese Form des Wissenserwerbs ist zwar nachhaltig, jedoch sehr zeitintensiv. Außerdem muss der Lernende grundlegende Lern- und Arbeitstechniken beherrschen.

Handlungsorientierte Methoden

Bei handlungsorientierten Methoden steht die Zielsetzung Fach-, Personal- und Sozialkompetenz zu vermitteln über dem Ziel der Wissensvermittlung. Die Lehrenden gestalten die Handlungssituation, formulieren die Problemstellung, skizzieren das

Handlungsziel und stellen Lernhilfen bereit. Handlungsorientierte Methoden beginnen immer mit Problem- und Aufgabenstellungen, wie sie die Lernenden in vielen Lebens- und Arbeitssituationen wiederfinden und führen zu situativem Lernen. Die Lernenden erarbeiten dabei die Zielsetzung, planen die Vorgehensweise, führen die notwendigen Arbeiten selbstständig aus und setzen diese praktisch handelnd um. Abschließend erfolgt die Kontrolle und Bewertung des Ergebnisses des Handelns sowie der Vorgehensweise (s. Abbildung 3-13). Die im Folgenden erläuterten handlungsorientierten Methoden unterscheiden sich im Wesentlichen durch den Umfang und die Intensität der einzelnen Handlungsphasen.

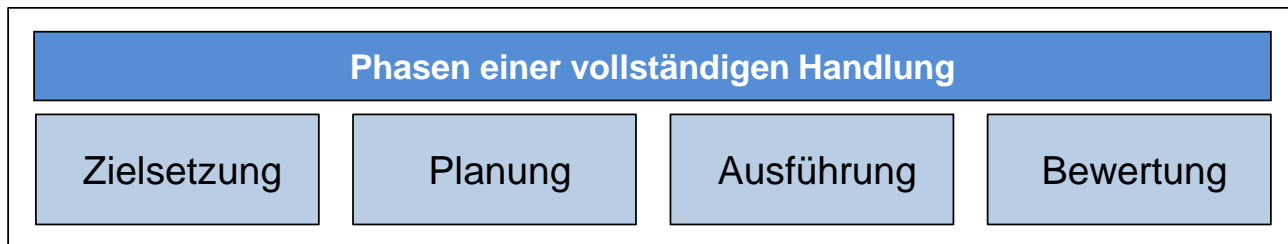


Abbildung 3-13: Phasen einer vollständigen Handlung

Die Projektmethode wird als Idealfall der handlungsorientierten Methode angesehen, da nur in Projekten alle Phasen (Zielsetzung, Planung, Ausführung und Bewertung) einer vollständigen Handlung abgebildet werden. Projekte ermöglichen die Bearbeitung von komplexen Aufgaben und verknüpfen dabei den Wissenserwerb mit der theoretischen Reflexion von Handlungen und der praktischen Realisierung, so dass der Mensch als Ganzes in den Lernprozess eingebunden wird. Darüber hinaus fördert die Projektmethode aufgrund der komplexen Aufgaben die interdisziplinäre und fächerübergreifende Zusammenarbeit sowie die Selbstorganisation innerhalb der Gruppe. Kritisch zu sehen ist der hohe Zeitaufwand der Projektmethode, der in der Praxis entsteht. Außerdem lassen sich Auswirkungen der Projektergebnisse häufig erst mittelfristig erkennen und bewerten [Dreher/Kath 2002].

Ziel der Simulationsmethode in der Berufsbildung ist es, komplexe Situationen und Prozesse anhand eines realitätsnahen Modells abzubilden, Lösungsmöglichkeiten zu erarbeiten und diese zu überprüfen. Dabei wird vom Lehrenden die Realität durch Abstraktion und Reduktion der Komplexität in ein Simulationsmodell überführt, um die Simulation als Lernumgebung nutzen zu können. In dieser Lernumgebung erfolgt die Bearbeitung der Problem- und Aufgabenstellungen durch die Lernenden. Nach Abschluss der Simulation gilt es, das Gelernte auf die Realität zu übertragen. Simulationen in der Berufsbildung können in verschiedensten Formen stattfinden:

- Bei Simulationen der betrieblichen Praxis kann mit Übungsfirmen oder Lernbüros der Geschäftsverkehr zwischen Unternehmen in komplexen Systemen simuliert werden wohingegen bei Juniorfirmen unternehmensinterne Abläufe im Fokus stehen. Diese Ansätze versprechen Lernerfolg für die Handlungsfähigkeit, Systemdenken, informationstechnische Kompetenz und Kommunikationsfähigkeit.
- Simulationsspiele, wie sie in Plan- und Rollenspielen eingesetzt werden, dienen zur Bearbeitung von Problemsituationen, die die Lernenden in Kooperation untereinander selbstständig bewältigen müssen. Eine detaillierte Betrachtung erfolgt im Rahmen von Plan- und Rollenspielen.
- Bei Anwendungssimulationen durch Medien wird der Lernende mit realen Situationen konfrontiert und über den Bildschirm aufgefordert, darauf zu reagieren.

Dabei spielt die Interaktion und Kommunikation mit anderen Lernenden keine Rolle. Simulationen bieten den Vorteil, mit den Lernenden komplexe Situationen wie in der Wirklichkeit behandeln zu können, ohne reale Abläufe in den Unternehmen zu beeinflussen oder durch Fehlverhalten wie z. B. in der Maschinenbedienung Schäden an den Betriebsmitteln zu verursachen. Des Weiteren können reale Abläufe in Unternehmen verkürzt dargestellt werden, um Reaktionen des Gesamtsystems in kurzer Zeit darzustellen.

Planspiele als Simulationsspiele ermöglichen das Lernen in einer realitätsbezogenen Situation mit dem Ziel berufliches Handeln in komplexen Situationen zu erlernen und Zusammenhänge zwischen Entscheidungsprozessen und darauf aufbauende Planungen zu simulieren. Im Rahmen von Planspielen ergibt sich eine gute Interaktion zwischen den Lernenden und den Lehrenden, der den Aktionsbereich der Lernenden vorgibt. So wird zunächst im Rahmen eines Unterrichtsgesprächs die Problemstellung bzw. die situationsbezogene Aufgabe erläutert. Die Lernenden übernehmen in der Gruppenarbeit der Spielphase, die Rolle von handelnden Personen im Unternehmen und entscheiden über das Vorgehen und führen die notwendigen Planungen aus. Am Ende der Spielphase werden die Ergebnisse der Spielleitung mitgeteilt und wenn möglich in einer Lernumgebung in die Realität umgesetzt, um die Reaktionen des Systems und damit die Qualität der Planung einschätzen zu können. In einem Unterrichtsgespräch werden die Spielergebnisse anschließend mit dem Spielleiter reflektiert und diskutiert, um letztendlich Konsequenzen für die nächste Spielrunde ziehen zu können. Des Weiteren ist es wichtig, den Bezug zwischen den Ergebnissen der Planspielrunden und der realen Arbeitssituation herzustellen und den Transfer zu ermöglichen [Blötz 2003].

Rollenspiele, die ebenfalls zu den Simulationsspielen zählen, zielen auf sozial-kommunikatives Handeln in beruflichen Situationen ab, um Verhaltensweisen mit den

Lernenden einzustudieren oder zur Entwicklung von Team- und Gruppenarbeiten beizutragen. Bei Rollenspielen gilt es, die Lernenden vor der eigentlichen Spielphase über das Ziel und Thema zu informieren und den Spielverlauf sowie die Rollen- und Aufgabenverteilung zu erläutern. In der Spielphase agieren in der Regel nur ein Teil der Lernenden, indem sie sich mit den Interessen und Einstellungen der Rollen identifizieren und den anderen Lernenden interagieren. Die jeweils passiven Lernenden werden zu Beobachtern, um einerseits Erfahrungen zu sammeln und andererseits Feedback über die Außenwirkung der Rollenspieler zu geben. In der abschließenden Reflexionsphase, die als Unterrichtsgespräch geführt wird, erfolgen die Diskussion des Verhaltens der aktiven Lernenden und der Transfer des Erlernten auf reale Situationen.

Mit Fallstudien werden komplexe Fälle aus dem Berufsleben herangezogen und durch die Lernenden Lösungsmöglichkeiten gesucht, diskutiert und ausgewählt. Ziel ist es, die Problemlösungs- und Entscheidungskompetenz der Lernenden zu steigern. Durch die selbstständige Situationsanalyse und der Informationsbeschaffung zur Bearbeitung des Falles werden bei komplexen Fällen fächerübergreifende Kenntnisse erworben und angewandt. In Fallstudien werden fünf Phasen durchlaufen. In der Konfrontation mit Frontalunterricht und Unterrichtsgespräch wird die Situation und die Problemstellung erläutert und das Vorgehen mit den Lernenden besprochen. Anschließend werden in Gruppenarbeiten die erforderlichen Informationen zur Problemlösung beschafft und ausgewertet. Anhand dieser Informationen können die Lernenden Lösungswege erarbeiten und mit ihren Vor- und Nachteilen bewerten, um letztendlich Entscheidungen treffen zu können. Die folgende Diskussion der Ergebnisse wird ebenso in Unterrichtsgesprächen geführt wie der Transfer der Ergebnisse in die Praxis. Die Lehrenden haben die Aufgabe die Fälle auszuwählen und sicherzustellen, dass verschiedene Lösungsmöglichkeiten bestehen. Darüber hinaus müssen sie den Lernenden beratend zur Seite stehen und den Praxisvergleich der erarbeiteten Kenntnisse darlegen.

Die Leittextmethode stellt eine besondere Form selbstgesteuerten Lernens dar, weil die Kommunikation zwischen Lernenden und Lehrenden nicht direkt sondern über Leittexte realisiert ist. Ziel der Leittextmethode ist es einerseits, fachliche Kenntnisse durch selbstständiges Erarbeiten zu vermitteln und andererseits Entscheidungs- und Handlungskompetenz durch die Bearbeitung komplexer Aufgaben zu erreichen. Der Einsatz von Leittexten in Form von Fragen, Aufgaben oder Anregungen zieht sich durch alle Phasen (Informieren, Planen, Entscheiden, Ausführen, Kontrollieren und Bewerten) der Aufgabebearbeitung. So erhalten die Lernenden kontinuierlich eine sachlich-fachliche Anleitung, wie sie sich zu bestimmten Aspekten informieren können, wie sie sich die Vorgehensweise erarbeiten können oder wie die Entscheidungsfindung aussehen kann.

Zusätzlich kann der Lehrende als Experte für Fachgespräche zur Verfügung stehen, was in der Regel jedoch nur in der Entscheidungsphase und während der Bewertung erfolgt. Leittexte können neben der Anregung offener Handlungen auch so gestellt sein, dass sie in Form von Lehrtexten für eine zielgerichtete Wissensvermittlung im Sinne von Lernprogrammen eingesetzt werden.

Ziel der Szenario-Methode ist es, dass die Lernenden Zusammenhänge sowie Abhängigkeiten und Auswirkungen von Einflussfaktoren in komplexen Systemen erkennen und für künftige Fortentwicklungen der gegenwärtigen Situation sensibilisiert werden. Die Szenario-Methode beginnt mit einer Analyse-Phase, in der die Ausgangssituation und die Systemzusammenhänge identifiziert werden. Anschließend werden in der Prognose-Phase zukünftige Entwicklungen der relevanten Einflussfaktoren unter Berücksichtigung von Störereignissen entwickelt. Wichtig ist dabei die Erkenntnis, dass aufgrund weiterer Umfeldfaktoren und der langfristigen Betrachtung Unsicherheiten auftreten, die schwer kalkulierbar sind. Abschließend werden die möglichen Entwicklungen der Einflussfaktoren in sinnvollen Kombinationen zu alternativen Ergebnissen kombiniert. Aus diesen Zukunftsszenarien können die Lernenden den Handlungsbedarf ableiten, um Fehlentwicklungen entgegenzuwirken. Die Szenario-Methode fördert die Fachkompetenz sowie die Kommunikationsfähigkeit der Lernenden, die beide notwendig sind, um Zukunftsprojektionen zu entwickeln [Gausemeier 2004].

3.5.2.3 Fazit: Lernmethoden

Für den Aufbau eines Qualifizierungskonzeptes für Industrial Engineering stehen viele verschiedene Lernmethoden zur Verfügung, die sowohl für die zielgerichtete Wissensvermittlung als auch für die Weiterentwicklung der beruflichen Handlungskompetenz geeignet sind. Für die grundlegende Vermittlung des neuen IE-Verständnisses sowie den dazu einsetzbaren Methoden und Werkzeugen eignet sich die zielgerichtete Wissensvermittlung, da die Lernenden mit traditionellen Lehrmethoden in einer kurzen Zeitspanne an neue fachliche Inhalte herangeführt werden können. Um erste Erfahrungen mit dem neuen IE-Verständnis bei der Bewältigung von Turbulenzen zu sammeln und die Potentiale der Digitalen Fabrik sowie modularer, wandlungsfähiger Montagesysteme zu erleben eignen sich handlungsorientierte Methoden, da die Lernenden die zuvor neu erlernten fachlichen Inhalte selbstständig anwenden können und somit ein höherer und nachhaltiger Lerneffekt erzielt werden kann.

3.6 Fazit zum Stand der Technik

In den vorangegangenen Abschnitten wurden die zur Konzeption einer Lernfabrik für die variantenreiche Montage verfügbaren Vorarbeiten betrachtet. Es hat sich gezeigt, dass zwar auf umfangreiche Vorarbeiten zurückgegriffen werden kann, jedoch erhebliche Defizite bestehen.

Das klassische Industrial Engineering, in dessen Aufgabenbereich die Planung und Optimierung von Produktionsprozessen fällt, ist auf konstante Rahmenbedingungen für die Produktion ausgelegt. Es wird ein ganzheitliches Industrial Engineering Verständnis benötigt, das die klassischen IE-Bereiche mit dem Digitalen Engineering und dem Technologiemanagement verknüpft, so dass es den Herausforderungen der kontinuierlichen Adaption der Produktion gewachsen ist.

Das Stuttgarter Unternehmensmodell, mit seiner konsequenten Ausrichtung auf Wandlungsfähigkeit liefert als ganzheitliches Produktionssystem Lösungsmodelle, Methoden, Instrumente und Vorgehensweisen für die wesentlichen Problemstellungen im Betrieb eines Unternehmens zur Steigerung der Wandlungsfähigkeit. Die Basis für das Stuttgarter Unternehmensmodell bilden kooperierende Leistungseinheiten, die die Fähigkeiten der Selbstorganisation, der Selbstoptimierung, der Selbstkontrolle und der Selbstkonfiguration besitzen. Die grundlegenden Modelle zur schnellen Adaption an Veränderungen, die Wandlungsfähigkeit in Planungs- und Steuerungsprozessen, die Integration von IT-Technologie in die Planungsprozesse sowie wandlungsfähiger Strukturen und Ressourcen können auf den Bereich des Industrial Engineering übertragen werden.

Um die Potentiale der Digitalen und Virtuellen Fabrik zur schnellen Turbulenzbewältigung aufzeigen zu können stehen in allen Bereichen der Planung und Optimierung von Produktionsprozessen Methoden und Werkzeuge der Digitalen und Virtuellen Fabrik zur Unterstützung bereit. Um die Potentiale zur Erhöhung der Planungsqualität, der -geschwindigkeit und zur wirtschaftlichen Absicherung können jedoch erst durch die Integration der Werkzeuge und ein durchgängiges Datenmanagement gehoben werden. Für die Integration von Werkzeugen unterschiedlicher Hersteller, die auf verschiedenen Datenmodellen basieren, hat sich eine Grundarchitektur mit einer zentralen Integrationsplattform bewährt, an die die Werkzeuge der Digitalen und Virtuellen Fabrik angedockt werden.

Für die Konzeption einer physischen Lernumgebung gilt es ein modulares, wandlungsfähiges Montagesystem auszuwählen, das die Planungsergebnisse zur Adaption der Montage umsetzen kann und gleichzeitig die Planungsaufgaben mit

aktuellen Informationen aus der Produktion versorgt. Somit können die vorhandenen Potentiale und deren Beitrag zur Turbulenzbewältigung aufgezeigt werden.

Für den Aufbau eines Qualifizierungskonzepts zur Nutzung einer Lernfabrik für die variantenreiche Montage für die Vermittlung eines neues IE-Verständnisses, das mit den vorhandenen Potentialen der Digitalen Fabrik und modularer, wandlungsfähiger Montagesysteme die Turbulenzbewältigung unterstützt stehen Modelle zur Verfügung, die einen ganzheitlichen Lernprozess unterstützen. Dabei wird das Qualifizierungskonzept durch das Zusammenspiel von den Lernzielen und Lerninhalten in Kombination mit der Ausgangslage der Lernenden, den Vermittlungsvariablen (Lernmethoden und Lernumgebung) und der Lernerfolgskontrolle unter Berücksichtigung der Rahmenbedingungen und der Beziehung der Lehrenden und der Lernenden aufgebaut. Somit ist es möglich ein individuellen Qualifizierungskonzept auf die Gegebenheiten des Industrial Engineerings abzustimmen. Für den Aufbau eines Qualifizierungskonzeptes für Industrial Engineering stehen viele verschiedene Lernmethoden zur Verfügung, die nach der Vorgehensweise von BONZ ausgewählt werden können. Für die grundlegende Vermittlung des neuen IE-Verständnisses sowie den dazu einsetzbaren Methoden und Werkzeugen eignet sich die zielgerichtete Wissensvermittlung, da neue fachliche Inhalte in einer kurzen Zeitspanne erläutert werden können. Um erste Erfahrungen mit dem neuen IE-Verständnis bei der Bewältigung von Turbulenzen zu sammeln und die Potentiale der Digitalen Fabrik sowie modularer, wandlungsfähiger Montagesysteme zu erleben eignen sich handlungsorientierte Methoden, da die Lernenden die zuvor neu erlernten fachlichen Inhalte selbstständig anwenden können und somit ein höherer und nachhaltiger Lerneffekt erzielt werden kann.

4 Lösungsansatz zur Konzeption einer Lernfabrik für die variantenreiche Montage

Die Übersicht über die verfügbaren Ansätze zur Unterstützung der Konzeption einer Lernfabrik für die variantenreiche Montage und den dabei zu berücksichtigenden Aspekten wie dem Verständnis des Industrial Engineerings, den Konzepten, Methoden und Werkzeugen der Digitalen Fabrik Digitale, den modularen, wandlungsfähigen Montagesystemen und den Qualifizierungskonzepten im vorherigen Kapitel hat gezeigt, dass für die Lösung der Aufgabenstellung zwar auf umfangreiche Vorarbeiten zurückgegriffen werden kann, jedoch die wesentlichen Aspekte der Problemstellung nicht gelöst sind. Ein Konzept für eine Lernfabrik für die variantenreiche Montage konnte dabei nicht identifiziert werden. In Kapitel 4 werden die Grundlagen für die Konzeption einer Lernfabrik für die variantenreichen Montage gelegt. Zunächst wird das neue Verständnis des Industrial Engineering erläutert, das die Wandlungsfähigkeit im Unternehmen erhöht und zur Turbulenzbewältigung entscheidend beiträgt. Anschließend werden die wesentlichen Bausteine der dazu notwendigen Planungsvorgehensweise dargestellt, bevor der Bezug zwischen den Turbulenzen, deren Auswirkung auf die Produktion und den Handlungsoptionen für den Planer hergestellt wird. Danach gilt es dann ein Qualifizierungskonzept zu entwickeln, mit der dieses Verständnis des Industrial Engineering an die Industrial Engineers in den Unternehmen vermittelt werden kann. Abschließend wird eine Lernumgebung konzipiert, die den Lernerfolg umfassend und nachhaltig unterstützt und mit der die Potentiale der Digitalen Fabrik und modularer, wandlungsfähiger Montagesysteme demonstriert werden können

4.1 Advanced Industrial Engineering

In einer turbulenten Umgebung und unter dem Einfluss einer hohen Innovationsdynamik industrieller Produktionen, ist die Geschwindigkeit, die Präzision und die Effizienz der Engineeringprozesse ein kritischer Erfolgsfaktor. Wandlungsfähigkeit wird sowohl in der Forschung als auch in der Industrie als Lösungsansatz zur Bewältigung von Turbulenzen angesehen (s. Kapitel 2.1.3). Den sich verändernden Rahmenbedingungen, die sich auf dem Absatzmarkt mit kundenindividuellen Anforderungen, bei der Produktentwicklung mit steigender Varianz und kürzeren Produktlebenszyklen sowie dem Einsatz neuer Technologien bemerkbar machen, kann mit einer kontinuierlichen Adaption begegnet werden. Viele strategische und operative Aufgaben zur Bewältigung von kurz- und mittelfristigen bis zu langfristigen Turbulenzen fallen, wie in Kapitel 3.1 dargestellt in den Bereich des Industrial Engineerings. Viele Aufgaben gehen dabei über die des klassischen

Industrial Engineerings, wie es in Deutschland und Europa verstanden wird hinaus. Der geforderten Rolle des Industrial Engineers als Systemintegrator und Wissensmanager zwischen den an der Planung beteiligten Bereichen von der Entwicklung, über die Produktion bis hin zum Vertrieb wird das bisherige IE-Verständnis nicht gerecht.

Nach WESTKÄMPER wird diese notwendige Erweiterung im advanced Industrial Engineering definiert, das die Methoden und Werkzeuge der Arbeits- und Prozessplanung, dem klassischen Industrial Engineering mit den Potentialen der Digitalen Fabrik und den Möglichkeiten des Produktionstechnologiemanagements vereint (s. Abbildung 4-1). Durch die Werkzeuge der Digitalen Fabrik, können dem Planer aktuelle Daten über den IST-Zustand der Fabrik zur Verfügung gestellt werden. Darauf aufbauend kann das dynamische Systemverhalten von Produktionsprozessen mithilfe von Simulationen vor der physischen Ausführung ermittelt und optimiert werden. Im Bereich des Produktionstechnologiemanagements erfolgt die Auswahl der richtigen Technik für einen Produktionsprozess. Dabei gilt es bestehende Technologien mithilfe von Simulationen an ihre Grenzen zu bringen und den Vergleich mit den Potentialen und Risiken neuer, moderner Technologien herzustellen. Für die Erhöhung der Wandlungsfähigkeit spielen Prämissen wie die Standardisierung und Synchronisierung von Prozessen, die partizipative Planung und die Berücksichtigung integrierter Planungsverfahren, die durchgängige Prozessketten über den Lebenszyklus hinweg betrachten eine wesentliche Rolle, da sie die dynamische Anpassung unterstützen [Aldinger u. a. 2006a, S. 112; Aldinger u. a. 2006b, S. 60; Westkämper 2006a, S. 37f].

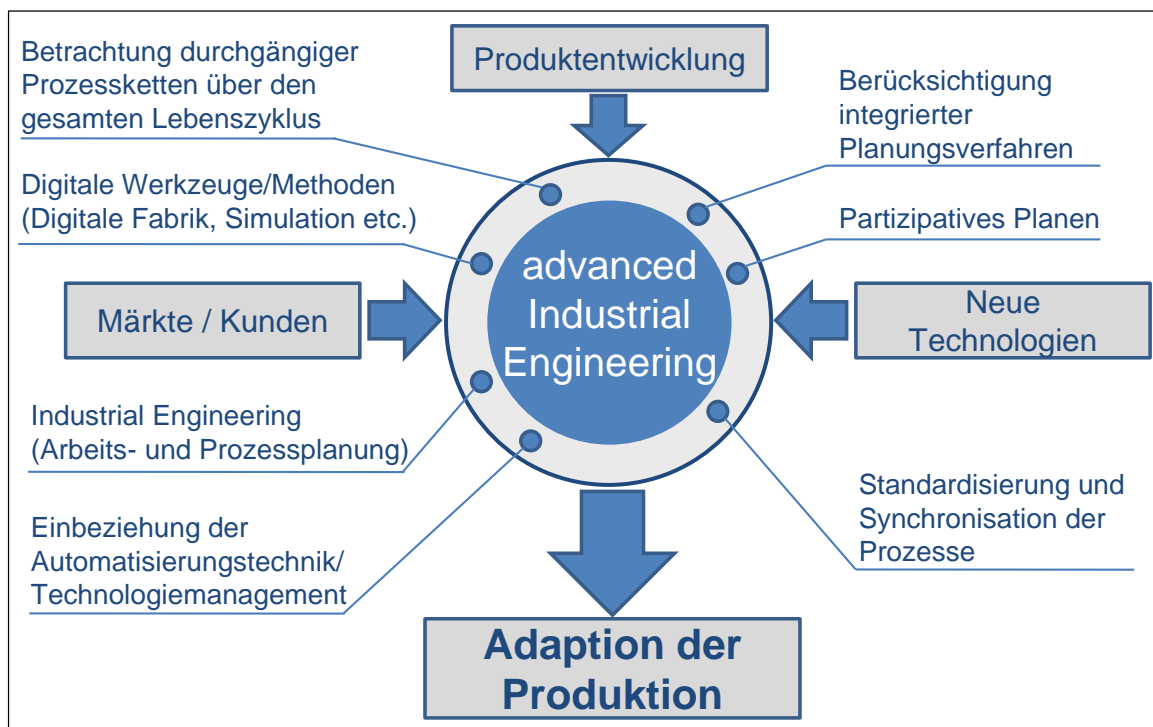


Abbildung 4-1: Ansatz des advanced Industrial Engineering

Für die wirtschaftliche Bearbeitung der komplexen Planungsaufgaben, die die Optimierung der gesamten Wertschöpfungskette im Blick haben müssen, ist eine Arbeitsteilung sowie eine Parallelisierung der Aufgaben notwendig, um erforderliche Reaktionszeit erreichen zu können. Um die Kommunikation zur effizienten Synchronisierung der einzelnen Aufgaben zu erreichen sind Standards zu etablieren. Standards stellen dabei bewährte Vorgehensweisen dar, so dass klare Schnittstellen den Wissenstransfer erleichtern, Risiken und Fehler in der Planung verringert werden. Die partizipative, teambasierte Planung sollte dem Prinzip der Leistungseinheiten des Stuttgarter Unternehmensmodells folgen und unterstützt damit dann eine schnelle Reaktionsfähigkeit, da an den jeweiligen Aufgaben genau die Personen der verschiedenen Disziplinen / Bereiche beteiligt werden, die einen Beitrag zur Problemlösung leisten können. Die Prämisse von integrierten Planungsverfahren zielt darauf ab, die Methoden und Werkzeuge des Industrial Engineering mit denen der Digitalen Fabrik zu vereinen. Potentiale liegen darin einerseits den Wandlungsbedarf in der Produktion proaktiv erkennen zu können und andererseits Produktionsprozesse bereits vor der Umsetzung in der realen Fabrik auf ihre Robustheit überprüfen zu können und somit die Planungsunsicherheit zu verringern. Des Weiteren lassen sich Informationen wiederverwenden, was zu einer Erhöhung der Planungsgeschwindigkeit führt. Es gilt die Planungsmethoden gezielt durch den Einsatz digitaler Werkzeuge zu unterstützen, um einen schnellen und effizienten Planungsablauf zu erzielen.

4.2 Methodisches Planungsvorgehen zur Turbulenzbewältigung

Dem Gedanken des advanced Industrial Engineerings zu folgen und eine kontinuierliche Adaption der Produktion auf strategischer und operativer Ebene zu ermöglichen wird im Folgenden ein methodisches Planungsvorgehen entwickelt, das die Prämissen beachtet und die Potentiale der Digitalen Fabrik in ein integriertes Planungsverfahren einbindet.

Hierzu wird zunächst der Betrachtungsrahmen für eine kontinuierliche Turbulenzbewältigung aufgespannt, bevor die einzelnen Planungsaufgaben in den daraus resultierenden Planungsbereichen vorgestellt werden. Dabei werden zunächst die Planungsmethoden dargestellt, die den Industrial Engineer bei den Planungsaufgaben unterstützen. Anschließend werden dann die Methoden und Werkzeuge der Digitalen Fabrik betrachtet, die einen schnelleres und qualitativ hochwertigeres Planungsvorgehen ermöglichen.

4.2.1 Betrachtungsrahmen einer kontinuierlichen Turbulenzbewältigung

Um die Potentiale einer wandlungsfähigen Produktion nutzen zu können, gilt es einerseits den Veränderungsbedarf zu identifizieren und andererseits die notwendigen Veränderungsprozesse einzuleiten, zu planen und umzusetzen. Da die Wandlungsprozesse des dynamischen Systems einer Fabrik (s. Kapitel 2.2.1) in einem geschlossenen Wirkungskreislauf ablaufen, kann die Turbulenzbewältigung als Regelkreis betrachtet werden (s. Abbildung 4-2). Das System Fabrik wird dabei sowohl an interne Turbulenzen als auch an die, sich verändernden Rahmenbedingungen, die externen Turbulenzen angepasst. Der Fabrikbetrieb stellt dabei die Regelstrecke dar, die auf den angestrebten SOLL-Zustand gebracht werden soll, das Fabrikmonitoring den Regler, der den Veränderungsbedarf ermittelt und dem Planungsprozess als Steller, um den geforderten SOLL-Zustand zu erreichen.

Ausgangspunkt für die Planung und Optimierung von Produktionsprozessen ist das Fabrikmonitoring. Mit ausgewählten Turbulenzindikatoren, die während dem Fabrikbetrieb gemessen werden, wird ein stetiger SOLL-IST-Vergleich durchgeführt, um interne und externe Turbulenzen zu identifizieren. Anhand des SOLL-IST-Vergleichs wird der Wandlungsbedarf ermittelt, um die Zielgrößen der Produktion künftig wieder zu erreichen. Daraus werden letztendlich Handlungsoptionen für den folgenden Planungsprozess abgeleitet.

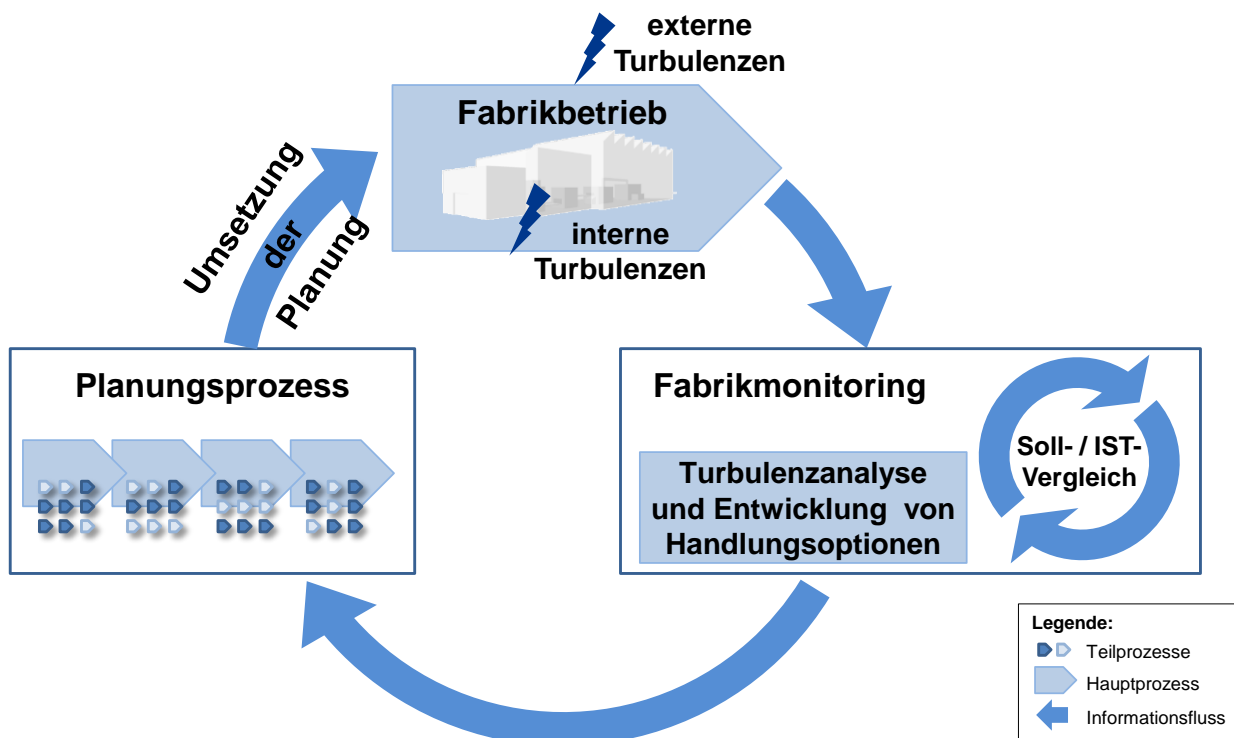


Abbildung 4-2: Regelkreis zur Turbulenzbewältigung [vgl. Wiendahl 2005, S. 59]

Die eigentliche Turbulenzbewältigung erfolgt im Planungsprozess, der je nach identifizierter Turbulenz individuell angepasst wird. Die Planungsaufgaben beginnen in der Regel mit der Betriebsanalyse, der IST-Analyse des Ausgangszustands und der Identifizierung des Handlungsbedarfs (Schwachstellenanalyse). Anschließend werden die Bereiche der Prozess- und Kapazitätsplanung, der Layoutplanung, der Logistikplanung sowie der Arbeitsorganisation in der Feinplanung durchlaufen. Abschließend erfolgt die Umsetzung der Planungsergebnisse.

Nach der Umsetzung zeigt sich im Fabrikbetrieb, wie erfolgreich die Turbulenzbewältigung war. Dabei werden sowohl die wertschöpfenden Produktionsprozesse als auch die Supportprozesse wie die Produktionsplanung und -steuerung betrachtet. Im laufenden Fabrikbetrieb werden die Regelgrößen erfasst, die im Fabrikmonitoring verarbeitet werden. Anhand dieses Betrachtungsrahmens für eine kontinuierliche Turbulenzbewältigung wird im Folgenden eine strukturierte Vorgehensweise zur Planung und Optimierung von Produktionsprozessen erarbeitet. Anschließend werden die wesentlichen Turbulenzen und deren Auswirkungen auf die Produktion analysiert und als Auslöser von Veränderungsplanungen in die Entwicklung von Planungsszenarien integriert. Abschließend werden dann Handlungsoptionen vorgestellt, um Turbulenzen mit gezieltem Planungsvorgehen schnell und effizient bewältigen zu können. Dies bildet die Grundlage, um in Kapitel 6 das Qualifizierungskonzept zur Nutzung einer Lernfabrik für Industrial Engineers auszuarbeiten.

4.2.2 Vorgehensweise zur Planung und Optimierung von Produktionsprozessen

Für die Planung und Optimierung von Produktionsprozessen ist es erforderlich, eine Vorgehensweise zu entwickeln, die aller relevanten Planungsaufgaben zur Turbulenzbewältigung beinhaltet. Die Vorgehensweise muss dabei dem Betrachtungsrahmen gerecht werden und dem Industrial Engineer einen Gestaltungsrahmen vorgeben, damit dieser seine künftigen Aufgaben im Sinne des advanced Industrial Engineering erfüllen kann.

Die Vorgehensweise beginnt mit den Planungsaufgaben der IST-Analyse der laufenden Produktion und der Identifizierung des Handlungsbedarfs (Schwachstellenanalyse). Anschließend werden die, in Kapitel 3.1 und durch den Betrachtungsrahmen als relevant identifizierten Bereiche der Prozess- und Kapazitätsplanung, der Layoutplanung, der logistischen Dimensionierung sowie der Feinplanung durchlaufen. Nach der Realisierung der Planungsergebnisse erfolgt im Fabrikbetrieb die Produktionsplanung und -steuerung (s. Abbildung 4-3).

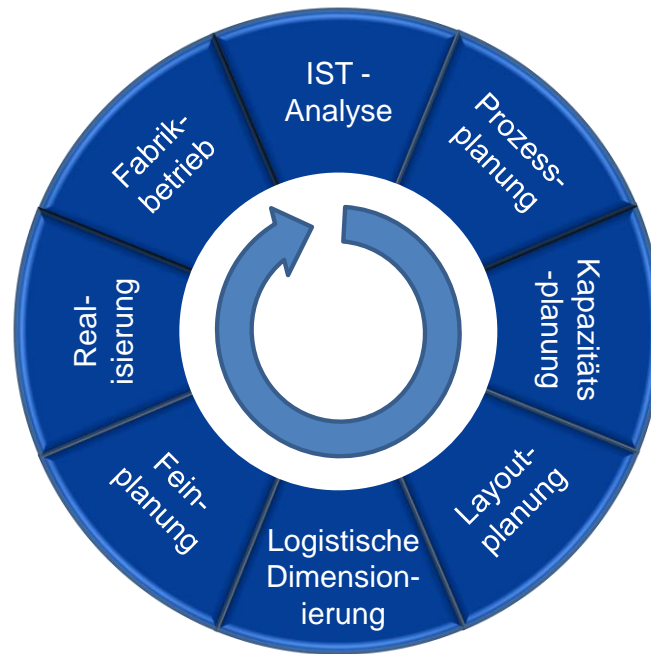


Abbildung 4-3: Vorgehensweise zur Planung und Optimierung von Produktionsprozessen

Im Folgenden werden die einzelnen Planungsbereiche detaillierter betrachtet und der Zusammenhang zwischen den einzelnen Planungsaufgaben und den dabei einsetzbaren Methoden hergestellt, die den Industrial Engineer bei der Turbulenzbewältigung unterstützen.

4.2.2.1 IST-Analyse

Die IST-Analyse dient dazu, eine fundierte Datenbasis für den weiteren Planungsverlauf zu schaffen, um technische, betriebswirtschaftliche und organisatorische Schwachstellen näher zu untersuchen und somit individuelle Handlungsoptionen zur Turbulenzbewältigung abzuleiten. Die IST-Analyse gliedert sich in die Analyse des Produktionsprogrammes, der Prozessstruktur und der Layoutstruktur.

Bei der Analyse des Produktionsprogramms wird im ersten Schritt die aktuelle Auftragslast der Produktion mit Methoden wie der ABC-Analyse und der Produkt-Quantum-Analyse (PQ-Analyse) nach Art und Menge klassifiziert. Im zweiten Schritt erfolgt mithilfe von Szenarien die Entwicklung des künftigen, auf den mittelfristigen Planungshorizont abgestimmten Produktionsprogramms, das die wichtigste Grundlage für die weiteren Planungen darstellt. Hierfür werden als Methoden Marktanalysen mit Vertriebsprognosen, Trendberechnungen und Benchmarks, Produktportfolio-Analysen und die Betrachtung der Absatzstrategie des Unternehmens eingesetzt.

In der Analyse der Prozessstruktur wird der aktuelle Material- und Informationsfluss aufgenommen. Um den Aufwand der Prozessanalyse auf ein sinnvolles Maß zu

begrenzen, werden für die variantenreiche Serienproduktion im ersten Schritt mithilfe der Produktfamilien-Matrix Produktfamilien mit ähnlichen technologischen Prozessabläufen identifiziert. Darauf aufbauend wird im zweiten Schritt der Kapazitätsbedarf der einzelnen Produktfamilien bestimmt. Wichtigste Kenngröße ist in diesem Zusammenhang der Kundentakt, der angibt wie viele Produkte pro Zeitperiode geliefert werden müssen. Gleichzeitig werden die Auswirkungen von Schwankungen im Produktionsprogramm auf den Kapazitätsbedarf durch verschiedene Lastfälle untersucht. Im dritten Schritt wird dann der Material- und Informationsfluss für alle Produktfamilien mit Methoden der Geschäftsprozessanalyse (z. B. Flussdiagrammen), der Arbeitsablaufanalyse, der Prozesskettenanalyse oder der Material- und Informationsflussanalyse aufgenommen. Besonders bewährt hat sich dabei die Wertstromanalyse, deren Fokus auf den wertschöpfenden Prozessen der Produktion liegt. Für die Aufnahme der Prozess- und Rüstzeiten werden Methoden der analytischen Zeitermittlung wie die REFA-Zeitaufnahme, Selbstaufschreibung durch Mitarbeiter oder die Multimomentaufnahme eingesetzt. Im vierten Schritt werden anhand der Material- und Informationsflüsse Verbesserungspotentiale und Schwachstellen der Produktion identifiziert, die als Datenbasis für die Gestaltung und Optimierung der Produktionsstrukturen dient.

Die Analyse der Layoutstruktur verschaffte einen Überblick über die aktuellen Betriebsstrukturen. Im ersten Schritt werden mit Methoden der Flächenbedarfsermittlung die Maschinen und Anlagen, Transportwege, Lager- / Pufferflächen sowie die Medienversorgung erfasst. Im zweiten Schritt gilt es die Baupläne zu aktualisieren und Restriktionen wie die Bodentraglast, die Raumhöhe oder das Säulenraster zu identifizieren. Zusammen mit der Prozessstrukturanalyse geben die Layoutpläne Aufschluss über eine flussorientierte Produktion.

4.2.2.2 Prozessplanung

Die Prozessplanung ist in zwei Bereiche gegliedert. Während bei der Arbeitsablaufplanung die kundenneutrale Prozess- und Montageplanung der Produkte erfolgt, liegt der Fokus in der Produktionsstrukturierung auf der ganzheitlichen Gestaltung des Material- und Informationsflusses sowie der Montageorganisation.

Die Arbeitsablaufplanung umfasst die kurzfristigen Aufgaben des klassischen Industrial Engineerings. Dabei wird festgelegt, aus welchem Material, mit welchen Verfahren und den dazu erforderlichen Betriebsmitteln sowie in welcher Zeit ein Produkt hergestellt werden kann, um eine technisch-wirtschaftlich optimale Produktion zu erreichen. Im ersten Schritt, der Planungsvorbereitung, werden die erforderlichen Informationen für eine Neuplanung, eine Anpassungsplanung, eine Variantenplanung oder eine

Wiederholplanung identifiziert, geprüft und bereitgestellt. Im zweiten Schritt wird mithilfe der Stücklistenauflösung aus funktionsorientierten Konstruktionsstücklisten (Struktur-, Mengen- oder Baukastenstückliste) eine Montagestückliste abgeleitet. Im dritten Schritt, der Montageplanung wird der Montagevorranggraph anhand von Montagestücklisten, der Produktstruktur, technischen Zeichnungen und bisher vorhandenen Arbeitsplänen entwickelt. Anschließend werden die Montageverfahren und die Betriebsmittel ausgewählt. Im vierten Schritt erfolgt die Prüfplanung, die in enger Abstimmung mit dem Qualitätsmanagement bearbeitet wird. Dabei wird über die Notwendigkeit, den Ablauf und die Häufigkeit von Prüfungen und die dafür erforderlichen Prüfmittel entschieden, um fehlerhafte Zwischenprodukte frühzeitig zu identifizieren. Methodisch wird dieser Prozess der Qualitätsplanung durch eine Prozess-FMEA unterstützt. Im fünften Schritt wird die Zeitermittlung für die Montage- und Prüfprozesse mit analytischen oder synthetischen Methoden durchgeführt. Die Auswahl des Zeitermittlungsverfahrens hängt dabei stark von der zu produzierenden Stückzahl ab und davon ob manuelle oder automatisierte Prozesse betrachtet werden. Im sechsten Schritt erfolgt die Betriebsmittelplanung, die nur dann erforderlich ist, wenn spezielle Werkzeuge, Vorrichtungen oder Mess- und Prüfmittel benötigt werden, die für die Produktion aktuell nicht zur Verfügung stehen. Parallel zu allen bisherigen Schritten der Arbeitsablaufplanung wird eine Kostenplanung durchgeführt, so dass bei allen Prozessen eine wirtschaftliche Betrachtung herangezogen werden kann. Ergebnis der Arbeitsablaufplanung ist der Arbeitsplan, der als zentralen Punkt die Produktionsvorgangsfolge beinhaltet und als Grundlage für die Produktionsstrukturierung und die Feinplanung dient.

Die Produktionsstrukturierung baut auf den identifizierten Potentialen der Prozessanalyse und der Arbeitsablaufplanung auf und gestaltet den Material- und Informationsfluss. Im ersten Schritt werden die technologisch orientierten Produktfamilien der Prozessstrukturanalyse um die Kundensicht (Nachfrageorientiert oder Marktorientiert) erweitert. Die nachfrageorientierte Segmentierung wird durch die ABC-XYZ-Analyse unterstützt, die marktorientierte Segmentierung durch Marktchancen-Marktattraktivitäts-Portfolios und Produktinnovations-Stückzahl-Portfolios. Im zweiten Schritt erfolgt die Gestaltung der Produktionsprozesse mit der Ausrichtung der variantenreichen Serienfertigung an einem kontinuierlichen Produktionsfluss. Ausgangspunkt für die Berechnung des Kapazitätsbedarfs ist der Kundentakt und die Bearbeitungszeiten der Produktionsprozesse. Anhand der Bearbeitungszeiten kann die Anzahl der Betriebsmittel berechnet werden, wobei kapazitätsreduzierende Faktoren wie Rüstzeiten, Störungen, Wartungs- / Instandhaltungsarbeiten oder Ausschuss und Nacharbeit zu berücksichtigen sind. Für die statische Dimensionierung des Kapazitätsbedarfs eignen sich das Operator-

Balance-Chart, Bearbeitungs- und Maschinenprofile. Ausgehend vom Kapazitätsbedarf erfolgt die Planung der Montageprinzipien (Inselfertigung, Fließfertigung) und der Organisationsprinzipien (Montageinsel, Reihen- / Taktmontage), um die Ausrichtung der Produktionsprozesse an einem kontinuierlichen Produktionsfluss zu erreichen. Im dritten Schritt wird die Produktionssteuerung des Materialflusses für alle Segmente erarbeitet. Für die Koppelung von Produktionsprozessen kommen die FIFO-Bahn (Push-Steuerung) oder die Kanban-Steuerung (Pull-Steuerung) in verschiedenen Ausprägungen in Frage. Ergebnis der Produktionsstrukturierung ist ein gerichteter, flussorientierter Materialfluss.

4.2.2.3 Kapazitätsplanung

In der Kapazitätsplanung erfolgt die Dimensionierung des Personalbedarfs und des Flächenbedarfs. Aufbauend auf den Arbeitsplänen und den zugehörigen Bearbeitungs- und Rüstzeiten sowie den Ergebnissen der Produktionsstrukturierung wird im ersten Schritt der Personalplanung der quantitative Personalbedarf an Mitarbeitern ermittelt. Eine statische Betrachtung kann mit Verfahren der Personalbemessung erfolgen. Anhand verschiedener Lastfälle im Produktionsprogramm werden Organisationsformen für die Mehrmaschinenbedienung entwickelt, um die vorgegebenen Taktzeiten einhalten zu können. Im zweiten Schritt wird der qualitative Personalbedarf ermittelt. Dafür werden Anforderungsprofile der einzelnen Produktionsprozesse zusammengestellt und im Rahmen einer Profilvergleichsmethode mit dem Qualifikationsprofil der Mitarbeiter verglichen. Werden Defizite identifiziert, gilt es, Qualifizierungsmaßnahmen einzuleiten, um eine qualitativ hochwertige Ausführung der Produktionsprozesse zu gewährleisten.

Die Flächenbedarfsermittlung baut auf der Flächenanalyse des IST-Zustandes und der Anzahl der benötigten Betriebsmittel aus der Produktionsstrukturierung auf. Mithilfe von kennzahlenbasierte Verfahren (Fläche pro Mitarbeiter, Maschine oder Produktionsvolumen) kann eine schnelle Flächenbedarfsermittlung in der Grobplanung durchgeführt werden. Genauer und auch für die Feinplanung geeignet sind Berechnungsverfahren (Ersatzflächenverfahren oder funktionale Flächenermittlung), die von der jeweiligen Betriebsmittelgrundfläche ausgehen. Neben den Flächen um die Betriebsmittel gilt es auch, die Lagerflächen für Zwischenlager, Puffer und Kanban-Supermärkte sowie Transport- und Verkehrsflächen zu berechnen. Die Flächenbedarfe dienen als Grundlage der Layoutplanung.

4.2.2.4 Layoutplanung

In der Layoutplanung erfolgt die flächenmäßige Umsetzung der geplanten Materialflussstrukturen in den Produktionsgebäuden des Unternehmens. Mit einem

gerichteten Materialfluss kann eine Reduzierung des Gesamtflächenbedarfs sowie transparenten Strukturen bzgl. Fertigung, Montage, Lagerung und Transport erreicht werden. Der Ablauf der Layoutplanung gliedert sich in die drei Bereiche der Ideallayoutplanung, der Reallayoutplanung und der Layoutauswahl.

In der Idealplanung wird im ersten Schritt ein flächenmaßstäbliches Funktionsschema entwickelt, das auf der Prozessablaufstruktur und dem Flächenbedarf beruht. Im zweiten Schritt wird ein Blocklayout aufgebaut, das sich an den acht Grundformen (Linienstrukturen, U-Form-, Eck-, Parallel-, Spine-, Ring- oder Schleifenstruktur) eines gerichteten Materialflusses orientiert, die als ideal angesehen werden, um verzweigte und parallele Wertströme abzubilden. Als grafische Verfahren eignen sich Zeichnungen, maßstäbliche Grundrisschablonen oder räumliche Modelle. Das Ideallayout dient als Benchmark für die Bewertung und Auswahl der Reallayoutvariante.

Im ersten Schritt der Realplanung werden die Planungsrestriktionen identifiziert. Im zweiten Schritt werden verschiedene Reallayoutvarianten entwickelt. Dabei werden, ausgehend vom Ideallayout, in iterativer Arbeitsweise alle Restriktionen einbezogen und Layoutvarianten entworfen, die echte Lösungsalternativen darstellen und prinzipiell umsetzbar sind. Die Entwicklung der Reallayoutvarianten erfolgt mit denselben Verfahren wie die Ideallayoutplanung.

In der Layoutauswahl wird eine Lösungsvariante ausgewählt, die ein Gesamtoptimum hinsichtlich technischer und wirtschaftlicher Kriterien darstellt. Im ersten Schritt werden Bewertungskriterien für die Layoutvarianten aufgestellt, die sich aus der Zielstellung der Planung ableiten lassen. Im zweiten Schritt erfolgt die Gewichtung der Bewertungskriterien durch die Abschätzung der jeweiligen wechselseitigen Bedeutung für die Entscheidungsfindung. Im dritten Schritt erfolgt die Bewertung der einzelnen Reallayoutvarianten, wobei die einzelnen Kriterien hinsichtlich ihres Erfüllungsgrades der jeweiligen Variante bewertet werden. Anhand der Gewichtung der Bewertungskriterien und des jeweiligen Erfüllungsgrades kann ein Gesamtnutzwert für alle Reallayoutvarianten berechnet werden. Im vierten Schritt werden die Reallayoutvarianten mit dem höchsten Gesamtnutzwert mit dem Ideallayout verglichen und anschließend eine Reallayoutvariante ausgewählt, die in den folgenden Planungsprozessen detailliert werden kann.

4.2.2.5 Logistische Dimensionierung

In der logistischen Dimensionierung erfolgt die Feinplanung des Materialflusses bevor der Informationsfluss detailliert wird. Dabei wird das Ziel verfolgt, eine, auf den Kundentakt ausgerichtete Produktion mit kurzen Durchlaufzeiten und niedrigen Beständen bei gleichzeitiger Lieferfähigkeit zu erreichen.

In der Feinplanung des Materialflusses werden die Materialflussverknüpfungen (FIFO-Bahnen und Kanban-Kreisläufen) ausgelegt. Im ersten Schritt erfolgt die Bestandsdimensionierung der FIFO-Bahnen, um ausreichend Puffer bei Produktionsschwankungen ausgleichen zu können. Dabei gilt es auch, die Steuerungssignale (ConWip-Signal) zu definieren, um vorgelagerten Produktionsprozessen die Freigabe zu erteilen und verzweigte Materialströme zu synchronisieren. Hierfür können Methoden der Taktabstimmung und der FIFO- / ConWip-Berechnung eingesetzt werden. Im zweiten Schritt werden die Kanban-Kreisläufe für Produktionsprozesse mit gleichmäßigen und kurzen Rüstzeiten ausgelegt, um minimale Bestände in der Produktion zu erreichen. Als Grundlage für die Berechnungen des Produktions-Kanban wird das auf die Produktfamilien bezogene Produktionsprogramm der Prozessplanung herangezogen. Liegen in der Produktion unterschiedliche Rüstzeiten der Produktionsprozesse mit unterschiedlichen Losgrößen vor, kann der Signal-Kanban eingesetzt werden, um eine hohe Auslastung der Betriebsmittel zu erreichen. Für die Auslegung des Signal-Kanban wird die optimale Losgröße mithilfe des EPEI (Every Part Every Interval) berechnet, der angibt, in welchem Zeitraum jeweils ein Los aller Produktvarianten produziert werden kann. Anschließend können die Behälterauswahl und die Füllmenge bestimmt werden.

In der Feinplanung des Informationsflusses wird der Kundenbedarf aufbereitet, um am Schrittmacherprozess einen Produktmix einsteuern zu können, der Schwankungen im Kundenbedarf abfedern kann. Dabei sind die Auslöseart der Auftragserzeugung, der Erzeugungsumfang sowie die Auslösungslogik zu gestalten. Als Auslöseart der Auftragserzeugung kommt in der variantenreichen Serienfertigung aufgrund der kundenspezifischen Produkte nur die Auftragsfertigung in Frage. Der Erzeugungsumfang gibt an, ob mehrere Produktionsstufen informiert und angestoßen werden oder ob nur der Schrittmacherprozess angetriggert wird. Die Auslösungslogik kann periodisch, nach vordefinierten Zeitpunkten, oder ereignisgesteuert, nach dem Eingang eines Kundenauftrages erfolgen. Dem IE steht eine Vielzahl an Verfahren zur Auftragsfreigabe zur Verfügung, wie z. B. Kanban, MRP (Manufacturing Resource Planning), Synchro MRP, Hybride Kanban-Conwip-Steuerung, Fortschrittszahlensteuerung und Bestandsverfahren.

4.2.2.6 Feinplanung

In der Feinplanung erfolgen die detaillierte Gestaltung der Arbeitsplätze und die Ausplanung der Reallayoutvariante. Die Feinplanung gliedert sich in die Arbeitsorganisation, die Feinlayoutplanung und die Roboterprogrammierung.

In der Arbeitsorganisation wird das aufgaben- und anforderungsgerechte Zusammenspiel der Mitarbeiter, der Betriebsmittel, der Arbeitsgegenstände und der Informationen in der Produktion gestaltet.

Im ersten Schritt erfolgt die ergonomische Arbeitsplatzgestaltung für die Produktionsprozesse, die in der Prozessplanung auf den jeweiligen Arbeitsplatz gelegt wurden. Bei der ergonomischen Arbeitsplatzgestaltung ist die räumliche Anordnung der Betriebsmittel und Materialbereitstellung sowie der Arbeitsfläche auf anthropometrische Kriterien, wie den Greifraum, die Körperkraft und das Gesichtsfeld auszurichten, damit eine möglichst geringe physische Belastung des Mitarbeiters während der Arbeit entsteht. Für diesen Schritt kann die Methode der Ergonomiebewertung mit Hilfsmitteln wie Beanspruchungsanalysen, anthropometrische Datenbankinformationen und Checklisten herangezogen werden. Im zweiten Schritt erfolgt eine prozessorientierte Arbeitsorganisation, wenn in einem manuellen Arbeitssystem mehrere Mitarbeiter aufeinander abgestimmte Tätigkeiten ausführen sollen. Im Rahmen der humanorientierten Arbeitsorganisation, werden die Arbeitsaufgaben auf ihre Ausführbarkeit, Schädigungslosigkeit, Beeinträchtigungsfreiheit / Zumutbarkeit und Persönlichkeitsförderlichkeit hin gestaltet. Ziel ist es, dass der Mitarbeiter seine Arbeit selbstständig ausführen und seine Fähigkeiten und Fertigkeiten bestmöglich einsetzen kann [Schlick u. a. 2010, S. 63ff]. So kann die Arbeitszufriedenheit und Entwicklungsmöglichkeiten gesteigert werden. Je nach Handlungsspielraum in der Arbeitsorganisation stehen Methoden wie das Jobenrichment, Jobenlargement und Jobrotation zur Verfügung. Im dritten Schritt werden standardisierte Arbeitsanweisungen für die gestalteten Arbeitsplätze erarbeitet, die den Mitarbeitern als Anleitung für die auszuführenden Tätigkeiten dienen. Die Arbeitsanweisung beinhaltet neben der detaillierten Darstellung der einzelnen Arbeitsschritte die notwendigen Materialien und Betriebsmittel.

In der Feinlayoutplanung wird für die ausgewählte Reallayoutvariante ein detaillierter Maschinenaufstellungsplan erstellt, der eine maßgenaue räumliche Anordnung der Betriebsmittel, der erforderlichen Produktionsflächen und der Fördertechnik zur Verknüpfung der Maschinen und Anlagen sowie die Medienversorgung beinhaltet. Die Feinlayoutplanung basiert auf der ausgewählten Reallayoutvariante der Layoutplanung, den Flächenangaben aus der Kapazitätsplanung und der Arbeitsplatzgestaltung sowie der Arbeitsorganisation manueller Tätigkeiten. Des Weiteren ist vor allem der Materialfluss mit den Montageprinzipien für die Feinplanung der Maschinen und Anlagen entscheidend, da die Zugänglichkeit dieser gewährleistet werden muss. Für die Erstellung des Maschinenaufstellungsplans eignen sich grafische Verfahren wie Zeichnungen, maßstäbliche

Grundriss-schablonen oder räumliche Modelle. Diese Unterlagen bilden die Grundlage für die spätere Realisierungsplanung.

In der Roboterprogrammierung erfolgt auf Basis der Montage- und Prüfplanung sowie der Ergebnisse der Produktionsstrukturierung die Programmierung der automatisierten Betriebsmittel. Die Roboterprogrammierung der Betriebsmittel kann dabei Online im Teach-in-Verfahren oder Offline mit textuellen oder grafischen Verfahren erfolgen, so dass die Programmabläufe erstellt und getestet werden können, ohne die laufende Produktion zu stören. Ergebnis der Roboterprogrammierung sind fertige Programme für die einzelnen Betriebsmittel, die in der Realisierung auf die Betriebsmittel aufgespielt und optimiert werden können.

4.2.2.7 Realisierung

In der Realisierung werden die Ergebnisse der vorangegangenen Planungsschritte umgesetzt.

Die Ausführungsplanung übernimmt die Projektstrukturplanung, um die erforderlichen Veränderungsmaßnahmen der Realisierung zeitlich so aufeinander abzustimmen, dass die Umsetzung in der Produktion nur kurze Stillstandszeiten und somit geringe Kosten verursacht. Die Ausführungsplanung bedient sich der Projektmanagementmethoden wie der Netzplantechnik, Quality Gates und Checklisten. Als Ergebnis steht der Projektstrukturplan mit definierten Meilensteinen, anhand derer der Fortschritt der Umsetzung überwacht werden kann, um bei Bedarf Maßnahmen zur Einhaltung des Endtermins einleiten zu können. Bei der Umsetzung der Planungsergebnisse erfolgt die Ausführung der geplanten Veränderungsmaßnahmen. Vor Produktionsbeginn wird die neue Produktionsstruktur eingehend geprüft und auf ihr Zusammenspiel getestet, bevor die technische Abnahme erfolgt. Gerade diesen Schritten ist eine ausführliche Dokumentation notwendig, um Abweichungen von den Planungen zu erkennen, diese analysieren und darauf reagieren zu können. In der Praxis werden solche Aufgaben häufig mit Unterstützung externer Partner ausgeführt, so dass die Dokumentation bei Gewährleistungsansprüchen eine hohe Relevanz hat. Die Umsetzung der Planungsergebnisse wird durch Projektmanagementmethoden unterstützt.

4.2.2.8 Fabrikbetrieb

Im Bereich Fabrikbetrieb zeigt sich letztendlich die Wirksamkeit der Planungsergebnisse. Für die Planung und Optimierung von Produktionsprozessen beschränkt sich der betrachtende Bereich des Fabrikbetriebs auf die Produktionsplanung / -steuerung und das Controlling. Alle an die direkte Produktion angrenzenden Bereiche wie die Kommunikation

mit Zulieferern, der Versand der fertigen Produkte sowie die administrativen Bereiche, die zur Auftragsabwicklung durchgeführt werden müssen, stehen nicht im Fokus der Arbeit und werden somit nicht näher betrachtet.

In der Produktionsplanung wird der Auftragsmix für die Produktion aufbereitet, um einerseits die mit dem Kunden vereinbarten Lieferbedingungen zu erfüllen und andererseits die Kapazitätsauslastung in der Produktion hochzuhalten. Im ersten Schritt wird anhand der aktuellen Kundenaufträge das operative Produktionsprogramm ermittelt. Dabei sind die Rahmenbedingungen des in der IST-Analyse ermittelten Produktmixes sowie die in der Planung definierten Kapazitäten zu berücksichtigen. Im zweiten Schritt, der Mengenplanung, wird aus dem Produktionsprogramm der Sekundärbedarf abgeleitet. Anhand von Stücklisten wird der Primärbedarf an fertigen Produkten auf die Baugruppen- / Bauteil-Ebene heruntergebrochen. Bei Kaufteilen, wird der Bestellabruf beim Lieferanten ausgelöst. Für die eigene Produktion werden für die einzelnen Produktionssegmente je nach Kundenentkoppelungspunkt und Steuerungslogik die Fertigungs- bzw. Montageaufträge erzeugt. Der erforderliche Detaillierungsgrad ist dabei vom Schrittmacherprozess in der Produktion abhängig. Im dritten Schritt wird die Feinplanung der Termin- / Kapazitätsplanung durchgeführt. Unter Berücksichtigung der Produktmixrestriktionen aus der Prozessplanung und der logistischen Dimensionierung werden die Starttermine der Produktionsaufträge und der Kapazitätsbedarf für alle Betriebsmittel und das Personal ermittelt, sowie eine Kapazitätsabstimmung durchgeführt. Im vierten Schritt der Produktionssteuerung erfolgt mit der Auftragsfreigabe der Produktionsstart des Kundenauftrags.

Das Controlling dient dazu, den Produktionsfortschritt zu überwachen und Abweichungen vom SOLL-Zustand der Produktion zu erkennen, was die Grundlage für die Identifizierung von Turbulenzen darstellt. Im ersten Schritt erfolgt die Informationsgewinnung. Um die erforderlichen Informationen in der Produktion aufnehmen zu können ist es notwendig, Kenntnis über die Ziele und Planwerte der Produktion sowie der auf diese wirkenden Einflussgrößen zu besitzen. Für die Gewinnung aussagekräftiger Daten muss die Datenermittlung kontinuierlich mit den Methoden der IST-Analyse durchgeführt werden. Im zweiten Schritt werden die umfangreichen Rohinformationen strukturiert und gegliedert, so dass für die Bewertung der Planungs- und Steuerungsprozesse Kennwerte bereitgestellt werden können. Dabei wird eine Plausibilitätsprüfung durchgeführt, um Fehlmessungen zu identifizieren und folgende Entscheidungen auf Daten hoher Qualität aufbauen zu können. Zur Datenaufbereitung dienen Kennlinien oder Grafiken. Im dritten Schritt werden die gewonnenen Informationen bewertet und mit den SOLL-Werten verglichen. Anhand der Kennlinien und Grafiken sowie errechneten Kennzahlen kann der IE den aktuellen IST-

Zustand mit den SOLL-Werten vergleichen und bei Abweichungen entscheiden, ob und welche Maßnahmen zu treffen sind.

4.2.2.9 Zusammenhang zwischen Planungsaufgaben und Methoden

Dem Industrial Engineer stehen vom Fabrikmonitoring über die einzelnen Planungsbereiche bis zum Fabrikbetrieb eine Fülle von Methoden zur Verfügung, die zur Planung und Optimierung von Produktionsprozessen eingesetzt werden können (s. Abbildung 4-4).

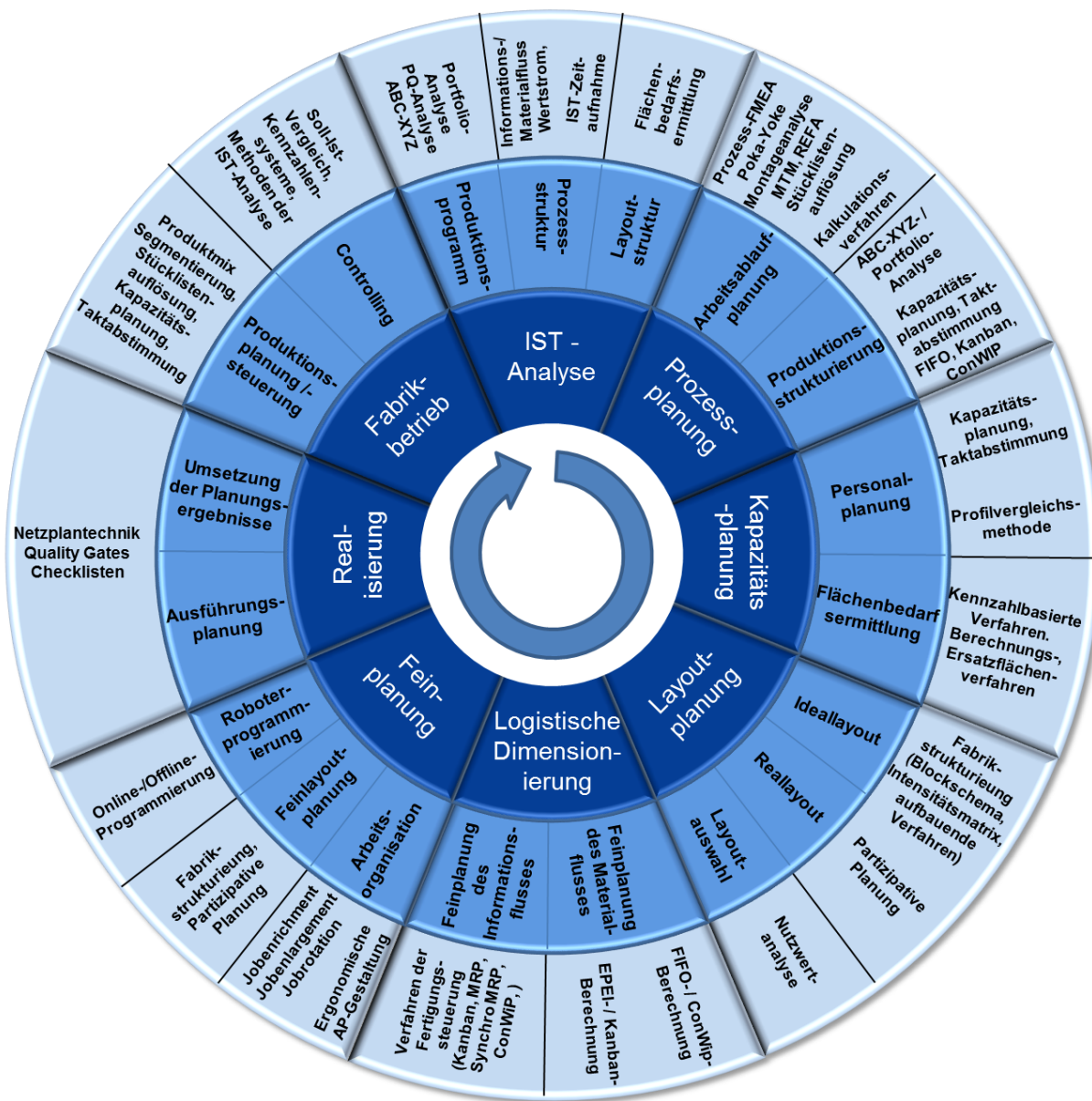


Abbildung 4-4: Zuordnung der Methoden zur jeweiligen Aufgabe eines Planungsabschnitts

In Abstimmung mit den Handlungsoptionen, die auf die jeweilige Turbulenz abgestimmt werden, kann der Industrial Engineer ein Methodenset zusammenstellen, das ihn bei der Turbulenzbewältigung unterstützt. Anschließend können nun Methoden und Werkzeuge

der Digitalen Fabrik identifiziert werden, die eine Effizienzsteigerung der Planungsaufgaben ermöglichen.

Auf Basis dieser Planungsvorgehensweise und den darin enthaltenen Planungsaufgaben kann im weiteren Verlauf ein Zusammenhang zwischen den einzelnen Turbulenzen und den zur Bewältigung notwendigen Planungsaufgaben hergestellt werden und somit standardisierte Handlungsoptionen erarbeitet werden.

4.2.3 Methoden und Werkzeuge der Digitalen und Virtuellen Fabrik

Die Methoden und Werkzeuge der Digitalen und Virtuellen Fabrik spielen im advanced Industrial Engineering eine bedeutende Rolle, da sie den Anforderungen nach einem erhöhten Planungsbedarf und einer höheren Planungsgeschwindigkeit bei hoher Realitätsnähe gerecht werden, ohne dabei den laufenden Betrieb zu stören. Die grundlegenden Einsatzbereiche, Methoden und Werkzeuge wurden in Kapitel 3.3.1 erläutert. Darauf aufbauen werden im Folgenden die einzelnen Werkzeuge der Digitalen und Virtuellen Fabrik hinsichtlich ihres Aufgabenbereiches analysiert und den, in Kapitel 4.2.2 identifizierten Planungsaufgaben zur Planung und Optimierung von Produktionsprozessen zugeordnet (s. Abbildung 4-5).

IST-Analyse

Die Werkzeuge der Digitalen Fabrik dienen dazu, den hohen Zeitaufwand in der IST-Analyse zu reduzieren und mit aktuellen Informationen eine fundierte Datenbasis für den weiteren Planungsablauf zu schaffen, um Schwachstellen aufzudecken und Handlungsoptionen ableiten zu können.

ERP- und MES-Systeme mit BDE-, MDE-, PZE- und QDE-Funktionalitäten unterstützen die Analyse des Produktionsprogramms und der Prozessstruktur. Sie dienen der Daten- und Informationsgewinnung und Auswertung der laufenden Produktion. Als wesentliche Informationen werden dabei das aktuelle Produktionsprogramm (Produktmix), Prozessinformationen (Qualität und Zeit) sowie Ressourceninformationen (Zustand, Störungen, Auslastung usw.) gewonnen, die mithilfe eines MES-Systems und den darin beinhalteten Systemen zur Betriebsdaten- (BDE), Maschinendaten- (MDE), Personalzeit- (PZE) und Qualitätsdatenerfassung (QDE) aufgenommen werden. Der künftige Auftragsbestand, die aktuellen Arbeitspläne und Informationen zur Produktstruktur lassen sich aus dem ERP-System herausfiltern.

Für die Ermittlung der Layoutstruktur stehen 3D-Scanner zur Vermessung der Produktionsanlagen zur Verfügung, die zur Visualisierung ein digitales Abbild der Produktionshalle mit ihren Maschinen und Anlagen liefern.

Prozessplanung

Den Ausgangspunkt für die Arbeitsablaufplanung liefern für bestehende Produkte die bisherigen Arbeitspläne. Für neue bzw. veränderte Produkte kann der Industrial Engineer auf Produktdatenmanagementsysteme (PDM-Systeme) zurückgreifen, die alle notwendigen produktspezifischen Informationen wie die Produktstruktur in Form von Strukturstücklisten, Werkstoffe oder geometrische Daten beinhalten und eine wichtige Schnittstelle zur Produktentwicklung darstellen. Für die rechnerunterstützte Arbeitsplanentwicklung eignen sich hingegen Prozessplanungssysteme. Bei der Gestaltung der Produktionsprozesse werden die jeweiligen Produktkomponenten mit den Produktionsprozessen verknüpft wie auch die notwendigen Ressourcen, die für die Fertigung bzw. Montage benötigt werden. Darüber hinaus lassen sich jegliche weiteren Informationen mit den Produktionsprozessen verknüpfen, die in der Arbeitsablaufplanung benötigt werden.

Die Zeitermittlung als Teil der Arbeitsablaufplanung kann durch ERP- / MES-Systeme mit aktuellen IST-Zeiten aus der laufenden Produktion beliefert werden. Für neue Produkte eignen sich Zeitermittlungssysteme die auf Systemen vorbestimmter Zeiten beruhen und eine Bewertung manueller Produktionsprozesse vor Produktionsbeginn ermöglichen.

Die ganzheitliche Gestaltung des Material- und Informationsflusses, die im Rahmen der Produktionsstrukturierung erfolgt, wird durch Materialflusssimulationssysteme unterstützt. Die Simulation baut auf dem Produktionsprogramm, den Arbeitsplänen und den zur Verfügung stehenden Ressourcen auf. Sie dient der Dimensionierung der Kapazitätsauslastung und der Austaktung der Produktionsprozesse sowie der Auswahl der Steuerungsmechanismen. Die Simulationssysteme ermöglichen es die Robustheit des Material- und Informationsflusses gegen Turbulenzen abzusichern und die Grenzen des Produktionssystems auszuloten.

Kapazitätsplanung

Im Rahmen der Kapazitätsplanung erfolgt die Dimensionierung des Personalbedarfs, der ebenso durch Materialflusssimulationssysteme wie die Gestaltung des Material- und Informationsflusses in Bezug auf Maschinen (s. Prozessplanung).

Für die Flächenbedarfsermittlung einzelner Maschinen und Anlagen kann auf CAD-Systeme zurückgegriffen werden, die eine grafische 3D-Darstellung liefern und in denen die notwendigen Zusatzflächen für die Maschinenbedienung, Wartung- und Instandhaltung, Pufferflächen sowie Verkehrsflächen eingezeichnet werden können. Diese Modelle stellen dann die Grundlage für die Layoutplanung

Layoutplanung

In der Layoutplanung erfolgt die flächenmäßige Umsetzung der geplanten Materialflussstrukturen in den Produktionsgebäuden. Der Industrial Engineer kann sich durch eine 3D-Visualisierung einen Eindruck der künftigen Produktion verschaffen und somit Probleme im Layout-Design frühzeitig erkennen. Dem Industrial Engineer stehen 3D-CAD-Systeme zur Verfügung, die oft schon für die Konstruktion der Maschinen und Anlagen zum Einsatz kommen. Mit Virtual Reality Systemen (VR-Systemen) kann sich der Industrial Engineer vorab virtuell durch die künftige Produktion bewegen und somit einen realitätsnahen Eindruck des Layouts erhalten. Layoutplanungssysteme in Form von Planungstischen ermöglichen zusätzlich zur Visualisierung eine partizipative Planung, so dass die Layoutgestaltung durch mehrere Planer aktiv erfolgen kann. Dies bietet gerade bei dem kreativen Teil der Planung Vorteile, da die Ideen der Beteiligten schnell umgesetzt und diskutiert werden können.

Logistische Dimensionierung

In der logistischen Dimensionierung erfolgt die Feinplanung des, in der Produktionsstrukturierung festgelegten Material- und Informationsflusses. Dieser Bereich kann wiederum durch Materialflusssimulationen unterstützt werden. So können die Auswirkungen von Losgrößenveränderungen wie auch der Einsatz verschiedener Steuerungsprinzipien getestet und evaluiert werden. Somit lassen sich die Bestände im Materialkreislauf vor Produktionsbeginn optimieren und die Puffergrößen auf ein Minimum reduzieren.

Feinplanung

Im Rahmen der Arbeitsorganisation wird vor allem die Gestaltung von Arbeitsplätzen durch die Digitale Fabrik unterstützt. Für die Ergonomiebewertung manueller Arbeitsplätze eignen sich Ergonomiesimulationen, um die körperlichen Belastungen für die Mitarbeiter zu identifizieren, zu bewerten und daraus Gegenmaßnahmen abzuleiten. Mit Prozessplanungssystemen, die auch im Bereich der Arbeitsablaufplanung zum Einsatz kommen lassen sich detaillierte Arbeitsplätze abbilden, Arbeitsabläufe simulieren und bewerten. Zusammen mit Ergonomiebewertungen können somit kritische Bewegungsabläufe durch die räumliche Anordnung oder veränderte Prozessabläufe vermieden und Arbeitsplätze vor Produktionsstart optimiert werden. Mit 3D-CAD-Systemen und VR-Systemen kann sich der Industrial Engineer realitätsnah im Arbeitssystem bewegen und somit Schwachstellen identifizieren.

Für die Feinlayoutplanung zur Erstellung des detaillierten Maschinenaufstellungsplans kommen mit 3D-CAD-Systemen, VR-Systemen und Layoutplanungssystemen (Planungstisch) dieselben Werkzeuge zum Einsatz, wie im Bereich der Layoutplanung. Damit kann direkt auf den vorherigen Ergebnissen der Layoutplanung aufgebaut werden. Die Programmierung von automatisierten Anlagen kann mit Robotersimulationssystemen erfolgen. Im Idealfall kann der gesamte Produktionsprozess Offline programmiert und getestet werden, so dass Stillstandszeiten und Anlaufschwierigkeiten in der Produktion verringert werden können. Kann die Programmierung nicht komplett Offline erfolgen, können zumindest die Grundzüge der Programme vorbereitet werden und somit eine schnellere Umsetzung erfolgen als durch das reine Teachin/Programmieren der Anlagen.

Realisierungsphase

In der Realisierungsphase lassen sich die Projektmanagementmethoden mit Werkzeugen der Netzplantechnik und Kommunikationssystemen unterstützen.

Fabrikbetrieb

Für die Produktionsplanung und steuerung sowie das Controlling kann der Industrial Engineer auf ERP- und MES-Systeme mit BDE-, MDE-, PZE- und QDE-Funktionalitäten zurückgreifen, die auch im Bereich der IST-Analyse zum Einsatz kommen. Mit diesen Systemen erfolgt die Einlastung von Kundenaufträgen in die Produktion. Die Systeme unterstützen dabei die Mengen-, Termin- und Kapazitätsplanung, so dass sich Engpässe frühzeitig erkennen lassen und entsprechende Vorkehrungen getroffen werden können. Durch die aktiven Rückmeldedaten aus der Produktion können kurzfristige Turbulenzen in den Grenzen des aktuellen Produktionssystems bewältigt werden. Beispielsweise kann ein dynamischer Kapazitätsausgleich erfolgen, um eine Überlastung einzelner Ressourcen zu verhindern oder bei Störungen einzugreifen.

Zusammenfassung

Die Planungsaufgaben der, in Kapitel 4.2.2 vorgestellten, Vorgehensweise zur Planung und Optimierung von Produktionsprozessen kann durch eine Vielzahl von Methoden und Werkzeugen der Digitalen und Virtuellen Fabrik unterstützt werden. Somit können die Planungsergebnisse vor ihrer Umsetzung besser abgesichert werden. Neben der Erhöhung der Planungsqualität wird auch eine Beschleunigung des Planungsablaufs erreicht. Die Zuordnung der Werkzeuge der Digitalen Fabrik zu den einzelnen Planungsaufgaben ist in Abbildung 4-5 dargestellt.

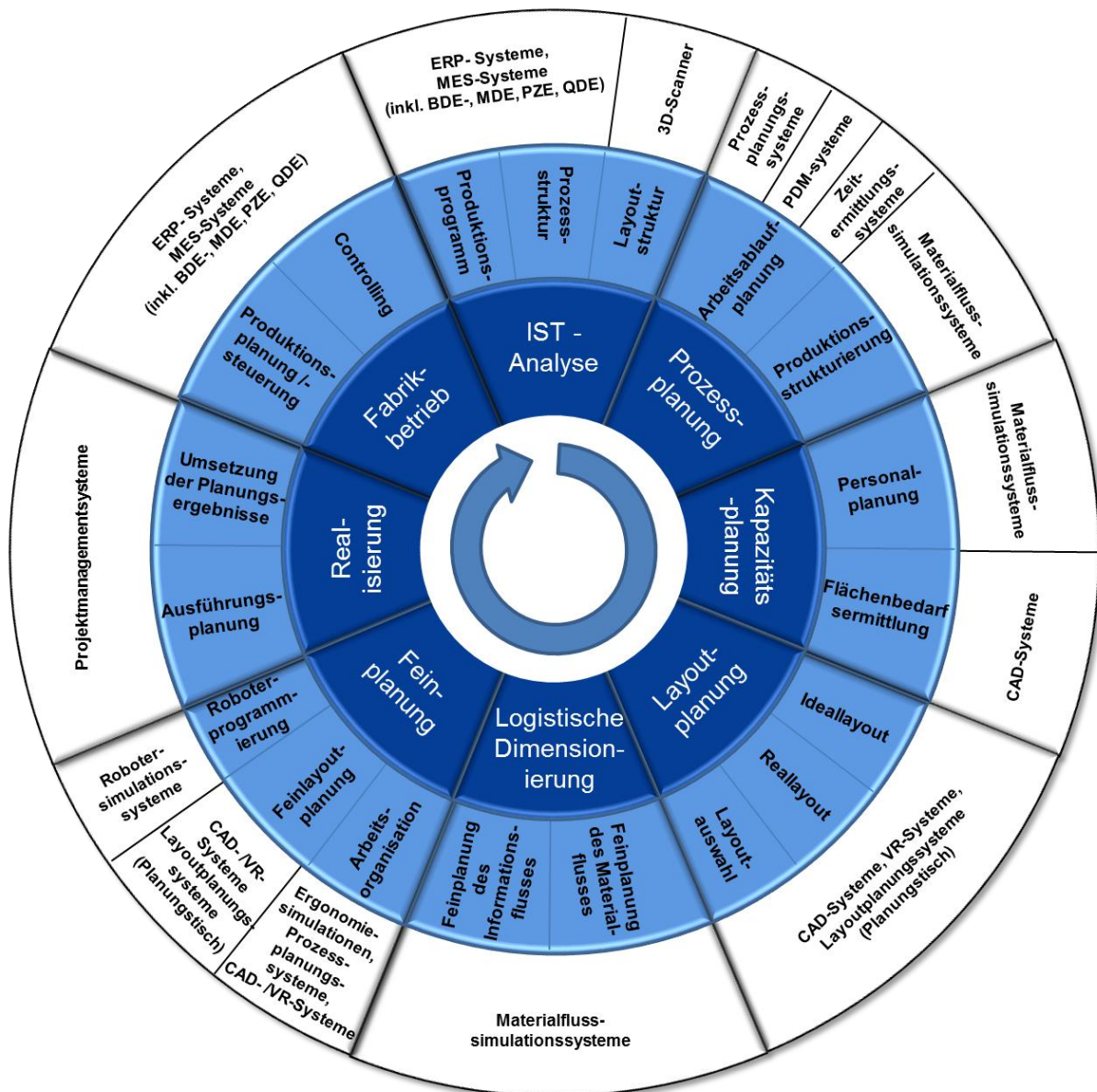


Abbildung 4-5: Zuordnung der Werkzeuge zur jeweiligen Aufgabe eines Planungsabschnitts

4.2.4 Turbulenzen als Auslöser von Veränderungsplanungen

Die Turbulenzen als Auslöser von Veränderungsplanungen lassen sich, wie in Kapitel 1.1 dargestellt, sowohl in interne und externe Turbulenzquellen als auch zeitlich in kurz-, mittel- und langfristig gliedern. Zunächst gilt es, Indikatoren für die Identifikation der Turbulenzen zu ermitteln, um den Ausgangspunkt für die Planung und Optimierung der Produktion bestimmen zu können. Anschließend werden die Auswirkungen der Turbulenzen auf die Produktion untersucht, bevor Handlungsoptionen als Gegenmaßnahmen abgeleitet werden können. Dabei ist es wichtig, den Zusammenhang

zwischen den einzelnen Turbulenzen und den Planungsprozessen herzustellen, die erforderlich sind, um die Turbulenzen zu bewältigen.

4.2.4.1 Identifikation von Turbulenzindikatoren

Die Konzeption einer Lernfabrik für die variantenreiche Montage bewegt sich im Rahmen der kurz- und mittelfristigen Turbulenzen, die die Produktion direkt beeinflussen und eine schnelle Reaktionsfähigkeit im Unternehmen erfordern. Die in Kapitel 1.1 identifizierten wesentlichen Herausforderungen in der Produktion (s. Abbildung 1-2), die sich aus Unternehmenssicht stellen, werden im Folgenden analysiert, um Indikatoren zur Turbulenzidentifikation zu ermitteln. Anhand der Indikatoren kann im weiteren Verlauf die Festlegung einer Planungsvorgehensweise zur Turbulenzbewältigung aufgestellt werden.

Kurzfristige Turbulenzen

Die externen Turbulenzen „Änderungen des Bedarfstermins (Kunde)“, „Mengenänderungen eines Auftrags (Kunde)“ sowie die „Änderungen an der Produktkonfiguration (Kunde)“ lassen sich aus dem aktuellen Auftragseingang ableiten und können durch intensive Abstimmung mit dem Vertrieb frühzeitig identifiziert werden.

Die interne Turbulenz „Organisatorische Störungen“, wie der Ausfall eines Mitarbeiters lassen sich ebenso wie fehlende oder inkorrekte Informationen an Prozessen, nicht vorhersehen und können nur durch Meldungen der Mitarbeiter erkannt werden. „Technische Störungen“ lassen sich, wenn sie mithilfe von Instandhaltungsstrategien erkennbar sind, durch Monitoringsysteme identifizieren. Nicht vorhersehbare Ressourcenausfälle, wie das Versagen eines Lagers, können erst nach dem Auftreten anhand einer Störungsmeldung (automatisiert oder durch Mitarbeiter) erkannt werden.

Mittelfristige Turbulenzen

Die externen Turbulenzen „Änderungen der Nachfragemenge“, „Änderungen der Lieferbedingungen (Preis, Qualität und Zeit)“ sowie eine „Verschiebung des Produktmixes“ können anhand von Vergleichen des aktuellen Auftragseingangs zu vorangegangenen Perioden oder der erwarteten Prognose der Vertriebszahlen ermittelt werden. Der Grad der Abweichung stellt eine wesentliche Information zur Turbulenzbewältigung dar.

„Technologische Veränderungen bei Produkten und Prozessen“ lassen sich durch Kommunikation im Unternehmen mit der F&E-Abteilung bzw. durch Beobachtung der Wettbewerber und deren Produkte identifizieren.

Die interne Turbulenz „Steigende Variantenzahl“ äußert sich in dem angebotenen Produktmix und kann durch unternehmensinterne Kommunikation mit der Entwicklung,

dem Vertrieb und der Unternehmensleitung frühzeitig erkannt werden. „Veränderungen der Unternehmensziele“ werden direkt von der Unternehmensleitung kommuniziert und äußern sich in veränderten Vorgaben hinsichtlich der Kriterien Zeit, Kosten und Qualität, an denen sich die Produktion orientieren muss. Der „Abfluss von Know-how durch Mitarbeiterfluktuation“ zeigt sich an der Zahl der Kündigungen und der Zeit der Betriebszugehörigkeit in den einzelnen Unternehmensbereichen.

Abbildung 4-6 zeigt den Zusammenhang zwischen Turbulenzkeimen und Turbulenzindikatoren für die wesentlichen kurz- und mittelfristigen Turbulenzen.

		Turbulenzkeime	Indikatoren
kurzfristige Turbulenzen	externe Turbulenzen	Änderungen des Bedarfstermins (Kunde)	Änderung des Termins des aktuellen Auftrags
		Mengenänderungen eines Auftrags (Kunde)	Bedarfsänderung des aktuellen Auftrags
		Änderungen der Produktkonfiguration (Kunde)	Änderung des aktuellen Auftrags
	interne Turbulenzen	Organisatorische Störungen	Meldungen der Mitarbeiter
		Technische Störungen	Störungsmeldung (automatisiert oder durch einen Mitarbeiter)
mittelfristige Turbulenzen	externe Turbulenzen	Änderungen der Nachfragemenge	Vergleich Höhe der Nachfrage des aktuellen Auftragseingang mit vorangegangene Perioden und vorausschauenden Prognosen
		Änderungen der Lieferbedingungen (Preis, Qualität, Zeit)	Vergleich Bedingungen des aktuellen Auftragseingang mit vorangegangene Perioden und vorausschauenden Prognosen
		Verschiebung des Produktmixes	Vergleich aktueller Produktmix mit dem vorangegangener Perioden und vorausschauenden Prognosen
		Technologische Veränderungen bei Produkten	Kommunikation mit F&E-Abteilung Beobachtung Wettbewerb
		Technologische Veränderungen bei Produktionsprozessen	Kommunikation mit F&E-Abteilung Beobachtung Wettbewerb
		interne Turbulenzen	Steigende Variantenzahl
	Veränderungen der Unternehmensziele		Veränderte Vorgaben hinsichtlich der Kriterien Zeit, Kosten, Qualität
	Abfluss von Know-how durch Mitarbeiterfluktuation		Zahl der Kündigungen, Zeit der Betriebszugehörigkeit in Unternehmensbereichen

Abbildung 4-6: Zusammenhang zwischen Turbulenzkeimen und Turbulenzindikatoren

4.2.4.2 Auswirkungen der Turbulenzen auf die laufende Produktion

Die Auswirkungen der Turbulenzen auf die Produktion zeigen einerseits, wie Turbulenzen den optimalen Produktionsablauf negativ beeinflussen können, und andererseits welche Bereiche in den Handlungsoptionen berücksichtigt werden müssen.

Kurzfristige Turbulenzen

„Änderungen des Bedarfstermins (Kunde)“, „Mengenänderung eines Auftrags (Kunde)“ sowie die „Änderungen an der Produktkonfiguration (Kunde)“ führen alle zu einer kurzfristigen Veränderung des Produktmixes. In der Produktion wirkt sich dies auf die Prozessabläufe und die zeitbezogene Kapazitätsverteilung aus, die je nach Grad der Veränderung aus dem Gleichgewicht gebracht werden kann. Durch die veränderte Auslastung von Maschinen und Anlagen können nicht eingeplante Engpässe entstehen, die längere Auftragsdurchlaufzeiten und Lieferzeiten verursachen können. Aber auch Probleme mit der Materialverfügbarkeit können entstehen, wenn große Veränderungen eintreten oder Spezialkomponenten benötigt werden.

„Organisatorische Störungen“, wie der Ausfall eines Mitarbeiters, führen im schlimmsten Fall zu einem Ausfall der betroffenen Maschine / Anlage, in der Regel aber immer zu einer Veränderung der Kapazitätsbelastung von anderen Mitarbeitern und den von ihnen betreuten Maschinen und Anlagen. Fehlende oder inkorrekte Informationen können Arbeitsschritte verzögern, da die Informationen z. B. Arbeitsanweisungen erst beschafft werden müssen. Die längere Durchlaufzeit an einzelnen Stationen kann einen getakteten Gesamtablauf aus dem Gleichgewicht bringen.

„Technische Störungen“ führen zum vorübergehenden Ausfall einer Maschine / Anlage oder zumindest dazu, dass nicht die gesamte Bandbreite der Funktionalität zur Verfügung steht. Ein Ressourcenausfall führt zu Veränderungen der Kapazitätsbelastung andere Maschinen und Anlagen und damit zu einer veränderten Kapazitätsverteilung. Dies kann, wie bei der Änderung des Produktmixes, zu längeren Auftragsdurchlaufzeiten und somit zu Lieferverzögerungen führen.

Mittelfristige Turbulenzen

Die „Änderungen der Nachfragemenge“ und die „Verschiebung des Produktmixes“ führen zu Veränderungen der Kapazitätsbelastung der Maschinen und Anlagen und können somit zu einer Verschiebung der Engpässe, längeren Auftragsdurchlaufzeiten und längeren Lieferzeiten sowie Materialengpässen führen. Die Auswirkungen sind zunächst mit denen einer kurzfristigen Produktmixveränderung identisch. Sie können sich aber mit fortschreitender Zeitdauer deutlich vergrößern.

„Änderungen der Lieferbedingungen (Preis, Qualität und Zeit)“ können bei Erhöhung von Qualitätsanforderungen zu Änderungen der Maschinenbelegung führen. Eine Verschiebung auf andere Maschinen und Anlagen kann auch bei Preis- und Zeitanforderungen notwendig sein. Die Verkürzung von Lieferzeiten kann auch ein Vorziehen eines Auftrags erfordern und somit die Auftragsreihenfolge und die Kapazitätsplanung durcheinander bringen.

„Technologische Veränderungen bei Produkten und Prozessen“ machen eine Integration von neuen, veränderten Arbeitsschritten im Arbeitsplan erforderlich. Bei Produktänderungen können die Prozesse auf vorhandenen oder neuen Maschinen und Anlagen ausgeführt werden, bei technologischen Prozessänderungen im Normalfall nur mit neuen Maschinen und Anlagen. Die Integration neuer Maschinen und Anlagen führt zu Veränderungen der Arbeitspläne, des Materialflusses, der Layoutstruktur sowie einem veränderten Kapazitätsbedarfs bei den Maschinen und Anlagen. Werden Produktänderungen auf aktuellen Ressourcen ausgeführt, kann dies Auswirkungen auf die erforderlichen Vorrichtungen und Werkzeuge, den Materialfluss und den Kapazitätsbedarf der Maschinen und Anlagen haben

Eine „steigende Variantenzahl führt, sofern neue Varianten vom Kunden angenommen und bestellt werden, zu einer Produktmixverschiebung oder eventuell zu technologischen Veränderungen bei Produkten und Prozessen und den damit verbundenen Auswirkungen. Die „Veränderung von Unternehmenszielen“ kann sich je nach Grad der Veränderung bis zur kompletten Neuordnung der Produktionsstrukturen auswirken. Interne Veränderungen bei Kosten, Qualität und Zeit haben generell dieselben Auswirkungen wie die extern angetriggerte Veränderung von Lieferbedingungen durch den Kunden.

Der „Abfluss von Know-how durch Mitarbeiterfluktuation“ spiegelt sich häufig in Zeitverzögerungen und Qualitätsproblemen bei einzelnen Produktionsprozessen wider, da neu angelernte Mitarbeiter eine gewisse Zeitdauer benötigen, bis sie den Produktionsprozess beherrschen.

Zusammenfassung

Alle kurzfristigen Turbulenzen führen letztendlich zu Veränderungen der Kapazitätsbelastung, die zu längeren Auftragsdurchlaufzeiten und somit zu Lieferterminverzögerungen führen kann.

Die mittelfristigen Turbulenzen wirken sich zwar auch alle auf die Termin- und Kapazitätsplanung aus, der Grad des Einflusses ist jedoch stärker als bei den kurzfristigen Turbulenzen und erfordert daher umfangreichere Maßnahmen, die aufgrund des Zeithorizontes in der Planung ausführlich angegangen werden können. Des Weiteren sind

Auswirkungen auf die Prozessabläufe und Produktionsstrukturen zu bewältigen, die vor allem durch die Integration neuer Produkte und Technologien sowie die Rahmenbedingungen in Form von veränderten Lieferbedingungen und Unternehmenszielen ausgelöst werden.

4.2.4.3 Handlungsoptionen zur Bewältigung von Turbulenzen

Anhand der Turbulenzindikatoren und den Auswirkungen der Turbulenzen auf die Produktion lassen sich Handlungsoptionen ableiten. Die Turbulenzindikatoren stellen den Auslöser für den Anstoß von Veränderungen dar, wenn gesetzte Schwellwerte über- oder unterschritten werden. Je nachdem wie stark die Abweichungen sind und in welchem Zeitraum diese zu erwarten sind, ist die Intensität der Gegenmaßnahmen auszuwählen. Aufgrund der komplexen Zusammenhänge innerhalb der Produktion und mit ihrer Umwelt ist es nicht möglich, einen fertigen Katalog an Handlungsoptionen für den Industrial Engineer zusammenzustellen. Dem Industrial Engineer können Handlungsoptionen für die wesentlichen Stellhebel zur Turbulenzbewältigung an die Hand gegeben werden, die je nach Bedarf auszugestalten und umzusetzen sind.

Dazu werden im Folgenden für die einzelnen Turbulenzen die Planungsabschnitte identifiziert, die in die Turbulenzbewältigung einbezogen werden müssen. In den jeweiligen Planungsabschnitten stehen dem IE Methoden und Werkzeuge zur Verfügung, mit denen die Turbulenzbewältigung situationsbezogen durchgeführt werden kann.

Kurzfristige Turbulenzen

Aufgrund der kurzfristigen Reaktionszeit von Stunden bis wenigen Tagen und der betriebswirtschaftlichen Kosten-Nutzen-Rechnung ist der Handlungsspielraum für Adaptionen natürlich eingeschränkt. Umfangreiche Planungsprozesse können somit nicht angestoßen werden, da diese in der Planung und Umsetzung zu kostenintensiv sind.

Die drei externen kurzfristigen Turbulenzen „Änderungen des Bedarfstermins (Kunde)“, „Mengenänderungen eines Auftrags (Kunde)“ und „Änderungen an der Produktkonfiguration (Kunde)“ führen allesamt zu einer Veränderung des aktuellen Produktmixes. Ausgangspunkt für eine optimale Ausrichtung der Produktion ist der aktuelle IST-Zustand der Produktion mit Fokus auf das Produktionsprogramm und den vorhandenen Kapazitätsangebot. Bei Bedarf können Veränderungen in der Arbeitsorganisation vorgenommen werden. Der Schwerpunkt liegt jedoch in der Produktionsplanung und -steuerung, die die Termin- und Kapazitätsplanung an die neuen Gegebenheiten anpasst. Sollten weitere automatisierte Montagesysteme einbezogen werden, sind diese den Anforderungen entsprechend zu integrieren und die Roboterprogramme zu erstellen.

Für die internen kurzfristigen Turbulenzen ergeben sich unterschiedliche Vorgehensweisen. „Organisatorischen Störungen“ wie z. B. der Ausfall eines Mitarbeiters kann schon im Vorfeld durch Weiterqualifikation der Mitarbeiter im Produktionsbereich und der damit verbundenen Verschiebbarkeit von Kapazitäten innerhalb von Produktionsbereichen begegnet werden. Wenn eine im betroffenen Produktionsbereich selbstständige Kapazitätsanpassung durch Verschiebung von Arbeitsinhalten nicht ausreicht, muss eine Anpassung der Kapazitätsplanung erfolgen. Dies kann in der Arbeitsorganisation sowie durch die Termin- und Kapazitätsplanung im Rahmen der Produktionsplanung und -steuerung geschehen. Werden in Produktionsprozessen neue Mitarbeiter eingesetzt, müssen diese vor Produktionsbeginn eingewiesen werden.

Bei „technischen Störungen“ gilt es, Maßnahmen je nach Reparaturdauer und der automatisierten Einbindung in das Gesamtsystem auszuwählen. Bei kurzfristigen Störungen sind Veränderungen in der Termin- und Kapazitätsplanung sowie Verlagerungen an manuelle Arbeitsplätze vorzunehmen. Somit ist neben einer IST-Analyse des Produktionsprogrammes und der Prozessstrukturen eine Anpassung der Arbeitsorganisation durchzuführen, bevor die Termin- und Kapazitätsplanung in der Produktionsplanung und -steuerung erfolgen kann. Eine längere Ausfallzeit kann wie eine technologische Veränderung bei Produktionsprozessen behandelt werden. Sie wird im folgenden Abschnitt erläutert. Die Wahrscheinlichkeit für solch langfristige Ausfälle ist jedoch sehr gering, da in den Unternehmen meist umfangreiche Ersatzteilkonzepte existieren bzw. der Service der Maschinenhersteller in der Regel kurzfristig reagieren kann.

Mittelfristige Turbulenzen

Bei mittelfristigen Turbulenzen liegt die Reaktionszeit bei Wochen oder Monaten. Es handelt sich dabei um Veränderungen, die bei externem Einfluss frühzeitig auf der Marktseite erkennbar sind bzw. einem Trendverlauf entsprechen und bei internem Einfluss im Unternehmen kommuniziert werden müssen. Zur Bewältigung mittelfristiger Turbulenzen werden stets alle Planungsabschnitte von der IST-Analyse, über die Prozess- und Kapazitätsplanung, die Layoutplanung und die logistische Dimensionierung bis hin zur Feinplanung und der anschließenden Realisierung bis hin zu den operativen Planungsprozessen im Fabrikbetrieb durchlaufen. Im Folgenden werden die Planungsschwerpunkte vorgestellt, die sich für die einzelnen Turbulenzen ergeben. Die detaillierten Planungsaufgaben, die mit den Methoden und Werkzeugen des IE bearbeitet werden können, sind von der individuellen Unternehmenssituation abhängig und müssen für jeden Fall neu identifiziert werden.

Einer „Änderungen der Nachfragemenge“ wird wie bei der kurzfristigen Turbulenz mit einer Veränderung des Produktmixes begegnet, wobei der Umfang der Planung und die Veränderungsmöglichkeiten ausgeweitet werden. Ausgangspunkt für eine optimale Ausrichtung der Produktion ist der aktuelle IST-Zustand der Produktion mit Fokus auf dem künftigen Produktionsprogramm und den vorhandenen Kapazitäten. Im Wesentlichen gilt es, die Produktionsstrukturen und die Produktionssteuerung an die neuen Gegebenheiten anzupassen. Aus den Veränderungen des Material- und Informationsflusses ergeben sich Anforderungen an die Layoutplanung, um Transportwege und Lagerflächen zu optimieren. Dazu kommen dann Anpassungen in der Arbeitsorganisation und die Umgestaltung von Arbeitsplätzen, bevor während der Realisierung der Planungsergebnisse die Mitarbeiter eingewiesen werden können. Abschließend erfolgt in der Produktionsplanung und -steuerung die detaillierte Termin- und Kapazitätsplanung.

Eine „Verschiebungen des Produktmixes“ beinhaltet die oben genannte „Änderungen der Nachfragemenge“ und erweitert diesen Aspekt um die Integration neuer Produkte und Produktkomponenten. Somit sind nach der IST-Analyse des Ausgangszustands die klassischen Schritte der Arbeitsablaufplanung wie die Entwicklung der Arbeitspläne und die damit verbundene Werkstoffauswahl, die Auswahl und Gestaltung der Betriebsmittel und Maschinen auszuführen, bevor mit der Produktionsstrukturierung und -steuerung, der Layoutplanung und Arbeitsorganisation fortgefahren werden kann. Den Abschluss bildet auch hier die Produktionsplanung und -steuerung.

Die „technologischen Veränderungen bei Produkten und Produktionsprozessen“ spiegeln sich in neuen Produktionsprozessen wieder, die in der Arbeitsablaufplanung in die bisherigen Produktionsprozesse integriert werden müssen. In der Regel werden für die neuen Produktionsprozesse neue Maschinen und Anlagen benötigt, die in den Material- und Informationsfluss aufgenommen werden müssen. Daraus ergeben sich dann Veränderungen an den Produktionsstrukturen und der Produktionssteuerung, die sich auf die Layoutplanung und die Arbeitsorganisation auswirken. Es handelt sich also um dieselben Schwerpunkte wie bei einer „Verschiebungen des Produktmixes“.

Eine „steigende Variantenzahl“ gleicht ebenfalls einer „Verschiebungen des Produktmixes“. Eine steigende Variantenzahl führt jedoch zwangsläufig zu einer Stückzahlreduzierung der einzelnen Varianten, so dass der Fokus auf der Anpassung der Produktionsstrukturierung und -steuerung liegt. Werden hier Veränderungen, wie z. B. die Umstellung einer kundenanonymen auf eine kundenbezogene Produktion, für einzelne Produkte vorgenommen, hat dies unter Umständen Auswirkungen auf das Layout und die Arbeitsorganisation.

Einer „Änderungen der Lieferbedingungen (Preis, Qualität und Zeit)“ dem Kunden gegenüber äußert sich wie „Veränderungen der Unternehmensziele“ in veränderten Rahmenbedingungen für die Planung und wird in den Planungsprozessen einer prozessorientierten Leistungseinheit, wie sie in Kapitel 4.1.1.1 vorgestellt wurde, berücksichtigt.

Zusammenfassung

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass für die Bewältigung der verschiedenen Turbulenzen unterschiedliche Planungsprozesse mit unterschiedlichem Umfang benötigt werden.

Für kurzfristige Turbulenzen ist in der Regel eine IST-Analyse des künftigen Produktionsprogrammes und der Prozessstrukturen ausreichend, um Gegenmaßnahmen in der Produktionsplanung und -steuerung ergreifen zu können.

Für mittelfristige Turbulenzen kann aufgrund der größeren Zeitspanne mit umfangreichen Planungen reagiert werden, wobei jeweils alle Planungsabschnitte von der IST-Analyse bis zur Realisierung und den operativen Planungen im Fabrikbetrieb durchlaufen werden. Die erforderlichen Adaptionen der jeweiligen Planungsprozesse sind dabei von den Rahmenbedingungen und den aktuellen Produktionsstrukturen abhängig und muss auf die jeweilige Situation individuell angepasst werden.

Der aufgezeigte Zusammenhang zwischen den Turbulenzen und den erforderlichen Adaptionen zur Turbulenzbewältigung stellt die Grundlage für die inhaltliche Ausarbeitung des Qualifizierungskonzepts dar (s. Abbildung 4-7).

Turbulenzen Planungsaufgaben	Kurzfristige Turbulenzen					Mittelfristige Turbulenzen						Veränderungen der Unternehmensziele	
	Änderungen des Bedarfstermins (Kunde)	Mengenänderungen eines Auftrags (Kunde)	Änderungen der Produkt-konfiguration (Kunde)	Organisatorische Störungen	Technische Störungen	Änderungen der Nachfragemenge	Änderungen der Lieferbedingungen (Preis, Qualität, Zeit)	Verschiebung des Produktmixes	Technolog. Veränderungen bei Produkten	Technolog. Veränderungen bei Produktionsprozessen	Steigende Variantenzahl		
IST-Analyse	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	Veränderungen der Unternehmensziele spiegeln sich in veränderten Rahmenbedingungen für die Planung wider und führen zu einer Neubewertung der Turbul
Produktionsprogramm	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
Prozessstruktur					X	X	X	X	X	X	X	X	
Layoutstruktur						X	X	X	X	X	X	X	
Prozessplanung						X	X	X	X	X	X	X	
Arbeitsplanung						X	X	X	X	X	X	X	
Produktionsstrukturierung						X	X	X	X	X	X	X	
Kapazitätsplanung						X	X	X	X	X	X	X	
Personalplanung						X	X	X	X	X	X	X	
Flächenplanung						X	X	X	X	X	X	X	
Layoutplanung						X	X	X	X	X	X	X	
Ideallayout						X	X	X	X	X	X	X	
Reallayout						X	X	X	X	X	X	X	
Layoutauswahl						X	X	X	X	X	X	X	
Logistische Dimensionierung						X	X	X	X	X	X	X	
Dimensionierung der Produktionssteuerung						X	X	X	X	X	X	X	
Produktionssteuerung						X	X	X	X	X	X	X	
Feinplanung der Produktion	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
Arbeitsorganisation	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
Feinlayoutplanung						X	X	X	X	X	X	X	
Roboterprogrammierung	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
Realisierung	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
Ausführungsplanung						X	X	X	X	X	X	X	
Umsetzung der Planungsergebnisse	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
Fabrikbetrieb	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
Produktionsplanung	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
Produktionssteuerung/Controlling	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	

Abbildung 4-7: Zusammenhang zwischen den Turbulenzen und den Planungsaufgaben zur Turbulenzbewältigung

4.3 Entwicklung eines Qualifizierungskonzepts für Industrial Engineers

Für die Nutzung einer Lernfabrik für die variantenreiche Montage mit dem Ziel ein neues Verständnis des Industrial Engineerings zu vermitteln und die Potentiale der Digitalen Fabrik und modularer, wandlungsfähiger Montagesysteme zu demonstrieren gilt es eine Qualifizierungskonzepts zu entwickeln. In Kapitel 3.5 wurden als Grundlagen didaktisch-methodische Qualifizierungskonzepte und Lehr-Lern-Methoden betrachtet. So wurden von traditionellen Lehr-Lern-Methoden wie dem Frontalunterricht über modernere Methoden wie dem e-Learning bis hin zu handlungsorientierten Methoden wie Planspiele hinsichtlich ihrer Eignung analysiert und diskutiert. Zur Entwicklung des Qualifizierungskonzepts wird das Modell von BONZ mit sechs methodischen Entscheidungsebenen (Gesamtkonzeption, Aktionsformen, Sozialformen, Artikulation, Lehrgriffe und Medien) herangezogen (s. Abbildung 4-8), um die Lehr-Lern-Prozesse sowohl durch die bestmöglichen Lernmethoden als auch eine dazu passende Lernumgebung optimal zu unterstützen.

Um Industrial Engineers auf ihre künftigen Aufgabenbereiche im Rahmen der Planung und Optimierung von Fabriken vorbereiten zu können und einen nachhaltigen Lernerfolg zu erreichen, ist es notwendig, Grundlagenwissen der täglichen Praxis zu wiederholen, um eine gemeinsame fachliche Basis der Lernenden zu gewährleisten. Auf diesen Grundlagen aufbauend gilt es, neue, von den Lernenden nicht ständig angewandte Methoden und Werkzeuge zu lehren und deren Potentiale für die Zielerreichung der Planungsaufgabe darzustellen. Dazu muss zunächst einmal das fachliche Know-how der Methoden vermittelt werden, um die Funktionsweise, die Einsatzgebiete und den Ablauf von Planungsmethoden kennenzulernen. Danach können die Methoden und Werkzeuge mit den Lernenden angewendet und trainiert werden, bevor sie selbstständig im Rahmen von realitätsnahen Szenarien eingesetzt werden können. Das gesamte Qualifizierungskonzept muss daher auf verschiedene Lernsituationen abgestimmt werden.

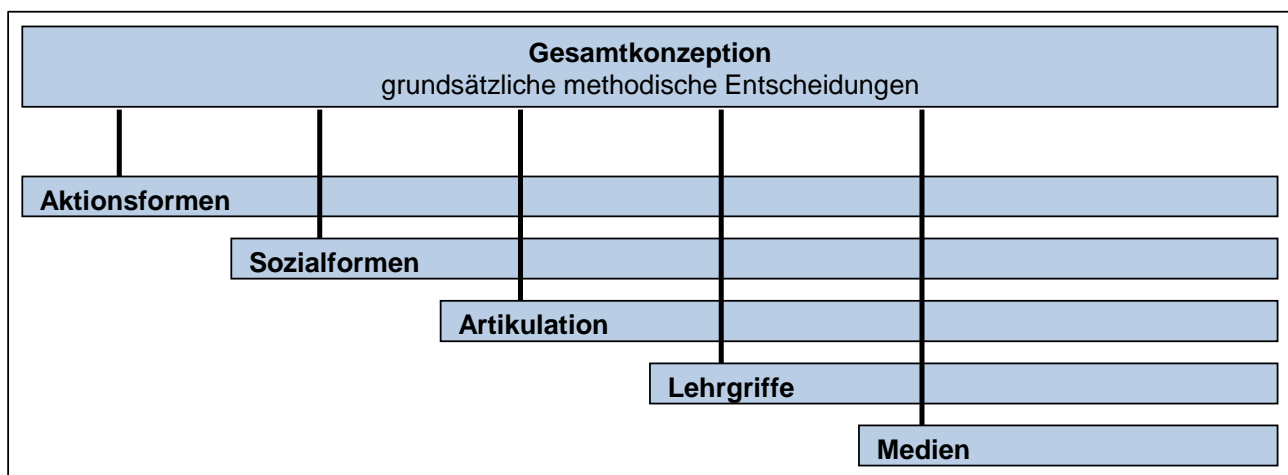


Abbildung 4-8: Entscheidungsebenen zum Aufbau eines Qualifizierungskonzepts
[nach Bonz 2009]

Für das Ziel, die Fach- und Methodenkompetenz der Industrial Engineers zu steigern, und damit die Handlungs- und Entscheidungskompetenz zu erhöhen, ist es erforderlich einen nachhaltigen Lernerfolg zu erreichen. Wie in Kapitel 2.6 gezeigt, kann durch das Ansprechen des gesamten Wahrnehmungsspektrums (Hören, Sehen, Diskutieren und Handeln) des Lernenden die höchste Quote des dauerhaften Behaltens von Informationen erzielt werden [Seifert/Weitz 1999, S. 10]. Handlungsorientierte Methoden unterstützen diesen Prozess indem realitätsnahe Problem- und Aufgabenstellungen von den Lernenden durch Überlegungen und praktische Tätigkeiten gelöst werden müssen. Es gilt, die Ausgangssituation zu analysieren, die Vorgehensweise zu planen, selbstständiges Überwinden von Schwierigkeiten bei der Ausführung und das Ergebnis der Handlung zu kontrollieren und zu bewerten. Mit dieser grundlegenden Vorgehensweise wird für das Qualifizierungskonzept generell eine offene Gesamtkonzeption gewählt, um den Lernenden eigene Erfahrungen zu ermöglichen. Sie können sich so mit den Lerninhalten auseinandersetzen, dass sie das Erlernte später in die tägliche Arbeit transferieren und anwenden können. In den Bereichen, in denen, für die Lernenden thematisch neue Inhalte erarbeitet werden, kann von der offenen Gesamtkonzeption abgewichen werden und das Wissen linear-zielgerichtet vermittelt werden [Bonz 2009b, S. 34], was für die reine Wissensvermittlung effektiver ist.

Im Folgenden wird die Methodenauswahl für das gesamte Qualifizierungskonzept durchgeführt, die letztendlich grundlegende Gestaltungsaspekte für die zu entwickelnde Lernumgebung festlegt. Als wesentliche Bereiche des Qualifizierungskonzepts werden die Wiederholung von Grundlagenwissen, das Erlernen neuer Methoden und Werkzeuge des IE sowie das selbstständige Anwenden durch die Lernenden betrachtet.

4.3.1 Methodenauswahl zur Reaktivierung der Grundlagen des klassischen Industrial Engineering

Die Wiederholung von Grundlagenwissen soll von den Lernenden vor Schulungsbeginn erfolgen. Dies bietet die Möglichkeit, methodische Vorgehensweisen aufzufrischen und vorhandene Lücken zu schließen (s. Abbildung 4-9). Hierfür eignet sich die offene Gesamtkonzeption, bei der der Lernweg vom Lernenden gewählt wird und das Lernergebnis mit Methoden des selbstgesteuerten Lernens erreicht wird. Der Lernende kann so die Lernschwerpunkte und den Lernaufwand an seinen eigenen Kenntnisstand anpassen.

Die Entscheidung einer offenen Gesamtkonzeption führt auf der zweiten Ebene zu der Entscheidung, eine indirekte Aktionsform zu wählen, um dem Ziel des selbstständigen Lernens nicht entgegenzuwirken. Da die Wiederholung von Grundwissen vor der

Qualifizierungsmaßnahme erfolgen soll, lassen sich viele handlungsorientierte Methoden nicht realisieren, so dass auf die selbstständige Alleinarbeit zurückgegriffen werden muss. Diese Methode eignet sich besonders zum Üben und Festigen von Kenntnissen. Dabei besteht ein individueller Zugriff auf die Informationen und Lernhilfen und der Lernende kann zeitlich unabhängig vorgehen. Die detaillierte Form der Anwendung wird in den folgenden Schritten festgelegt.

Für die Sozialformen bedeutet dies, dass die Position von Lernenden und Lehrenden keine Rolle spielt, jedoch eine Interaktionsmöglichkeit beider Parteien ermöglicht werden muss. Nachdem dieser Lernprozess nicht vor Ort in einer Lernumgebung geschehen kann, muss eine Kommunikationsform wie Telefon, Mail oder ein Lernprogramm gefunden werden.

Für die Artikulation der Grundlagenmethoden des klassischen Industrial Engineerings bietet sich folgende Strukturierung der Inhalte an. Nach den Einsatzgebieten und Funktionalitäten der Methoden können der Ablauf und die Vorgehensweise bei der jeweiligen Methode erläutert werden und mit Beispielen hinterlegt werden. Anschließend können Vor- und Nachteile aufgezeigt und kleinere Lernbeispiele zur Verfügung gestellt werden, sodass die Anwendung der Methode ersichtlich wird.

Lehrgriffe können bei der selbstständigen Alleinarbeit nur in Form von Fragen, Hinweisen und Impulsen erfolgen, da keine klassische Interaktion mit dem Lehrenden möglich ist. Der Lernende wird damit angeregt, über den Lerninhalt nachzudenken und sich mit den theoretischen Unterlagen auseinanderzusetzen. Fragen dienen der Lernzielkontrolle.

Aufgrund der indirekten Aktionsform sind als Medien in diesem Bereich Lernmittel einzusetzen, die den Lernenden für den selbstständigen Lernprozess motivieren. Hierzu bieten sich für die selbstständige Alleinarbeit, Arbeitsblätter und computerbasiertes Lernen mithilfe von e-Learning und Lernaufgaben an.

Beim Einsatz von e-Learning-Systemen ist zunächst auf die Leitungsfähigkeit bzgl. des Funktionsumfangs, der Darstellung von Lerninhalten und der Unterstützung von Lernprozessen zu achten. Für die Akzeptanz durch den Lernenden muss eine intuitive Bedienbarkeit des Systems berücksichtigt werden, was sich vor allem in der Benutzerführung und der Gestaltung der Benutzeroberfläche widerspiegelt. Für den Lehrenden ist es wichtig, die Lehrinhalte schnell und einfach anlegen, verändern und freischalten zu können, so dass den Lernenden aktuelle Lehrunterlagen zur Verfügung gestellt werden können.

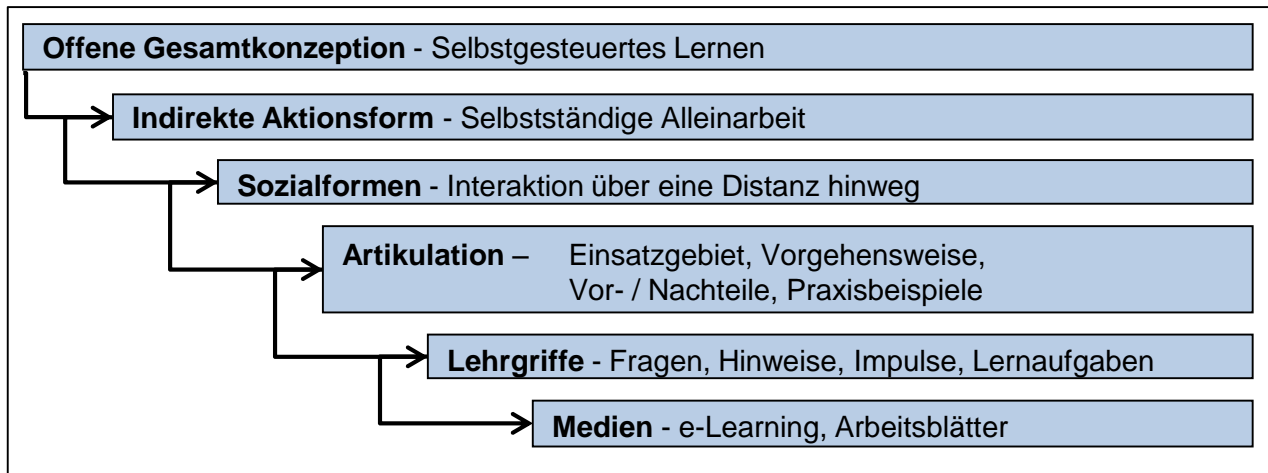


Abbildung 4-9: Methodenauswahl zur Reaktivierung der Grundlagen des klassischen IE

4.3.2 Methodenauswahl für das Erlernen neuer Methoden und Werkzeuge des Industrial Engineering

Für das Erlernen neuer Methoden und Werkzeuge des IE, die den Industrial Engineer in seinem künftigen Aufgabenspektrum unterstützen, wird zunächst auf ein linearzielgerichtetes Gesamtkonzept gesetzt, um den Prozess der Wissensvermittlung schnell und zielgerichtet vorantreiben zu können. Dies ist erforderlich, da die Lernenden mit den Methoden und Werkzeugen bis dahin noch keine bzw. wenig Erfahrung haben. Neben der reinen Wissensvermittlung sollen die Lernenden befähigt werden, die Planungsmethoden und Werkzeuge in engen Grenzen anwenden zu können. Dies stellt die Grundlage für den letzten Bereich, die selbstständige Anwendung der Methoden in komplexen Zusammenhängen und die Fähigkeit des Problemlösens dar, die im nächsten Lernabschnitt erreicht werden soll (s. Abbildung 4-10).

Für die Aktionsformen sind somit direkte Methoden zu wählen, um im Sinne der Gesamtkonzeption zu agieren. Der Lernprozess findet also in unmittelbarer Abhängigkeit von der lehrenden Person statt. Somit kommen für diesen Bereich nur die traditionellen Lernmethoden, bei denen der Lehrende das Lernziel durch Vorträge, Darbietungen, Fragen und Impulse zu erreichen versucht. Die Vier-Stufen-Methode als eine spezielle Form der Unterweisung bietet die Möglichkeit, einerseits Wissen wie beim Frontalunterricht direkt zu vermitteln und andererseits den Bezug zum Einsatzgebiet der Methoden und Werkzeuge in der Praxis herzustellen.

1. Im ersten Schritt, der Vorbereitung, kann das theoretische Wissen zur Vorgehensweise, den Eigenschaften und Funktionen, dem Einsatzgebiet, den Vor- und Nachteilen von Planungsmethoden und Werkzeugen vermittelt werden.
2. Im zweiten Schritt, der Vorführung, kann die Anwendung der Planungsmethoden und Werkzeuge anhand von Best-Practice-Beispielen erläutert werden.

3. Im dritten Schritt, der Ausführung, können die Lernenden dann die Planungsmethoden und Werkzeuge anhand von vorgefertigten Beispielen anwenden.
4. Im vierten Schritt, dem Üben, werden die Methoden und Werkzeuge von den Lernenden selbstständig eingesetzt, wobei der Lehrende kontrolliert, bei Problemen unterstützt und gegebenenfalls korrigiert. Ein wichtiger Punkt ist dabei der Abschluss der Unterweisung durch Reflexion der erarbeiteten Ergebnisse.

Im Rahmen der Vier-Stufen-Methode kann der Lernende seine bisherigen Erfahrungen mit ähnlichen Problemstellungen aus der Praxis einbringen und in Zusammenhang mit den neuen Planungsmethoden und Werkzeugen stellen. Somit wird das ganzheitliche Lernen zusätzlich unterstützt.

Als Sozialform für die Interaktion kommt für die Vier-Stufen-Methode die Hufeisen-, die Kreis- oder Gruppenform in Frage, da sowohl der Lehrende im Mittelpunkt stehen kann um in den ersten beiden Schritten Wissen zu vermitteln als auch die Lernenden einzeln oder zusammen an den Aufgaben in den Schritten drei und vier arbeiten können. Der Lehrende kann dabei seine Beobachtungs- und Kontrollfunktion ausüben, bei Bedarf eingreifen und die Übungen am Ende reflektieren.

Für die Artikulation bedeutet die Anwendung der Vier-Stufen-Methode, dass eine Gliederung in die klassischen drei Phasen des natürlichen Lernprozesses in Problembegegnung (erster Schritt), die eigentliche Lern- und Aneignungsphase (zweiter und dritter Schritt) und die Übungs- und Anwendungsphase (vierter Schritt) erfolgt.

Bei der Vier-Stufen-Methode kann der Lehrende eine Reihe von Lehrgriffen einsetzen, um den Lernprozess anzustoßen und das Lernziel, die Anwendung einzelnen Planungsmethoden und Werkzeuge zu erreichen. Im ersten Schritt stehen das Informieren und Hinweisen im Vordergrund. Dafür werden Lehrtechniken wie Präsentieren und Veranschaulichen genutzt. Im zweiten Schritt wird das Vormachen und Vorzeigen zusammen mit Hinweisen an Best-Practice-Beispielen angewandt. Dabei werden reale Problemstellungen, erarbeitete Lösungsmöglichkeiten und deren Umsetzung dargelegt. Im dritten Schritt kann der Lehrende Fragestellungen und Hinweise einsetzen, um das Anwenden der Methoden und Werkzeuge durch die Lernenden zu unterstützen. Im vierten Schritt finden Aufgaben und Problemstellungen ihre Anwendung, um einen strukturierten Einsatz der Methoden und Werkzeuge im Übungsprozess zu ermöglichen. Gezielte Fragen und Impulse können die Lernenden an die korrekte Anwendung erinnern und den Lernprozess hin zur Problemlösung unterstützen.

Als Medien stehen Skripte mit Erläuterungen zu den Methoden und Werkzeugen des IE sowie Präsentationen des Lehrenden zur Verfügung, die vor allem in den ersten beiden

Schritten der Vier-Stufen-Methode eingesetzt werden. Ansonsten stehen alle Präsentations- und Moderationsmittel zur Verfügung.

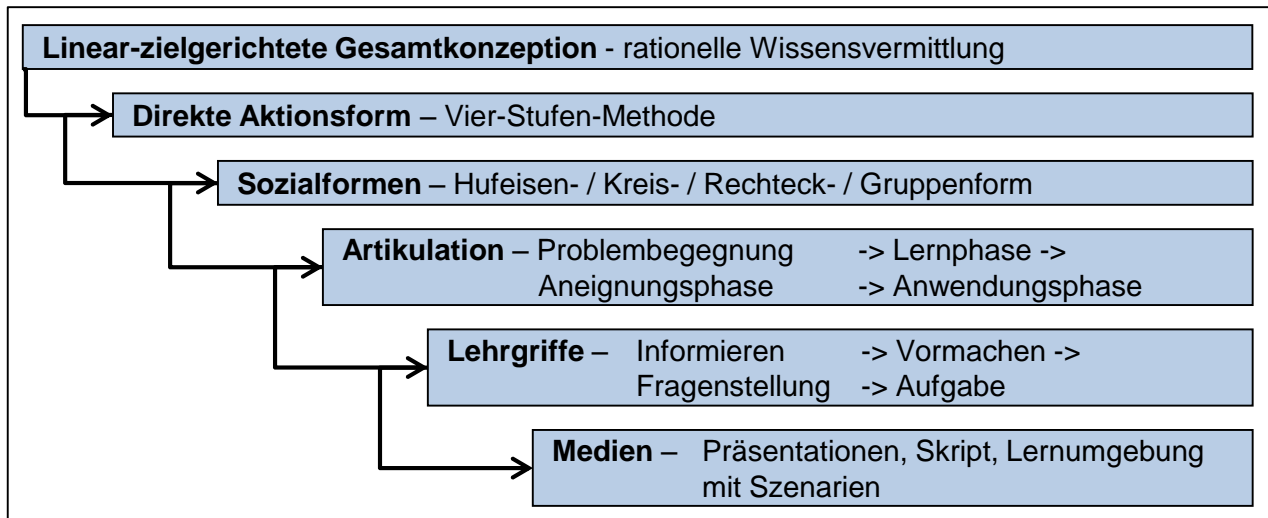


Abbildung 4-10: Methodenauswahl für das Erlernen neuer Planungsmethoden und Werkzeuge

4.3.3 Methodenauswahl zur selbstständigen Anwendung der IE-Methoden und Werkzeuge

Die selbstständige Anwendung neuer Methoden und Werkzeuge des IE sowie deren Zusammenspiel zur effektiven und effizienten Lösung komplexer Problemstellungen sind der entscheidende Punkt des Qualifizierungskonzeptes. Nur so kann der nachhaltige Lernerfolg und damit der Praxiseinsatz des Erlernten in den Unternehmen erreicht werden. Eine offene Gesamtkonzeption unterstützt die Zielsetzung in diesem Bereich, denn das entdeckende Lernen und die ganzheitlich-analysierende Vorgehensweise ermöglicht es den Lernenden sich mit einer Problemstellung auseinanderzusetzen und eine Lösung mithilfe der ihnen bekannten Methoden und Werkzeuge zu finden (s. Abbildung 4-11).

Die offene Gesamtkonzeption, bei der die Lernenden im Mittelpunkt stehen, führt bei den Aktionsformen zur Wahl von handlungsorientierten Methoden, die die Fach- und Methodenkompetenz der Lernenden stärken sollen. Aus den zahlreichen zur Verfügung stehenden Methoden wird das Planspiel ausgewählt, das die Erreichung der Lernziele am besten unterstützt und Vorteile gegenüber den anderen Methoden bietet. Planspiele eignen sich besonders gut, um Handlungskompetenz insbesondere für Entscheidungssituationen in komplexen Handlungsfeldern zu entwickeln. Unterrichtsgespräche scheiden aufgrund des geringen fachpraktischen Anteils und der somit fehlenden Umsetzung von Planungsergebnissen aus. In Rollenspielen übernehmen die Lernenden Rollen in simulierten Situationen. Dabei steht kommunikatives und fachliches Verhalten im Vordergrund, jedoch nicht das planende Handeln wie bei

Planspielen. Im Gegensatz zur Projektmethode können Problemsituationen zeitlich gestrafft werden und das Handeln und Erleben verschiedener Rollensituationen im Zeitrafferprinzip thematisiert werden. Fallstudien werden ausgeschlossen, da mit Planspielen komplexere und damit realitätsnähere Aufgaben bearbeitet werden. Gruppenunterricht ist in Planspielen enthalten.

Am Anfang eines Planspiels steht eine komplexe Problemstellung oder eine realitätsbezogene Aufgabenstellung für die Lernenden. Den Aufgaben des Industrial Engineering entsprechend wird hierfür eine Ausgangssituation in einer Fabrik benötigt, auf die interne und externe Turbulenzen einwirken und als Auslöser für eine Adaption der Produktionsprozesse dienen. Nach der Vorstellung der Ausgangssituation und den Rahmenbedingungen des Spielverlaufs können die Spielrunden starten, die in Gruppenarbeit ausgeführt werden. Die Gruppenmitglieder müssen anschließend die Aufgabenstellung selbstständig im Team bearbeiten. Die Lernenden übernehmen Rollen im Unternehmen, die sie im Beruf entweder schon bekleiden oder aber mit denen sie in Zukunft betraut werden. Dabei muss sich die Gruppe mit der komplexen Situation auseinandersetzen und die Auswirkungen ihrer Entscheidungen vorausschauend bedenken. Zur Bewältigung der Aufgabenstellung werden die Lernenden angehalten, die in vorangegangenen Lehreinheiten erlernten Methoden einzusetzen, um diese einzuüben. Nach Abschluss der Planung steht die Realisierung / Umsetzung der Ergebnisse an, um den erreichten Planungsstand bewerten zu können. Die Umsetzung spielt dabei eine wesentliche Rolle (s. Kapitel 2.6). Abschließend erfolgt eine Reflexionsphase, in der die Lehrenden den Spielverlauf mit den Lernenden in einem Unterrichtsgespräch analysieren und diskutieren. Gerade die methodische Vorgehensweise und die Anwendung der Planungsmethoden und Werkzeuge stehen im Mittelpunkt. Daneben wird der Transfer des Erlernten auf das berufliche Umfeld beleuchtet.

Die Auswahl der Sozialformen erfolgt anhand der verschiedenen Lehr-Lernsituationen von Planspielen. Die Vorstellung der Ausgangssituation sowie die Reflexion der Ergebnisse finden im Rahmen von Unterrichtsgesprächen statt. Hierbei soll es allen Gesprächsbeteiligten ermöglicht werden, miteinander zu kommunizieren, so dass sich eine Kreis- oder Hufeisenform anbietet. Für die Bearbeitung der Aufgabenstellung in Gruppenarbeit kommen Gruppenformen (Kreis, Hufeisen und Rechteck) in Frage, die von den Lernenden je nach Bedarf selbstständig ausgewählt werden können.

Die Artikulation bei Planspielen beginnt mit der Vorbereitung, in der die Rahmenbedingungen und die Ausgangssituation vorgestellt werden. Der eigentliche Lernprozess findet in der Gruppenarbeit statt, in der die Lernenden die vorher erlernten Planungsmethoden zu Problemlösung anwenden. Die Realisierung des

Planungsergebnisses bietet den Lernenden die Möglichkeit, ihre eigene Vorgehensweise selbst zu evaluieren und sich somit intensiv mit dem eigenen Handeln auseinanderzusetzen. Die Beurteilung erfolgt in der Reflexionsphase, indem die Vorgehensweise der Gruppe mit der vorher Erlernten verglichen und das Spielergebnis mit dem Lehrenden analysiert, bewertet und diskutiert wird.

Im Planspiel kommen verschiedene Lehrgriffe zum Einsatz, die das selbstgesteuerte Lernen unterstützen. Die Aufgaben- und Problemstellung ist der wichtigste Lehrgriff, der als Auslöser für das Planspiel genutzt wird. Treten während der Gruppenarbeit auf Seiten der Lernenden Fragen auf, kann mit Hinweisen auf zuvor Gelerntes gearbeitet werden. In der Reflexionsphase kann die Diskussion des Planungsergebnisses durch Fragen eingeleitet werden. Ziel ist es, die Lernenden dazu zu bringen, über ihr Handeln und ihre Entscheidungen nachzudenken und den Einsatz der erlernten Planungsmethoden und Werkzeuge für die jeweilige Situation einzuschätzen. In Planspielen geben die Lernmittel den Rahmen des Aktionsbereichs für die Lernenden wieder. Eine Lernumgebung, in der die Aufgaben des Industrial Engineering in der Planung und Optimierung der Produktion real nachgebildet werden können, ermöglicht den größten Lernerfolg, da unmittelbares Erfahren durch eigenes Tun die besten Lernmöglichkeiten liefert [Merz 2000, S.137]. In einer realen Produktion kann die Ausgangssituation des Planspiels optimal dargestellt werden, denn die Lernenden werden so mit einer realistischen Situation in ihrem Unternehmen konfrontiert und der Transfer in das Unternehmen wird unterstützt.

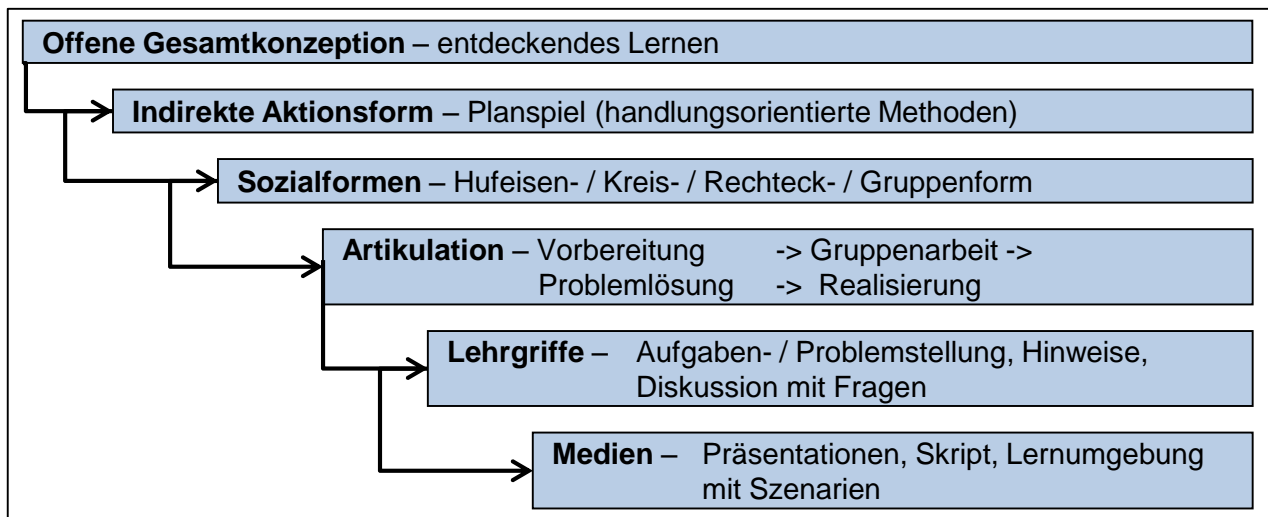


Abbildung 4-11: Methodenauswahl zur selbstständigen Anwendung der IE-Methoden und Werkzeuge

Für die Planung und Optimierung der Produktionsprozesse muss den Lernenden eine Planungsumgebung zur Verfügung stehen, die den Einsatz der erlernten Planungsmethoden und Werkzeuge ermöglicht. Neben einfachen Hilfsmitteln wie Flipchart und Metaplanwände ist eine entsprechende IT-Infrastruktur für moderne

Planungswerkzeuge erforderlich. Für die Umsetzung der Planungsergebnisse eignet sich wiederum eine reale Produktion, da die Lernenden die Auswirkungen ihrer Handlungen und Entscheidungen sehen und erfahren können.

4.3.4 Zusammenfassung Qualifizierungskonzept für Industrial Engineers

Für ein ganzheitliches Qualifizierungskonzept sind die drei betrachteten Teilbereiche, die Vorbereitung der Lernenden mit Grundlagenwissen, die Wissensvermittlung zu den Methoden und Werkzeugen des IE sowie deren Training in ein Gesamtkonzept zu integrieren (s. Abbildung 4-12).

Eine gemeinsame methodische Wissensbasis der Lernenden stellt die Grundlage dar, auf der im Folgenden aufgebaut werden kann. Die Wiederholung von grundlegenden Planungsmethoden wird mittels selbstständiger Alleinarbeit und e-Learning durchgeführt.

Der erste wichtige Aspekt ist die Integration der Vermittlung neuer Methoden und Werkzeuge des Industrial Engineerings in die Planspielumgebung. So können die Lernenden die Methoden und Werkzeuge des IE in einer realistischen Umgebung erlernen und unter Anleitung der Lehrenden im Rahmen der Vier-Stufen-Methode an ersten Beispielen anwenden und einüben. Das Zusammenspiel der einzelnen Methoden und Werkzeuge kann anhand eines komplexen Szenarios erfolgen, wie es später auch in den Planspielrunden genutzt wird. Die Lernenden werden somit von Anfang an mit realen Rahmenbedingungen konfrontiert, die auch bei der Anwendung im Unternehmen vorherrschen. Außerdem lernen die Lernenden so die Trainingsumgebung Schritt für Schritt kennen und können sich in den Planspielrunden auf die selbstständige Anwendung der Planungsmethoden und Werkzeuge konzentrieren und somit die notwendige Handlungs- und Entscheidungskompetenz aufbauen.

Der zweite wichtige Aspekt für den nachhaltigen Lernerfolg stellt eine auf das Trainingsprogramm für Industrial Engineers abgestimmte Lernumgebung dar, die den Realitätsbezug zum Unternehmen herstellt und den Lernenden eine optimale Vorbereitung auf den Industrieinsatz ermöglicht. Neben einer digitalen Planungsumgebung, in der die Methoden und Werkzeuge des IE erlernt und genutzt werden können, ist eine realitätsnahe Produktion notwendig, da sie den Ausgangspunkt für die Planung und Optimierung der Produktionsprozesse im Bereich des Industrial Engineering darstellt. Außerdem können die Lernenden so die Stärken und Schwächen ihrer Planungsergebnisse in der Produktion selbst erleben.

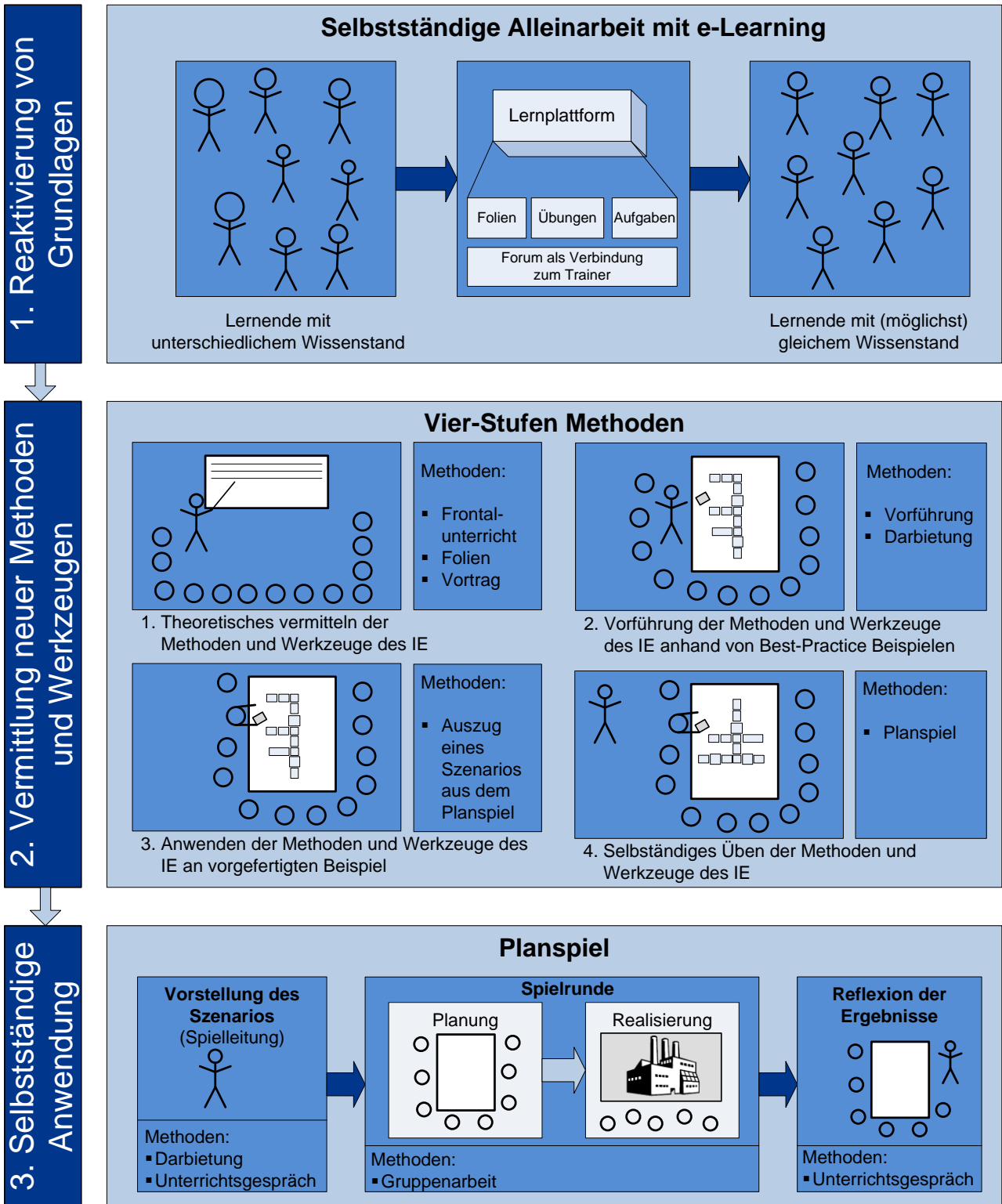


Abbildung 4-12: Qualifizierungskonzept für Industrial Engineers

4.4 Konzeption einer Lernumgebung zur Umsetzung einer nachhaltigen Qualifizierung

Die Entscheidung für ein handlungsorientiertes Qualifizierungskonzept in Kapitel 4.3 erfordert die Konzeption einer Lernumgebung, um das neue Verständnis des Industrial Engineerings und die Potentiale modularer, wandlungsfähiger Montagesysteme nachhaltig zu vermitteln und es den Lernenden zu ermöglichen direkt eigene Erfahrungen im Umgang mit den Lerninhalten zu machen. Die inhaltlichen Anforderungen an das Qualifizierungskonzept wurden in den Kapiteln 4.1 und 4.2 erarbeitet. Die Bewältigung von kurz- und mittelfristigen Turbulenzen bedarf einer Reihe von Planungsprozessen (s. Abbildung 4-7), die mit den Methoden und Werkzeugen des Industrial Engineerings und der Digitalen und Virtuellen Fabrik durchgeführt werden können. Die Lernenden sollen in einer realistischen Lernumgebung qualifiziert werden, um das neue IE-Verständnis und die weiteren Potentiale zur Turbulenzbewältigung schließlich in ihr Unternehmen übertragen zu können.

Die Lernumgebung lässt sich daher in zwei Bereiche, eine digitale Lernumgebung und eine physische Lernumgebung gliedern.

Die digitale Planungsumgebung wird für die Vermittlung der Potentiale, Funktionalitäten, Einsatzgebiete und den Umgang mit den Methoden und Werkzeugen der Digitalen und Virtuellen Fabrik genutzt.

Die physische Lernumgebung mit einem wandlungsfähigen Montagesystem dient dazu, aktuelle Informationen für die Planungsprozesse zur Verfügung zu stellen, eine schnelle Umsetzung der Planungsergebnisse zu ermöglichen und die Potentiale und die Notwendigkeit für eine rekonfigurierbare Infrastruktur aufzuzeigen.

Für die Durchführung von komplexen Produktionsszenarien in der Lernumgebung wird darüber hinaus ein Produkt benötigt, das den Anforderungen des Qualifizierungskonzepts genügt und für eine langfristige Nutzung in der Lernumgebung geeignet ist.

4.4.1 Konzeption einer digitalen Planungsumgebung

Bei kurz- und mittelfristigen Turbulenzen hat der Industrial Engineer einen erhöhten Planungsbedarf. Er muss eine höhere Planungsgeschwindigkeit und Realitätsnähe erreichen, ohne den laufenden Betrieb zu stören [Kühn 2006b, S.3]. Für die Durchführung der einzelnen Planungsprozesse zur Turbulenzbewältigung stehen dem IE Methoden und Werkzeuge der Digitalen und Virtuellen Fabrik zur Verfügung, die die klassische methodische Planungsvorgehensweise unterstützen.

Wie in Kapitel 4.2.3 vorgestellt, existieren für alle Planungsprozesse von der IST-Analyse über die Prozess-, Kapazitäts- und Layoutplanung sowie die logistische Dimensionierung

bis hin zur Feinplanung der Produktion Methoden und Werkzeuge der Digitalen und Virtuellen Fabrik (s. Abbildung 4-5). Zur effektiven und effizienten Nutzung der Digitalen Fabrik gilt es, eine digitale Planungsumgebung zu konzipieren, die den Anforderungen der Planungsaufgaben gerecht wird und die Potentiale der Digitalen Fabrik ausschöpft. Für eine Lernumgebung in der variantenreichen Montage sind Werkzeuge auszuwählen, die den Anforderungen an die schnelle Adaptierbarkeit der Fabrik gerecht werden und die einzelnen Einsatzbereiche abdecken.

Wesentliche Potentiale der Digitalen Fabrik ergeben sich aus der Vernetzung der Daten und Modelle, mit denen die Planungsergebnisse in den folgenden Planungsprozessen aufgegriffen werden können. Die digitale Planungsumgebung muss daher in erster Linie eine Integrationsplattform für alle Werkzeuge der Digitalen und Virtuellen Fabrik darstellen, denn eine zentrale Datenhaltung, die unterschiedliche Sichten (mit unterschiedlichen Werkzeugen) ermöglicht, ist die Grundlage für eine gemeinsame Nutzung von Informationen in verschiedenen leistungsstarken Simulationswerkzeugen. Somit wird vor allem der hohe Aufwand zur Modellgenerierung verringert, der in vielen Fällen bis zu 75% des Gesamtaufwands von Simulationsprojekten beträgt [Feldmann 2000, S. 254]. Zur Modellgenerierung zählen die Erstellung des Pflichtenhefts, die Erstellung des Simulationsmodells, die Datenakquise und die Datenvalidierung. In der digitalen Planungsumgebung dient ein zentrales Datenmodell als Integrationsplattform mit Produkt-, Prozess- und Ressourceninformationen.

Eine wesentliche Anforderung an diese Integrationsplattform ist der Zugriff aller Benutzer auf aktuelle und konsistente Daten, der ohne großen Aufwand gewährleistet werden muss. Diese Anforderung kann bei einer Veränderung der Datengrundlage nur durch eine automatisierte Aktualisierung der Daten in den einzelnen Systemen erreicht werden. Für die Integration der Werkzeuge der Digitalen und Virtuellen Fabrik in die digitale Planungsumgebung gilt es daher, entsprechende Schnittstellen zu definieren, um einen bidirektionalen Datenaustausch zwischen den Werkzeugen und der zentralen Datenbasis zu ermöglichen. Um die Datenmenge, die in der zentralen Datenbasis verwaltet werden muss, und den Datenaustausch zwischen den einzelnen Werkzeugen so gering wie möglich zu halten, gilt es, die Informationen zu identifizieren, die von mehreren Werkzeugen benötigt werden. Spezifische Daten der Planungsprozesse, die nur von einem Werkzeug benötigt werden, können in der separaten Datenbasis des jeweiligen Werkzeugs gespeichert werden. Somit werden zusätzlich Vereinfachungen für die Schnittstellen erreicht. Die Schnittstellen müssen dabei eine Datentransformation ausführen, um die eingehenden Nachrichten in das Format des Zielsystems zu überführen und die Nachrichten anschließend an das Zielsystem zu transferieren.

Die Anbindung der realen Produktion an die Digitale Fabrik ist eine weitere wesentliche Anforderung an die digitale Planungsumgebung, da so die zeitaufwendigen Bereiche der Datenakquise und der Datenvalidierung erheblich reduziert werden können. Der aktuelle Zustand der Produktion, der als Ausgangsbasis für alle Planungsprozesse dient, kann in den wesentlichen Punkten durch operative Werkzeuge wie ERP- und MES-Systeme identifiziert werden. Auf Seiten der digitalen Planungsumgebung sind Schnittstellen bereitzustellen, um Informationen aus der laufenden Produktion in die Datenbasis übertragen werden können und umgekehrt die Planungsergebnisse in die Fabrikbetriebsphase weiterzuleiten. Auf Seiten der Produktion geht dieser Punkt als notwendige Anforderung in die Konzeption der physischen Lernumgebung ein, die im folgenden Kapitel erfolgt.

Für die Konzeption einer digitalen Planungsumgebung ergeben sich somit folgende zentrale Anforderungen:

- Durchgängige Unterstützung der Planungsprozesse durch Werkzeuge der Digitalen und Virtuellen Fabrik
- Vernetzung der IT-Werkzeuge über eine zentrale Datenbasis
- Vernetzung der IT-Werkzeuge über Schnittstellen zum bidirektionalen Datenaustausch, um Planungsergebnisse in folgenden Planungsprozessen aufgreifen zu können
- Vernetzung von operativen Systemen mit der zentralen Datenbasis und damit den IT-Werkzeugen zur Unterstützung der Planungsprozesse

Das Konzept für die digitale Planungsumgebung basiert auf der Stuttgarter Integrationsplattform, die im SFB 467 (Wandlungsfähige Unternehmensstrukturen für die variantenreiche Serienproduktion) entwickelt wurde und gliedert sich in eine Basisebene, eine Integrationsebene und eine Werkzeugebene (s. Abbildung 4-13).

In der Basisebene bildet die zentrale Datenbasis, in der die Produkt-, Prozess- und Ressourcendaten verwaltet werden.

Über die Integrationsebene mit standardisierten Schnittstellen wird die Kommunikation der Basisebene mit der Werkzeugebene ermöglicht, so dass ein bidirektionaler Datenaustausch erfolgen kann. Die Integrationsebene übernimmt dabei die Datentransformation zwischen der Datenbasis und der Werkzeugebene und koordiniert die Aktualisierung der Daten, wenn Veränderungen auf der Werkzeugebene vorgenommen wurden.

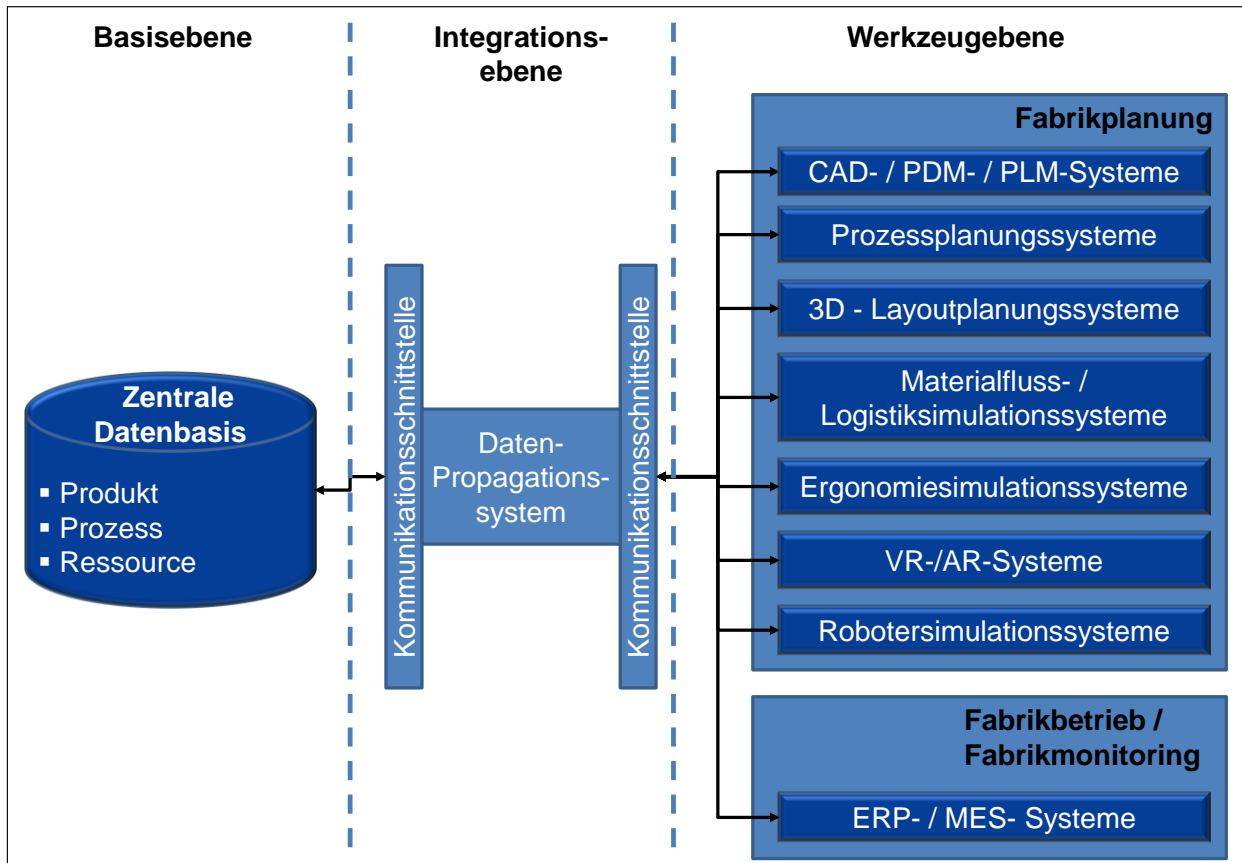


Abbildung 4-13: Konzept der digitalen Planungsumgebung

In der Werkzeugebene werden alle Werkzeuge der Digitalen und Virtuellen Fabrik des IE sowie die operativen Systeme aus der Produktion zusammengefasst. Für eine durchgängige Unterstützung der Planungsprozesse werden dabei CAD-, PDM- und PLM-Systeme aus dem Bereich der Produktentwicklung integriert, die Produktinformationen für die Planung liefern. Mit Prozessplanungssystemen und Materialfluss-/Logistiksimulationssystemen wird die Planung der Produktionsabläufe unterstützt, was in enger Abstimmung mit den 3D-Layoutplanungssystemen für die Anordnung der Maschinen und Anlagen geschieht. Für die Feinplanung der Produktion stehen dem IE Robotersimulationen und im Bereich der Arbeitsorganisation zusätzlich VR- / AR-Systeme und Ergonomiesimulationssysteme zur Verfügung. Aus dem Fabrikbetrieb liefern ERP- und MES-Systeme mit ihren Modulen BDE, MDE, QDE und PZE die grundlegenden Informationen über den aktuellen Zustand der Produktion

4.4.2 Konzeption einer physischen Lernumgebung

Die physische Lernumgebung spielt im Qualifizierungskonzept eine wichtige Rolle für den Lernerfolg, da die Lernenden durch die Realisierung der Planungsergebnisse die Auswirkungen ihres Handelns erkennen können. Außerdem unterstützt eine realitätsnahe Lernumgebung den Bezug zwischen dem Erlernten und den Aufgaben im Unternehmen

herzustellen und schafft somit eine optimale Vorbereitung für den praktischen Einsatz der Methoden und Werkzeuge. Darüber hinaus können die Potentiale wandlungsfähiger Montagesysteme aufgezeigt werden.

Zum einen muss die physische Montageumgebung aktuelle Informationen über den Zustand der Produktion liefern, um die Identifikation von Turbulenzen zu unterstützen. Diese Informationen stellen im Verlauf die Grundlage für die Planungsaufgaben zur Turbulenzbewältigung dar. Zum anderen muss die physische Montageumgebung die schnelle Umsetzung der Planungsergebnisse ermöglichen.

Anforderungen an die physische Montageumgebung ergeben sich somit aus den Informationen zu Identifikation von Turbulenzen (s. Kapitel 4.2.4.1) und den zur Bewältigung abgeleiteten Planungsaufgaben (s. Kapitel 4.2.2). Des Weiteren müssen Anforderungen des zu produzierenden Produktspektrums berücksichtigt werden. Um die geforderten kurzen Stillstandszeiten bei der Umsetzung der Planungsergebnisse realisieren zu können, sind Anforderungen hinsichtlich der Wandlungsfähigkeit der physischen Montageumgebung zu beachten.

4.4.2.1 Anforderungen aus den Planungsprozessen

Die Anforderungen an die physische Montageumgebung ergeben sich aus möglichen Planungsergebnissen der Turbulenzbewältigung und stellen den Rahmen für die erforderliche Wandlungsfähigkeit der physischen Montageumgebung dar.

Der Fokus dieser Arbeit (s. Kapitel 2.2.1) beschränkt sich auf Veränderungen von der Produktionssystemebene bis einschließlich der Arbeitsplatzebene. Das heißt die Generalstruktur der Fabrik, wie die Generalbebauung und die Gebäude, sind nicht Gegenstand der Betrachtung. Sie werden als Restriktionen in der Planung berücksichtigt. Ebenso wird die Prozessebene und die damit verbundene Entwicklung und Optimierung von Prozesstechnologien nicht betrachtet, da dies zu den langfristigen Turbulenzen gezählt wird.

Die Planungsergebnisse, die in den Planungsprozessen von der IST-Analyse, über die Prozess-, Kapazitäts- und Layoutplanung sowie die logistische Dimensionierung und der Feinplanung der Produktion erarbeitet wurden, führen zu organisatorischen, technischen und räumlichen Veränderungen in der Produktion, um den geplanten optimalen Betriebspunkt zu erreichen. Diese Veränderungen gehen als Anforderungen in die Konzeption einer physischen Montageumgebung ein.

Organisatorische Anforderungen

Folgende organisatorische Veränderungen und die sich daraus ergebenden Anforderungen sind bei der Konzeption einer physischen Montageumgebung zu berücksichtigen:

- Änderungen in der Arbeitsablaufplanung
- Änderungen in der Produktionsstrukturierung
- Änderungen in der Arbeitsorganisation

Im Rahmen der Arbeitsablaufplanung werden die Arbeitspläne definiert, was durch ein verändertes Produktionsprogramm vor allem zu organisatorischen Veränderungen der Prozessreihenfolge im Montageablauf und der Betriebsmittelzuordnung der einzelnen Arbeitsinhalte führt. Außerdem ergeben sich in diesem Bereich Veränderungen in der Prüfplanung, die sich im Prüfumfang, dem Prüfzeitpunkt, den Prüfmethoden und den einzusetzenden Prüfmittel widerspiegeln.

Umfangreichere Anforderungen stellen organisatorische Veränderungen in der Produktionsstrukturierung, die sich auf den Material- und Informationsfluss beziehen. Beim Materialfluss ergeben sich anhand der Prozessgestaltung und der Produktionssteuerung vor allem Veränderungen hinsichtlich der Prozessabläufe und der Materialbereitstellung. Durch Veränderungen bei den Steuerungsprinzipien (Push- / Pull, verbrauchs- oder programmgesteuert) muss die Kommunikation zwischen den Produktionsprozessen und den Transport- und Lagerprozessen umgestaltet werden können.

Organisatorische Änderungen in der Arbeitsorganisation beziehen sich vor allem auf die Arbeitsform und die Arbeitsstruktur, um die Arbeitsinhalte unter den Mitarbeitern aufzuteilen. Wesentliche Elemente sind dabei das Jobenrichment, das Jobenlargement oder die Jobrotation, die zur Steigerung der Arbeitsmotivation und -effektivität beitragen sollen.

Technische Anforderungen

Folgende technische Anforderungen und Veränderungsmaßnahmen sind bei der Konzeption einer physischen Montageumgebung zu berücksichtigen:

- Anforderungen der IST-Analyse
- Änderungen in der Materialflussstruktur
- Änderungen in der Arbeitsorganisation

Aktuelle Informationen über die Produktionsprozesse und Betriebsmittel werden sowohl zur Identifikation des Wandlungsbedarfs als auch im Rahmen der IST-Analyse als Ausgangspunkt für die Planungsprozesse benötigt. Als Informationen zur Produktionsstruktur werden das aktuelle Auftragsspektrum, die aktuell im System

befindlichen Ressourcen und der damit verbundene Informations- und Materialfluss benötigt. Als Informationen zu den Arbeitsinhalten werden die detaillierten Arbeitspläne mit der Zuordnung von Prozessen zu Ressourcen und Produktkomponenten benötigt. Des Weiteren gehören dazu Zeit- und Qualitätsinformationen sowie der Auslastungsgrad der einzelnen Betriebsmittel. Die Informationen können entweder manuell von Mitarbeitern oder mithilfe automatisierter Prozesse gesammelt werden. Die automatisierte Lösung benötigt entsprechende Sensorik in den Betriebsmitteln und bietet einen kontinuierlichen Überblick zur aktuellen Situation der Montage, was gerade im Rahmen des Fabrikmonitoring Vorteile in der Aktualität der Informationen bringt.

Technische Änderungen in der Materialflussstruktur ergeben sich vor allem aufgrund der organisatorischen Veränderungen in der Arbeitsablaufplanung und der Produktionsstrukturierung. Die Layoutanordnung der Betriebsmittel und deren materialflusstechnische Verknüpfung muss an die neuen Abläufe und veränderte Betriebsmittel angepasst werden. Für die Realisierung ergeben sich Anforderungen hinsichtlich Kompatibilität und standardisierter Schnittstellen.

Technische Änderungen in der Arbeitsorganisation zielen auf die Gestaltung bzw. Rekonfiguration von manuellen Arbeitsplätzen und automatisierten Betriebsmitteln ab. Durch organisatorische Veränderungen in den Arbeitsplänen, der Prüfplanung und der Produktionsstrukturierung müssen an einem Arbeitsplatz andere Betriebsmittel integriert, die Anordnung der Materialbereitstellung neu gestaltet oder komplett neue Arbeitsplätze gestaltet werden. Des Weiteren können andere Transport- und Transporthilfsmittel zum Einsatz kommen, die in der Arbeitsplatzgestaltung berücksichtigt werden müssen.

Räumliche Anforderungen

Folgende räumliche Anforderungen und Veränderungsmaßnahmen sind bei der Konzeption einer physischen Montageumgebung zu berücksichtigen:

- Anforderungen der IST-Analyse
- Änderungen in der Materialflussstruktur
- Änderungen in der Layoutplanung / Feinlayoutplanung

Für die IST-Analyse wird das Layout benötigt, um den Materialfluss und damit verbundene Zeitabläufe analysieren zu können. Eine automatisierte Bereitstellung verkürzt die Analysezeit erheblich und wäre daher von Vorteil.

Räumliche Veränderungen ergeben sich aufgrund neuer Materialflussstrukturen, die sich auf die Layoutanordnung der Betriebsmittel auswirken sowie Veränderungen an Betriebsmitteln und Arbeitsplätzen, die sich aus geänderten Arbeitsplänen ergeben. Die Realisierung von Layoutveränderungen stellen Anforderungen an die Mobilität der

Betriebsmittel Die Elemente müssen anhand ihrer technischen Konzeption (Transportfähigkeit, Abmessungen, Schnittstellen, usw.) die Rekonfiguration des Materialflusses und des Logistikkonzepts unterstützen.

4.4.2.2 Anforderungen aus dem Produktionsprogramm

Das aktuelle und künftige Produktionsprogramm stellt Anforderungen an eine physische Montageumgebung. Dabei sind folgende Aspekte zu beachten:

- Bereitstellung der erforderlichen Fertigungsverfahren im Bereich der Montage
- Produktmerkmale (Geometrie [Länge, Breite und Höhe], Gewicht)
- Umfang des Produktionsprogrammes (Anzahl und Varianz)

Für die Montage des aktuellen und künftigen Produktionsprogramms sind die erforderlichen Fertigungsverfahren Fügen [DIN 8593] bereitzustellen. Neben dem Fügen müssen die Justier-, Kontrollier- und, Zubringprozesse sowie die dabei auszuführenden Hilfsfunktionen realisiert werden können.

Als produktbezogene Anforderungen sind bei der Konzeption der physischen Montageumgebung die Produktmerkmale wie die Geometrie [Länge, Breite und Höhe] hinsichtlich des erforderlichen Montageraums an den Arbeits-, Lager- und Transporteinrichtungen sowie das Produktgewicht zu berücksichtigen.

Für die zu erwartenden Stückzahlen des Produktionsprogramms sind Kapazitäten der jeweiligen Montagetätigkeiten vorzuhalten. Dabei gilt es auch, die Automatisierbarkeit der Montagetätigkeiten zu beachten, um bei Veränderung der Stückzahlen flexibel reagieren zu können. Bei hoher bzw. steigender Varianz muss die Bereitstellung und das Handling der unterschiedlichen Komponenten ermöglicht werden.

Nachdem die Entwicklung des Produktionsprogrammes bei der Konzeption einer physischen Montageumgebung nicht gänzlich vorhersehbar ist, muss diese erweiterbar sein, um in seiner Nutzungsdauer an die realen Bedingungen adaptiert werden zu können.

4.4.2.3 Anforderungen an die Wandlungsfähigkeit einer physischen Montageumgebung

Um die geforderten kurzen Stillstandszeiten bei der Umsetzung der Planungsergebnisse realisieren zu können, ergeben sich Anforderungen an die Wandlungsfähigkeit einer physischen Montageumgebung. Die Anforderungen stützen sich im Wesentlichen auf die, in Kapitel 3.4.1 identifizierten Wandlungsbefähiger (Modularität Kompatibilität, Mobilität, Skalierbarkeit, Universalität und Qualitätssicherung).

Die Modularität beinhaltet Anforderungen hinsichtlich einer definierten physischen und funktionalen Abgrenzung des Moduls, wodurch die Komplexität eines Moduls reduziert

und die Variantenvielfalt durch Kombination verschiedener Module erhöht wird. Des Weiteren sind definierte standardisierte Schnittstellen erforderlich, damit sie mit anderen Modulen auf derselben oder anderen Ebene zusammengeschlossen bzw. voneinander gelöst werden können.

Die Kompatibilität erfordert standardisierte Schnittstellen zur Medienversorgung, für Informations- und Kommunikationssysteme, zur Koppelung mit anderen Modulen (Materialflussschnittstelle), von Betriebsmitteln und Rastermaße. Standardisierte Schnittstellen spielen eine große Rolle für die Rekonfigurierungsgeschwindigkeit.

Die Mobilität als Fähigkeit von Objekten, ortsveränderlich zu sein, beinhaltet Anforderungen hinsichtlich der Demontage, der Transportfähigkeit (Größe, Gewicht, stabile Bauweise), des Wiederaufbaus und der Inbetriebnahme.

Die Skalierbarkeit beinhaltet Anforderungen hinsichtlich der Erweiterbarkeit eines Moduls über verschiedene Ebenen hinweg (Upgrade-Fähigkeit des Moduls).

Die Universalität beinhaltet Anforderungen hinsichtlich funktionaler Flexibilität, also der Nutzbarkeit eines Moduls für verschiedene Aufgaben zur Montage / Transport unterschiedlicher Produkte und Varianten. Ein weiterer Punkt ist die Unabhängigkeit von anderen Modulen sowie die Eigenschaften andere Module nicht negativ (durch Vibrationen, Schmutz) zu beeinflussen.

Die Qualitätssicherung beinhaltet Fähigkeiten zum Monitoring des Montagesystems, der Identifikation von Fehlerquellen und der schnellen Inbetriebnahme des Montagesystems.

Der Modularität kommt dabei eine wesentliche Rolle zu, da sie die anderen Wandlungsbefähiger unterstützt und verstärkt. Dieser Faktor ist daher bei der Konzeption einer physischen Montageumgebung besonders zu berücksichtigen.

4.4.2.4 Konzeption einer physischen Montageumgebung

Die physische Montageumgebung als wesentlicher Baustein des handlungsorientierten Qualifizierungskonzepts trägt durch die aktive Umsetzung und Veranschaulichung der Planungsergebnisse der Lernenden entscheidend zum Lernerfolg bei. Die Lernenden können somit in einer realen Montageumgebung kurz- und mittelfristige Turbulenzen identifizieren, diese mithilfe von Methoden und Werkzeugen des IE in der Planungsphase bewältigen und ihre Ergebnisse in Spielrunden auf ihre Tauglichkeit testen.

Die selbstständige Umsetzung der Planungsergebnisse durch die Lernenden bedarf einer intuitiven Handhabung und der Möglichkeit die Rekonfiguration in kurzer Zeit durchzuführen, um den Fokus der planerischen Turbulenzbewältigung beizubehalten.

Die physische Montageumgebung sollte dabei die wesentlichen Elemente einer realen Montage beinhalten. Dazu zählen manuelle und automatisierte Montagemodule, die die

erforderlichen technologischen Funktionen zur Durchführung der Montageaufgaben sowie den unterstützenden Tätigkeiten beinhalten. Dazu kommen dann noch die Logistikelemente für den Materialtransport.

Im Wesentlichen muss die physische Montageumgebung den Anforderungen genügen, die sich aus den betrachteten Turbulenzen und den möglichen Veränderungen, die im Rahmen der Planung erarbeitet werden, sowie dem variantenreichen Produktionsprogramm ergeben.

Um der variantenreichen Serienproduktion gerecht zu werden, muss das Montagesystem eine Produkt- und Variantenflexibilität aufweisen, damit aktuelle und geplante Produkte und Varianten ohne Nachrüsten montiert und somit neue Arbeitspläne umgesetzt werden können. Dabei sind die Produktgröße und das -gewicht als Rahmenbedingungen zu beachten. Diese Eigenschaften werden der Universalität zugeschrieben.

Einfache standardisierte Module ermöglichen die physische Trennung einzelner Funktionen des Produktionsmittels. Somit wird die Umsetzung neuer Prozessabläufe und die darauf abgestimmte Produktionsstruktur ermöglicht. Die Reduzierung von Funktionen einzelner Module führt zur Reduzierung der Baugröße und des Gewichts der Module. Erhalten die Module einen tragfähigen Rahmen, der auf einfache Transportmittel abgestimmt ist, und werden keine speziellen Bodenverbindungen beim Aufstellen benötigt, wird die Handhabung und Transportierbarkeit erhöht und damit die Mobilität als Grundvoraussetzung für Veränderungen der Produktionsstruktur.

Einen entscheidenden Beitrag hierzu leisten standardisierte Hard- und Softwareschnittstellen zur Verkettung der einzelnen Module. Die Hardwareschnittstellen beziehen sich auf die Medienversorgung und den physischen Materialfluss. Die Softwareschnittstellen sind so zu gestalten, dass das Modul nach dem Prinzip Plug & Produce einfach an andere Module und die Leitsteuerung angekoppelt werden kann.

Ein wandlungsfähiges Montagesystem erfordert nicht nur die Rekonfigurationsmöglichkeit sondern stellt auch Anforderungen an die Rekonfigurationsgeschwindigkeit. Neben der Mobilität spielt die schnelle Wiederinbetriebnahme des Systems eine Rolle. Anforderungen ergeben sich hinsichtlich der einfachen Inbetriebnahme, der Fähigkeit einer schnellen Fehlerdiagnose durch interne Selbsttests und der aktiven Fehlervermeidung. Die Fehlervermeidung stellt Anforderungen an die Unempfindlichkeit des Moduls an Umwelteinflüsse wie Wärme, Vibrationen oder Verschmutzung, die gerade beim Transport auf das Modul einwirken. Auch die Reduzierung der Emission solcher Umwelteinflüsse ist hier wichtig. Standardisierte Rüstvorgänge innerhalb des Moduls verringern Fehler während der Inbetriebnahme.

Zur Verknüpfung der physischen Montageumgebung mit der digitalen Planungsumgebung werden weitere Schnittstellen benötigt, die einen Datenaustausch ermöglichen. Es gilt einerseits das geplante Produktionsprogramm und die Produktionsabläufe von der Planung an die reale Montage und andererseits Informationen über den Produktionsfortschritt und den Zustand der Betriebsmittel von der Montage an die Planung melden zu können. Diese Schnittstelle trägt entscheidend zur schnellen Identifikation von Turbulenzen und der Verkürzung der IST-Analyse bei.

4.4.3 Konzeption eines Produktes für die Lernumgebung

Der handlungsorientierte Ansatz für das Qualifizierungskonzept und die daraus abgeleitete Forderung nach einer Lernumgebung zur Umsetzung der Planungsergebnisse fordern die Auswahl eines Produktes, das in der realen Lernumgebung montiert werden soll. Die Anforderungen an dieses Produkt setzen sich aus den im Qualifizierungskonzept zu berücksichtigenden Aufgaben und den globalen Rahmenbedingungen des Industrial Engineerings für die variantenreiche Serienproduktion zusammen. Hinzu kommen Anforderungen an die Lernumgebung, wie etwa die notwendigen Informationen für die digitale Planungsumgebung und die Einsetzbarkeit in der physischen Montageumgebung als auch die Gewährleistung einer langfristigen Nutzung des Produktes in einer Lernfabrik. An die Konzeption eines Produktes für eine Lernumgebung in der variantenreichen Montage werden folgende Anforderungen gestellt:

- **Hohe Produktvarianz**
Die Rahmenbedingungen einer variantenreichen Serienproduktion und die damit verbundenen Turbulenzen stellen den Schwerpunkt des Qualifizierungskonzeptes für Industrial Engineers dar. Eine hohe Produktvarianz als Auslöser vieler Turbulenzen ist daher logischerweise erforderlich.
- **Komplexität**
Die Komplexität des Produktes muss einerseits ausreichen, um die wesentlichen Aspekte der Turbulenzbewältigung mit Methoden und Werkzeugen des IE in vollem Umfang darstellen und erläutern zu können. Andererseits darf die Komplexität nicht zu hoch sein, so dass die Lernenden den Überblick über die Produktkomponenten und Zusammenhänge behalten und sich auf die Methoden und Werkzeuge des IE konzentrieren können.
- **Produkt- und Prozessmerkmale**
Produktmerkmale wie die Produktgeometrie [Länge, Breite und Höhe] und das Produktgewicht stellen grundlegende Rahmenbedingungen für die Auswahl der Betriebsmittel für eine physische Montageumgebung dar. Das Produkt ist auf den

Montageraum an den Arbeits-, Lager- und Transporteinrichtungen abzustimmen, um das Kosten-/Nutzenverhältnis der Lernumgebung im Rahmen des Qualifizierungskonzepts zu rechtfertigen.

Die Prozessmerkmale des Produktes hinsichtlich der notwendigen Fertigungsverfahren und Genauigkeiten sind auf den Betrachtungsbereich des Unternehmens abzustimmen. Generell gilt jedoch, um dem Aspekt der Wiederverwendbarkeit zu entsprechen, Fertigungsverfahren mit einer lösbaren Verbindung zu bevorzugen. Um die Prozesssicherheit der Montageprozesse in den Planspielrunden zu gewährleisten, sollten Produkte beim Fügen hohe Toleranzgrenzen aufweisen, denn die Optimierung des einzelnen Fügeverfahrens steht nicht im Mittelpunkt des Qualifizierungskonzepts

- Wiederverwendbarkeit / Reproduzierbarkeit

Die Wiederverwendbarkeit und die Reproduzierbarkeit spielen für eine Lernumgebung eine wesentliche Rolle, da die Abläufe und Produktionsszenarien im Lauf der Qualifizierung wiederholbar sein müssen und der stetige Verbrauch der Produktkomponenten einen nicht notwendigen Kostenfaktor darstellt.

Zur Unterstützung der Wiederverwendbarkeit sind in der Montage daher bevorzugt lösbare Verbindungen wie Zusammensetzen [DIN 8593-1], Anpressen / Einpressen [DIN 8593-3] und Kleben [DIN 8593-8] einzusetzen. Die weiteren Fügeverfahren durch Urformen, Umformen, Schweißen und Löten sollten hinsichtlich der Wiederverwendbarkeit soweit möglich vermieden werden.

Die Reproduzierbarkeit stellt einen wichtigen Aspekt dar, weil bei Produktveränderungen, wie bei den Handlungsoptionen in Kapitel 4.2.4.3 aufgezeigt umfangreiche Veränderungen in der Produktion erarbeitet werden müssen. Nachdem sich der Lerninhalt des Qualifizierungskonzepts mit den Methoden und Werkzeugen des IE damit aber nicht verändert, müssen die Schulungsunterlagen nicht verändert werden. Die Reproduzierbarkeit des Produktes und die damit langfristige Nutzbarkeit kann durch Eigenfertigung bzw. den Einsatz von Standardkomponenten bei Kaufteilen erreicht werden.

- Adaptierbarkeit an künftige Produktionstechnologien

Es wird ein Produkt benötigt, das an künftige Produktionstechnologien adaptiert werden kann, um das Qualifizierungskonzept stets auf dem aktuellen Stand zu halten ohne kontinuierlich Vorrichtungen und Betriebsmittel verändern zu müssen. So sollte es möglich sein, einzelne Produktkomponenten zu tauschen oder standardisierte Schnittstellen für das Andocken neuer Produktkomponenten zu schaffen.

4.5 Zusammenfassung des Lösungsansatzes

Als Lösungsansatz für eine Lernfabrik für die variantenreiche Montage dient das advanced Industrial Engineering, das ein neues Verständnis für den IE-Bereich repräsentiert und die Potentiale der Digitalen Fabrik und modularer, wandlungsfähiger Montagesysteme einschließt, um die Wandlungsfähigkeit in der Produktion zu erreichen.

Als Lösungsbausteine wurden für die Adaption von Produktionsprozessen die einzelnen Planungsbereiche, Planungsaufgaben und die dabei unterstützenden Methoden und Werkzeuge betrachtet. Um die Potentiale der Digitalen Fabrik in einer integrierten Planungsvorgehensweise nutzen zu können, wurden die Methoden und Werkzeuge der Digitalen und Virtuellen Fabrik den einzelnen Planungsaufgaben zugeordnet. Anschließend wurde der Zusammenhang zwischen den kurz- und mittelfristigen Turbulenzen und den zur Bewältigung notwendigen Planungsaufgaben des advanced Industrial Engineering hergestellt.

Als Lösungsbaustein zur effizienten Vermittlung des neuen IE-Verständnisses wurden Lehr-Lern-Methoden für ein dreistufiges, handlungsorientiertes Qualifizierungskonzept ausgewählt.

Als Lösungsbaustein für eine realitätsnahe und nachhaltige Vermittlung und Demonstration des neuen IE-Verständnisses und den Potentiale der Digitalen Fabrik und modularer, wandlungsfähiger Montagesysteme wurden Anforderungen an eine Lernumgebung erarbeitet, die das handlungsorientierte Qualifizierungskonzept optimal unterstützt.

Die einzelnen Lösungsbausteine werden im Folgenden zusammengeführt. Zunächst wird die eingesetzte Lernumgebung vorgestellt. Anschließend wird das Qualifizierungskonzept für die Nutzung einer Lernfabrik für die variantenreiche Montage zur Vermittlung und Demonstration des advanced Industrial Engineerings detailliert ausgearbeitet.

5 Lernumgebung für Industrial Engineers

Die auf das Qualifizierungskonzept abgestimmte Lernumgebung dient dazu das neue Industrial Engineering Verständnis und seine Potentiale zu vermitteln und die Lernenden mit realitätsnahen Szenarien optimal auf die Anwendung der Methoden und Werkzeuge zur Planung und Optimierung der Produktion in den Unternehmen vorzubereiten. Die Lernumgebung gliedert sich, wie in Kapitel 4.4 erläutert, in eine digitale Planungsumgebung und eine physische Lernumgebung mit einem wandlungsfähigen Montagesystem. Beides wird im Folgenden detailliert vorgestellt. Anschließend wird dann auf die enge Verknüpfung der beiden Bereiche eingegangen, die für die Reduzierung von Planungszeiten und die Nutzung aktueller Daten in der Planung erforderlich ist. Im Schluss wird das Produkt vorgestellt, das im Rahmen der Szenarien des Qualifizierungskonzepts eingesetzt wird, um die Lernenden mit realen Planungsabläufen konfrontieren zu können.

5.1 Digitale Planungsumgebung

Das Konzept der digitalen Planungsumgebung, das auf den Ergebnissen der Stuttgarter Integrationsplattform des SFB 467 aufbaut, wurde in Kapitel 4.4.1 entwickelt. Für die digitale Planungsumgebung wurden IT-Systeme ausgewählt, die die in Kapitel 4.2.3 vorgestellten Planungsabschnitte zur Turbulenzbewältigung unterstützen und eine durchgängige Planungsunterstützung von der Identifikation der Turbulenz bis hin zur Realisierung der Planungsergebnisse und dem Fabrikbetrieb unterstützen. Im Rahmen des Qualifizierungskonzepts dient die digitale Planungsumgebung dazu, die Industrial Engineers an den Umgang und die Einsatzgebiete von Werkzeugen der Digitalen Fabrik heranzuführen.

In der digitalen Planungsumgebung wurde eine heterogene Systemlandschaft aufgebaut, die die realen Verhältnisse in den Unternehmen widerspiegelt. Dabei wurden einerseits IT-Systeme der marktführenden Hersteller integriert, die vor allem in Großunternehmen eingesetzt werden und umfangreiche Funktionalitäten in allen Planungsbereichen zur Verfügung stellen. Andererseits wurden IT-Systeme integriert, die im SFB 467 entwickelt wurden und speziell auf eine intuitive, partizipative Bedienung ausgelegt wurden. Diese IT-Systeme ermöglichen es, Mitarbeiter anderer Abteilungen ohne eine langwierige Einweisung in die Planung einzubeziehen. Den Lernenden kann somit durch eigenes Ausprobieren eine große Bandbreite an IT-Systemen sowie deren Funktionalitäten und Einsatzgebiete vorgestellt werden.

Die digitale Planungsumgebung basiert auf einem Drei-Ebenen-Konzept mit einer zentralen Basisebene, einer Integrationsebene und einer Werkzeugebene. Das zentrale

Element der digitalen Planungsumgebung ist der Delmia Process Engineer (DPE), der als Datenbasis die Funktion der Basisebene übernimmt und alle Produkt-, Prozess- und Ressourcendaten verwaltet. Die IT-Systeme der Werkzeugebene aus den Bereichen Fabrikplanung und Fabrikmonitoring/Fabrikbetrieb werden über die Integrationsebene an den DPE gekoppelt, so dass ein bidirektionaler Datenaustausch ermöglicht wird (s. Abbildung 5-1).

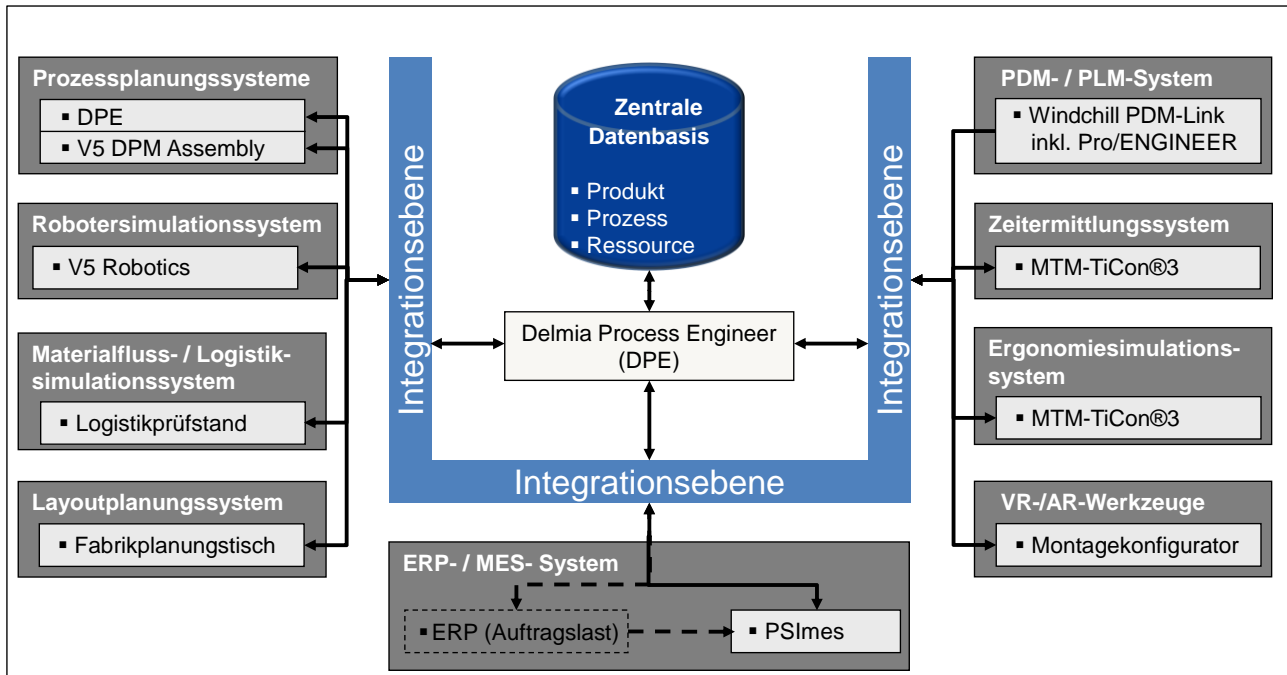


Abbildung 5-1: Struktur der IT-Systeme in der digitalen Planungsumgebung

Zur Erläuterung des Zusammenspiels der einzelnen IT-Systeme in der digitalen Planungsumgebung wird zunächst auf die Basisebene mit der zentralen Datenbasis eingegangen, bevor die Integrationsebene zur Koordination des Datenaustausches erläutert wird und die einzelnen IT-Systeme der Werkzeugebene vorgestellt werden. Auf der Werkzeugebene werden die IT-Systeme in der Reihenfolge vorgestellt, in der sie die Turbulenzbewältigung in den einzelnen Planungsabschnitten unterstützen.

5.1.1 Basisebene der digitalen Planungsumgebung

In der Basisebene, die durch den DPE abgebildet wird, werden alle Produkt-, Prozess- und Ressourceninformationen gespeichert, die von mehreren IT-Systemen benötigt werden, so dass alle Planungsabschnitte mit den gleichen und aktuellen Daten arbeiten können. Daten, die nur von einem IT-System benötigt werden, können in dem jeweiligen IT-System separat gespeichert werden, um den bidirektionalen Datenaustausch zwischen den Systemen nicht zu überlasten und so zu beschleunigen. Die einzelnen Objekte der Produkt-, Prozess- und Ressourcensicht werden in einer Bibliothek gespeichert. Dabei

werden die Objekte in den strukturellen Zusammenhang innerhalb einer Sicht (z. B. Produkt -> Baugruppe -> Bauteil) gestellt und können durch Attribute näher spezifiziert werden.

Die Grundstruktur der Produktsicht legt fest, dass Produkte aus Baugruppen, Bauteilen und Kaufteilen bestehen können, Baugruppen wiederum aus Baugruppen, Bauteilen, Kaufteilen und Hilfsstoffen sowie Bauteile aus Hilfsstoffen und Rohmaterial. Die Objekte werden durch folgende Attribute näher beschreiben:

- allgemeinen Angaben (z. B. Komponentename, Artikel-Nr., technische Planzahlen)
- Kostendaten (z. B. Gesamtherstellkosten, in Abhängigkeit von Prozessen und Ressourcen)
- CAD-Daten
- Logistikdaten (z. B. Zukaufteil, Losgröße, Wiederbeschaffungszeit, Dispositionsparameter)

In der Grundstruktur der Prozesssicht werden die Arbeitspläne für die einzelnen Produkte hinterlegt, die aus Prozessen bestehen und durch Sub-Prozessen weiter detailliert werden können. Mit den Vorranggraphen wird die Prozessstruktur und damit der Arbeitsablauf des Arbeitsplans festgelegt. Durch die Zuordnung von Produkt- und Ressourcenkomponenten zu den einzelnen Prozessen erfolgt die Vernetzung aller Elemente der Basisebene (s. Abbildung 5-2). Jedem Prozess kann zusätzlich noch ein Alternativprozess zugeordnet werden, der im Rahmen der Logistiksimulation und der Feinplanung im Auftragsmanagement ausgewählt werden kann, um eine gleichmäßige Austaktung und Auslastung der Ressourcen zu erreichen. Die wesentlichen beschreibenden Attribute von Prozessobjekten sind:

- allgemeine Angaben (z. B. Prozessname, Befehle für die reale Fabrik)
- Logistikinformationen (z. B. Einzelzeiten, Rüstzeiten, Planzeiten, reale Montagezeiten)
- Angaben zu Montagefähigkeiten (z. B. erforderliche Prozessfähigkeiten sowie -parameter)
- Verknüpfungen zwischen den Prozessen (z. B. Prozessverknüpfungen im Arbeitsplan [Vorgänger, Nachfolger] und den dazugehörigen Sub-Arbeitsplänen)

Die Grundstruktur der Ressourcensicht bietet dem Planer ein detailliertes Abbild der Fabrik. In der Lernumgebung wurde eine Produktionshalle modelliert, die in die klassischen Produktionsbereiche Fertigung, Vormontage und Endmontage gegliedert ist. Diese Bereiche können dann bis auf die Arbeitsplatzebene inklusive Tischen, Regalen, Materialkisten und Werkzeugen detailliert werden. Die einzelnen Stationen des wandlungsfähigen Montagesystems werden anhand der folgenden Attribute näher charakterisiert:

- allgemeinen Angaben (z. B. Ressourcenname, eindeutige ID, 3D-Grafiken, Baugrößen)
- Kosteninformationen (z. B. Kostensätze wie Maschinenstundensatz und Lohnstundensatz)
- Medieninformationen (z. B. benötigte Medien wie Strom, Druckluft, Kühlmittel)
- Layoutinformationen (z. B. Positionsdaten und Orientierung der Maschinen und Anlagen)
- Montagefähigkeiten (z. B. Fähigkeiten der Station für Montageprozesse)

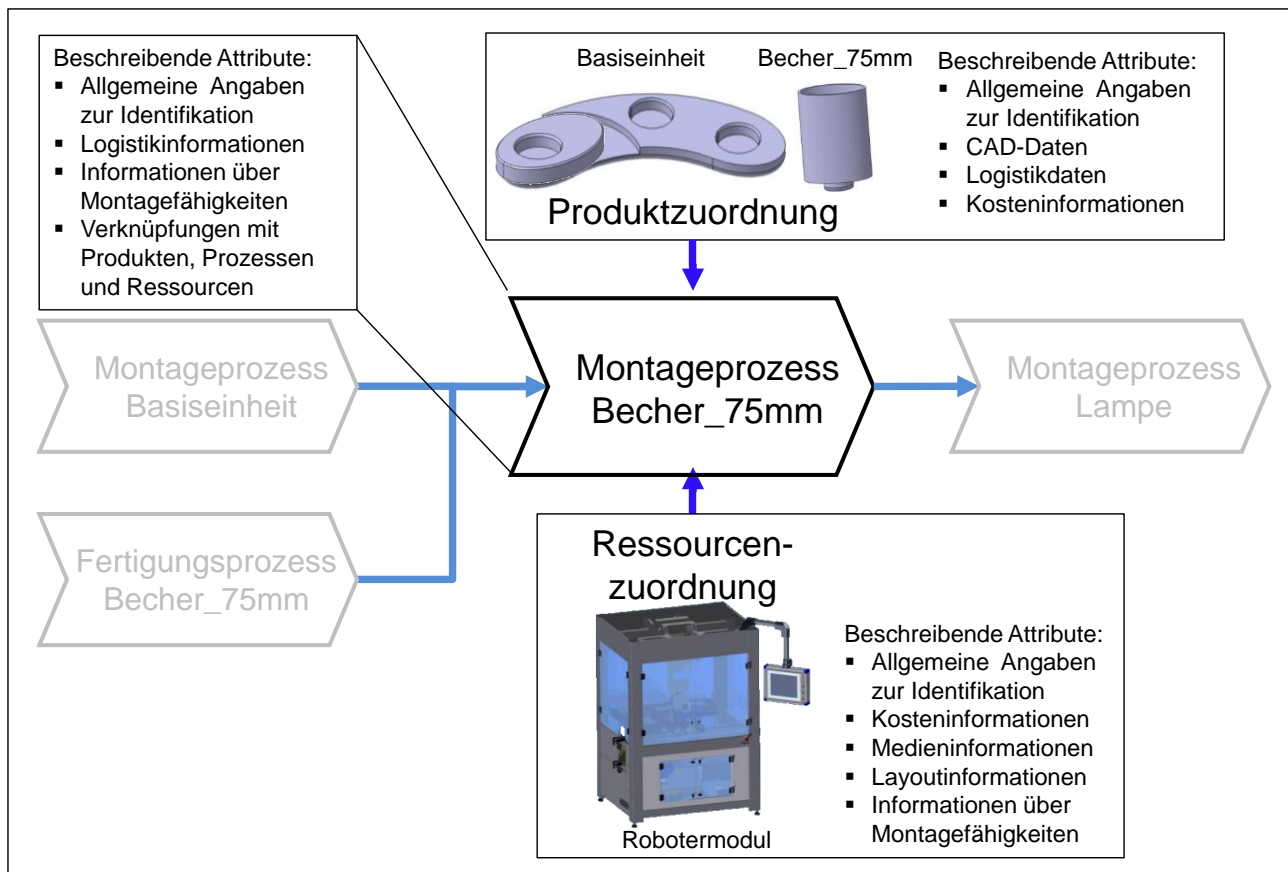


Abbildung 5-2: Produkt-, Prozess- und Ressourcenstruktur der Basisebene

Die Objekte werden zunächst aus der Bibliothek in die jeweilige Projektsicht (Produkt-, Prozess- und Ressourcensicht) referenziert, so dass Aktualisierungen an ihnen und ihren

Attributen ins gesamte Planungsprojekt übernommen werden. Anschließend werden die Objekte über die Projektsichten hinweg miteinander verknüpft, so dass ein Produkt durch einen bestimmten Prozess mithilfe bestimmter Ressourcen produziert wird.

5.1.2 Integrationsebene der digitalen Planungsumgebung

Die Integrationsebene dient zum bidirektionalen Datenaustausch zwischen heterogenen und autonomen Systemen und ermöglicht die Anbindung der IT-Systeme der Werkzeugebene an den DPE als Datenbasis. Die Integrationsebene besteht aus zwei Kommunikationsschnittstellen, die einerseits mit der Basisebene und andererseits mit der Werkzeugebene verknüpft sind, und dem Datenpropagationssystem dazwischen, das den Datenaustausch durchführt. Die Kommunikationsschnittstellen fungieren als Adapter und müssen für jedes System individuell angepasst werden, um die entsprechenden Daten übertragen zu können. Das Datenpropagationssystem beinhaltet dabei Bausteine zur Vorbereitung der Datenübertragung, zur Erstellung, Verwaltung und Speicherung der Datentransformationsskripte.

Der Datenaustausch wurde über Skripte realisiert, die in den DPE integriert sind. Die Skripte wurden den drei Sichten Produkt, Prozess und Ressource zugeordnet und können von dort ausgeführt werden. Die Skripte greifen dabei einerseits auf die Datenbankstruktur des DPE zu und andererseits auf die Datenspeicher der jeweiligen IT-Systeme der Werkzeugebene, um Daten aus der Basisebene zu exportieren und Planungsergebnisse in die Basisebene zu importieren.

5.1.3 Werkzeugebene der digitalen Planungsumgebung

In der Werkzeugebene stehen dem Industrial Engineer IT-Systeme zur Verfügung, die die Planungsaufgaben und das methodische Vorgehen zur Turbulenzbewältigung in den jeweiligen Planungsabschnitten unterstützen. Im Folgenden werden die einzelnen IT-Systeme der digitalen Planungsumgebung mit ihren Funktionen, dem Einsatzgebiet und der Integration in die Systemlandschaft vorgestellt. Die Reihenfolge orientiert sich dabei an dem Ablauf der Planungsabschnitte (s. Kapitel 6.1):

ERP- / MES- System

ERP- und MES-Systeme werden in den Bereichen des Fabrikbetriebs sowie der IST-Analyse eingesetzt. Nachdem ERP-Systeme im Wesentlichen zur überbetrieblichen Kommunikation und Koordination im Bereich der Materialwirtschaft, der Grobplanung der Produktion, der Personalwirtschaft und dem Rechnungswesen eingesetzt werden und diese Funktionalitäten nicht im Fokus der kurz- und mittelfristigen Turbulenzbewältigung

stehen, wurde auf eine Implementierung und Integration eines ERP-Systems verzichtet. Die üblicherweise im ERP-System gespeicherten Auftragsdaten werden über eine Access-Datenbank in die digitale Planungsumgebung eingespeist.

Das MES-System (PSImes) übernimmt als Schnittstelle von der Fabrikplanung zur realen Montage zunächst die Feinplanung und unterstützt damit die Aufgaben der Produktionsprogramm-, Mengen-, Termin- und Kapazitätsplanung im Fabrikbetrieb. Für die Feinplanung des Produktions-programms wird das MES-System vom DPE mit Informationen zu den Stücklisten, Arbeitsplänen und den benötigten Ressourcen versorgt. Im Rahmen des Controllings des operativen Auftragsmanagements werden Rückmeldungen, wie die reale Prozess- und Auftragsdurchlauf-zeiten, Störungen und Kapazitätsauslastung, aus der laufenden Produktion aufgenommen und an die Basisebene weitergeleitet. Diese Informationen dienen später als Grundlage für die Identifikation von Turbulenzen im SOLL-IST-Vergleich und der IST-Analyse. Eine detailliertere Betrachtung der Verknüpfung des MES-Systems mit dem Leitrechner des wandlungsfähigen Montagesystems erfolgt in Kapitel 5.3 nach der Vorstellung und Erläuterung des Montagesystems.

PDM- / PLM-System

Das PDM- / PLM-System liefert alle erforderlichen Produktinformationen, die in der Arbeitsablaufplanung benötigt werden und unterstützt die notwendige enge Kooperation zwischen der Produktentwicklung und dem Industrial Engineering. Das PDM-System Windchill PDM-Link verwaltet alle Produktinformationen von der Produktstruktur mit verschiedenen Sichten für die Konstruktion und die Produktion, den CAD-Daten verschiedener CAD-Systeme, über die verantwortlichen Mitarbeiter und deren Berechtigungen bis hin zu Workflows und Lebenszyklen der Produkte. Die für die Arbeitsablaufplanung notwendigen Informationen können aus dem PDM- / PLM-System exportiert und an die Datenbasis übergeben werden. Da im Qualifizierungskonzept die langfristige Zusammen Arbeit zwischen der Produktentwicklung und dem Industrial Engineering nicht betrachtet wird, reicht ein unidirektionaler Datenaustausch aus. An den Produktinformationen werden keine Veränderungen vorgenommen werden.

Prozessplanungssysteme

Die Prozessplanungssysteme unterstützen die Arbeitsablaufplanung von der Entwicklung des Montagevorranggraphen über die Betriebs-/Fertigungsmittelplanung, die Zeitplanung bis hin zur Prüfplanung und der Kostenplanung. In der digitalen Planungsumgebung steht dafür der DPE und V5 DPM Assembly zur Verfügung.

Der DPE, der zugleich die Datenbasis darstellt, übernimmt mit der Montagevorranggraphentwicklung, der Kapazitätsplanung, mit dem Taktabgleich und der Kostenplanung auch die zentralen die Aufgaben der Arbeitsablaufplanung. Für die Montagevorranggraphentwicklung werden die Prozesspläne aus den Produktinformationen abgeleitet und die einzelnen Produktionsprozesse logisch miteinander verknüpft. Zusätzlich lassen sich dann die ausgewählten Ressourcen zu den Produktionsprozessen zuordnen. Für die Kapazitätsplanung werden die Zeitinformationen für die einzelnen Produktionsprozesse aus dem Zeitermittlungssystem, reale Rückmeldedaten der Produktion über das MES-System oder Daten einer separaten IST-Aufnahme sowie aus Schätzungen übernommen.

V5 DPM Assembly ist standardmäßig an den DPE gekoppelt und kann somit direkt auf die gemeinsame Datenbasis zugreifen. V5 DPM Assembly dient vor allem dazu, den Montageablauf an einem manuellen Arbeitsplatz zu gestalten, die Prozessabläufe auf ihre Machbarkeit zu prüfen und zu optimieren.

Zeitermittlungssystem

Für den Bereich der Arbeitsablaufplanung steht dem Industrial Engineer das IT-System MTM-TiCon® zur Verfügung, das in erster Linie zur Ermittlung von Soll-Zeiten durch MTM-Analysen zur Bestimmung von Prozesszeiten für neu zu gestaltende manuelle Arbeitsvorgänge eingesetzt wird. Hierfür stehen Bausteine mit vorbestimmten Zeiten von der Einzelfertigung über die Serienfertigung bis hin zur Massenfertigung zur Verfügung. Des Weiteren kann eine Auswertung hinsichtlich der wertschöpfenden und nicht wertschöpfenden Prozesse erfolgen.

Zur Nutzung der Planungsergebnisse können die fertigen MTM-Analysen aus MTM-TiCon® in eine Excel-Tabelle exportiert werden, die wiederum in den DPE eingelesen und den entsprechenden Produktionsprozessen zugeordnet werden kann.

Materialfluss- / Logistiksimulationssystem

Der Logistikprüfstand, ein im SFB 467 entwickeltes IT-System, dient der Optimierung der logistischen Leistungsfähigkeit von Produktionsunternehmen in den Planungsabschnitten der Produktionsstrukturierung und der logistischen Dimensionierung. Der Logistikprüfstand kann auf den Ebenen Unternehmensnetzwerk bis hin zum Produktionssystem eingesetzt werden, um eine Optimierung im Spannungsfeld zwischen Kunden, Auftragsmanagement, Produktion und Zulieferern zu analysieren und ihr Verhalten anhand eines Simulationsmodells zu bewerten. Dafür werden die Planungslogik (Auftragsmanagementmethoden und -parameter), der Informationsfluss (Kundenaufträge,

Auftragsprognosen, BDE- / MDE-Daten sowie Produktionsaufträge), der Materialfluss (Transportverknüpfungen, Lieferungen und Losgrößen) und die Ressourcen (Menschen, Betriebsmittel, Transportmittel und Lager) abgebildet.

Der Logistikprüfstand ist über eine Access-Datenbank an den DPE angekoppelt. Die zur Simulation benötigten Produktdaten (z. B. Stücklisten, Artikel-ID, Dispositionsdaten, Lager und Zulieferer), Prozessdaten (z. B. Einzelzeiten, Rüstzeiten) und Ressourcendaten (z. B. Kapazitätsmodell, Verfügbarkeit und Kostensätze) sowie die Verknüpfungen von Produkten, Prozessen und Ressourcen untereinander werden aus dem DPE exportiert. Diese können neben weiteren Informationen wie den Auftragsdaten aus anderen Werkzeugen in den Logistikprüfstand importiert werden. Nach abgeschlossener Optimierung können die Simulationsdaten in den DPE reimportiert werden. Zusätzlich kann aus dem DPE auf die Ergebnisse der Simulation zugegriffen und die graphische Auswertung betrachtet werden.

Layoutplanungssystem

Der Fabrikplanungstisch, der im SFB 467 entwickelt wurde, dient der teambasierten Planung von Fabrikstrukturen und kann in den Planungsabschnitten der Layoutplanung sowie der Feinplanung eingesetzt werden. Die Teammitglieder können die Maschinen und Anlagen im Fabriklayout, das in 2D auf einen Tisch projiziert wird, mithilfe von sogenannten Bricks (reflektierende Metallquader) positionieren. Eine ständige 3D-Visualisierung des aktuellen Planungsstands unterstützt die Planer bei der Verifizierung ihrer Ergebnisse und hilft dabei, Schwachstellen schnell zu erkennen und zu beseitigen. Der Fabrikplanungstisch besitzt eine eigene Datenbank, die mit der Datenbasis verknüpft ist. Vom DPE aus können die aktuellen Daten der Ressourcenstruktur sowie deren Positionsdaten in die Datenbank des Fabrikplanungstischs exportiert werden und der Fabrikplanungstisch gestartet werden. Nach Durchführung der Planung erfolgt eine Aktualisierung der Ressourcendaten sowie deren Positionen. Diese Informationen werden dem Planer für jede Ressource auf einer Meldeseite im DPE angezeigt.

Robotersimulationssystem

V5 Robotics kann den Industrial Engineer sowohl in der Arbeitsablaufplanung als auch in der Feinplanung unterstützen. Mit V5 Robotics werden Roboterzellen geplant, simuliert, optimiert und programmiert. Es können komplexe Aufgaben und Prozessabläufe vom Aufnehmen eines Werkstücks bis hin zu Halte- und Schweißabläufen modelliert werden, an denen mehrere Roboter gleichzeitig beteiligt sein können. Das Programm synchronisiert dabei die einzelnen Roboterbewegungen. Damit lassen sich Roboterzellen

detailliert planen und verifizieren. Letztendlich kann der Benutzer mit einem entsprechenden Parser die Roboterprogrammierung offline vornehmen, so dass die Produktion nur kurz angehalten werden muss um die Roboter einzurichten. V5 Robotics ist standardmäßig an den DPE gekoppelt und kann somit direkt auf die gemeinsame Datenbasis zugreifen.

AR- / VR-System

Der Montagekonfigurator, ein im SFB 467 entwickeltes IT-System, dient der Feinplanung von Arbeitsplätzen im Rahmen der Arbeitsorganisation. Den Arbeitsplätzen werden Betriebsmittel und Werkzeuge zugeordnet und deren Anordnung hinsichtlich der zu bewältigenden Montageprozesse optimiert. Die Planung erfolgt dabei in einer 3D / VR-Umgebung. Neben den üblichen Manipulationsmöglichkeiten kann der Planer die einzelnen Ressourcen aneinander koppeln, so dass beispielsweise Kisten einem Tisch zugeordnet werden können und diese automatisch mit dem Tisch verschoben werden. Außerdem werden dem Planer Informationen zu den einzelnen Objekten angezeigt, wie z. B. die Verknüpfung eines Transportbehälters mit den enthaltenen Produkten, mit welchem Prozess die Produkte des Behälters verarbeitet werden, die Größe und das Fassungsvermögen des Behälters. Die benötigten Informationen (Ressourcenstruktur, Ressourceninformationen und Grafiken) werden aus dem DPE in den Montagekonfigurator eingelesen. Nach der Arbeitsplatzgestaltung werden die Positionsdaten der Ressourcen im DPE aktualisiert.

Ergonomiesimulationssystem

Für die ergonomische Betrachtung von Arbeitsplätzen in der Arbeitsorganisation wird der Industrial Engineer durch MTM-TiCon[®] unterstützt, das mit dem Baustein MTM Ergonomics Funktionalitäten für die Ergonomiesimulation bietet. Grundlage für Ergonomiebetrachtung sind die Prozessanalysen, anhand derer Belastungsanalysen der einzelnen Arbeitsplätze erstellt und Auswirkungen auf den Mitarbeiter unter Einbezug des Produktmixes bewertet werden können. Die Planungsergebnisse fließen in die Arbeitsablaufplanung und die Arbeitsplatzgestaltung ein.

5.2 Physische Lernumgebung

Die physische Lernumgebung wurde entlang der in Kapitel 4.4.2.4 beschriebenen Konzeption mit einem wandlungsfähigen Montagesystem umgesetzt, das es den Lernenden ermöglicht die kurz- und mittelfristigen Turbulenzen in einer realen Umgebung

zu identifizieren, die Planungsergebnisse der Turbulenzbewältigung selbstständig in kurzer Zeit zu realisieren und in Produktionsläufen zu testen.

Für die Darstellung einer realitätsnahen Montageumgebung wurden sowohl verschiedene technologische Funktionen der Montage [DIN 8593] als auch unterstützende Tätigkeiten wie Zubringen (Transportieren), Kontrollieren, Justieren und Hilfsfunktionen [VDI 2860] integriert. Als Montagefunktionen wurden das Zusammensetzen [DIN 8593-1] und das Anpressen / Einpressen [DIN 8593-3] ausgewählt, da dies im Montagebereich die gängigsten Fertigungsverfahren sind und sie gleichzeitig eine lösbare Verbindung aufweisen, was für den Schulungsbereich eine wichtige Eigenschaft darstellt. Andere Verfahren wie Fügen durch Schweißen, Lötten und Kleben sowie Fügen durch Umformen und Urformen werden aufgrund der unlösbaren Verbindungen nicht eingesetzt, könnten aber ebenso in die Montagemodule integriert werden, wie die anderen Verfahren. Da sich die Vorgehensweise für die Planung und Optimierung von Produktionsstrukturen für die verschiedenen Technologien nur in geringem Umfang unterscheidet, reichen die oben genannten Funktionalitäten aus, um eine reale Montage abzubilden. Als unterstützende Tätigkeiten wurden sowohl klassische Handhabungsfunktionen wie Speichern, Menge verändern, Bewegen, Sichern und Kontrollieren als auch Materialflussfunktionen wie Lagern und Fördern integriert.

Zur Ausführung der Montagefunktionen wurden Handarbeitsplatzmodule und Robotermodule ausgewählt, die auch in der Realität eingesetzt werden. Für die Ausführung der Montagetätigkeit an den automatisierten Robotermodulen wurden diese mit den notwendigen Funktionen wie dem geordneten Speichern der zu montierenden Bauteile, dem Bewegen der Bauteile im Montagevorgang, dem Sichern durch mechanische Greifer während der Handhabung und Montage sowie dem Kontrollieren zur Qualitätssicherung und der Gewährleistung der Arbeitssicherheit ausgestattet. Die Handarbeitsplatzmodule sind so gestaltet, dass Speicher für die zu montierenden Bauteile angedockt werden können und die Kontrollfunktionen durch den Mitarbeiter ausgeführt werden können. Für automatische Prüfaufgaben stehen Kameraprüfstrecken zur Verfügung, die mit einer optischen Bilderkennung ausgestattet sind. Für die Funktion als Eingangs-, Zwischen- oder Ausgangslager wurde ein automatisches Lagermodul integriert. Für die materialflusstechnische Verknüpfung mit Puffer- und Förderfunktion wurden gerade Transportmodule, Verzweigungsmodule, Eckmodule und Lifte in das Baukastensystem aufgenommen (s. Abbildung 5-3). Die Liftmodule werden erforderlich, da alle Module mit zwei Transportebenen ausgerüstet sind, was erstens einen stets geschlossenen Materialkreislauf garantiert und somit weniger Planungsaufwand, zweitens den Aufwand in der Realisierungsphase für den Umbau des Montagesystems verringert

und drittens zu einem geringeren Platzbedarf führt. Um dem Industrial Engineer einen möglichst hohen Freiheitsgrad in der Layoutgestaltung des Materialflusses zu geben, kann bei dem Robotermodulen dem automatische Lager, den Verzweigungs- und Eckmodulen die Materialflussrichtung gewechselt werden. Alle anderen Module müssen entsprechend ihrer Materialflussrichtung eingeplant werden. Die obere Transportebene wird auch für die Ausführung der Montagefunktionen genutzt während die untere Transportebene ausschließlich Puffer- und Förderfunktionen übernimmt. Für die Abbildung eines komplexen Wertstromes in der Montage wird die Materialversorgung der Montagemodule mit den zu montierenden Produktkomponenten und die Weiterführung der fertigen Produkte an den Warenausgang über Logistikmitarbeiter realisiert, wie dies in den Unternehmen auch der Fall ist. Somit lassen sich auch die verschiedenen Konzepte der Produktionssteuerung umsetzen.



Abbildung 5-3: Funktionale Module des wandlungsfähigen Montagesystems

Einen wesentlichen Beitrag zur Informationsgewinnung und der schnellen Umsetzung der Planungsergebnisse leistet die hohe Modularität und Standardisierung der einzelnen Module des Montagesystems, die auch Wiendahl als wesentlichen Wandlungsbefähiger sieht [Wiendahl 2005, S. 25]. Dies gilt sowohl für die Hardware als auch die Software mit dem Steuerungskonzept.

Im Bereich der Hardware wird die Standardisierung und Modularisierung mit definierten Abmessungen eines Rasters für die Montagemodule umgesetzt, die den Austausch einzelner Module des Montagesystems ermöglichen ohne dass weitere Module bewegt werden müssen. Des Weiteren sind die Module mit standardisierten Schnittstellen für den

Material- und Informationsfluss sowie die Medienversorgung ausgestattet. Die Transportbänder stellen die Materialflussschnittstelle dar und wurden in allen Modulen über die gesamte Rasterbreite und auf derselben Höhe angebracht. Der Informationsfluss ist Bestandteil der Medienversorgungsschnittstelle, die darüber hinaus die Strom- und Druckluftversorgung der Module beinhaltet und über eine Steckverbindung realisiert ist. Über diese Schnittstelle ist die Grundversorgung der Module gewährleistet. Um den Medienfluss während der Rekonfiguration zügig herstellen zu können, erfolgt die Einspeisung der Medien von den Anschlussstellen der Produktionsstätte an den Leitreechner des Montagesystems, von dem aus die Medien an ein Modul der Montagelinie eingespeist werden. Innerhalb einer Montagelinie werden die Medien von Modul zu Modul weitergeleitet, wozu die Module mit drei Schnittstellen (1-mal Medieninput, 2-mal Medienoutput) ausgestattet sind. Somit kann der Leitreechner an alle Module des Montagesystems angedockt werden. Dieses Prinzip der Medienweiterleitung unterstützt eine schnelle Veränderbarkeit der Produktionsstrukturen, da bei der Verkabelung eines Modulwechsels insgesamt nur zwei Anschlüsse betätigt werden müssen und keine Verkabelung außerhalb des Montagesystems erforderlich ist. Falls künftige Module weitere spezielle Medien benötigen, können diese über separate Anschlüsse an die zentrale Versorgung der Produktionsstätte gekoppelt werden. Die Standardisierung der Module bezieht sich nicht nur auf die externen Schnittstellen, sondern auch auf die internen, was Veränderungen an den Modulen wie die Integration neuer Technologien und das Störungsmanagement sowie den Produktionsanlauf erleichtert.

Um ihre Mobilität zu realisieren, haben die Module einen stabilen Rahmen, mit dem sie sich mit einfachen Transportmitteln wie Hubwagen oder Stapler schnell und einfach bewegen und positionieren lassen. Für die Feinjustierung der Transportbänder lassen sich die Standbeine manuell einstellen.

Die Fähigkeiten der Hardware, die den Anforderungen an ein wandlungsfähiges Montagesystem genügt, kann allerdings nur in vollem Umfang ausgeschöpft werden, wenn auch das Steuerungskonzept darauf ausgerichtet ist.

Das „Plug & Produce“ Steuerungskonzept entspricht dem Prinzip der Leistungseinheiten im System Fabrik bei dem Moduleigenschaften wie Selbstorganisation, Selbstkontrolle, Kooperation mit anderen Leistungseinheiten und technische Intelligenz eine wichtige Rolle spielen. Das Grundkonzept sieht eine dezentrale Steuerung des Montagesystems vor, so dass alle Module mit einer separaten Steuerung ausgerüstet sind, die die Kommunikation mit allen Komponenten innerhalb des Moduls übernimmt und die Kommunikation mit den anderen Modulen über einen Leitreechner ermöglicht. Der Leitreechner stellt alle Informationen, die von den Modulen benötigt werden auf einem Server zur Verfügung und

greift nur bei Funktionen der Inbetriebnahme und dem Auslösen des Notauskreislaufes ein. Der Server des Leitrechners dient zusätzlich als Datenaustauschplattform zwischen der physischen Lernumgebung und der digitalen Planungsumgebung. Um den Informations- und Materialfluss im Montagesystem zielgerichtet durchführen zu können, wird vor der Inbetriebnahme eine Layouterkennung durchgeführt. Anhand der Modulpositionen können die Informationen von Modul zu Modul auf kürzestem Wege vom Sender zum Empfänger geleitet werden. Des Weiteren wird die Layoutinformation für die automatische Festlegung der Materialflussrichtung der Module benötigt, deren Transportbänder in beide Richtungen angetrieben werden können. Das Verzweigungsmodul benötigt die Layoutinformation, um die Produkte zielgerichtet an das Modul zu geleiten, an dem der nächste Montageprozess im Arbeitsplan durchgeführt werden muss.

Die Steuerungen der Module werden entweder über Eingangssignale des Leitrechners (zentrale Funktionen), die Anfragen anderer Modulsteuerungen oder über Sensorsignale innerhalb des Moduls angetriggert. Die durch die Eingangssignale ausgelösten Funktionen führen entweder zu Anfragen oder Rückmeldungen an den Server des Leitrechners oder steuern interne Modulkomponenten an, wie die Sensoren der Layouterkennung, die Bandantriebe, die RFID-Sensoren zur Produktidentifikation, die Ein- / Ausgabegeräte oder die funktionspezifischen Komponenten zum Montieren, Kontrollieren, Lagern, Puffern und Fördern.

Die Funktionsweise des dezentralen Steuerungskonzeptes und das Zusammenspiel zwischen Leitrechner und Modulsteuerungen lassen sich anhand eines Auftragsdurchlaufes erläutern. Die Kundenaufträge (Produktvariante und Anzahl der Produkte) und Arbeitspläne liegen im Server des Leitrechners vor und werden von diesem aktiv an das Modul gemeldet, das den ersten Schritt im Arbeitsplan ausführt. Dabei werden im Leitrechner eindeutige IDs vergeben, so dass jedes Produkt eines Kundenauftrages eindeutig identifiziert werden kann. Im erstens Prozessschritt, der nur an einem Handarbeitsplatz und dem automatischen Lager ausgeführt werden kann, wird zunächst ein Carrier als auftragsneutrales Transporthilfsmittel im Montagesystem angefordert, bevor ein Werkstückträger aufgesetzt wird. Der Werkstückträger wird anhand seines RFID-Chips identifiziert und im Leitrechner mit der Produkt-ID des Kundenauftrags verknüpft. Ab diesem Zeitpunkt wird der Arbeitsplan der Produktvariante von den Modulen selbstständig abgearbeitet. An jedem Modul mit Montagefunktion wird der RFID-Chip ausgelesen und von der Modulsteuerung am Leitrechner nachgefragt, ob der nächste Prozessschritt im Arbeitsplan an diesem Modul ausgeführt werden muss und wenn ja, was für ein Prozess mit welchen Parametern dies ist. Anhand der Informationen vom

Leitrechner werden dann die internen Komponenten des Moduls angesteuert, um den Prozess durchzuführen. Dabei werden die Prozessschritte des Arbeitsplans von dem jeweiligen Modul mit einem Zeitstempel als begonnen bzw. erfolgreich / nicht erfolgreich beendet zurückgemeldet. Nach Beendigung des Arbeitsganges wird von der Modulsteuerung nachgefragt, ob der nächste Arbeitsgang ebenfalls an diesem Modul durchzuführen ist. Ist dies nicht der Fall, wird der Carrier freigegeben und an das nächste Modul weitergeleitet. Nach Beendigung des letzten Prozessschrittes wird die Fertigstellung des Produktes an den Leitreechner gemeldet, so dass der Kundenauftrag nach Beendigung des gesamten Auftragsvolumens als erledigt registriert werden kann.

5.3 Verzahnung der digitalen Planungsumgebung und der physischen Lernumgebung

Die Verzahnung zwischen Planung und Produktion ist wichtig, um Potentiale bei der Erhöhung der Planungsqualität und der Reduktion der Planungszeiten zu erreichen. Gerade das Fabrikmonitoring wie auch die IST-Analyse als erste Planungsphase sind auf aktuelle Produktionsdaten angewiesen, um die entsprechenden Planungsprozesse anstoßen zu können. In der Lernumgebung werden daher die digitale Planungsumgebung und das wandlungsfähige Montagesystem miteinander gekoppelt, um einen bidirektionalen Datenaustausch zu erzielen (s. Abbildung 5-4). Von der digitalen Planungsumgebung fließen die Informationen vom DPE als zentraler Datenbasis über das MES-System an den Leitreechner des wandlungsfähigen Montagesystems. Der Leitreechner dient als Kommunikationsschnittstelle und Datenaustauschplattform zwischen den einzelnen Modulen des Montagesystems. Die Rückmeldungen zum eingespielten Produktionsprogramm werden vom Leitreechner über das MES-System an den DPE weitergeleitet. Des Weiteren werden Informationen wie die Layoutkonfiguration direkt vom Leitreechner an den DPE gemeldet.

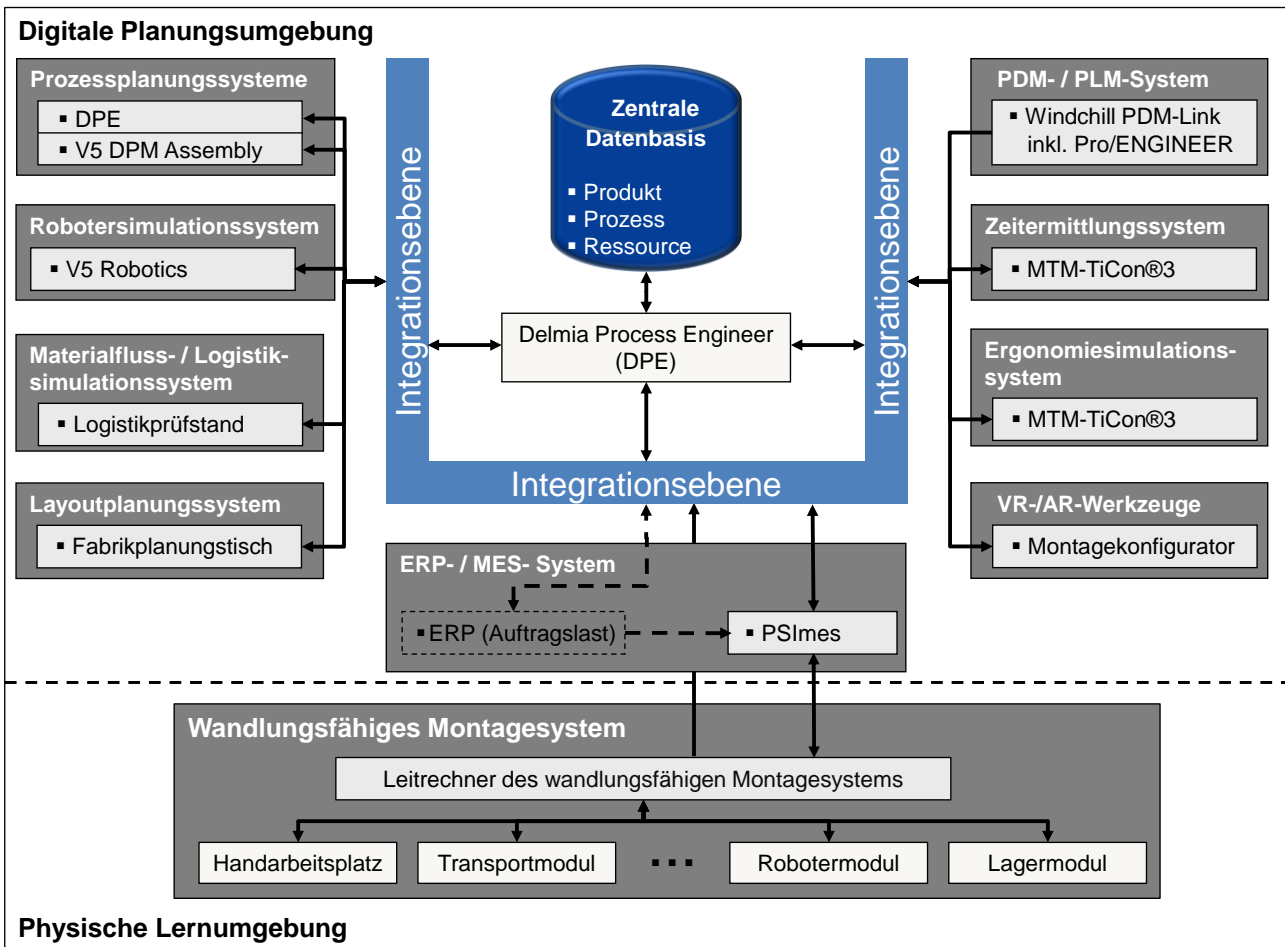


Abbildung 5-4: Verzahnung der digitalen Planungsumgebung und des wandlungsfähigen Montagesystems

Zunächst wird die Datenübergabe aus der digitalen Planungsumgebung dargestellt, bevor die Rückführung von Daten aus dem wandlungsfähigen Montagesystem vorgestellt wird. Nach der Umsetzung der Planungsergebnisse im wandlungsfähigen Montagesystem kann die neu konfigurierte Montage starten. Die für die Montage benötigten Auftragsdaten und Arbeitspläne werden vom DPE über das MES-System an den Leitreechner des wandlungsfähigen Montagesystems übergeben. Die Arbeitspläne werden mit den Stücklisten und den Ressourcenverknüpfungen der einzelnen Prozessschritte vom DPE an das MES-System gesendet, das die ERP-Daten (Auftragsdaten) aus einer Access-Datenbank erhält. Nach der Feinplanung übergibt das MES-System mit dem Produktionsprogramm die detaillierte Auftragsreihenfolge an den Leitreechner, die Schritt für Schritt abgearbeitet wird. Neben der Auftragsbezeichnung, dem Produktnamen und der Bestellmenge wird noch der Arbeitsbeginn in die Auftragsliste eingetragen. Die einzelnen Arbeitspläne für die Produkte werden im MES zerlegt dargestellt, so dass die Zuordnung der einzelnen Prozessschritte zu den jeweiligen Ressourcen ersichtlich ist. Im DPE sind bereits die Anweisungen für die verschiedenen Module (Handarbeitsplatzmodul,

Robotermodul, Lagermodul und Prüfmodul) hinterlegt, so dass der Prozess ausgeführt werden kann. Die detaillierten Arbeitspläne werden in die Prozessliste des Leitrechners eingetragen, so dass die Anweisungen für die einzelnen Prozessschritte von den Modulen des wandlungsfähigen Montagesystems am Leitrechner abgefragt werden können, wenn der jeweilige Auftrag bearbeitet wird.

Für die Adaption der Montage sind die während der Produktion gesammelten Daten von besonderer Bedeutung, um die Planung auf Basis aktueller Daten der Produktion durchzuführen. Im Leitrechner des wandlungsfähigen Montagesystems werden die benötigten Daten gesammelt und gespeichert. Nach der Umsetzung der Planungsergebnisse wird zunächst das Layout des wandlungsfähigen Montagesystems eingelesen (s. Kapitel 5.2). Die Position und Orientierung der Module kann an den DPE übertragen werden. Somit kann die aktuelle Ressourcenstruktur des wandlungsfähigen Montagesystems in die digitale Umgebung zurückgeführt werden und letztendlich im Fabrikplanungstisch bei der Layoutplanung berücksichtigt werden.

In mehreren Rückmeldelisten werden alle Prozess- und Ressourcendaten erfasst und in SQL-Tabellen des Leitrechners gespeichert. Zum einen wird der Fortschritt der begonnenen Aufträge registriert und die Anzahl der erfolgreich produzierten Produkte mitgeschrieben. Anhand der Zeitstempel lassen sich in der Analyse die Gesamtdurchlaufzeiten für den Auftrag berechnen. Auf Prozessebene werden alle im System ausgeführten Arbeitsschritte dokumentiert und neben dem Prozessbeginn und dem Prozessende auch das ausführende Modul sowie die Prozessqualität (i.O. / n.i.O.) und die Werkstückträger-ID protokolliert. Somit kann der Prozessverlauf für das gesamte Produkt nachvollzogen werden und neben Prozesszeiten und der Ressourcenauslastung auch Qualitätsprobleme identifiziert werden. Die Rückmeldelisten für Aufträge und Prozesse werden an das MES-System gemeldet und können dort im Rahmen des Fabrikmonitoring und der späteren IST-Analyse genutzt werden. Für den Planungsvorgang können durchschnittliche Prozesszeiten einzelner Montagevorgänge in den DPE zurückgespielt werden, so dass in der Arbeitsablaufplanung mit vorhandenen geschätzten Zeiten, MTM-Planzeiten, aufgenommenen REFA-Zeiten oder gemittelten realen Produktionszeiten gearbeitet werden kann.

5.4 Variantenreiches Produkt

Um die, im Qualifizierungskonzept dargestellten, komplexen Produktionsszenarien realitätsnah in der Lernumgebung umzusetzen, wurde ein Produkt entwickelt. Hinsichtlich des Qualifizierungskonzepts, der notwendigen Informationen für die digitale

Planungsumgebung und der Einsetzbarkeit in der wandlungsfähigen Modellfabrik wurden in Kapitel 4.4.3 folgende wesentliche Anforderungen identifiziert:

- Hohe Produktvarianz
- Komplexität
- Produkt- und Prozessmerkmale (Produktgeometrie, Montageverfahren)
- Wiederverwendbarkeit / Reproduzierbarkeit
- Adaptierbarkeit an künftige Themengebiete / Technologien

Als Beispielprodukt, das die oben genannten Anforderungen erfüllt, wurde ein Schreibtischset entwickelt. Das Schreibtischset besteht aus einer Basiseinheit, auf die weitere Baugruppen montiert werden können. Die dreiteilige Basiskomponente besteht aus einer Grundplatte mit zwei standardisierten Schnittstellen und einem drehbaren Deckel mit einer weiteren standardisierten Schnittstelle. Dieser ist über einen Passstift mit der Grundplatte verbunden und wird über einem Ablagefach positioniert. Als Komponenten, die in die drei standardisierten Schnittstellen eingesetzt werden können, dienen hohe Becher zur Aufbewahrung von Stiften, kleine Becher für Büroklammern oder Radiergummis, ein Magnet und analoge Instrumente zur Messung von Zeit, Temperatur und Luftdruck. Die Instrumente können entweder eigenständig oder in einen schrägen Adapter montiert werden, der die Lesbarkeit der Instrumente verbessert. Um eine hohe Produktvarianz zu erreichen, wurden die einzelnen Produktkomponenten in verschiedenen Ausführungen hergestellt (s. Abbildung 5-5).

Um die Entwicklung des Arbeitsplanes, dem Kerngebiet des Industrial Engineerings, und die dabei zu identifizierenden verschiedenen Prozessabläufe anhand eines adäquaten Beispiels erläutern zu können wurde eine komplexere Produktkomponente benötigt als die oben aufgezählten. Daher wurde eine kleine Leselampe entwickelt, die aus 14 Einzelteilen besteht und von der Prozesscharakteristik nicht mit den anderen Montageschritten zum Einsetzen und Positionieren der Becher und Instrumente vergleichbar ist.

In der Lernumgebung stehen folgende Produktkomponenten zur Verfügung:

- 2 Varianten der Basiseinheit mit unterschiedlichen Drehpunkten für den Deckel
- 6 Varianten des hohen Bechers (Vollmaterial, vier symmetrisch angeordnete Löcher, Vollmaterial sandgestrahlt oder teilsandgestrahlt, Vollmaterial mit 2 Nuten)
- 4 Varianten des kleinen Bechers (Vollmaterial, vier symmetrisch angeordnete Löcher, Vollmaterial sandgestrahlt, Vollmaterial mit 2 Nuten)
- 3 analoge Instrumente zur Messung von Zeit, Temperatur und Luftdruck, die mit einem Adapter kombiniert werden können
- 1 Magnet
- 3 Varianten der Leselampe, die sich nur anhand der Deckel unterscheiden

Nachdem alle Produktkomponenten in die drei standardisierten Schnittstellen der Basiseinheit eingesetzt werden können, ergibt sich eine hohe Variantenzahl von circa 16.000, die im Rahmen der Produktionsszenarien eingesetzt werden können. In den Szenarien muss die Variantenanzahl aber auf ein sinnvolles Maß reduziert werden, um die Stückzahlen einer Serienproduktion zu erreichen.

Um die Rahmenbedingungen des wandlungsfähigen Montagesystems einzuhalten, wurden vorrangig die Montagefunktionen Zusammensetzen [DIN 8593-1] und Anpressen / Einpressen [DIN 8593-3] berücksichtigt, so dass die Montage an den Montagemodulen ausgeführt werden können. Die Restriktionen des Bauraums (Länge 150mm, Breite 150mm, Höhe 150mm) der Unterflurförderung spiegelt sich in der Größe der Basiseinheit wider. Auch bei der Höhe der hohen Becher (Höhe 75mm) sowie der Lampe (Höhe 80mm) wurden die Abmaße eingehalten, wobei die Höhe der Carrier und Werkstückträger einberechnet werden mussten. Aufgrund des geringen Gewichtes des Schreibtischsets wird auch die Tragfähigkeit der Roboter, der Transportbänder und der Lift nicht überschritten.



Abbildung 5-5: Produktkomponenten des Schreibtischsets

Die Forderung nach der langfristigen Wiederverwendung wurde Rechnung getragen, indem mit den Fügeoperationen Zusammensetzen [DIN 8593-1] und Anpressen / Einpressen [DIN 8593-3] nur lösbare Verbindungen in der realen Montage durchgeführt werden. Des Weiteren wurden die Produktkomponenten aus Aluminium hergestellt und entsprechend stabil ausgelegt, dass durch die Handhabung mit Robotern keine Beschädigung erfolgt. Die Reproduzierbarkeit des Produktes wird erreicht, indem die Produktkomponenten selbstständig in der eigenen Werkstatt hergestellt werden können und die Kaufteile wie die analogen Instrumente und der Magnet sowie die Bauteile der Leselampe (Batteriekontakte, Batterien, LED und Kabel) zum Standardsortiment von Projektpartnern bzw. dem Elektronikhandel zählen. Damit wird gewährleistet, dass Ersatz für die Produktkomponenten beschafft werden kann.

Nachdem die Basiseinheit über drei standardisierte Schnittstellen verfügt, können weitere Produktkomponenten entwickelt werden, die auf künftige Themengebiete / Technologien ausgerichtet werden können. Somit ist die Adaptierbarkeit ebenso erfüllt.

6 Qualifizierungskonzept zur Nutzung einer Lernfabrik für die variantenreiche Montage

Die Nutzung einer Lernfabrik für die variantenreiche Montage, zur Vermittlung eines neuen IE-Verständnisses, das mit den vorhandenen Potentialen der Digitalen Fabrik und modularer, wandlungsfähiger Montagesysteme die Turbulenzbewältigung unterstützt, wird mit einem Qualifizierungskonzept erreicht.

Zunächst werden für jeden einzelnen Planungsabschnitte die Lernziele definiert, bevor der Zusammenhang zwischen kurz- und mittelfristigen Turbulenzen, den daraus resultierenden Planungsaufgaben und den dabei eingesetzten Methoden und Werkzeugen des IE und der Digitalen Fabrik hergestellt wird

In der Ausarbeitung des handlungsorientierten Qualifizierungskonzepts für Industrial Engineers werden aus den drei Teilbereiche Grundlagen des klassischen Industrial Engineering, Vermittlung neuer Methoden und Werkzeuge des IE und selbstständige Anwendung neuer Methoden und Werkzeuge des IE Lernmodule entwickelt. Abschließend werden Planspielszenarien entwickelt, mit denen die selbstständige Anwendung der Methoden und Werkzeuge durch die Lernenden erfolgt.

6.1 Lernziele der einzelnen Planungsabschnitte zur Turbulenzbewältigung

Ausgangspunkt für die Beschreibung der einzelnen Planungsabschnitte zur Turbulenzbewältigung sind die in Kapitel 4.2.4.3 identifizierten Handlungsoptionen zur Bewältigung von kurz- und mittelfristigen Turbulenzen. Im Folgenden werden die Prozessabschnitte von der IST-Analyse, über die Prozess- und Kapazitätsplanung, die Layoutplanung und die logistische Dimensionierung bis hin zur Feinplanung und der anschließenden Realisierung sowie den operativen Planungsprozessen im Fabrikbetrieb nach einem einheitlichen Schema beschrieben (s. Abbildung 6-1).

Hierzu erfolgt eine detaillierte Beschreibung, inwieweit der jeweilige Prozessabschnitt bei den identifizierten kurz- und mittelfristigen Turbulenzen erforderlich ist, und welche Planungsprozesse dabei besonders im Fokus stehen. Für jeden Prozessabschnitt werden Lernziele definiert, die im Qualifizierungskonzept aufgegriffen werden. Anschließend erfolgt eine inhaltliche Beschreibung der Vorgehensweise für die einzelnen Prozessabschnitte. Dabei werden die einzelnen Planungsprozesse vorgestellt und die, bei der Durchführung unterstützende Methoden und Werkzeuge des IE zugeordnet. Speziell wird in diesem Rahmen auf die Einsatzgebiete und den Nutzen der digitalen und virtuellen Werkzeuge eingegangen.

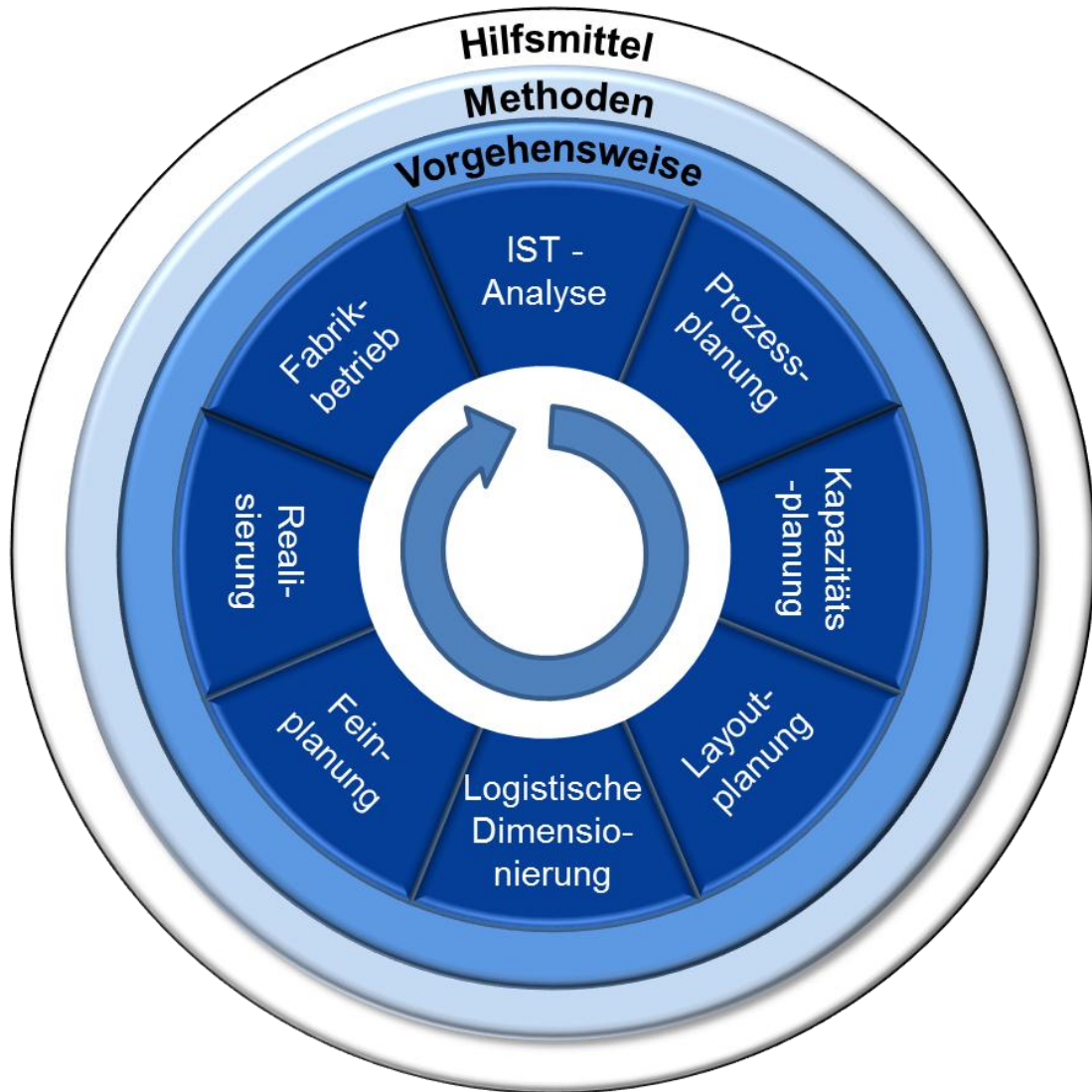


Abbildung 6-1: Planungsabschnitte zur Turbulenzbewältigung

6.1.1 IST-Analyse

Die IST-Analyse stellt den ersten Planungsabschnitt dar, der durchlaufen wird, um alle kurz- und mittelfristigen Turbulenzen zu bewältigen.

Ziel der IST-Analyse ist es, eine fundierte Datenbasis für den weiteren Planungsablauf zu schaffen. Dazu werden detaillierte Kenntnisse über das Planungsobjekt benötigt und technische, betriebswirtschaftliche und organisatorische Schwachstellen aufgedeckt, um somit individuelle Handlungsoptionen zur Turbulenzbewältigung ableiten zu können. Nachdem Entscheidungen, die auf falschen oder unvollständigen Informationen beruhen, zu Fehlern führen, die sich mit zunehmendem Planungsfortschritt summieren und letztendlich ein wirtschaftlich ungenügendes Planungsergebnis erreichen, ist die IST-Analyse der wichtigste Planungsabschnitt und sollte mit großer Sorgfalt ausgeführt werden.

Die IST-Analyse kann auf den Ergebnissen des Fabrikmonitoring aufbauen, anhand derer Turbulenzen identifiziert wurden. Diese Informationen legen den Schwerpunkt und Umfang der IST-Analyse fest. Die Ergebnisse der IST-Analyse sind jedoch stets mit denen des Fabrikmonitoring abzugleichen, um gegen eventuell nicht unmittelbar erkannte Turbulenzen vorgehen zu können. Die IST-Analyse gliedert sich in drei Bereiche und bezieht sich auf das aktuelle und zukünftige Produktionsprogramm, die Prozessstrukturen und die Layoutstruktur der Produktion (s. Abbildung 6-2).

Für die Lernenden steht der Erwerb der Methodenkompetenz im Vordergrund. Die Lernenden sollen die zur Verfügung stehenden Methoden und Hilfsmittel in den einzelnen Teilbereichen mit ihrem Leistungspotential und Anwendungsbereich sowie die Potentiale und Risiken der Werkzeuge der Digitalen und Virtuellen Fabrik kennenlernen.

Für Lernende in KMU ist es von Bedeutung, sich mit den Analysetechniken auseinanderzusetzen, diese für den jeweiligen Anwendungsbedarf auszuwählen und im Unternehmen selbstständig anwenden zu können bzw. Mitarbeiter in der Planung zielgerichtet anzuleiten. In Großunternehmen sind durch die Einführung ganzheitlicher Produktionssysteme als Ordnungsrahmen für anzuwendende Methoden Vorgaben für den IE vorhanden. Hier geht es vor allem um die Koordination der Planungsaufgaben und darum, die von verschiedenen Mitarbeitern vorgelegten Ergebnisse nachvollziehen und deren Plausibilität feststellen zu können. Trotz der unterschiedlichen Art der Methodenanwendung ist es für alle Lernenden erforderlich, sich intensiv mit den Methoden der IST-Analyse zu beschäftigen.

Ein weiterer wichtiger Aspekt im Rahmen der IST-Analyse ist es, die am Prozess beteiligten Abteilungen und Mitarbeiter einzubeziehen. Gerade bei der Analyse sind die Mitarbeiter in der Produktion sowie der Betriebsrat (sofern vorhanden) nicht nur zu informieren, sondern aktiv in die Analyse einzubinden, um realistische, unverfälschte Ergebnisse zu erhalten. Hier sind die Zielsetzungen der IST-Aufnahme sowie mögliche Verbesserungen und der damit verbundene Nutzen darzulegen, um das Verständnis und die Bereitschaft der Mitarbeiter zu gewinnen, sich hier einzubringen.

Nachdem der Umfang der verschiedenen Analyseschritte stark von der jeweiligen Turbulenz abhängt, ist es für die Lernenden notwendig, sich mit diesen Zusammenhängen auseinanderzusetzen. Die Lernenden müssen die Fähigkeit erwerben, die richtigen Analyseschritte zu veranlassen, da die Analysephase einerseits sehr aufwendig und damit kostenintensiv ist, und andererseits die weiteren Planungsschritte nur auf einer ausreichenden Informationsbasis durchgeführt werden können. Die Lernenden sollen erkennen, dass die IST-Analyse mit großer Sorgfalt auszuführen ist, da sie eine hohe Bedeutung für die weiteren Planungsabschnitte hat.

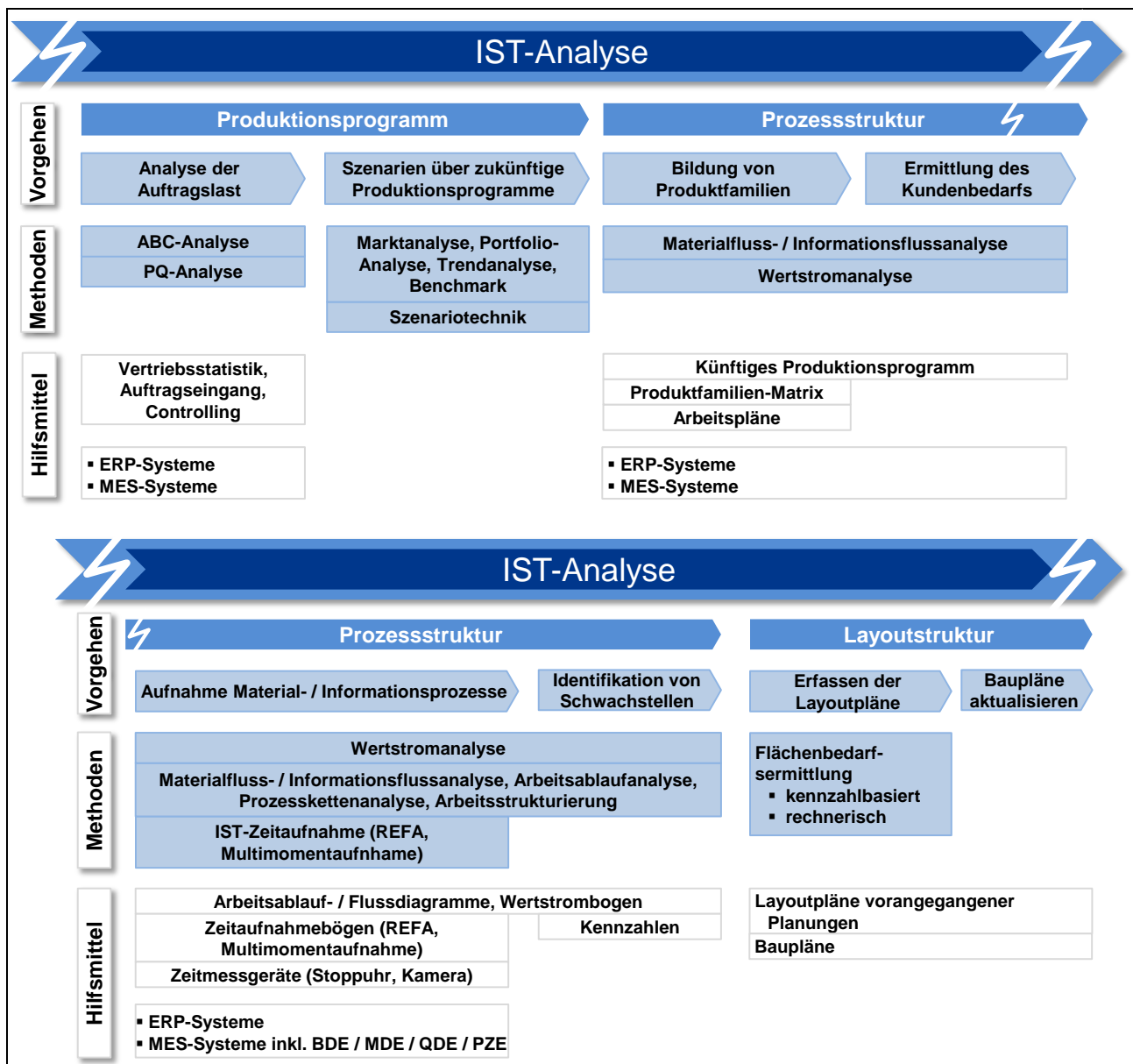


Abbildung 6-2: IST-Analyse – Vorgehensweise, Methoden und Hilfsmittel

Für die kurzfristigen Turbulenzen „Änderungen des Bedarfstermins (Kunde)“, „Mengenänderung eines Auftrags (Kunde)“ sowie die „Änderungen an der Produktkonfiguration (Kunde)“ bedarf es aufgrund der geringen Verschiebungen nur einer kurzen Analyse des Produktionsprogramms und der Kapazitätsbedarfsänderung. „Organisatorische Störungen“ wie ein Mitarbeiterausfall erfordert eine kurze Analyse des bestehenden Kapazitätsangebotes. Bei „technischen Störungen“ variiert der Analysegrad mit der Störungsdauer. Bei einem vorübergehenden Ressourcenausfall reicht eine Analyse des bestehenden Kapazitätsangebotes aus. Für einen mittel- bis langfristigen Ressourcenausfall sind weitreichendere Analysen des Produktionsprogramms und des

Kapazitäts-bedarfs notwendig, um die Produktionsprozesse auf andere Maschinen und Anlagen verschieben zu können.

Für mittelfristige Turbulenzen sind tiefgehendere Analysen durchzuführen um die bestehenden planerischen Reaktionsmöglichkeiten nutzen zu können. „Änderungen der Nachfragemenge“, „Änderungen der Lieferbedingungen (Preis, Qualität und Zeit)“ sowie eine „Verschiebung des Produktmixes“ erfordern eine umfangreiche Analyse der Produktion. Eine „steigende Variantenzahl“ spiegelt sich in einer Produktmixverschiebung wider und wird somit mit denselben Analysebereichen angegangen. Bei „technologischen Veränderungen bei Produkten und Produktionsprozessen“ muss in die Prozessstrukturen und die Layoutstruktur eingegriffen werden, woraus sich schwerpunktmäßige Analysen in diesen Bereich ergeben.

6.1.1.1 Analyse des Produktionsprogrammes

Ziel der Analyse des Produktionsprogrammes ist es, die aktuelle Auftragslast der Produktion zu identifizieren und zu klassifizieren, um das künftige Produktionsprogramm zu entwickeln.

Für die kurzfristigen Turbulenzen ist die Analyse der aktuellen Auftragslast in der Produktion ausreichend, um in der Produktionsplanung in der Fabrikbetriebsphase eingreifen zu können. Für die mittelfristigen Turbulenzen ist dieser Schritt von hoher Bedeutung, da der aktuelle IST-Zustand die Grundlage für die Entwicklung des künftigen Produktionsprogramms ist. Dem IE stehen hierfür Methoden wie die ABC-Analyse und die Produkt-Quantum-Analyse (PQ-Analyse) zur Verfügung, um das Produktionsprogramm zu untersuchen. Die zur Analyse benötigten Informationen können aus den Vertriebsstatistiken und den Auftragsengangsdaten entnommen werden. Als unterstützende IT-Systeme stehen dem Industrial Engineer ERP- und MES-Systeme zur Verfügung, die sowohl die Auftragsdaten als auch zeitbezogenen Informationen beinhalten.

Im zweiten Schritt, der im Bereich der taktischen Produktionsplanung angesiedelt ist, werden Szenarien über das künftige Produktionsprogramm entwickelt. „Änderungen der Nachfragemenge“, „Änderungen der Lieferbedingungen (Preis, Qualität und Zeit)“, eine „Verschiebung des Produktmixes, eine „steigende Variantenzahl“ sowie der „technologischen Veränderung bei Produkten“ stellen aus verschiedenen Gründen die Ursache für die Veränderungen im Produktionsprogramm dar. Das künftige Produktionsprogramm liefert Erkenntnisse darüber, wie stark sich diese Turbulenzen auf die Produktion auswirken und wie umfangreich die Handlungsoptionen zur Turbulenzbewältigung ausfallen müssen. Bei „technologische Veränderungen von

Produktionsprozessen“ hingegen ist das künftige Produktionsprogramm relevant, um den Kapazitätsbedarf für den Einsatz der Produktionsressourcen abschätzen und dies mit der Leistungsfähigkeit der Technologien abstimmen zu können.

Ergebnis der Analyse des Produktionsprogrammes ist einerseits die Identifikation der aktuellen Auftragslast der Produktion und andererseits ein auf den mittelfristigen Planungshorizont abgestimmtes Produktionsprogramm als wichtigste Grundlage für die weiteren Planungen.

6.1.1.2 Analyse der Prozessstrukturen

Ziel der Analyse der Prozessstrukturen ist es, den aktuellen Material- und Informationsfluss in der Produktion aufzunehmen, um mit Hilfe einer umfassenden Darstellung ein ganzheitliches Verständnis für die Prozessabläufe in der Produktion zu schaffen und daraus Schwachstellen und somit Verbesserungspotentiale abzuleiten.

Im Rahmen der kurzfristigen Turbulenz einer „technischen Störung“ ist es notwendig neben dem Kapazitätsbedarf die Einbindung der betroffenen Maschinen und Anlagen in den Materialfluss zu betrachten, um die Auswirkungen eines mittel- bis langfristigen Ausfalls entgegenwirken zu können. Hierzu ist die Aufnahme des Material- und Informationsflusses für die betroffenen Produktfamilien notwendig.

Für die mittelfristigen Turbulenzen ist eine detaillierte Analyse der Prozessstrukturen erforderlich, um die Schwachstellen in der Produktion identifizieren zu können. „Änderungen der Nachfragemenge“, „Änderungen der Lieferbedingungen (Preis, Qualität und Zeit)“, eine „Verschiebung des Produktmixes, eine „steigende Variantenzahl“ sowie „technologische Veränderungen bei Produkten“ führen zu Verschiebungen der Kapazitätsbelastungen von Ressourcen, die die Leistungsfähigkeit des Gesamtsystems beeinträchtigen können. Zur Identifikation der Engpässe und der notwendigen Veränderung der Parameter bzw. der Prinzipien der Produktionssteuerung benötigt der IE detaillierte Kenntnisse über die Prozessstrukturen in der Produktion. Bei „technologischen Veränderungen in den Produktionsprozessen“ liegt der Schwerpunkt darauf, den Material- und Informationsfluss in der Produktion zu erfassen, um die effiziente Einbindung neuer Maschinen, Anlagen und Technologien zu erreichen.

Bei allen mittelfristigen Turbulenzen sind alle vier Schritte von der Bildung von Produktfamilien, der Ermittlung des Kundenbedarfs, der Aufnahme des Material- und Informationsflusses sowie die Identifikation von Schwachstellen in der Produktion zu durchlaufen. Hierfür eignet sich in der variantenreichen Serienproduktion die Wertstromanalyse, die durch aktuelle Informationen aus der Produktion von ERP- und MES-Systemen erweitert werden kann.

Ergebnisse der Prozessstrukturanalyse sind eine grafische Darstellung der Material- und Informationsflüsse sowie identifizierte Verbesserungspotentiale in der Produktion, die als Datenbasis für die Gestaltung und Optimierung der Produktionsprozesse dient.

6.1.1.3 Analyse der Layoutstruktur

Ziel der Analyse der Layoutstruktur ist es, dem IE einen Überblick der aktuellen Betriebsstrukturen in Verbindung mit den Prozessstrukturen zu verschaffen und Restriktionen für die Layoutplanung zu identifizieren.

Die Analyse der aktuellen Layoutstruktur ist für alle mittelfristigen Turbulenzen notwendig, da Veränderungen in den Produktionsabläufen oder Kapazitätsveränderungen wie bei „Änderungen der Nachfragemenge“, einer „Verschiebung des Produktmixes“ oder einer „steigenden Variantenzahl“ Einfluss auf die benötigten Maschinen und Anlagen und somit auf den Maschinenaufstellungsplan haben. Bei „technologischen Veränderungen von Produktionsprozessen“ sind einerseits zusätzliche Maschinen und Anlagen in das Layout zu integrieren und andererseits werden in der Regel im Gegenzug nicht mehr benötigte Maschinen und Anlagen aus der Produktion herausgenommen.

Die Analyse der Layoutstruktur wird manuell durchgeführt. Die Ergebnisse können in IT-Systemen nachgepflegt werden, um für die weiteren Planungen der Layoutstruktur zur Verfügung zu stehen.

6.1.2 Prozessplanung

Ziel der Prozessplanung ist die Konzeption der Prozess- und Produktionsstrukturen, um neue Produkte und Ressourcen in die Produktion integrieren zu können und einen kontinuierlichen Produktionsfluss zu erreichen. Die Prozessplanung stellt den umfangreichsten Bereich der Planung dar und setzt sich aus der Arbeitsablaufplanung und der Produktionsstrukturierung zusammen. Der Bereich der Prozessplanung wird in verschiedenen Ausprägungen für die Bewältigung aller mittelfristigen Turbulenzen benötigt, da stets eine Neu- bzw. Anpassungsplanung der Prozessabläufe und Produktionsprinzipien erfolgt (s. Abbildung 6-3).

Der erste Bereich, die Arbeitsablaufplanung umfasst alle Aufgaben des klassischen Industrial Engineerings. In der Arbeitsablaufplanung findet eine auftrags- und terminneutrale Planung statt. Für diesen Prozess ist eine enge und frühzeitige Kooperation mit anderen Unternehmensabteilungen wie der Produktentwicklung und der Produktion notwendig. Ergebnis ist der Arbeitsplan, der die Produktionsvorgangsfolge beinhaltet und als Grundlage für die Produktionsstrukturierung und die Feinplanung der Produktion dient.

Im zweiten Bereich, der Produktionsstrukturierung liegt der Fokus auf der Gestaltung von kundenorientierten Materialflusstrukturen, die auf den Bereich der variantenreichen Serienproduktion ausgelegt sind. So können in der Praxis große Potentiale ausgeschöpft werden, indem Verschwendung wie die Überproduktion, die Lagerhaltung, unnötige Transport- und Wartezeiten sowie unnötige Prozesse in der Auftragsabwicklung gezielt vermieden werden.

Das grundlegende Lernziel für die Lernenden ist das Erreichen der Methodenkompetenz, um die Aufgaben im Bereich der Prozessplanung selbstständig bearbeiten zu können. Die Lernenden sollen an die Leistungspotentiale und Anwendungsbereiche der Methoden und Hilfsmittel herangeführt werden und die Potentiale und Risiken der Werkzeuge der Digitalen und Virtuellen Fabrik kennenlernen. Im Bereich der Arbeitsablaufplanung, dem Kerngebiet des Industrial Engineerings, liegt der Schwerpunkt auf den Methoden der Montageplanung, die bei den Lernenden zur Durchführung ihrer täglichen Arbeit gehören. Zusätzlich wird viel Wert auf die Zusammenarbeit mit der Konstruktion und der Produktion gelegt, um bisherige Probleme bei künftigen Produkten frühzeitig zu erkennen. Im Bereich der Produktionsstrukturierung, der von den Lernenden relativ selten durchgeführt wird, gilt es hingegen, grundlegende Verfahren einzustudieren.

Die Lernenden sollen neben der Methodenkompetenz erlernen, welche Turbulenzen sich auf welche Planungsbereiche auswirken und wie sie in welchem Umfang gezielt angegangen werden können, um die Produktion an den optimalen wirtschaftlichen Betriebspunkt zu bringen.

Es muss die hohe Bedeutung der Arbeitsablaufplanung und der Produktionsstrukturierung für die spätere Produktion vermittelt werden, da hier die wesentlichen grundlegenden Entscheidungen für die Produktionsabläufe und Produktionskosten gelegt werden, die in der Feinplanung und dem Fabrikbetrieb nur noch minimal beeinflusst werden können. Aus diesem Grund ist die Kommunikation mit den Planungsbeteiligten von der Konstruktion, der Produktion und Logistik sowie dem Vertrieb bis hin zur Unternehmensleitung und der Finanzabteilung erforderlich und sollte langfristig in den organisatorischen Strukturen des Unternehmens verankert werden.

Für Lernende aus KMU liegt der Fokus auf der selbstständigen Durchführung der erläuterten Planungsmethoden und deren zielgerichteten Einsatz. Für Lernende aus Großunternehmen steht die Koordination der Planungsaufgaben im Vordergrund, um die Arbeiten der Kollegen der verschiedenen Abteilungen im Sinne des Simultaneous und Concurrent Engineering zu betreuen. Der Lernende muss dabei die richtigen Impulse für die Planung geben und sollte die erarbeiteten Ergebnisse nachvollziehen und weiteren

Handlungsbedarf diskutieren können. Für die Erfüllung dieser Aufgaben ist es notwendig, sich intensiv mit den Methoden und Hilfsmitteln der Prozessplanung auseinanderzusetzen.

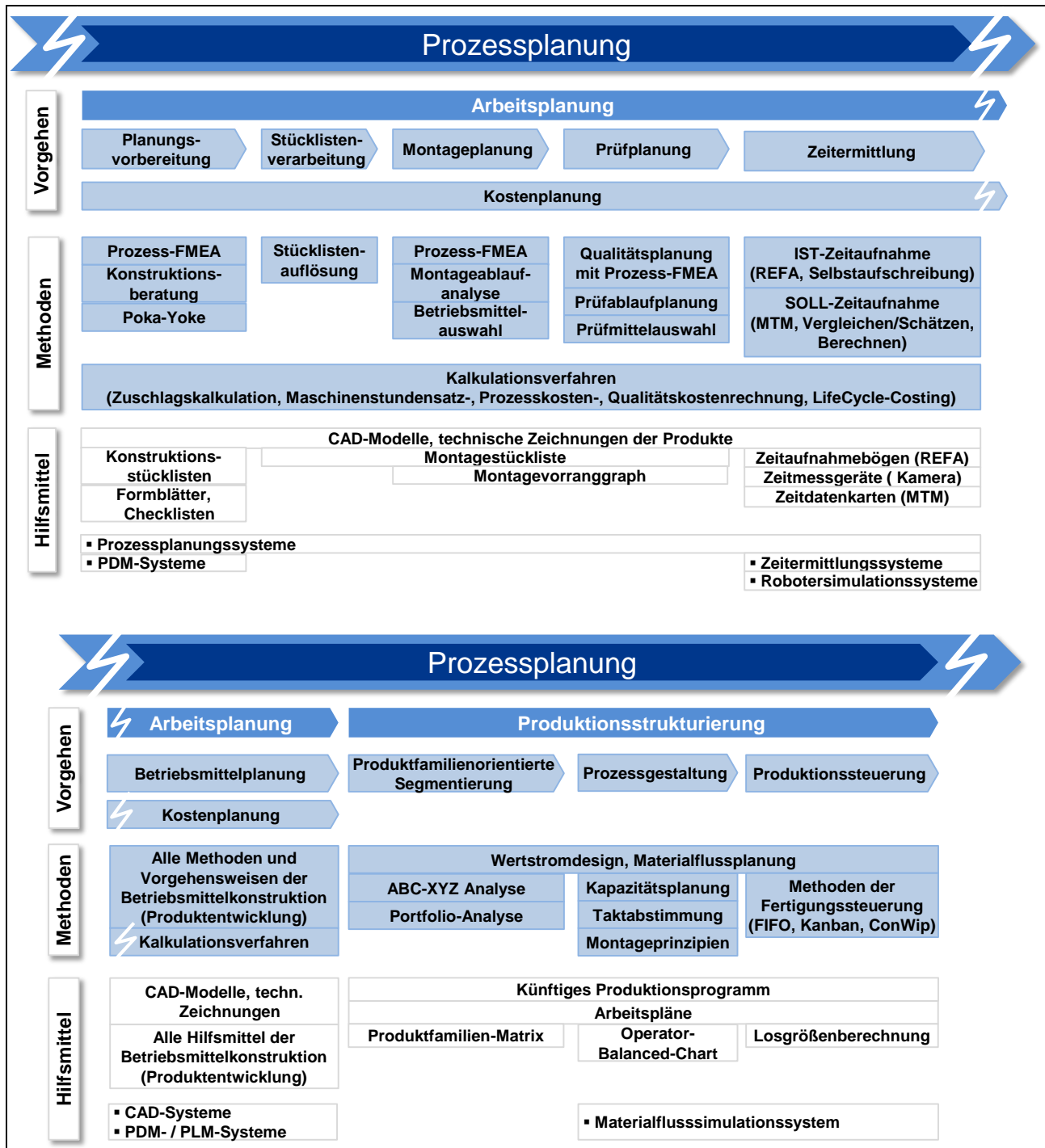


Abbildung 6-3: Prozessplanung – Vorgehensweise, Methoden und Hilfsmittel

Im Bereich der Arbeitsablaufplanung stehen die Prozess- und Montageplanung sowie die Auswahl der Produktionsverfahren und Betriebsmittel im Fokus. Bei „technologischen Veränderungen von Produkten“ und „steigender Variantenzahl“ sind neue Prozessabläufe zu entwickeln. Die „Änderung der Nachfragemenge“, die „Änderung der Lieferbedingungen“ oder eine „Produktmixverschiebung“ führen zu einer Anpassung der

Prozessabläufe, um den geänderten Rahmenbedingungen wie Stückzahl, Lieferzeit und Zielkosten Rechnung zu tragen. Bei „technologischen Veränderungen von Produktionsprozessen“, aufgrund des wirtschaftlichen Vorteils neuer Technologien unter den aktuellen Rahmenbedingungen sind die Prozessabläufe dementsprechend zu adaptieren. Erfolgen Veränderungen in den Prozessabläufen, ist es notwendig, die Betriebsmittelauswahl zu prüfen und gegebenenfalls zu verändern.

Im Bereich der Produktionsstrukturierung gilt es, den Informations- und Materialfluss hinsichtlich der Struktur des Produktionsprogramms und den Lieferzeiten auszurichten, um einen zielgerichteten, strukturierten Produktionsfluss zu entwickeln. Besonders wichtig ist dieser Bereich bei der „Änderung der Nachfragemenge und der Lieferbedingungen“, einer „Verschiebung des Produktmixes“ und einer „steigenden Variantenzahl“.

6.1.2.1 Arbeitsablaufplanung

Ziel der Arbeitsablaufplanung ist es, Prozessabläufe für die wirtschaftliche Fertigung und Montage von Produkten unter Berücksichtigung des bestehenden Betriebsmittelspektrums zu entwickeln.

Im ersten Schritt der Planungsvorbereitung wird der Umfang der Arbeitsablaufplanung festgelegt und die zur Verfügung stehenden Informationen geprüft. Dieser Schritt stellt einen konstruktionsbegleitenden Prozess dar und wird durch PDM-Systeme sowie Prozessplanungssysteme unterstützt. Bei einer „steigenden Variantenzahl“ erfolgt eine Variantenplanung, da die bisherigen Produkte eine hohe Ähnlichkeit mit den neuen Varianten aufweisen und somit geringe Änderungen an den Prozessplänen zu erwarten sind. Bei „Änderungen der Nachfragemenge“, „Änderungen der Lieferbedingungen (Preis, Qualität und Zeit)“ und einer „Verschiebung des Produktmixes“ handelt es sich um eine Anpassungsplanung, d.h. es liegen ähnliche Arbeitspläne vor, die auf veränderte Rahmenbedingungen angepasst werden müssen. „Technologische Veränderungen bei Produkten und Produktionsprozessen“ sowie eine „Verschiebung des Produktmixes“ führen je nach Grad des Einflusses zu einer Anpassungsplanung oder einer Neuplanung. Die Neuplanung stellt den umfangreichsten Planungsprozess dar, da alle Prozessschritte der Arbeitsablaufplanung durchlaufen werden müssen und nur bedingt auf bisherige Ergebnisse zurückgegriffen werden kann.

Im zweiten Schritt, der Stücklistenverarbeitung wird die Montagestückliste erstellt, was bei allen mittelfristigen Turbulenzen durchgeführt wird, aber besonders bei einer Neuplanung wichtig ist. Erfolgt die Ableitung der Montagestückliste mit Prozessplanungssystemen, lassen sich eventuell noch anstehende konstruktive Veränderungen schnell nachziehen.

Den Kern der Arbeitsablaufplanung stellt im dritten Schritt die Montageplanung dar. Hier wird der Montagevorranggraph erstellt und die Montageverfahren sowie die Betriebsmittel ausgewählt. Besonders umfangreich fällt dieser Schritt aus bei einer Neuplanung aufgrund von „technologischen Veränderungen bei Produkten und Produktionsprozessen“ sowie bei der Einführung neuer Produkte als Teil einer „Verschiebung des Produktmixes“. Dabei wird der Montagevorranggraph entweder anhand der Montagestückliste abgeleitet oder durch eine Demontageabfolge des Produktes ermittelt. Anhand der Produktdaten und des geplanten Produktionsprogramms lassen sich die Montageverfahren auswählen. Dem IE stehen die Fertigungsverfahren des Fügens [DIN 8593] und unterstützende Tätigkeiten und Hilfsverfahren [VDI 2860] zur Verfügung. Anschließend erfolgt die Betriebsmittelauswahl.

Der vierte Schritt, die Prüfplanung, wird in enger Abstimmung mit dem Qualitätsmanagement bearbeitet. Bei einer Neuplanung werden Entscheidungen über die Notwendigkeit, den Ablauf und die Häufigkeit von Prüfungen getroffen. Dieser Vorgang wird durch Methoden, wie die Konstruktions- und Prozess-FMEA unterstützt. Bei einer Anpassungs- bzw. Variantenplanung gilt es, die Notwendigkeit bisheriger Prüfungen und die eingesetzten Prüfmittel auf ihren weiteren Nutzen zu hinterfragen und gegebenenfalls anzupassen. Bei einer „Änderungen der Nachfragemenge“, oder der „Verschiebung des Produktmixes“ lohnt sich eventuell der Einsatz automatisierter Systeme oder es können Prüfprozesse anhand technologischer Veränderungen eingespart werden.

Im fünften Schritt wird die Zeitermittlung für die Montage- und Prüfprozesse durchgeführt. Dem IE stehen dabei sowohl analytische Methoden der IST-Zeitaufnahme als auch synthetische Methoden der SOLL-Zeitbestimmung zur Verfügung. Bei Turbulenzen, die eine Anpassungs- oder Variantenplanung nach sich ziehen, kann auf IST-Zeiten und Zeitdaten der bisherigen aktuellen Arbeitspläne zurückgegriffen werden. Bei einer turbulenzbedingten Neuplanung kann eine IST-Zeitermittlung nur anhand von Prototypen erfolgen. Ansonsten ist eine SOLL-Zeitermittlung durchzuführen. Die Auswahl des Zeitermittlungsverfahrens hängt dabei stark von der zu produzierenden Stückzahl ab und davon, ob manuelle oder automatisierte Prozesse betrachtet werden. Bei manuellen Arbeitsvorgängen mit geringer Stückzahl eignen sich Verfahren des Vergleichens und Schätzens, bei Serienprodukten das MTM-Verfahren. Die Analysen mit dem MTM-Verfahren können durch Zeitermittlungssysteme, die teilweise in Prozessplanungssystemen integriert sind, unterstützt werden, so dass eine Wiederverwendbarkeit und Adaptierbarkeit der Analysen erreicht wird, was eine Kosten- und Zeitersparnis mit sich bringt.

Die Betriebsmittelplanung als sechster Schritt wird bei allen mittelfristigen Turbulenzen notwendig, wenn neue Werkzeuge, Vorrichtungen oder Mess- und Prüfmittel benötigt werden. Dieser Bereich wird durch den IE mit Informationen der vorherigen Planungsschritte versorgt, liegt aber nicht im Kernbereich des IE und wird daher nicht weiter betrachtet.

Die parallel zu allen Planungsschritten durchzuführende Kostenplanung liefert eine Entscheidungsgrundlage zur Wirtschaftlichkeitsbetrachtung der Planungen. Der Umfang der Kostenplanung und damit auch die Einflussnahme auf die Herstellkosten von Produkten liegt bei turbulenzbedingten Neuplanungen höher als bei Anpassungs- und Variantenplanungen. Der IE kann dabei auf Kalkulationsverfahren wie die Zuschlagskalkulation (bei manuellen Arbeitsschritten) und die Maschinenstundensatzrechnung (bei automatisierten Arbeitsschritten) zurückgreifen, die in der betrieblichen Praxis sehr häufig angewandt werden.

6.1.2.2 Produktionsstrukturierung

Ziel der Produktionsstrukturierung ist die Gestaltung eines effizienten und kundenorientierten Material- und Informationsflusses. Aufbauend auf den Ergebnissen der Prozessstrukturanalyse, den identifizierten Verbesserungspotentialen und der Arbeitsablaufplanung gilt es, die Montage- und Steuerungsprinzipien festzulegen. Hierfür eignen sich Methoden der Materialflussplanung wie das Wertstromdesign.

Im ersten Schritt der Produktionsstrukturierung erfolgt eine nachfrageorientierte Betrachtung der technologisch orientierten Produktfamilien aus der Prozessstrukturanalyse mithilfe von Portfolio-Analysen und der ABC-XYZ-Analyse. Gerade bei „technologischen Veränderungen bei Produkten und Produktionsprozessen“ sowie Änderungen der Produktfamilien aufgrund der „Verschiebung des Produktmixes“ oder einer „steigenden Variantenzahl“ ist dieser Schritt notwendig und ermöglicht dem IE Gestaltungsmöglichkeiten. Geringen Einfluss haben „Änderungen der Nachfragemenge“, sowie eine „Änderung der Lieferbedingungen (Preis, Qualität und Zeit)“.

Im zweiten Schritt, der Prozessgestaltung, wird bei allen mittelfristigen Turbulenzen zunächst der Kapazitätsbedarf für die einzelnen produktfamilienorientierten Segmenten ermittelt. Der Kapazitätsbedarf ist bei „technologischen Veränderungen bei Produkten und Produktionsprozessen“, der „Verschiebung des Produktmixes“ und einer „steigenden Variantenzahl“ neu zu ermitteln, da wesentlichen Veränderungen der Segmente vorgenommen wurden. Eine „Änderungen der Nachfragemenge“ beeinflusst zwar nicht die Zusammensetzung der Segmente, führt aber ebenfalls zu einer Änderung des Kapazitätsbedarfs. Anschließend wird die Ausrichtung der Produktionsprozesse an einem

kontinuierlichen Produktionsfluss vorgenommen, die auf den Montageprinzipien der Inselfertigung und der Fließfertigung sowie den Organisationsformen der Montageinsel und der Reihen- / Taktstraßenmontage beruhen. Die gleichmäßige Taktung der Produktionsprozesse ist für alle mittelfristigen Turbulenzen wichtig, vor allem aber bei einer „Änderung der Lieferbedingungen (Preis, Qualität und Zeit)“. Für die statische Dimensionierung des Kapazitätsbedarfs und die Taktabstimmung eignen sich das Operator-Balance-Chart, Bearbeitungs- und Maschinenprofile sowie einfache Berechnungen. Für die dynamische Betrachtung kommen Materialflusssimulationssysteme der Virtuellen Fabrik in Frage, da viele Lastfälle in kurzer Zeit getestet werden können, und somit aufgrund einer breiteren Informationsbasis eine bessere Absicherung der Planung möglich wird.

Im dritten Schritt, der Produktionssteuerung, wird das Ziel verfolgt, einen gleichmäßigen und kontinuierlichen Materialfluss mit einfachen Steuerungsprinzipien wie FIFO-Bahnen und Kanban zu erreichen, der kurzfristige Turbulenzen abfedern kann. Die Produktionssteuerung muss bei allen mittelfristigen Turbulenzen überprüft werden, um Optimierungspotentiale in der Materialflussverknüpfung zu heben. Von besonderer Bedeutung ist dies jedoch bei einer „Verschiebung des Produktmixes“, der „steigenden Variantenzahl“ und „technologischen Veränderungen bei Produkten und Produktionsprozessen“, da diese Turbulenzen in der Regel zu sich kreuzenden Materialflüssen führen. Aufgrund der veränderten Kapazitätsbelastung von Maschinen und Anlagen sowie der Integration neuer Maschinen und Anlagen bei technologischen Veränderungen können die gerichteten Materialflüsse nicht eingehalten werden und erfordern eine grundlegende Neustrukturierung. Bei der „Änderungen der Nachfragemenge“ und einer „Änderung der Lieferbedingungen (Zeit)“ gilt es, Steuerungsprinzipien zu finden, um die Lieferfähigkeit zu erreichen, ohne große Fertigwarenlager aufbauen zu müssen. Die Absicherung der Planung kann durch Materialflusssimulationssysteme erfolgen.

6.1.3 Kapazitätsplanung

Ziel der Kapazitätsplanung ist es, die Anzahl der Mitarbeiter zu bestimmen, um das aktuelle und zukünftige Produktionsprogramm zu bewältigen. Nachdem die kapazitative Auslegung der Betriebsmittel bereits im vorherigen Planungsabschnitt erfolgte, wird im Rahmen der Kapazitätsplanung zunächst die Dimensionierung des Personalbedarfs vorgenommen, bevor der Flächenbedarf als Grundlage für die Layoutplanung bestimmt wird (s. Abbildung 6-4).

Für die Lernenden ist der Erwerb der Methodenkompetenz als Minimalziel anzusehen, um die Personal- und Flächenplanung durchführen und dafür geeignete Hilfsmittel auswählen zu können. Die Methoden für die Personalplanung wurden schon im Bereich der Produktionsstrukturierung erlernt, so dass die Methoden der Flächenbedarfsermittlung im Vordergrund stehen. Für die Erstellung des geeigneten Qualifikationsprofils ist es wichtig, die Anforderungen zusammen mit der Produktion zu erarbeiten und dementsprechende Mitarbeiter auszuwählen. Sind Qualifizierungsmaßnahmen beim Einsatz neuer Technologien notwendig, ist dies mit dem Personalwesen abzustimmen. Die Lernenden sollen neben der Methodenkompetenz die Fähigkeit erwerben, über den Einsatz und den Umfang der Kapazitätsplanungsmethoden entscheiden und die notwendigen Ansprechpartner aus der Produktion und dem Personalwesen einbinden zu können. Lernende aus KMU und Großunternehmen müssen dabei auch Anforderungsprofile für Mitarbeiter erstellen können, um geeignete Mitarbeiter für die Tätigkeiten in der Produktion auswählen bzw. den Auswahlprozess begleiten zu können.

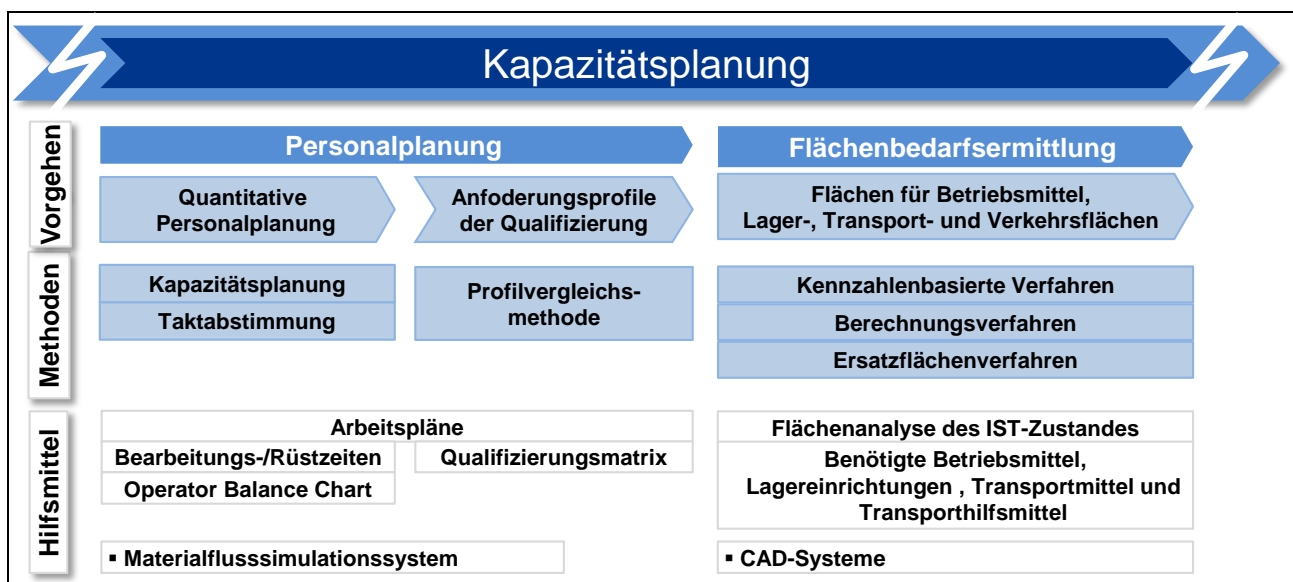


Abbildung 6-4: Kapazitätsplanung – Vorgehensweise, Methoden und Hilfsmittel

Gerade bei starken Schwankungen des Kapazitätsbedarfs durch „Änderung der Nachfragemenge“ und einer „Verschiebung des Produktmixes“ sowie aufgrund der Reduzierung der Lieferzeiten als Teil der „Änderung der Lieferbedingungen“ ist eine Neuberechnung notwendig. Dabei spielen vor allem die in der Prozessplanung erstellte Produktionsstruktur und die dazu erforderlichen Profile der Betriebsmittel sowie die geplante Arbeitsteilung eine Rolle. Bei „technologische Veränderungen von Produkten und Produktionsprozessen“ steht der Flächenbedarf im Fokus und ob entsprechend qualifiziertes Personal verfügbar ist.

6.1.3.1 Personalplanung

Ziel der Personalplanung ist es, den quantitativen und qualitativen Personalbedarf für die festgelegten Produktionsabläufe zu ermitteln. In diesem Planungsabschnitt werden Strategien für den Umgang mit Kapazitätsschwankungen im Bereich der manuellen Tätigkeiten erarbeitet, die die Grundlage für die Bewältigung von kurzfristigen Turbulenzen während dem Fabrikbetrieb bilden.

Bei „Änderungen der Nachfragemenge“, „Änderungen der Lieferbedingungen (Preis, Qualität und Zeit)“ und einer „Verschiebung des Produktmixes“ steht die Ermittlung des quantitativen Personalbedarfs im Vordergrund, um die dafür erforderliche Produktionskapazität erreichen zu können. Eine „steigende Variantenzahl“ hat zur Folge, dass die Mitarbeiter in kurzen Zeitspannen viele verschiedene Tätigkeiten ausführen müssen. Neben der Ermittlung des quantitativen Personalbedarfs muss daher vor allem der qualitative Personalbedarf betrachtet werden, da Mitarbeiter mit einer höheren Qualifikation eher in der Lage sind, sich bei gleichbleibenden Produktivität und Qualität auf neue Produktionsabläufe einzustellen. Bei „technologischen Veränderungen bei Produkten und Produktionsprozessen“ steht der qualitative Personalbedarf im Fokus, da Mitarbeiter mit entsprechenden Fähigkeiten benötigt werden. Werden dabei Defizite im Abgleich mit den Anforderungsprofilen identifiziert, sind Qualifizierungsmaßnahmen einzuleiten, um die erforderliche Qualität für die Durchführung der Produktionsprozesse zu erreichen.

6.1.3.2 Flächenbedarfsermittlung

Ziel der Flächenbedarfsermittlung ist es, die erforderlichen Nutz-, Funktions- und Verkehrsflächen als relevante Flächenarten [VDI 3644] im Bereich der Fabrikplanung zu ermitteln, die als Grundlage für die Layoutplanung dienen.

Die Flächenbedarfsermittlung ist für alle mittelfristigen Turbulenzen durchzuführen, da sich Veränderungen in den Produktionsstrukturen und dem Kapazitätsbedarf auf die Anzahl der einzelnen Maschinen und Anlagen und somit auf die erforderlichen Flächen auswirken. Werden aufgrund der Kapazitätsanpassung oder durch „technologische Veränderungen von Produktionsprozessen“ neue Maschinen und Anlagen integriert, ist der Flächenbedarf mit Methoden wie dem Ersatzflächenverfahren ausgehend von der Betriebsmittelgrundflächen neu zu berechnen.

6.1.4 Layoutplanung

Ziel der Layoutplanung ist es, einen gerichteten Materialfluss und damit verbunden eine Reduzierung des Gesamtflächenbedarfs zu erreichen, der durch optimale, flussgerichtete Strukturen bzgl. Fertigung, Montage, Lagerung und Transport ermöglicht wird. Die

erreichbare Kostenreduzierung ist stets den anfallenden Restrukturierungskosten gegenüberzustellen.

In der Layoutplanung, die bei allen mittelfristigen Turbulenzen durchlaufen wird, erfolgt die planerische Umsetzung der Materialflussstrukturen in den Produktionsgebäuden des Unternehmens. Der Ablauf der Layoutplanung gliedert sich in die drei Bereiche der Ideallayoutplanung, der Reallayoutplanung und der Layoutauswahl (s. Abbildung 6-5). Eingangsinformationen für die Layoutplanung aus vorherigen Planungsschritten stellen die Prozessablaufstruktur der Produktion dar, die in der Prozessplanung definiert wurde. Des Weiteren werden die Anzahl der Maschinen und Anlagen und der daraus resultierende Flächenbedarf benötigt, die im Rahmen der Kapazitätsplanung ermittelt werden.

Für die Lernenden stellt sich zunächst die Zielsetzung, die erforderliche Methodenkompetenz zu erreichen, die neben der Fähigkeit, den Prozess der Layoutplanung selbstständig durchzuführen, auch das Wissen umfasst, welche Methoden und Hilfsmittel dabei zur Verfügung stehen und welche Potentiale und Risiken diese beinhalten. Für Lernende aus KMU ist es besonders wichtig, die Planung selbstständig durchführen zu können und weitere beteiligte Mitarbeiter im Planungsvorgehen anzuleiten, da im Normalfall wenige Mitarbeiter mit dem entsprechenden Methoden Know-how im Unternehmen vorhanden sind. Für Lernende aus Großunternehmen hingegen steht die Koordination der Planungsaufgabe im Vordergrund, da in Planungsabteilungen Spezialisten im Bereich der Layoutplanung zu finden sind. Für sie ist die Nachvollziehbarkeit der von Kollegen durchgeführten Planungen von Bedeutung. Somit ist es für Lernende beider Gruppen wichtig, die Planungsprozesse detailliert kennenzulernen. Es muss vermittelt werden, welche Abteilungen an einer Layoutplanung beteiligt werden müssen, um eine erfolgreiche Planung und spätere Realisierung durchführen zu können. Besonders eng muss dieser Planungsschritt mit den Logistikplanern abgestimmt werden, da sich die Layoutstruktur und das Logistikkonzept gegenseitig stark beeinflussen. Somit müssen die Prozessplanung, die Kapazitätsplanung, die Layoutplanung und die logistischen Dimensionierung aufeinander abgestimmt werden und in mehreren Schleifen durchlaufen werden. Die Mitarbeiter der Produktion liefern einerseits Erfahrungen bzgl. der bisherigen Abläufe und gleichzeitig muss die Akzeptanz der Mitarbeiter gewonnen werden, die mit den Planungsergebnissen arbeiten müssen. Da Layoutveränderungen in der Regel Investitionen nach sich ziehen, ist die Unternehmensleitung frühzeitig zu integrieren.

Neben der Methodenkompetenz sollen die Lernenden die Fähigkeit erwerben, zu erkennen, wann Turbulenzen eine neue Layoutplanung notwendig machen. Hierzu zählen auch Erkenntnisse über die Auswirkungen des Layouts z. B. auf Kosteneffekte

(Transportkosten, Lagerkosten und damit auf die Stückkosten) und Lieferzeiten in Form von Durchlaufzeiten.

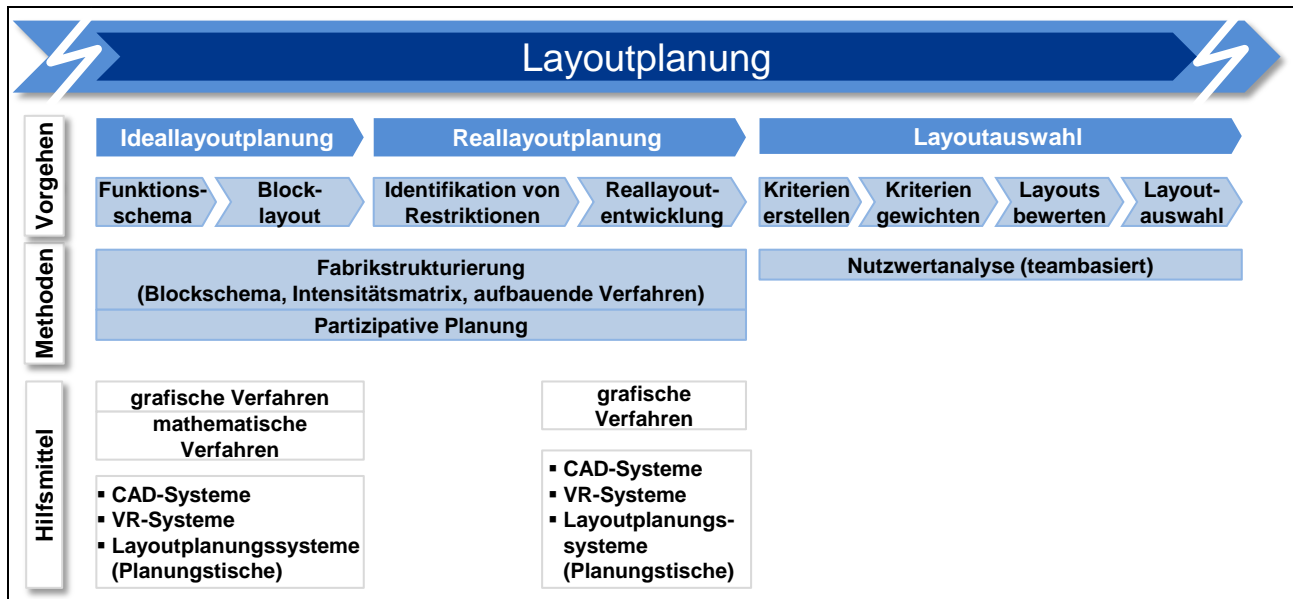


Abbildung 6-5: Layoutplanung – Vorgehensweise, Methoden und Hilfsmittel

Die Realisierung notwendiger Erweiterungen bzw. Verkleinerungen der Produktionsfläche aufgrund einer Kapazitätsanpassung der Fabrik steht bei der „Änderung der Nachfragemenge“ und der „Produktmixverschiebung“ im Vordergrund. Die Gestaltung eines gerichteten Materialflusses wird vor allem bei der „Steigerung der Variantenzahl“ und der „Technologieveränderung von Produkten und Produktionsprozessen“ in den Fokus gerückt. Bei der „Änderung der Lieferbedingungen“ spielen im Wesentlichen die Reduzierung der Transportkosten und die Reduzierung der Durchlaufzeit eine Rolle.

6.1.4.1 Ideallayoutplanung

Ziel der Ideallayoutplanung ist eine restriktionsfreie Anordnung der Struktureinheiten unter Berücksichtigung des Materialflusses und des Flächenbedarfs. Der IE soll sich dabei von technischen und räumlichen Grenzen lösen und neu Ideen entwickeln.

In der Ideallayoutplanung wird zunächst anhand der Prozessablaufstruktur und dem Flächenbedarf ein flächenmaßstäbliches Funktionsschemata entwickelt. Darauf aufbauend wird ein Blocklayout erstellt, das dem IE erstmalig einen optischen Eindruck der Flächenausdehnung gibt. Bei allen mittelfristigen Turbulenzen gilt es, Veränderungen in den Prozessablaufstrukturen zu berücksichtigen, um einen optimalen, gerichteten Materialfluss zu erreichen. Zwar sind die Ursachen für die Veränderungen, die in der IST-Analyse identifiziert wurden, unterschiedlich, die Auswirkungen auf die Ideallayoutplanung unterscheiden sich jedoch nicht voneinander. In diesem Planungsabschnitt kann der IE auf

Strukturierungsmethoden sowie Ansätze der partizipativen Planung zurückgreifen, die durch Layoutplanungssysteme unterstützt werden.

6.1.4.2 Reallayoutplanung

Ziel der Reallayoutplanung ist die Umsetzung des Ideallayouts in verschiedene realisierbare Prinziplösungen, die die Rahmenbedingungen und Restriktionen berücksichtigen.

Die Planungsaufgaben der Ermittlung von Restriktionen und die Entwicklung der Layoutvarianten müssen für alle mittelfristigen Turbulenzen durchgeführt werden. Bei Erweiterungsplanungen aufgrund von „Änderungen der Nachfragemenge“ oder einer „Verschiebung des Produktmixes“ besteht häufig die Herausforderung, mit derselben Gesamtfläche auskommen zu müssen wie bei Planungsbeginn, da weitere Flächen entweder nicht zur Verfügung stehen oder lange Transportwege entstehen würden, die den Zielen der Durchlaufzeit und Kosten widersprechen. Besondere Herausforderungen ergeben sich bei „technologischen Veränderungen bei Produkten und Produktionsprozessen“, da Restriktionen auftreten, die in bisherigen Planungen keine Rolle gespielt haben und mit denen eventuell keine Erfahrungen bestehen. Außerdem sind die Maschinen und Anlagen so in das Layout einzubinden, dass Veränderungen der bisherigen Bereiche so gering wie möglich ausfallen. Der IE wird durch Methoden der Fabrikstrukturierung und den Einsatz von Layoutplanungssystemen unterstützt.

6.1.4.3 Layoutauswahl

Ziel der Layoutauswahl ist es, eine Lösungsvariante mit einem Gesamtoptimum hinsichtlich technischer und wirtschaftlicher Kriterien auszuwählen, das in den folgenden Planungsprozessen detailliert werden kann. Für eine objektive Bewertung der Reallayoutvarianten wird in der Regel die Nutzwertanalyse herangezogen, die von mehreren Mitarbeitern durchgeführt werden muss.

Bei einer „Änderungen der Nachfragemenge“ und einer „Verschiebung des Produktmixes“ steht generell die Ausbringungsmenge der Produktion im Vordergrund, wohingegen bei „Änderungen der Lieferbedingungen (Preis, Qualität und Zeit)“ Kostenaspekte sowie kurze Lieferzeiten im Fokus sind. „Steigende Variantenzahlen“ erfordern eine besondere Beobachtung der Produktionskosten, da eine Steigerung der Exoten-Varianten in vielen Fällen Kostensteigerungen mit sich bringt. Bei „technologische Veränderungen bei Produkten und Produktionsprozessen“ stellt sich die Herausforderung, den gerichteten Materialfluss zu erreichen, ohne zu viele Maschinen und Anlagen verlagern zu müssen und so die Umsetzungskosten zu erhöhen.

6.1.5 Logistische Dimensionierung

Ziel der logistischen Dimensionierung ist die Feinplanung der Steuerungsgrößen und der Lagerstufen des Logistiksystems, die im Rahmen der Konzeption der Produktionsstrukturen hinsichtlich des Material- und Informationsflusses festgelegt wurden. Die logistische Dimensionierung wird daher bei allen mittelfristigen Turbulenzen durchgeführt.

Im Bereich Feinplanung des Materialflusses werden die Lagerstufen und Steuerungsgrößen der Materialflussverknüpfungen mit Hilfe von Berechnungsmethoden ausgelegt. Im Bereich Feinplanung des Informationsflusses wird der Informationsfluss von der Produktionsplanung und -steuerung an die jeweiligen Schrittmacherprozesse sowie weitere zu informierende Produktionsprozesse festgelegt. In diesem Schritt wird der Rahmen für das operative Auftragsmanagement festgesetzt (s. Abbildung 6-6).

Eingangsinformationen für die logistische Dimensionierung werden aus den Planungsprozessen der Arbeitsablaufplanung, Produktionsstrukturierung und der Layoutplanung benötigt. Dazu zählen die Arbeitspläne, die Struktur des Material- und Informationsflusses und die ausgewählte Reallayoutvariante mit den Transportwegen.

Oberstes Lernziel für die Lernenden ist das Erreichen der Methodenkompetenz, was eine selbstständige Durchführung der Planungsaufgaben in der logistischen Dimensionierung sowie die Handhabung der Methoden und Hilfsmittel beinhaltet. Darüber hinaus sollen die Lernenden die Potentiale und Risiken der Werkzeuge der Digitalen und Virtuellen Fabrik kennenlernen. Für Lernende aus KMU stehen dabei die selbstständige Anwendung der Berechnungsmethoden zur Auslegung der Logistikabläufe und die Auswahl der Steuerungsverfahren im Vordergrund. Für Lernende aus Großunternehmen, die diese Methoden selten selbstständig anwenden, steht die Koordination der Planungsaufgaben im Fokus, so dass es wichtig ist, den Umfang der Planungsaufgaben und den richtigen Zeitpunkt zum Anstoß einschätzen zu können. Für diese Aufgaben ist das Methoden-Know-how erforderlich, um Ergebnisse nachvollziehen und entsprechende Fachkollegen einbeziehen zu können.

Neben der Methodenkompetenz gilt es für die Lernenden zu erkennen, wann Turbulenzen eine Anpassung der logistischen Dimensionierung erfordern und welche Auswirkungen sich daraus ergeben. Gerade Potentiale wie die Reduzierung von Verschwendung durch geringere Bestände und damit verbundene Kosten sowie die Optimierung der Lieferfähigkeit sollen aufgezeigt werden.

Die an diesem Planungsabschnitt Beteiligten müssen herausgearbeitet werden, denn nur mithilfe der Mitarbeiter der Produktion und Logistik, der Auftragssteuerung sowie dem Vertrieb, der die Auftragsinformationen liefert und das Kundenverhalten am besten

einschätzen kann, kann eine erfolgreiche Planung durchgeführt werden. Die Mitarbeiter der Produktion und der Auftragssteuerung liefern Erfahrungen über die bisherigen Abläufe und Hemmnisse. Gleichzeitig muss die Akzeptanz der Mitarbeiter gewonnen werden, die mit den neuen Steuerungsverfahren und den einzuhaltenden Kommunikationsregeln arbeiten müssen.

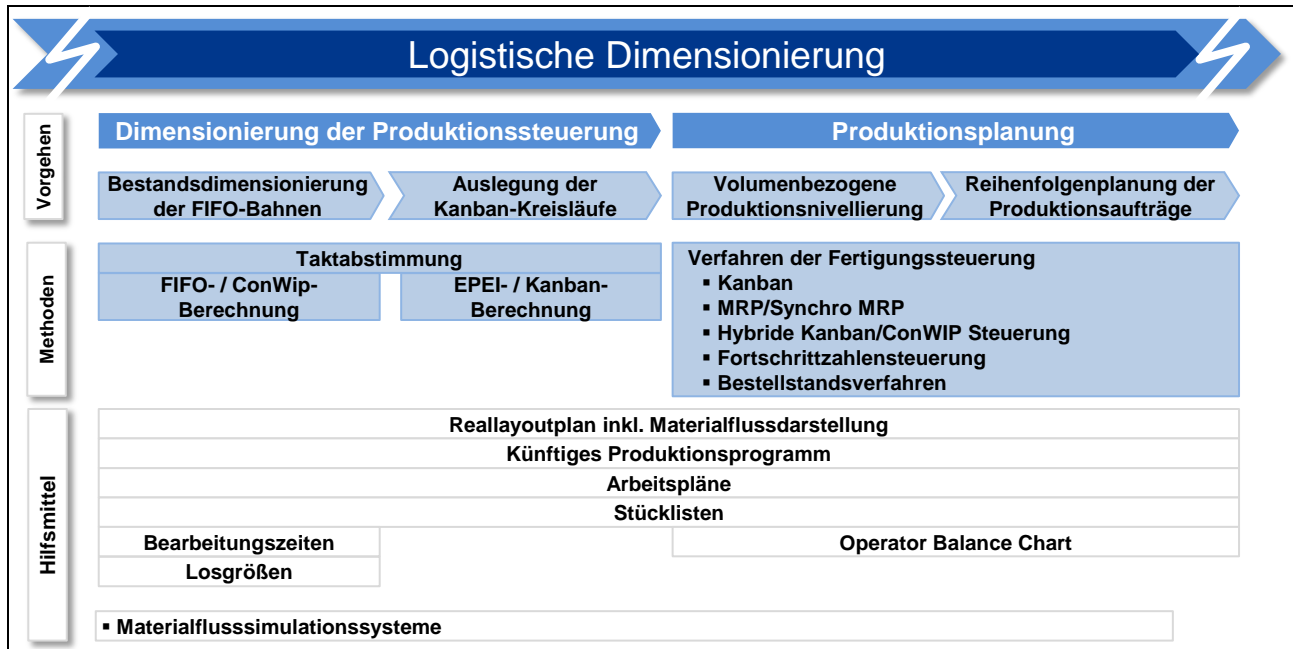


Abbildung 6-6: Logistische Dimensionierung – Vorgehensweise, Methoden und Hilfsmittel

Der Bereich der logistischen Dimensionierung muss nach Veränderungen in den Prozessabläufen und den Produktionsstrukturen für alle mittelfristigen Turbulenzen erfolgen. Je nachdem ob es sich um eine „Änderung der Nachfragemenge“, eine „Änderung der Lieferbedingungen (Preis, Qualität und Zeit)“, eine „Verschiebung des Produktmixes“, die „steigende Variantenzahl“ oder „technologische Veränderungen von Produkten oder Produktionsprozessen“ handelt, ist eine Neu- oder Anpassungsplanung durchzuführen, die jedoch jeweils dieselben Prozessschritte umfasst.

6.1.5.1 Feinplanung des Materialflusses

Ziel der Feinplanung des Materialflusses ist es, eine auf den Kundentakt ausgerichtete Produktion mit kurzen Durchlaufzeiten und niedrigen Beständen zu erreichen, um die geforderte Lieferfähigkeit zu erreichen sowie die sieben Arten der Verschwendung zu minimieren.

Bei „Änderungen der Nachfragemenge“ sowie kleineren „Verschiebungen des Produktmixes“ steht die Anpassung der bisherigen Material- und Informationsflussstrukturen im Vordergrund. Dabei werden Puffer-, Los- und Kanban-Größen an die Veränderungen angepasst. Bei größeren „Verschiebungen des

Produktmixes“, die oft durch eine „Steigerung der Variantenzahl“ hervorgerufen werden, sowie bei „Änderungen der Lieferbedingungen (Preis, Qualität und Zeit)“ gilt es, die neu geplanten Produktionsstrukturen und neue Prinzipien der Produktionssteuerung auszulegen. Gleiches gilt bei „technologischen Veränderungen bei Produkten und Produktionsprozessen“, da diese Prozesse neu in den Materialfluss zu integrieren sind. So können Chargenprozesse wie beim Härten oder vom Kundentakt abweichende Prozesszeiten eine grundlegende Veränderung der Produktionssteuerung zur Push- oder Pull-Systematik machen. Dem IE stehen zur Auslegung verschiedene Berechnungsverfahren zur Verfügung. Zur Absicherung der Planungsergebnisse haben sich Materialflusssimulationssysteme als geeignet erwiesen.

6.1.5.2 Feinplanung des Informationsflusses

Ziel der Feinplanung des Informationsflusses ist es, den Kundenbedarf so aufzubereiten, dass eine dem geplanten Produktmix entsprechende Auftragsfreigabe von Kundenaufträgen am Schrittmacherprozess erfolgen kann und Schwankungen im Kundenbedarf ausgeglichen werden. Dabei sind die Auslöseart der Auftragserzeugung, der Erzeugungsumfang sowie die Auslösungslogik zu gestalten. Die Auswahl des richtigen Verfahrens wird durch einer volumenbezogene Produktionsnivellierung und die Reihenfolgeplanung der Produktionsaufträge durchgeführt. Zur Absicherung der Planungsergebnisse kann der IE auf Materialflusssimulationssysteme zurückgreifen.

Im Rahmen einer „Änderungen der Nachfragemenge“ und einer geringen „Verschiebungen des Produktmixes“ bleibt die Grundstruktur des Informationsflusses erhalten und es erfolgt lediglich eine Anpassung der Steuerungsgrößen. Bei entscheidenden „Verschiebungen des Produktmixes“, einer „steigenden Variantenzahl“ sowie „Änderungen der Lieferbedingungen (Preis, Qualität und Zeit)“ muss auf die neuen Rahmenbedingungen der Produktion eingegangen werden und es müssen entsprechende Verfahren zur Auftragsfreigabe ausgewählt werden. Anschließend kann der neu gestaltete Informationsfluss dimensioniert werden. Diese Tätigkeiten treffen auch auf „technologische Veränderungen bei Produkten und Produktionsprozessen“ zu, da die neuen Produktionsprozesse in die Produktionssteuerung integriert werden müssen.

6.1.6 Feinplanung

Ziel der Feinplanung ist die detaillierte Gestaltung der einzelnen Arbeitsplätze und die Feinplanung der Reallayoutvariante, die in der Layoutplanung ausgewählt wurde. Der Bereich Feinplanung der Fertigungssegmente wird sowohl bei kurzfristigen als auch bei mittelfristigen Turbulenzen als letzter Planungsprozess durchlaufen.

Aufbauend auf der Planung der Materialfluss- und Logistikstrukturen erfolgt in diesem Planungsabschnitt die detaillierte Gestaltung der Arbeitsplätze sowie die Arbeitsorganisation manueller Arbeitsbereiche und die Ausarbeitung von Arbeitsanweisungen für alle Produktionsprozesse. Danach kann das Feinlayout mit dem Maschinenaufstellungsplan erstellt werden, an das weitere, nicht im IE-Bereich liegende, Aufgaben wie die Planung der Medientechnik (z. B. Planung der Elektrik) anschließen, bevor mit der Roboterprogrammierung der letzte Schritt in der Planung durchgeführt wird (s. Abbildung 6-7).

Für die Lernenden steht der Erwerb der Methodenkompetenz im Vordergrund, um die Aufgaben der Feinplanung selbstständig durchführen zu können. Die Lernenden sollen die dafür zur Verfügung stehenden Methoden und Hilfsmittel in den einzelnen Teilbereichen mit ihrem Leistungspotential und Anwendungsbereich sowie die Potentiale und Risiken der Werkzeuge der Digitalen und Virtuellen Fabrik kennenlernen. Für Lernende aus KMU steht die eigenständige Durchführung im Fokus, da in der Regel wenige Mitarbeiter im Unternehmen Kenntnisse über die einzelnen Methoden aufweisen. Hinzu kommt die Anleitung von Mitarbeitern, die die Planung unterstützen sollen. Für Lernende aus Großunternehmen hingegen steht die Koordination von Mitarbeiter aus den beteiligten Abteilungen für Arbeitsplatzgestaltung, Layoutplanung und der Betriebsmittel-inbetriebnahme im Vordergrund. Für die Durchführung der Aufgabe und das Controlling der Ergebnisse ist auch für diese Gruppe entsprechendes Methodenwissen notwendig.

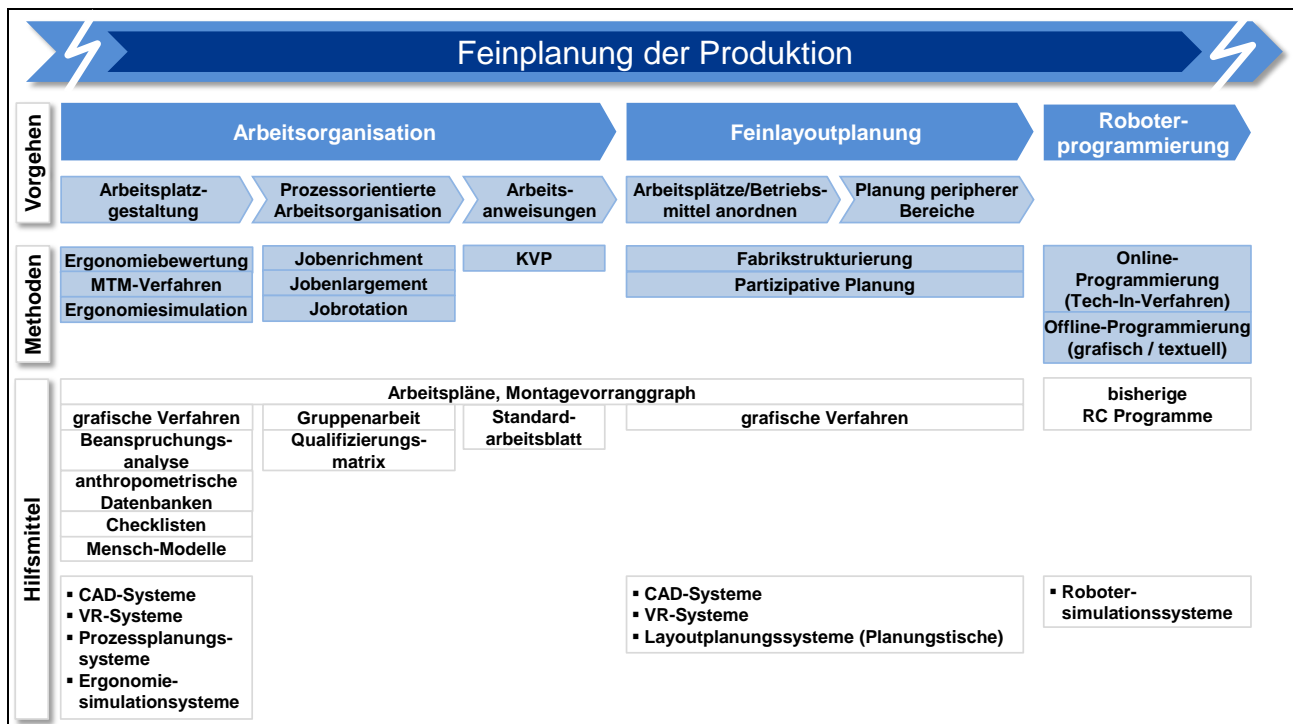


Abbildung 6-7: Feinplanung – Vorgehensweise, Methoden und Hilfsmittel

Für die richtige Schwerpunktsetzung in der Feinplanung sollen die Lernenden die Fähigkeit erwerben, für welche Turbulenzen welche Planungsschritte einzuleiten sind. Hierzu zählen auch Auswirkungen der einzelnen Bereiche auf die Herstellkosten wie durch Zeitersparnis an optimierten manuellen Arbeitsplätzen oder schnelles Rüsten durch Offline-Programmierung bei komplexen Montageprozessen. Daher muss auch aufgezeigt werden, welche Abteilungen an der Feinplanung mitwirken müssen. So sind alle Planungsabteilungen (Prozess-, Produktionsstruktur-, Logistik- und Layoutplanung) einzubeziehen, wie auch die Mitarbeiter der Produktion, die ihre Erfahrungen einbringen sollen.

Bei den kurzfristigen Turbulenzen „Änderungen des Bedarfstermins (Kunde)“, „Mengenänderung eines Auftrags (Kunde)“ sowie die „Änderungen an der Produktkonfiguration (Kunde)“ und „organisatorischen und technischen Störungen“ sind Anpassungen der Arbeitsorganisation erforderlich. Bei der Verlagerung von automatisierten Prozessen auf anderen bzw. zusätzlichen Maschinen und Anlagen erfolgt die Roboterprogrammierung, um den Kapazitätsbedarf zu decken. Bei den mittelfristigen Turbulenzen „Änderung der Nachfragemenge“, der „Änderung der Lieferbedingungen“, einer „Verschiebung des Produktmixes“, einer „steigenden Variantenzahl“ oder der „technologischen Veränderung von Produkten oder Produktionsprozessen“ steht die Arbeitsorganisation sowie die Maschinenaufstellungsplanung im Vordergrund.

6.1.6.1 Arbeitsorganisation

Ziel der Arbeitsorganisation ist es, ein aufgaben- und anforderungsgerechtes Zusammenspiel der Mitarbeiter, der Betriebsmittel, der Arbeitsgegenstände und der Informationen zu erreichen. Im Rahmen der Feinplanung stehen dabei die Gestaltung von ergonomischen Arbeitsplätzen, eine prozessorientierte Arbeitsorganisation der Mitarbeiter sowie die Informationsbereitstellung über die auszuführenden Tätigkeiten im Vordergrund. Die Arbeitsplatzgestaltung baut auf den Arbeitsplänen und den Ergebnissen der Produktionsnivellierung auf und wird immer durchlaufen, wenn neue bzw. veränderte Prozessabläufe an Arbeitsplätzen eingeplant wurden. Da „Änderungen der Nachfragemenge“, „Änderungen der Lieferbedingungen (Preis, Qualität und Zeit)“, eine „Verschiebung des Produktmixes“ und eine „steigende Variantenzahl“ zu einem veränderten Kapazitätsbedarf der Maschinen und Anlagen führen, erfolgt eine neue Zuordnung der Produktionsprozesse auf die Maschinen und Anlagen. Eine Neugestaltung von Arbeitsplätzen wird notwendig, wenn „technologische Veränderungen bei Produkten und Produktionsprozessen“ in die Produktion integriert werden müssen. Alle mittelfristigen Turbulenzen können aber auch Auslöser für eine Neukonzeption des Material- und

Informationsflusses sein und somit zu Veränderungen der Produktionsabläufe führen, was ebenfalls eine neue Zuordnung von Produktionsprozessen und Maschinen und Anlagen zur Folge hat. Zur ergonomischen Gestaltung von Arbeitsplätzen kann die Methode der Ergonomiebewertung herangezogen werden, die durch Hilfsmittel wie Beanspruchungsanalysen, anthropometrische Datenbankinformationen und Checklisten unterstützt wird. Für die Analyse dynamischer Bewegungen eignen sich Ergonomiesimulationen.

Während der prozessorientierten Arbeitsorganisation werden die Tätigkeiten mehrerer Mitarbeiter eines manuellen Arbeitssystems aufeinander abgestimmt und der Verantwortungsbereich des Mitarbeiters bzw. die Zusammenarbeit in einer Gruppe definiert. Für diesen Schritt, der für alle mittelfristigen Turbulenzen durchzuführen ist, stehen dem IE Methoden wie Jobenrichment, Jobenlargement und Jobrotation zur Verfügung. Die prozessorientierte Arbeitsorganisation legt auch die Grundlage, um bei kurzfristigen Turbulenzen die Kapazität in manuellen Arbeitssystemen schnell erweitern bzw. reduzieren zu können.

Der Bereich der Arbeitsanweisungen ist für alle mittelfristigen Turbulenzen durchzuführen, da sowohl Veränderungen als auch die Einführung neuer Produktionsprozesse eine Anpassung bzw. eine Neugestaltung der Arbeitsanweisungen erfordern. Wichtigstes Hilfsmittel für den IE ist das Standardarbeitsblatt für eine produktionsweite standardisierte Prozessbeschreibung.

6.1.6.2 Feinlayoutplanung

Ziel der Feinlayoutplanung ist es, einen detaillierten Maschinenaufstellungsplan mit den dazugehörigen Ver- und Entsorgungstechniken der peripheren Bereiche zu erstellen. Nachdem die Feinlayoutplanung auf der ausgewählten Reallayoutvariante der Layoutplanung, den Flächenangaben aus der Kapazitätsplanung und der Arbeitsplatzgestaltung sowie der Arbeitsorganisation manueller Tätigkeiten basiert, ziehen Veränderungen in diesen Planungsbereichen zwangsläufig die Durchführung der Feinlayoutplanung nach sich. Somit wird dieser Planungsabschnitt bei allen mittelfristigen Turbulenzen erforderlich. Sei es aufgrund von Erweiterungsplanungen aufgrund von „Änderungen der Nachfragemenge“ oder einer „Verschiebung des Produktmixes“, der Anpassung der Produktionsstrukturierung zur Neuausrichtung des Materialflusses bei „Änderungen der Lieferbedingungen (Preis, Qualität und Zeit)“ und einer „steigenden Variantenzahl“ oder der Integration neuer Produktionsprozesse, Maschinen und Anlagen durch „technologische Veränderungen bei Produkten und Produktionsprozessen“. Der IE

wird durch Methoden der Fabrikstrukturierung, partizipative Planung und den Einsatz von grafischen Verfahren und Layoutplanungssystemen unterstützt.

6.1.6.3 Roboterprogrammierung

Ziel der Roboterprogrammierung ist es, Roboterprogramme während dem Planungsprozess zu erstellen, so dass die laufende Produktion bei einem Produktwechsel nur kurz unterbrochen werden muss und somit die Stillstandszeit verringert werden kann. Nachdem die Fertigungsplanung nicht im Fokus der Arbeit steht, wird die parallel zur Roboterprogrammierung ablaufende NC-Programmierung nicht näher betrachtet.

Bei „Änderungen der Nachfragemenge“, „Änderungen der Lieferbedingungen (Preis, Qualität und Zeit)“ und einer „Verschiebung des Produktmixes“ werden die Roboterprogramme an veränderte Prozessabläufe angepasst. Eine Neuprogrammierung wird bei neuen Produktionsprozessen, wie sie durch eine „steigende Variantenzahl“ oder „technologischer Veränderungen bei Produkten“ hervorgerufen werden aber auch durch die Integration neuer Maschinen und Anlagen, aufgrund einer deutlichen Steigerung der Nachfragemenge oder „technologische Veränderungen bei Produktionsprozessen“ erforderlich. Dem IE stehen Methoden der Online- und der Offline-Programmierung zur Verfügung. Durch den Einsatz von Robotersimulationen kann die Offline-Programmierung vor dem Produktionseinsatz bereits getestet und die Programme optimiert werden.

6.1.7 Realisierung

Ziel der Realisierung ist die Umsetzung der in den vorangegangenen Planungsschritten erarbeiteten Ergebnisse, wobei die Stillstandszeit der Produktion so gering wie möglich sein soll, um die Umsetzungskosten im kalkulierten Rahmen zu halten, die laufende Produktion so wenig wie möglich zu stören und somit die Lieferfähigkeit dem Kunden gegenüber dennoch sicherzustellen. Der Bereich der Realisierung der Planungsergebnisse ist bei allen kurz- und mittelfristigen Turbulenzen notwendig.

Die Realisierung gliedert sich in die Ausführungsplanung, in der der Ablauf der Restrukturierungsmaßnahmen festgelegt wird und die Auswirkungen auf die laufende Produktion abgeschätzt werden. Die Umsetzung der Planungsergebnisse wird im Rahmen des Projektcontrollings überwacht und ausführlich dokumentiert, um bei Planabweichungen eingreifen zu können. Abschließend erfolgen die Abnahme der neu strukturierten Produktionsbereiche und die Inbetriebnahme, bevor die Produktion starten kann (s. Abbildung 6-8).

Das besondere Lernziel in diesem Bereich ist, die Lernenden an die Anforderungen und Konzepte der strukturellen Wandlungsfähigkeit der Produktionsstrukturen heranzuführen,

um den Kostenfaktor der Stillstandszeit der Produktion zu verkürzen. Es gilt, die Bedeutung der vorhandenen Infrastruktur in Bezug zu den planerischen Veränderungsmöglichkeiten herauszustellen und das Bewusstsein zu schaffen, bei künftigen Investitionen stetige Anpassungsplanungen und mögliche Veränderungen einfließen zu lassen. Wichtig sind diese Aspekte bei der Argumentation für Mehrkosten wandlungsfähiger Systeme in den Unternehmen. Weiteres Lernziel der Realisierungsphase ist es, Grundlagen des Projektmanagements darzustellen, um umfangreiche Veränderungen effizient umsetzen zu können.

Für Lernende aus KMU gilt es, die Planung und Überwachung der Realisierung selbstständig durchführen zu können und Mitarbeiter bei der Umsetzung der Planungsergebnisse anzuleiten. Für Lernende aus Großunternehmen steht die Kommunikation mit den Mitarbeitern im Vordergrund, die die Planung und Überwachung ausführen. Hierbei muss der IE die entsprechenden Informationen liefern und die Realisierung überwachen. Somit ist es für Lernende beider Gruppen wichtig, die Planungsprozesse detailliert kennenzulernen.

Neben der Methodenkompetenz ist es wichtig, den Lernenden zu vermitteln, welche Abteilungen an diesem Planungsabschnitt mitwirken müssen. Gerade die Produktion ist frühzeitig einzubeziehen, da deren Mitarbeiter über die Reihenfolge und Dauer der Umsetzungsarbeiten Auskunft geben können und Teile der Umsetzung selbst ausführen. Dazu kommt die Produktionsplanung und -steuerung, die die kurzfristige Kapazitätsveränderung in den betroffenen Bereichen einplanen muss. Sind für die Umsetzungsarbeiten externe Partner notwendig, sind diese in der Planung einzubeziehen. Aufgrund der Investitionskosten für die Umsetzung wird auf die Integration der Unternehmensleitung hingewiesen.

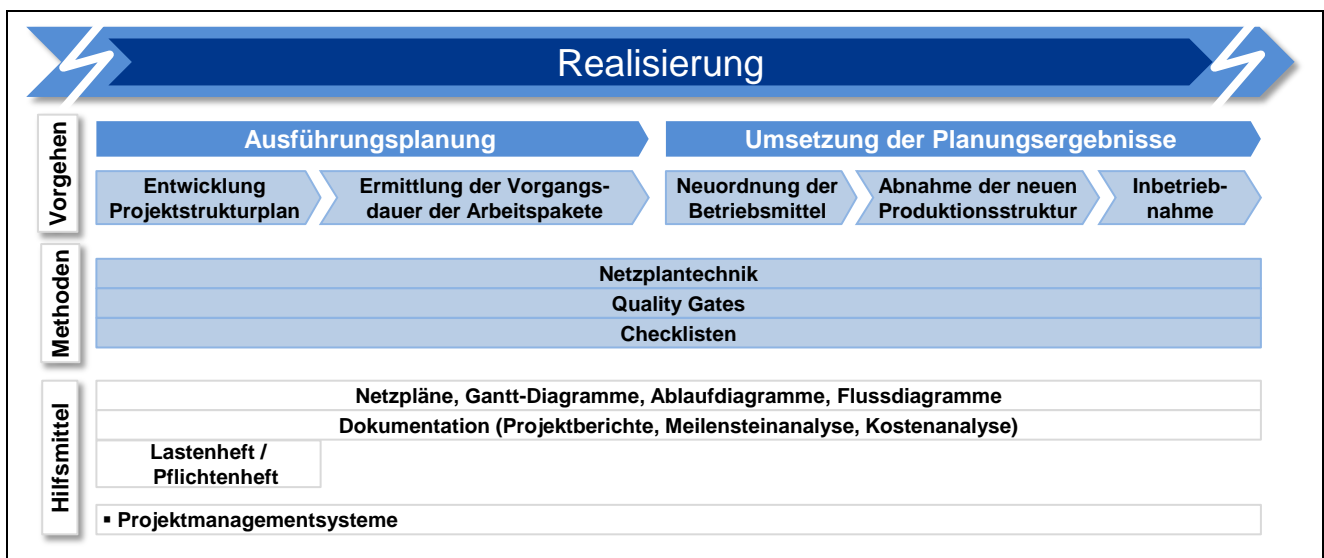


Abbildung 6-8: Realisierung – Vorgehensweise, Methoden und Hilfsmittel

Aufgrund der geringeren Veränderungsmaßnahmen bedarf es bei kurzfristigen Turbulenzen keiner ausführlichen Umsetzungsplanung. Die notwendigen Schritte können direkt während der laufenden Produktion umgesetzt werden. Bei den mittelfristigen Turbulenzen „Änderung der Nachfragemenge“, „Änderung der Lieferbedingungen“, einer „Verschiebung des Produktmixes“, einer „steigenden Variantenzahl“ oder „technologischen Veränderungen von Produkten oder Produktionsprozessen“ ist eine detaillierte Projektplanung zur Umsetzung erforderlich, da erhebliche Eingriffe in die Produktionsabläufe und -strukturen vorgenommen werden.

6.1.7.1 Ausführungsplanung

Ziel der Ausführungsplanung ist es, die erarbeiteten Veränderungsmaßnahmen zeitlich so aufeinander abzustimmen, dass die Umsetzung kurze Stillstandszeiten in der Produktion erzeugt und mit geringem Kosteneinsatz abgewickelt werden kann. Wandlungsfähige Unternehmensstrukturen stellen einen wesentlichen Faktor für die Reduzierung der Stillstandszeiten dar.

Der Umfang der Ausführungsplanung ist für alle mittelfristigen Turbulenzen notwendig, hängt dabei aber weniger von der Art der Turbulenz ab, sondern vielmehr von deren Umfang und den Auswirkungen auf die Produktion. Besonders rückt dieser Bereich in den Fokus, wenn Veränderungen im Layout vorgenommen werden, da die betroffenen Maschinen und Anlagen im Restrukturierungszeitraum nur bedingt bzw. gar nicht zur Verfügung stehen. Die ist besonders bei „Änderungen der Lieferbedingungen (Preis, Qualität und Zeit)“, einer „Verschiebung des Produktmixes“ sowie „technologischen Veränderungen bei Produktionsprozessen“ der Fall. Veränderungen in der Material- und Informationsflussstruktur sowie der Arbeitsorganisation lassen sich in vielen Fällen parallel zur Produktion vorbereiten.

6.1.7.2 Umsetzung der Planungsergebnisse

Bei der Umsetzung der Planungsergebnisse erfolgt die Ausführung der geplanten Veränderungsmaßnahmen, die zur Turbulenzbewältigung führen sollen.

Bei kurzfristigen Turbulenzen wie „Änderungen des Bedarfstermins (Kunde)“, „Mengenänderung eines Auftrags (Kunde)“ sowie die „Änderungen an der Produktkonfiguration (Kunde)“ und „organisatorischen und technischen Störungen“ werden Anpassungen in der Arbeitsorganisation durchgeführt, die im Flexibilitätskorridor einer vorherigen Planung berücksichtigt wurden.

Bei allen mittelfristigen Turbulenzen gilt es, die geplanten Restrukturierungsmaßnahmen zu überwachen und zu dokumentieren, Planungsabweichungen erkennen, analysieren und

darauf reagieren zu können. Besonders wichtig wird dies, wenn nach der Inbetriebnahme die Zielgrößen hinsichtlich Qualität, Kosten und Zeit nicht erreicht werden. Die Umsetzung der Planungsergebnisse wird durch die oben genannten Methoden des Projektmanagements unterstützt.

6.1.8 Fabrikbetrieb

Ziel während des Fabrikbetriebs ist es, die vorgegebenen Unternehmensziele hinsichtlich Qualität, Zeit und Kosten zu erreichen, die auch als Rahmenbedingungen für die vorherigen Planungsprozesse galten. Im Bereich Fabrikbetrieb zeigt sich letztendlich die Wirksamkeit der geplanten und umgesetzten Maßnahmen zur Bewältigung aller kurzfristigen und mittelfristigen Turbulenzen. Der Bereich des Fabrikbetriebs steht zwar nicht im Fokus des Industrial Engineering, liefert dem IE jedoch alle grundlegenden Informationen für die nächste Planung bzw. über den Erfolg der vorherigen Planung. Im Bereich der Produktionsplanung und -steuerung erfolgt die Einplanung der Kundenaufträge in die Produktion. Die Bewältigung der kurzfristigen Turbulenzen wird im Wesentlichen in diesem Bereich durchgeführt. Im Bereich Controlling werden aktuelle Informationen über den Zustand der Produktion gewonnen, die zur Identifikation von Turbulenzen dienen und den Anstoß für weitere Planungen ergeben. Dabei werden diese Informationen in dem Planungsabschnitt der IST-Analyse detaillierter untersucht (s. Abbildung 6-9).

Das Lernziel für den Bereich Fabrikbetrieb ist die Methodenkompetenz für die Produktionsplanung und -steuerung und das Controlling, um kurzfristige Turbulenzen zu bewältigen und Turbulenzen identifizieren zu können. Für Lernende aus KMU ist es wichtig, die Informationsgewinnung selbstständig durchführen zu können, um die Anzeichen für interne und externe Turbulenzen erkennen und anhand der in Kapitel 4.2.2 vorgestellten Handlungsoptionen die umfassenden Planungen einleiten zu können. Darüber hinaus sollen die Lernenden die Potentiale und Risiken der Werkzeuge der Digitalen und Virtuellen Fabrik im Zusammenspiel mit wandlungsfähigen Montagesystemen kennenlernen, die sie bei der Informationsgewinnung und Auswertung unterstützen können. Für Lernende aus Großunternehmen hingegen ist es wichtig, diese Aufgaben koordinieren zu können bzw. das Vorgehen der Kollegen nachvollziehen zu können, um nach der Identifizierung von Turbulenzen weitere Planungen zu initiieren. Somit ist es für Lernende beider Gruppen notwendig die Methoden des Fabrikbetriebs kennenzulernen.

Es muss vermittelt werden, welche Abteilungen den IE im Bereich des Fabrikbetriebs unterstützen können. Zur Bewältigung der Turbulenzen sind vor allem die Mitarbeiter in

der Produktion heranzuziehen, die die operative Auftragsplanung durchführen. Zur Identifizierung der Turbulenzen sind dieselben Mitarbeiter einzubinden, da diese auch den aktuellen Produktionsverlauf kennen und somit die Identifikation von internen Turbulenzen unterstützen können. Für die externen Turbulenzen sind vor allem der Vertrieb aufgrund der Kundennähe, der Einkauf mit der Einschätzung der Lieferfähigkeit der Zulieferer und die Entwicklungsabteilung aufgrund neuentwickelter Produkte und neuer Technologien zu integrieren. Nachdem die Unternehmensleitung die Rahmenbedingungen und die Strategie festlegen, ist auch hier eine enge Kommunikation über Veränderungen unabdingbar.

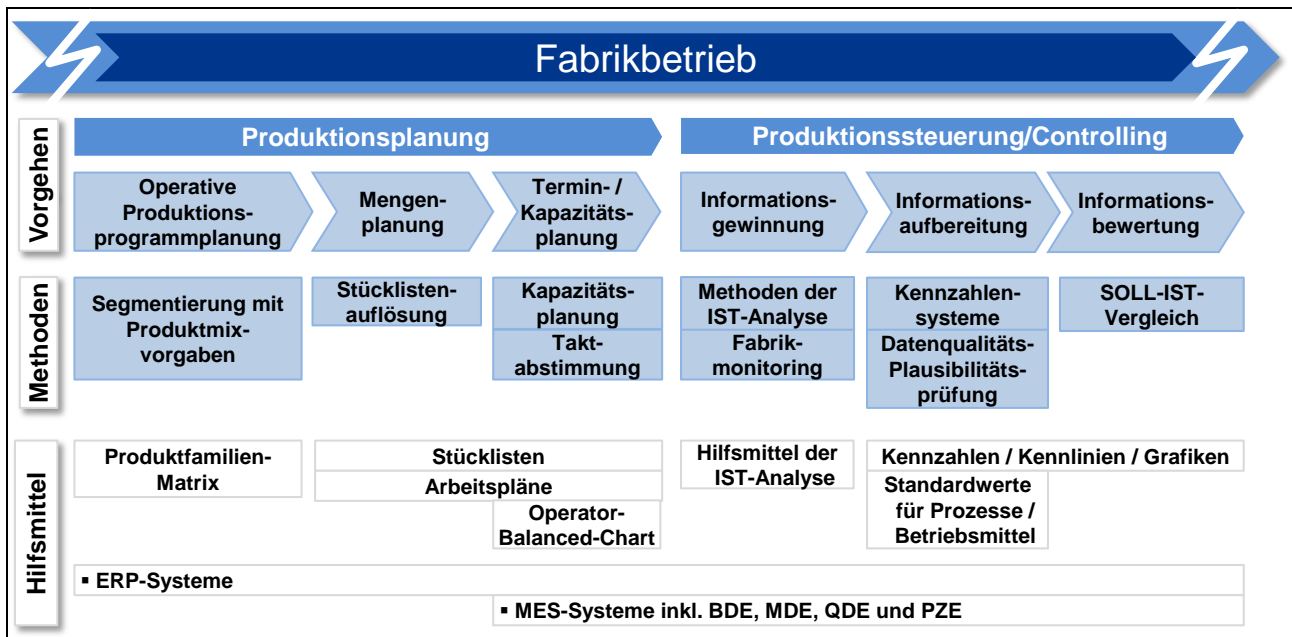


Abbildung 6-9: Fabrikbetrieb – Vorgehensweise, Methoden und Hilfsmittel

Bei den kurzfristigen Turbulenzen „Änderungen des Bedarfstermins (Kunde)“, „Mengenänderung eines Auftrags (Kunde)“ sowie „Änderungen an der Produktkonfiguration (Kunde)“ sind die Auswirkungen auf das Produktionsprogramm und die damit verbundenen Veränderungen auf den Kapazitätsbedarf einzuplanen, um die Lieferfähigkeit zu gewährleisten. Bei „organisatorischen und technischen Störungen“ ist die Kapazitätsplanung nach dem aktuellen Kapazitätsangebot anzupassen, bis die Maschinen und Anlagen wieder zur Verfügung stehen. Bei den mittelfristigen Turbulenzen „Änderung der Nachfragemenge“, der „Änderung der Lieferbedingungen“, einer „Verschiebung des Produktmixes“, einer „steigenden Variantenzahl“ oder „technologischen Veränderung von Produkten oder Produktionsprozessen“ sind ebenfalls alle Prozesse der Produktionsplanung und -steuerung zu durchlaufen.

6.1.8.1 Produktionsplanung und -steuerung

Ziel der Produktionsplanung ist es, den Auftragsmix für die Produktion aufzubereiten, damit einerseits die mit dem Kunden vereinbarten Lieferbedingungen eingehalten werden können und andererseits die Kapazitätsauslastung der Produktion hochgehalten wird.

Bei den kurzfristigen Turbulenzen „Änderungen des Bedarfstermins (Kunde)“, „Mengenänderung eines Auftrags (Kunde)“ sowie „Änderungen an der Produktkonfiguration (Kunde)“ ist zunächst die operative Produktionsprogrammplanung betroffen, da sich die Auftragslast verändert. Die Mengenplanung, in der aus dem Produktionsprogramm der Sekundärbedarf ermittelt wird, wird gerade bei „Mengenänderung eines Auftrags (Kunde)“ und „Änderungen an der Produktkonfiguration (Kunde)“ beeinflusst. Die darauf aufbauende Termin- und Kapazitätsplanung ist bei allen kurzfristigen Turbulenzen notwendig. Der IE kann in diesem Abschnitt auf ERP- und MES-Systeme zurückgreifen, die in vielen Unternehmen eingesetzt werden.

Nach der planerischen Bewältigung aller mittelfristigen Turbulenzen sind alle Schritte der Produktionsplanung und -steuerung zu durchlaufen. Dabei ist vor allem auf die Einhaltung der geplanten und bestehenden Restriktionen für die Prozessabläufe und Produktionsstrukturen zu achten. Besonders bei „technologischen Veränderungen von Produkten oder Produktionsprozessen“ sind Anlaufschwierigkeiten mit einzukalkulieren und Maßnahmen hinsichtlich kurzfristiger „organisatorischer und technischer Störungen“ zu treffen.

Die Einweisung der Mitarbeiter in die neuen Aufgaben und Prozesse muss bei allen kurz- und mittelfristigen Turbulenzen erfolgen, um sie mit dem erforderlichen Know-how zur Erledigung der Produktionsprozesse auszustatten.

6.1.8.2 Controlling

Ziel des Controllings ist es, den Fortschritt der Kundenauftragsbearbeitung zu überwachen und Abweichungen vom SOLL-Zustand der Produktion zu erkennen, die die Grundlage der Identifikation von Turbulenzen darstellen.

Im Bereich der Informationsgewinnung geht es darum, aussagefähige Produktionsinformationen kontinuierlich und zuverlässig zu ermitteln, um Kenntnisse über den aktuellen Stand der Produktion zu erlangen. Die dafür erforderlichen Informationen wurden in Kapitel 4.2.2 identifiziert. Dem IE stehen manuelle Methoden der IST-Analyse sowie MES-Systeme mit ihren BDE-, MDE-, QDE- und PZE-Modulen zur Verfügung. Die gewonnenen Informationen werden anschließend aufbereitet und einer Plausibilitätsprüfung unterzogen. Im Rahmen der Informationsbewertung erfolgt ein SOLL-IST-Vergleich. Anhand der Kennlinien und Grafiken sowie errechneten Kennzahlen kann

der IE Abweichungen erkennen und entscheiden, ob und welche Maßnahmen zu treffen sind, um die Zielsetzungen der Produktion zu erreichen. Dies können kurzfristige Eingriffe in die Produktion sein, oder aber auch in Kombination mit anderen Rahmenbedingungen umfassendere Planungsaktivitäten, wie sie in Kapitel 4.2.2 beschrieben werden.

6.2 Qualifizierungskonzept für Industrial Engineers

Das Qualifizierungskonzept zur Nutzung einer Lernfabrik für die variantenreichen Montage basiert auf dem in Kapitel 4.3 vorgestellten handlungsorientierten Konzept, das eine ganzheitlich Lehr-Lernsituation heranzieht. Ziel ist es, die Lernenden nicht nur an das neue IE-Verständnis heranzuführen und die theoretischen Grundlagen zur Turbulenzbewältigung zu vermitteln und vorhandene Potentiale aufzuzeigen, sondern die Lernenden zu befähigen, die Methoden und Werkzeuge anzuwenden und Potentiale direkt im Unternehmen zu heben. Die dafür notwendige Handlungs- und Entscheidungskompetenz wird durch eine enge Verknüpfung zwischen Theorie und Praxis in einer darauf abgestimmten Lernumgebung erzielt. Das Qualifizierungskonzept gliedert sich in drei Bereiche zur Wiederholung methodischer Grundlagen des klassischen Industrial Engineering, der Vermittlung neuer Planungsmethoden und Werkzeuge und deren selbstständiger Anwendung (s. Abbildung 6-10).

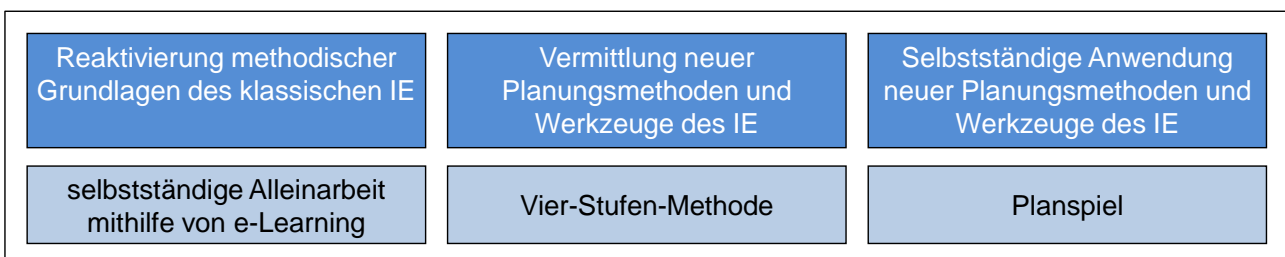


Abbildung 6-10: Bereiche und Methoden des Qualifizierungskonzepts

6.2.1 Wiederholung methodischer Grundlagen des klassischen IE

Die Wiederholung von Grundlagenwissen soll von den Lernenden vor Schulungsbeginn erfolgen und bietet die Möglichkeit, das Vorwissen der Methoden und Werkzeuge des klassischen Industrial Engineering aufzufrischen, die in den Unternehmen genutzt werden. In Kapitel 4.3.1 wurde für diesen Bereich die selbstständige Alleinarbeit als handlungsorientierte Methode ausgewählt, die mit Hilfe von e-Learning umgesetzt wurde. Für die Auswahl der zu lehrenden Methoden des klassischen Industrial Engineering erfolgte eine ausführliche Recherche in den Methodensammlungen von REFA, MTM und des IfaA, Gespräche mit Industrievertretern sowie eine Literaturrecherche zu Methoden der Arbeitsplanung. Die Auswahl der Methoden zur Vorbereitung auf die Schulung wurde in einem Workshop mit Vertretern der Industrie und führenden Ausbildungseinrichtungen

im Bereich IE sowie Wissenschaftlern getroffen. Somit wird sichergestellt, dass einerseits die notwendigen Grundlagen für die Schulung neuer Methoden und Werkzeuge im advanced Industrial Engineering gelegt werden und andererseits für die Industrie relevante Methoden aufgefrischt werden, die die Lernenden in der täglichen Arbeit einsetzen. Die ausgewählten Methoden werden in folgende Bereiche gegliedert:

- Problemanalyse (z. B. ABC-Analyse, Arbeitsablaufanalyse, Durchlaufzeitanalyse)
- Lösungsfindung (z. B. Brainstorming, Benchmarking)
- Visualisierung (Ablaufdiagramm, Baumdiagramm)
- Kaizen / Qualitätsmanagement (z. B. 5A, 7 Arten der Verschwendung, SPC, Qualitätszirkel)
- Arbeitssystemplanung (z.B. Stücklisten, Standardarbeitsblatt, Arbeitsstrukturierung)

Die Beschreibung der Methoden erfolgt hinsichtlich der Ziele, dem Vorgehen, der Vor- und Nachteile sowie weiteren relevanten Informationen und Beispielen. Die Methoden werden auf Folien dargestellt und mit einem erläuternden Text versehen.

Als e-Learning System wird die Lernplattform ILIAS ausgewählt, die die geforderten Funktionalitäten zur Präsentation der Methoden und im Lernprozess notwendige Übungen und Aufgaben sowie zur Kommunikation zwischen Lernenden und Lehrenden bereitstellt. Darüber hinaus wird eine einfache Administration zur individuellen Verwaltung der Lernenden, die Verwaltung der weiteren Lehrunterlagen und die Evaluierung des Qualifizierungskonzepts durch die Lernenden gewährleistet. Sie kann somit für das gesamte Qualifizierungskonzept genutzt werden.

Die Lernenden erhalten die Folien auf denen die Methoden des klassischen Industrial Engineering erläutert sind auf der Lernplattform zur Verfügung gestellt. Zur Anregung und Unterstützung des Lernprozesses werden Übungen und Fragen zur Lernkontrollen integriert, so dass die Lernenden ihren Wissensstand prüfen können. Bleiben dennoch Fragen offen oder benötigt der Lernende weitere Informationen um die Methode zu erfassen, kann er in einem Forum entweder mit anderen Lernenden oder mit dem Trainer in Verbindung treten. Zur Feststellung, ob das Lernziel erreicht wurde, wird eine Abschlussprüfung durchgeführt.

6.2.2 Vermittlung neuer Methoden und Werkzeuge des IE

Für das Erlernen neuer Methoden und Werkzeuge, die den Industrial Engineer in seinem künftigen Aufgabenspektrum unterstützen, wird mit der Vier-Stufen-Methode zunächst auf ein linear-zielgerichtetes Gesamtkonzept gesetzt, um den Prozess der Wissensvermittlung schnell und zielgerichtet vorantreiben zu können (s. Kapitel 4.3.2).

In der ersten Stufe wird das theoretische Wissen zur Vorgehensweise, den Eigenschaften und Funktionen, dem Einsatzgebiet, den Vor- und Nachteilen von Methoden und Werkzeugen vermittelt.

In der zweiten Stufe wird die Anwendung der Methoden und Werkzeuge anhand von Best-Practice-Beispielen erläutert.

In der dritten Stufe können die Lernenden die Methoden und Werkzeuge anhand von vorbereiteten Beispielen anwenden. Die Anwendung der Methoden und Werkzeuge wird in der dritten Stufe anhand eines durchgängigen Szenarios eingeübt, so dass der Zusammenhang der einzelnen Planungsbereiche mit der realen Fabrik ersichtlich wird und die Lernenden das Gesamtergebnis der Planung testen können. Ausgangspunkt für dieses Szenario ist ein Initialzustand in der physischen Modellfabrik, der so konzipiert wurde, dass alle Planungsaufgaben durchgeführt werden müssen. Die Lernenden arbeiten in einem Produktionsdurchlauf um die operativen Prozessabläufe kennenzulernen, die sie im Anschluss unter Anleitung des Lehrenden mit den Methoden und Werkzeugen des IE planen und optimieren. Die Planungsergebnisse werden jeweils im Anschluss in der Lernumgebung mithilfe des physischen Montagesystems umgesetzt, um auch schon in diesem Lernabschnitt dem Prinzip „Learning by Doing“ Rechnung zu tragen. Ein wichtiger Punkt ist dabei der Abschluss der Unterweisung durch Reflexion der erarbeiteten Ergebnisse, so dass der Lernende seine bisherigen Erfahrungen in den Zusammenhang mit den neuen Planungsmethoden und Werkzeugen bringen kann. Für dieses umfassende Szenario wurde die Optimierung des Initialzustandes hinsichtlich Durchlaufzeit, Materialfluss und Kapazitätsauslastung angestrebt. Dabei sind sich ändernde Lieferbedingungen der Kunden (kurzfristige Turbulenz) zu erfüllen und parallel die Integration einer neuen Produktkomponente und die damit verbundenen Verschiebung des Produktmixes (mittelfristige Turbulenz) zu bewältigen.

Die vierte Stufe, in der die Methoden und Werkzeuge des IE von den Lernenden selbstständig eingesetzt werden, erfolgt im dritten Teilbereich Qualifizierungskonzept mithilfe eines Planspiels und den dabei durchgeführten realitätsnahen Szenarien.

Die detaillierten Lehrinhalte und Lernziele ergeben sich aus den Methoden und Werkzeugen des IE, die in den einzelnen Planungsabschnitten (s. Kapitel 6.1) zur Bewältigung der kurz- und mittelfristigen Turbulenzen durchlaufen werden.

Für das Qualifizierungskonzept wurden die Planungsabschnitte in thematische Lernmodule zusammengefasst, so dass Querverzweigungen und notwendige Rückschleifen aufeinander abgestimmt werden können:

- Fabrikanalyse
- Arbeitsablaufplanung
- Fabrikstruktur- und Logistikplanung
- Arbeitssystemplanung

Die Vorgehensweise der Vier-Stufen-Methode (s. Kapitel 4.3.2) wird auf alle Methoden und Werkzeuge des IE angewandt, so dass auf eine jeweilige Darstellung verzichtet wird.

Fabrikanalyse

Das Lernmodul Fabrikanalyse beinhaltet Aufgaben des Fabrikmonitoring zur Identifikation von Turbulenzen und der IST-Analyse. Diese Bereiche wurden zusammengefasst, da ähnliche bzw. gleiche Methoden und Werkzeuge eingesetzt werden (s. Kapitel 6.1.8.2 und 6.1.1). Für das Produktionscontrolling werden Kennzahlen und Kennzahlssysteme wie die Balanced Scorecard eingesetzt. Die Kennzahlen stützen sich dabei auf die Ergebnisse der Analysemethoden. Im Rahmen des Lernmoduls werden daher Methoden wie die ABC-Analyse, die PQ-Analyse und die Portfolio-Analyse für den Bereich des Produktionsprogramms eingesetzt. Für die Analyse der Prozessstrukturen werden die Wertstromanalyse, die Materialfluss- / Informationsflussanalyse sowie die Arbeitsablaufanalyse betrachtet. Für die Ermittlung der Prozesszeiten werden die REFA-Zeitaufnahme und die Multimomentaufnahme gelehrt. Mit der Turbulenzanalyse wird letztendlich, der Veränderungsbedarf in der Produktion ermittelt und die notwendigen Handlungsoptionen abgeleitet. Die Methoden der Fabrikanalyse werden IT-seitig durch ERP- und MES-Systeme mit den jeweiligen Zusatzmodulen unterstützt. Daher werden diese Systeme zusammen mit der zentralen Datenbasis in den Lehrinhalt einbezogen.

Arbeitsablaufplanung

Das Lernmodul Arbeitsablaufplanung umfasst die klassischen Aufgaben des Industrial Engineerings, die bei der Einführung neuer Produktvarianten durchlaufen werden (s. Kapitel 6.1.2.1). Gelehrt werden die an die Konstruktion anknüpfende Methode wie die Prozess-FMEA, bevor mit den Methoden der Arbeitsplanentwicklung begonnen wird. Dazu zählen die Stücklistenauflösung, die Montageablaufanalyse, die Betriebsmittelauswahl, die Qualitätsplanung und die SOLL-Zeitaufnahme nach dem MTM-Verfahren. Parallel kommen dann noch die Zuschlagkalkulation, die Maschinenstundensatz- und die Prozesskostenrechnung als Methoden der Kostenkalkulation hinzu. Als IT-Unterstützung

werden PDM-Systeme mit den Grundlageninformationen der Produktstruktur, Prozessplanungssysteme für die Arbeitsplanentwicklung und Zeitermittlungssysteme eingesetzt.

Fabrikstruktur- und Logistikplanung

Das Lernmodul Fabrikstruktur- und Logistikplanung umfasst Aufgaben der Produktionsstrukturierung, der Kapazitäts- und Layoutplanung sowie der logistischen Dimensionierung, die sich stark gegenseitig beeinflussen (s. Kapitel 6.1.2.2, 6.1.3, 6.1.4 und 6.1.5). In der Produktionsstrukturierung werden vor allem das Wertstromdesign und die Materialflussplanung mit Methoden der Fertigungssteuerung eingesetzt. Die dabei unterstützenden Methoden der Kapazitätsplanung, Taktabstimmung werden auch in der Personalplanung genutzt. Die Feinplanung der Produktionsabläufe und der Produktionssteuerung, ebenso wie die Auslegung der Steuerungsprinzipien und die Berechnung der Los- und Puffergrößen erfolgt mit detaillierten Rechenverfahren der genannten Methoden und Hilfsmittel, wie dem Operator Balance Chart. Für die Layoutplanung werden Berechnungen zur Flächenbedarfsermittlung genutzt, die die Grundlage für die partizipative Planung zur Fabrikstrukturierung mit Blockschema, Intensitätsmatrix und aufbauenden Verfahren sowie der abschließenden Nutzwertanalyse darstellen. Die Materialflusssimulation als Unterstützung der Produktionsablaufplanung sowie CAD-, VR- und Layoutplanungssysteme wird ebenso in den Lehrinhalt aufgenommen.

Arbeitssystemplanung

Das Lernmodul Arbeitssystemplanung beinhaltet den Bereich der Feinplanung (s. Kapitel 6.1.6) mit der ergonomischen Gestaltung von Arbeitsplätzen den Methoden der Feinlayoutplanung, die im vorherigen Lernmodulen erläutert wurden, und der Online- / Offline-Roboterprogrammierung.

Das Lernmodul geht dabei auf die IT-Systeme zur ergonomischen Arbeitsplatzgestaltung ein, wie CAD-/VR-, Prozessplanungs- und Ergonomiesimulationssysteme. Für die Roboterprogrammierung werden ebenfalls Simulationssysteme vorgestellt. Des Weiteren werden die Methoden der Produktionsplanung und -steuerung des Fabrikbetriebs (s. Kapitel 6.1.8.1) betrachtet, was die Segmentierung des Produktmixes, die Stücklistenauflösung, die Feinplanung der Kapazitäten und die Taktabstimmung betrifft. Dabei werden die unterstützenden ERP- und MES-Systeme einbezogen.

6.2.3 Selbstständige Anwendung neuer Methoden und Werkzeuge des IE

Die selbstständige Anwendung, der in den Lernmodulen zuvor vermittelten Methoden und Werkzeuge des IE sowie deren Zusammenspiel zur effektiven und effizienten Lösung komplexer Problemstellungen stellen den entscheidenden Punkt des Qualifizierungskonzeptes dar. Nur so kann der nachhaltige Lernerfolg und damit der Praxiseinsatz des Erlernten in den Unternehmen erreicht werden. Das Planspiel wurde als Methode ausgewählt, die den Lernprozess bis zur Handlungs- und Entscheidungskompetenz der Lernenden unterstützt.

Das Planspiel beginnt mit der Erläuterung der Problemstellung. Die Lernenden erhalten einen Überblick über die Ausgangssituation und die Rahmenbedingungen der Produktion sowie die Turbulenzen, die auf ihre Produktion einwirken. Nach der Gruppeneinteilung beginnt die Spielphase, in der die Gruppe die Problemstellung analysieren und Handlungsoptionen identifizieren soll. Für die zur Turbulenzbewältigung ausgewählten Planungsabschnitte stehen den Lernenden die Methoden und Werkzeuge des IE (s. Kapitel 6.1) zur Verfügung. Nach Abschluss der Planung zur Turbulenzbewältigung wird das Ergebnis in der physischen Lernumgebung umgesetzt und in einem Produktionsdurchlauf getestet, der anschließend analysiert wird. Die Spielrunde wird mit der Reflexion durch den Lehrenden und der Diskussion der Ergebnisse mit den Lernenden abgerundet.

Für die Durchführung der Planspielrunden werden zwei Szenarien eingesetzt. Um für die Lernenden eine realitätsnahe Unternehmensumgebung zu schaffen, gilt es, ein Beispielunternehmen zu entwickeln, das die entsprechende Organisations-, Produkt- und Produktionsstrukturen eines mittelständischen Unternehmens im Bereich der variantenreichen Serienproduktion besitzt. Für den Aufbau der Szenarien wird der Szenario-Management-Ansatz nach Gausemeier (s. Kapitel 3.5.2.2) herangezogen, der die Szenarientwicklung in fünf Phasen gliedert.

In der ersten Phase, der Szenario Vorbereitung, werden die Rahmenbedingungen des Szenarios festgelegt. Das Szenariofeld berücksichtigt interne und externe Turbulenzen, die auf die Produktion und damit das Themengebiet des Industrial Engineering einwirken.

In der zweiten Phase, der Szenariofeld-Analyse, werden die Einflussfaktoren und deren Auswirkung auf das Gestaltungsfeld betrachtet, was bereits in Kapitel 4.2.2 erfolgte. Die identifizierten Schlüsselfaktoren (s. Abbildung 1-2) können in den Szenarien miteinander kombiniert werden, so dass die Lernenden alle Planungsbereiche zur Turbulenzbewältigung trainieren können. Für das erste Szenario, das zum Erlernen der Methoden und Werkzeuge des IE dient, wurde die Optimierung der Produktion hinsichtlich Durchlaufzeit, Materialfluss und Kapazitätsauslastung ausgewählt, um die sich ändernden

Lieferbedingungen der Kunden (kurzfristige Turbulenz) zu erfüllen. Parallel dazu muss die Integration einer neuen Produktkomponente und die damit verbundenen Verschiebung des Produktmixes (mittelfristige Turbulenz) bewältigt werden. Ein zweites Szenario beinhaltet eine technische Störung (kurzfristige Turbulenz), eine Änderung des Produktmixes und die Änderung der Prozesstechnologie (mittelfristige Turbulenzen). Für die Entwicklung weiterer Szenarien können bei Bedarf weitere Schlüsselfaktoren berücksichtigt werden.

In der dritten Phase, der Szenario-Prognostik wird für die ausgewählten Schlüsselfaktoren der IST-Zustand ermittelt und Zukunftsprojektionen erstellt. Für das erste Szenario ergeben sich kurzfristigere Lieferzeiten und das Ziel einer gesteigerten Kapazitätsauslastung sowie eine Verschiebung des Produktmixes hin zu Varianten mit der neu einzuführenden Produktkomponente. Im zweiten Szenario ergeben sich Projektionen zu einem höheren bzw. niedrigeren Mengenanteil an bisher exotischen Varianten. Technische Störungen, die in den Planungen bisher nicht berücksichtigt wurden, werden künftig mit einem teilweisen- bzw. vollständigen Ausfall einer Maschine / Anlagen bewertet. Für die Prozesstechnologie, die aktuell mit manuellen und automatischen Maschinen und Anlagen erfolgt, kann die Integration neuer Prozessmodule wie einer Prüf- oder Lagereinrichtung erforderlich werden.

In der vierten Phase, der Szenario-Bildung, werden dann plausible Entwicklungsmöglichkeiten herausgefiltert und die dabei entstehenden Rohszenarien detailliert beschrieben. Im Rahmen des Qualifizierungskonzepts muss dabei die Realisierbarkeit der Szenarien in der Lernumgebung berücksichtigt werden. Die finale Beschreibung der Szenarien stellt letztendlich den Ausgangspunkt für die Problemstellung dar, mit der sich die Lernenden auseinandersetzen haben.

Die fünfte Phase, der Szenario-Transfer, ist eine Teilaufgabe zur Turbulenzbewältigung, die von den Lernenden selbst durchgeführt wird.

6.2.4 Szenarien für die Durchführung des Qualifizierungskonzepts

Für die Vermittlung neuer Methoden und Werkzeuge des IE sowie deren selbstständige Anwendung im Rahmen des Qualifizierungskonzeptes werden zwei Szenarien eingesetzt (s. Kapitel 6.2), die alle wesentlichen kurz- und mittelfristigen Turbulenzen beinhalten, mit denen die Lernenden in der Praxis konfrontiert werden.

Im ersten Szenario wird für die Vermittlung der Methoden und Werkzeuge des IE sowie der komplexen Zusammenhänge in der Produktion eine Produktmixverschiebung aufgrund der Integration eines neuen Produktes als Turbulenz betrachtet. Parallel dazu wird eine Optimierung der bestehenden Produktion durchgeführt. In diesem Szenario werden die

Ergebnisse der einzelnen Planungsabschnitte von den Lernenden Schritt für Schritt umgesetzt. Damit wird der direkte Zusammenhang zwischen den Methoden und Werkzeugen des IE und dem Planungserfolg hergestellt und der gewünschte Lerneffekt erreicht.

Das zweite Szenario, das eine Produktmixverschiebung und die Bewältigung eines Ressourcenausfalls in der Produktion beinhaltet, wird im letzten Lernmodul des Qualifizierungskonzeptes von den Lernenden selbstständig bearbeitet. Hierbei erfolgt die Umsetzung der Planungsergebnisse wie in der Praxis nach Abschluss der Planung.

6.2.4.1 Produktmixverschiebung aufgrund der Integration eines neuen Produktes

Für das erste Szenario wurde eine Ausgangssituation entwickelt, die mit den Lernenden in der physischen Lernumgebung durchgespielt wird. Anschließend wurden einerseits die Turbulenzen in der laufenden Produktion identifiziert und andererseits die Turbulenzen vorgestellt, die von außen auf die Produktion einwirken. Daraus wurden Handlungsoptionen zur Turbulenzbewältigung abgeleitet und die Planungsvorgehensweise mit den Methoden und Werkzeugen des IE durchgeführt, bevor die Umsetzung der Planungsergebnisse erfolgte.

Ausgangssituation in der physischen Lernumgebung

Die Lernenden finden eine Ausgangssituation in der physischen Lernumgebung vor, die an die Ablaufstrukturen in den Unternehmen angelehnt ist. Es wird der komplette Wertstrom von der Fertigung über ein Zwischenlager, die Vormontage und die Endmontage bis hin zum Versand abgebildet (s. Abbildung 6-11). In der Fertigung werden die Produktkomponenten wie die Basiseinheit, die verschiedenen Becher und der Adapter für die Instrumente hergestellt, und an das Zwischenlager weitergeleitet. Die Instrumente und der Magnet werden als Kaufteile direkt in das Zwischenlager geliefert. Von dort aus werden die Produktkomponenten für die Basiseinheiten und die Instrumente mit dem zugehörigen Adapter an die Vormontage gebracht. Die vormontierten Baugruppen werden an die weiterverarbeitenden Module der Endmontage geliefert. Alle weiteren Produktkomponenten (Varianten der Becher und den Magnet), für die keine Vormontage notwendig ist wurden direkt aus dem Zwischenlager an die Module der Endmontage geliefert. Nach der Endmontage gelangen die fertigen Produkte letztendlich in den Versand, um an den Kunden ausgeliefert werden zu können. Die Aufgaben des Materialtransportes werden von einem Logistiker übernommen, der nach dem MilkRun-Prinzip alle erforderlichen Stationen bedient. Die Steuerung der Produktion ist in zwei

Bereiche gegliedert. Als erster Bereich wurde die Fertigung von der Produktionsplanung und -steuerung angetriggert. Die Fertigung erhielt zwei Mal täglich eine aktualisierte Kundenauftragsliste und leitete die gefertigten Produktkomponenten nach dem Push-Prinzip an das Zwischenlager weiter. Als zweiter Bereich wurde die Endmontage von der Produktionsplanung und -steuerung mit Kundenaufträgen versorgt. Die Informationen wurden über den Leitreechner des wandlungsfähigen Montagesystems an die entsprechenden Handarbeitsplatzmodule oder das automatische Lager, als mögliche Startpunkte für die Endmontage weitergegeben. Die Materialversorgung der Montagemodule in der Endmontage aus dem Zwischenlager und der Vormontage erfolgt nach dem Pull-Prinzip mit einer Kanban-Steuerung. Von der Endmontage werden die fertigen Produkte aktiv an den Versand zur Auslieferung gebracht.

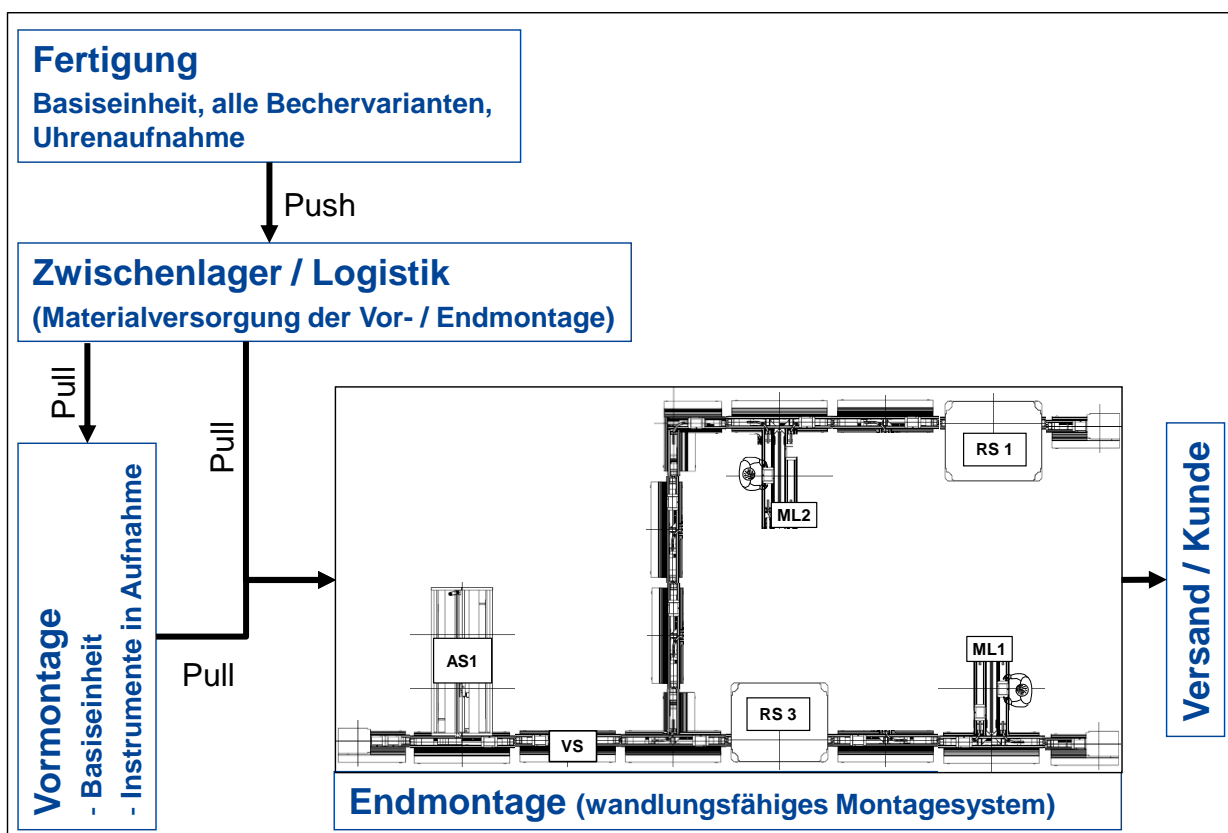


Abbildung 6-11: Struktur und Layout des Ausgangszustandes

Jeder Lernende übernimmt in der laufenden Produktion einen Arbeitsplatz, der mit einer Tätigkeitsbeschreibung und allen Arbeitsanweisungen versehen ist. Zunächst erhalten die Lernenden eine Einweisung in den jeweiligen Arbeitsplatz, jedoch keinen detaillierten Überblick über die Gesamtabläufe. Für die Produktion werden Mitarbeiter in der Fertigung (2 Personen), im Zwischenlager, in der Vormontage, an jedem Handarbeitsplatzmodul der Endmontage, ein Logistiker und ein Kunde benötigt.

Identifikation von Turbulenzen und Ableitung von Handlungsoptionen

Die laufende Produktion wird in der Phase Fabrikbetrieb durch Controlling (Fabrikmonitoring) überwacht. Dazu werden aktuelle Daten aus der Endmontage bzgl. der Auftragsdurchlaufzeiten, der Einzelprozesszeiten der Arbeitsgänge, die Ressourcenauslastung sowie die Prozessqualität kontinuierlich aufgezeichnet. Mit der aktuellen Produktionsleistung sind die zugesagten Liefertermine für den Kunden jedoch nicht erfüllbar, so dass erhebliche Abweichungen festgestellt werden. Dabei werden zu hohe Auftragsdurchlaufzeiten identifiziert, obwohl die Ressourcenauslastung in der Endmontage durchschnittlich unter 50% betragen und die wertschöpfenden Einzelprozesszeiten auch unter den geplanten Prozesszeiten liegen. Um die zugesagten Liefertermine einhalten zu können, bedarf es einer grundlegenden Optimierung der Produktionsabläufe über die gesamte Wertschöpfungskette.

Des Weiteren wird in der Geschäftsleitung entschieden, mit einer Leselampe eine neue Produktkomponente für das Schreibtischset zu entwickeln und mehrere Produktvarianten mit dieser Komponente anzubieten. Aufgrund von Markanalysen wird daher mittelfristig eine Verschiebung des Produktmixes erwartet. Mögliche Projektionen der Turbulenzen, wie sie in der Praxis auftreten können, werden mit den Lernenden diskutiert, da sie weitere Entwicklungen in der Praxis abschätzen müssen. Für das vorliegende Szenario werden folgende Projektionen als Grundlage für die Ableitung von Handlungsoptionen festgelegt. Die nicht weiter verfolgten Projektionen werden dabei gestrichen (s. Abbildung 6-12)

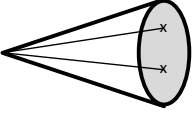
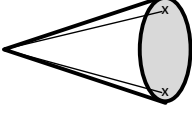
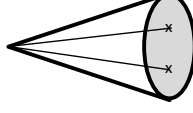
	Steigende Variantenzahl	Änderung des Produktmixes	Optimierung der Produktion
	1 	2 	3 
Projektion A	Integration neuer Produktkomponenten	Höherer Mengenanteil von Exoten	Erhöhung der Auslastung
Projektion B	Überarbeitung bisheriger Produktkomponenten	Geringerer Mengenanteil von Exoten	Ausrichtung auf die Lieferfähigkeit
Projektion C	Erweiterung des Produktspektrums mit komplett neuen Produkten	Höhere Gesamtkapazität erforderlich	DLZ-Optimierung des gesamten Wertstroms

Abbildung 6-12: Projektionen der Turbulenzen (Szenario 1)

Für eine detaillierte Betrachtung der konkreten Handlungsoptionen wird zunächst eine umfangreiche IST-Analyse durchgeführt. Im ersten Schritt werden das aktuelle Produktionsprogramm sowie das, durch Marktanalysen und mit Szenarien von der Unternehmensleitung entwickelte, künftige Produktionsprogramm mit einer ABC-Analyse

und einer PQ-Analyse näher betrachtet. Dabei werden einerseits aus dem aktuellen Auftragseingang, der im ERP- / MES-System verfügbar ist, die bisherigen Rennervarianten und die Exotenvarianten und andererseits die Unterschiede zwischen den beiden Produktionsprogrammen identifiziert. Besonders interessant ist dabei der Veränderungsgrad der Produktionsprogramme, der einen wesentlichen Einfluss auf den Planungsumfang hat. Des Weiteren werden die Stücklisten der Produktvarianten aufgelöst, um einen Vergleich der benötigten Einzelteile zu bekommen, die gefertigt und montiert werden müssen (s. Abbildung 6-13).

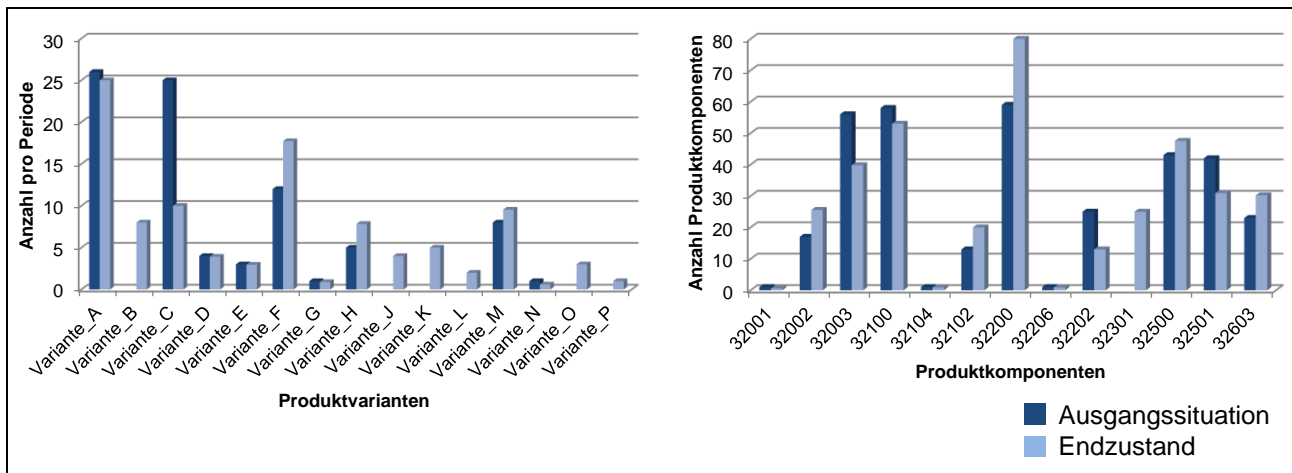


Abbildung 6-13: Vergleich der Produktionsprogramme (Szenario 1)

Den wichtigsten Aspekt der IST-Analyse stellt die Analyse der Prozessstrukturen in der Produktion dar. Die Material- und Informationsflüsse werden im Rahmen der Wertstromanalyse untersucht (s. Abbildung 6-14). Um den Aufwand der Prozessaufnahme zu verringern, werden zunächst Produktfamilien gebildet, aus denen dann jeweils ein Repräsentant näher betrachtet wird. Mithilfe der Arbeitspläne für die Produktion, den Prozessabläufe aus den ERP- / MES-Systemen und einer IST-Aufnahme des Wertstromes in der laufenden Produktion, die auch Gespräche mit den Mitarbeitern der jeweiligen Arbeitsstationen beinhaltet, werden die aktuellen Abläufe strukturiert und Schwachstellen identifiziert. Zu den Schwachstellen zählen eine nicht abgestimmte Produktionssteuerung zwischen Fertigung und Montage, sich kreuzende Materialflüsse, lange Transportwege in der Endmontage, eine falsche Auslegung der Materialversorgung, was teilweise zu einer Unterversorgung der Montagestationen führt, eine ungleichmäßige Auslastung der Ressourcen und mangelhaft gestaltete Arbeitsplätze.

Abschließend wird die aktuelle Layoutstruktur aufgenommen bzw. aus dem Leitrechner des wandlungsfähigen Montagesystems an die Basisebene transferiert, um den Ausgangszustand zu vervollständigen und den Materialfluss in der Fabrik betrachten zu können.

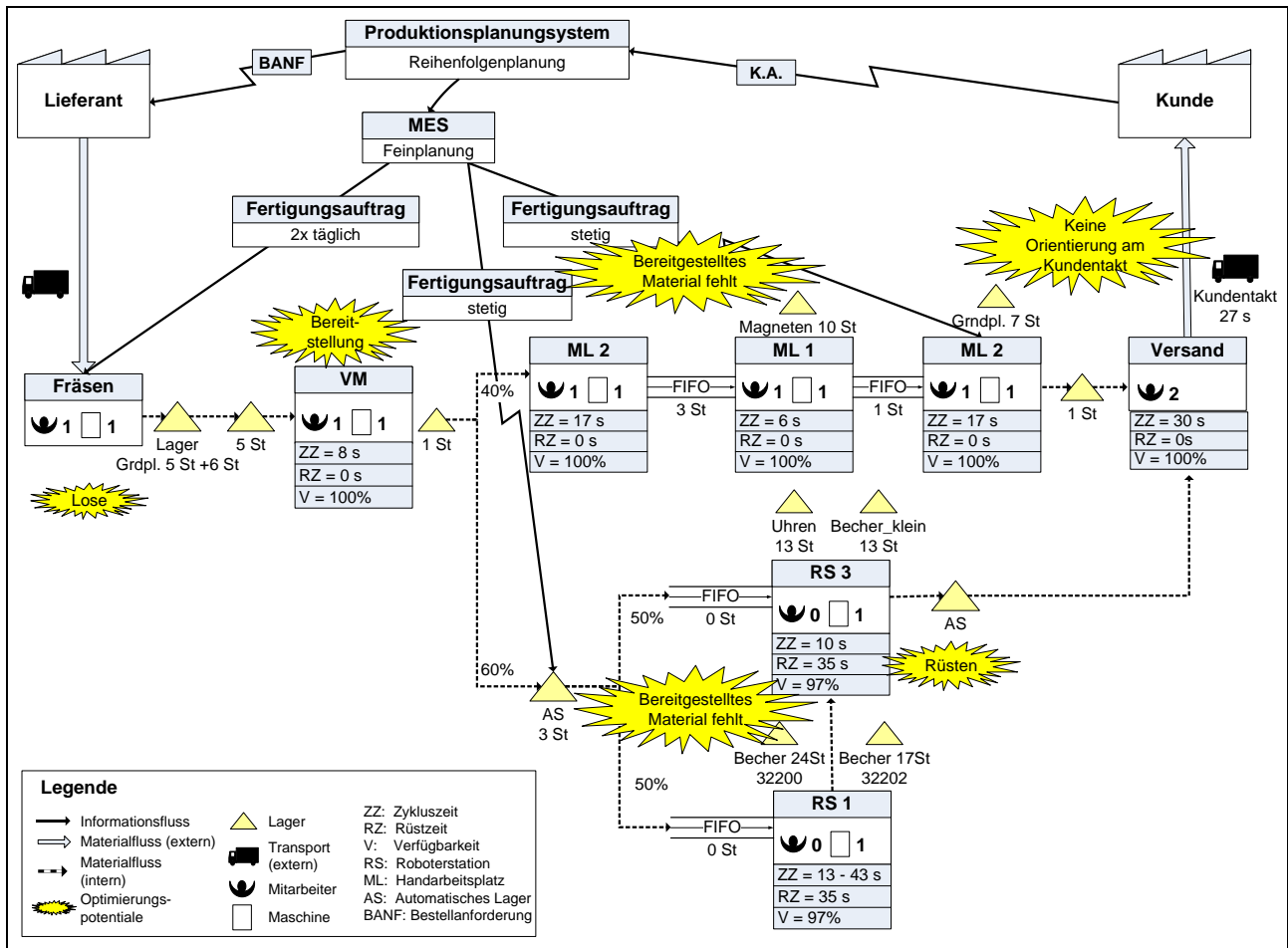


Abbildung 6-14: IST-Wertstrom der Ausgangssituation in der Produktion (Szenario 1)

Die notwendige Gesamtoptimierung der Produktion als Ergebnis des Fabrikmonitoring sowie die auftretenden mittelfristigen Turbulenzen der steigenden Variantenzahl verbunden mit einer Produktmixverschiebung, die wahrscheinlich eine Änderung der Nachfragemengen nach sich zieht, führt dazu, dass zur Turbulenzbewältigung alle Planungsabschnitte durchlaufen werden müssen.

Aufgrund des beschriebenen IST-Zustandes kann mit den Lernenden der Planungsumfang festgelegt werden:

- Durchführung der Arbeitsablaufplanung für die Leselampe als neue Produktkomponente
- Festlegung des Material- und Informationsflusses in der Produktionsstrukturierung, um eine besser Abstimmung der Produktionsbereiche zu erreichen
- Entwicklung des Layouts mit einem gerichteten Materialfluss
- Feinplanung des Material- und Informationsflusses
- Gestaltung und Optimierung der Arbeitsplätze in der Feinplanung der Produktion
- Vorbereitung der Umsetzung der Planungsergebnisse

Planungsvorgehen zur Turbulenzbewältigung

Als erster Schritt der Turbulenzbewältigung wird die Arbeitsablaufplanung für die Leselampe als neue Produktkomponente durchgeführt. Im ersten Schritt werden die Einzelteile der Leselampe bei einem Zulieferer eingekauft und im eigenen Unternehmen nur montiert, so dass sich die Arbeitsablaufplanung auf den Bereich der Montage beschränken kann. Ausgehend von den Konstruktionsdaten und einer Prozess-FMEA erfolgen die Auflösung der Stückliste und die Ableitung des Montagevorranggraphen, was im Prozessplanungssystem ausgeführt werden kann. Dabei kann auf Stücklisten, technische Zeichnungen sowie CAD-Modelle aus dem PDM-System zurückgegriffen werden. Danach erfolgen die Betriebsmittelauswahl und die Prüfplanung, die durch die Prozessplanungssysteme unterstützt wird. Abschließend werden Vorgabezeiten ermittelt, die für die Gestaltung des Produktionssystems benötigt werden. Die Feinplanung der Vorgabezeiten kann jedoch erst in der Feinplanung der Produktion nach der detaillierten Arbeitsplatzgestaltung erfolgen. Die im Arbeitsplan festgehaltenen Informationen der Arbeitsablaufplanung dienen als Grundlage für die weiteren Planungsschritte und werden in der Datenbasis der digitalen Planungsumgebung gespeichert.

In der Produktionsstrukturierung erfolgt mithilfe des Wertstromdesigns eine kundenorientierte Materialflussgestaltung. Nach der Ermittlung von Produktionssegmenten, die sich aus dem Produktionsprogramm und den Arbeitsplandaten ergibt, wird der Kapazitätsbedarf in den Produktionssegmenten bestimmt. Den Abschluss der Materialflussplanung bildet die Auswahl der Montageprinzipien. Der Informationsfluss zur Produktionssteuerung wird mit den zur Materialflussplanung geeigneten Methoden der Fertigungssteuerung geplant. Mit Materialflusssimulationssystemen wird das Ergebnis des Wertstromdesigns auf seine Tauglichkeit überprüft. Für das vorliegende Szenario ergibt sich eine flussorientierte Endmontage ohne Materialflussverzweigungen, bei der das automatische Lager aus dem Montagesystem herausgenommen wird. Die Montageprozesse wurden so auf die Montagemodule verteilt, damit die einzelnen Produktkomponenten nur noch an einem Modul montiert werden. Nachdem die Montagekapazität in der Endmontage auch für die Aufgaben der Vormontage ausreicht, wird diese Montagestufe aufgelöst und an die manuellen Montagemodule verteilt. Für die Leselampe wird aufgrund der langen Prozesszeit ein separater manueller Arbeitsplatz in das Gesamtsystem integriert. Die Produktionssteuerung kann bei dem vorliegenden Produktmix auf eine reine Kanban-Steuerung umgestellt werden, so dass die hohen Bestände im Zwischenlager vermieden und eine deutliche Verkürzung der Auftragsdurchlaufzeit ermöglicht wird. Als Schrittmacherprozess wird der erste Montageprozess der Endmontage identifiziert.

Im Rahmen der Kapazitätsplanung wird zunächst der Personalbedarf für die Produktion festgelegt bevor die Flächenbedarfsermittlung erfolgt, die auf der IST-Analyse der Layoutstruktur und den bekannten Abmaßen der Maschinen, Anlagen und Betriebsmittel basiert. Die Informationen der Produktionsstrukturierung und der Flächenbedarfsermittlung bilden die Grundlage für die Ideallayoutplanung und führten letztendlich zu einem Reallayout, das in der Produktionshalle umgesetzt werden kann. Mithilfe des Layoutplanungssystems wird eine U-förmige Endmontagestruktur aufgebaut, bei der zwei manuellen Handarbeitsplatzmodule (ML) die zwei Robotermodule (RS) einschließen. An das zweite Handarbeitsplatzmodul wird der Arbeitsplatz der Lampenmontage angedockt. Somit ergeben sich für die Logistik kurze Transportwege aus dem Zwischenlager, das von der Fertigung direkt aufgefüllt werden kann (s. Abbildung 6-15).

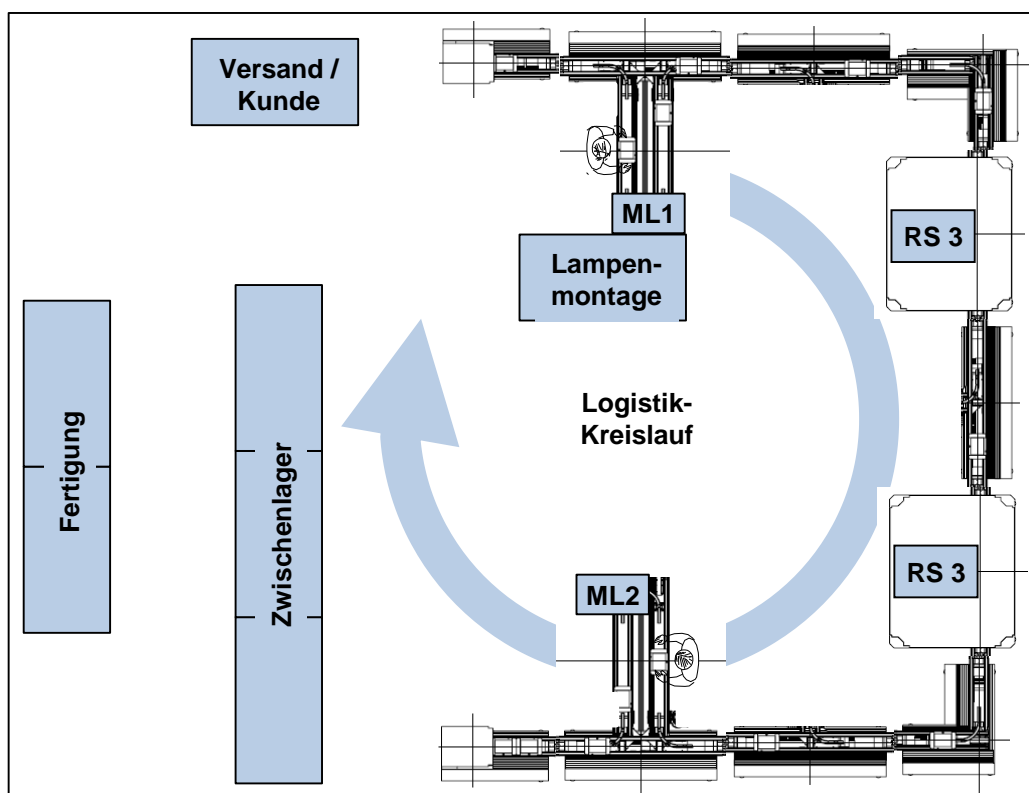


Abbildung 6-15: Ergebnis der Layoutplanung (Szenario1)

In der anschließenden logistischen Dimensionierung werden die Bestandsdimensionierung und die Auslegung der Kanban-Kreisläufe vorgenommen. Dabei gilt es mit Rechenverfahren die Auftragsauslösung in den, der Endmontage vorgelagerten Produktionsbereichen festzulegen, um einerseits die Materialversorgung in der Endmontage mit ihrem One-Piece-Flow sicherzustellen und andererseits eine rüstzeitoptimierte Losgrößenfertigung zu erreichen. Die Planungsergebnisse können in das Materialflusssimulationsmodell eingearbeitet und auf ihre Praxistauglichkeit getestet werden.

In der Feinplanung der Produktion werden die manuellen Handarbeitsplatzmodule sowie der Arbeitsplatz der Lampenmontage nach ergonomischen Gesichtspunkten gestaltet und in die optimale logistische Materialversorgung eingebunden. Mit der Festlegung der detaillierten Anordnung der Betriebsmittel und dem Behältermanagement am Arbeitsplatz können die Arbeitsanweisungen der Montagetätigkeiten erarbeitet werden. Abschließend werden im Feinlayout die Flächen für die gestalteten Arbeitsplätze angepasst und die peripheren Bereiche wie für die logistische Versorgung der Arbeitsplätze detailliert. Nachdem die Programme für die Robotermodule bereits vorhanden sind, entfällt in diesem Szenario die Roboterprogrammierung.

Nach dem Abschluss der Planungen zur Optimierung der Produktion und der Bewältigung der einwirkenden mittelfristigen Turbulenzen kann das Planungsergebnis von den Lernenden getestet werden. Nach dem Produktionsdurchlauf wird in einer Reflexionsrunde ein Vergleich mit dem Produktionsdurchlauf der Ausgangssituation hergestellt, um den Einfluss und den Nutzen der Methoden und Werkzeuge des IE bei korrekter Anwendung zu verdeutlichen.

6.2.4.2 Produktmixverschiebung und Bewältigung eines Ressourcenausfalls in der Produktion

Das zweite Szenario baut auf den Planungsergebnissen des ersten Szenarios auf, so dass die Lernenden die Ausgangssituation detailliert kennen und in der folgenden Planungsrunde die noch bestehenden Schwachstellen eliminieren können. Nach der Erfassung der Ausgangssituation und der Vorstellung der Turbulenzen kann mit der Planung zur Turbulenzbewältigung begonnen werden. Das Szenario ist so ausgelegt, dass die Lernenden die Bearbeitung selbstständig ausführen können und dabei alle wesentlichen zuvor erlernten Methoden und Werkzeuge des IE anwenden können und müssen, um die Zielsetzung zu erreichen. Die Planungsergebnisse werden anschließend getestet und nach einem Produktionsdurchlauf diskutiert.

Turbulenzen und Ableitung von Handlungsoptionen

Nachdem die Lernenden mit der Ausgangssituation bestens vertraut sein werden, werden sie direkt mit weiteren Turbulenzen konfrontiert, die auf die Produktion einwirken. Die große Kundennachfrage nach bisherigen Exoten führt einerseits zu einer Verschiebung des Produktmixes und andererseits zu einer Erhöhung des Auftragsbestandes, was eine Ausweitung der Produktionskapazität erfordert. Um die hohe Kundennachfrage bewältigen zu können, beschließt die Unternehmensleitung den Einsatz von weiterer automatisierter Anlagentechnologie, was für diesen Unternehmensbereich die Integration des

automatischen Lagers in die Endmontage bedeutet. Des Weiteren wird beschlossen, aufgrund der hohen Kundennachfrage Notfallpläne für den Fall von technischen Störungen in der Endmontage zu entwickeln. Die für das Szenario ausgewählten sowie die diskutierten, aber nicht weiter verfolgten Projektionen der Turbulenzen sind in Abbildung 6-16 dargestellt.

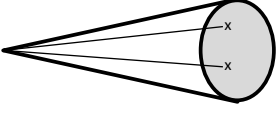

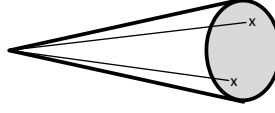
	Technische Störungen	Änderung des Produktmixes	Änderung der Prozesstechnologie
	1 	2 	3 
Projektion A	Vollständiger Ausfall einzelner Ressourcen	Höherer Mengenanteil von Exoten	Reintegration des automatischen Lagers
Projektion B	Teilausfall einzelner Ressourcen	Geringerer Mengenanteil von Exoten	Integration der visuellen Prüfstrecke

Abbildung 6-16: Projektionen der Turbulenzen (Szenario 2)

Neben den beschriebenen Turbulenzen müssen die Lernenden weitere Restriktionen in ihren Planungen berücksichtigen. Das zu integrierende Lager soll zu mindestens 50% ausgelastet werden, um die Fähigkeiten der Technologie im Praxiseinsatz untersuchen zu können. Außerdem muss ausreichend Verkehrsflächen berücksichtigt werden, um den Umbau des Montagesystems durchführen zu können. Als Montageressourcen in der Endmontage stehen den Lernenden zwei Handarbeitsplatzmodule, zwei Robotermodule und das automatische Lager zur Verfügung.

Für die Ableitung von konkreten Handlungsoptionen wird zunächst eine umfangreiche IST-Analyse durchgeführt. Nachdem eine Veränderung des Produktmixes sowie eine höhere Kundennachfrage identifiziert werden, erfolgt als erstes ein Vergleich des bisherigen und den künftigen Produktionsprogrammes sowie der zu montierenden Produktkomponenten. Dabei wird auf den Auftragseingang im ERP- / MES-System sowie Marktanalysen zurückgegriffen (s. Abbildung 6-17).

Für weitere Punkte der IST-Analyse kann sowohl auf die Planungsergebnisse des ersten Szenarios als auch auf die Ergebnisse des Fabrikmonitoring sowie die Schwachstellenanalyse nach dem vorherigen Produktionsdurchlaufs zurückgegriffen werden. Nachdem die Planungsergebnisse des ersten Szenarios eins zu eins umgesetzt werden und bisher zu diesem Zeitpunkt keine Veränderungen am Produktionssystem vorgenommen werden, wird die Aufnahme des Wertstromes und der Layoutstruktur sowie die dazugehörigen Prozessanalysen deutlich erleichtert.

Als Schwachstellen des bisherigen Produktionssystems werden in der Layoutstruktur die engen Transportwege für die Logistik sowie fehlende Flächen für den Zugang zu

einzelnen Maschinen und Anlagen identifiziert, so dass eine Rekonfiguration des Montagesystems nur mit großem Aufwand möglich wäre. Nachdem die bisherigen wertschöpfenden Module einen hohen Auslastungsgrad aufweisen würde ein technischer Ausfall zu Lieferverzögerungen führen, die unbedingt zu vermeiden sind.

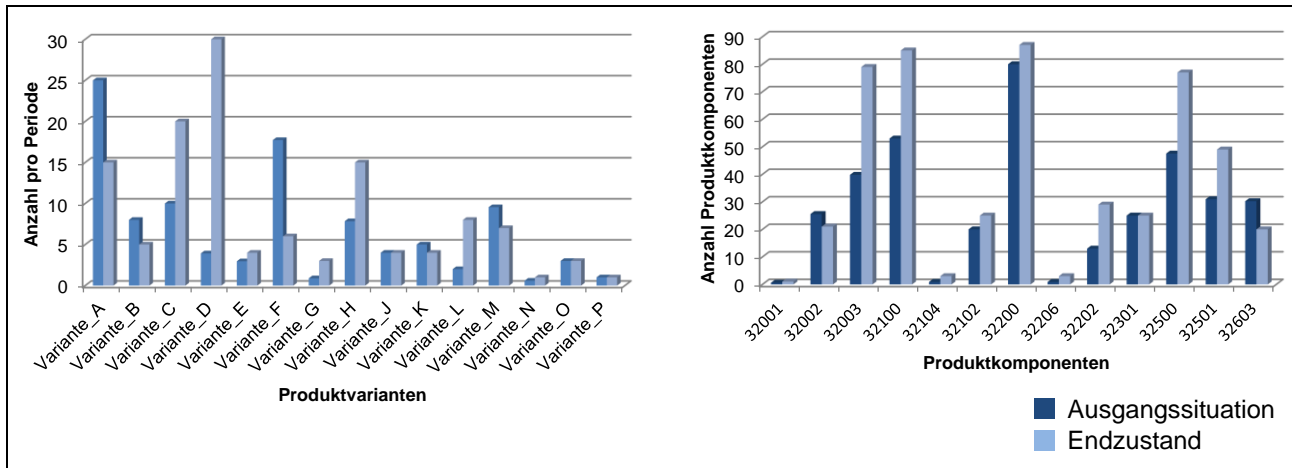


Abbildung 6-17: Vergleich der Produktionsprogramme (Szenario 2)

Die IST-Analyse führte daher zu folgenden Handlungsoptionen, die im Rahmen der Turbulenzbewältigung angegangen werden müssen:

- Aktualisierung der Maschinenauswahl in den Arbeitsplänen
- Festlegung des Material- und Informationsflusses in der Produktionsstrukturierung
- Entwicklung eines Layouts, das die Restriktionen beachtet
- Feinplanung des Material- und Informationsflusses
- Adaption der Arbeitsplätze an die neuen Arbeitspläne in der Feinplanung der Produktion
- Vorbereitung der Umsetzung der Planungsergebnisse

Planungsvorgehen zur Turbulenzbewältigung

Der erste Schritt zur Turbulenzbewältigung erfolgt in der Arbeitsablaufplanung, mit der Aktualisierung der Maschinenauswahl für die einzelnen Montageprozesse. Dabei wird ausgelotet, welche Montageprozesse vom automatischen Lager ausgeführt werden können. Im DPE lassen sich zu den Montageprozessen Alternativprozesse mit anderen Ressourcen anlegen, auf die in der Logistikplanung und der Produktionsplanung und -steuerung zurückgegriffen werden kann. Diese grundlegenden Informationen fließen dann in die Material- und Informationsgestaltung im Rahmen der Produktionsstrukturierung ein. Anhand des künftigen Produktionsprogrammes werden zunächst geeignete Produktfamilien identifiziert, bevor der Kapazitätsbedarf aufgrund der im Arbeitsplan festgehaltenen Prozessabläufe ermittelt wird. Für die Endmontage wird festgelegt, alle

Montageprozesse an einem Handarbeitsplatzmodule beginnen zu lassen und dort auch alle weiteren Produktkomponenten zu montieren, die nicht an den Robotermodulen eingeplant werden. Auf die Robotermodule wird die Montage der am häufigsten benötigten Standard-produktkomponenten (32003, 32100, 32200, 32202) gelegt. Aufgrund der hohen Prozesszeiten des automatischen Lagers können aber nicht alle Endprodukte eingelagert werden, ohne den Kundentakt zu überschreiten. Anhand der ABC-Analyse und der Kapazitätsverteilung wird entschieden, alle Produktvarianten einzulagern, die keine Leselampe enthalten. Die Produktvarianten mit Leselampe werden am Handarbeitsplatz entnommen. Somit wird das Montagesystem gegen alle Möglichkeiten des einzuplanenden technischen Ausfalls einer Ressource abgesichert. Das Handarbeitsplatzmodul könnte gegen das baugleiche Reservemodul getauscht werden. Des Weiteren würde die Kapazität des Handarbeitsplatzmoduls als Reserve ausreichen, um die Montageprozesse eines Robotermoduls bzw. des automatischen Lagers zu übernehmen. Nach der Festlegung des Materialflusses und der einzusetzenden Ressourcen werden in der Produktionssteuerung die Methoden der Fertigungssteuerung ausgewählt. Dabei wird, wie im ersten Szenario, der erste Montageprozess in der Endmontage als Schrittmacherprozess der Produktion ausgewählt. Die vorgelagerten Prozesse werden mit einer Kanban-Steuerung angebunden. Die Überprüfung der geplanten Produktionsabläufe wird mit einer Materialflusssimulation durchgeführt.

Die Kapazitätsplanung des Personals und der Ressourcen ergibt, dass in der Endmontage auf einen Mitarbeiter verzichtet werden kann, da nur noch ein Handarbeitsplatzmodul in das Layout zu integrieren ist. Die Flächenbedarfsermittlung kann auf die bekannten Abmaße der Ressourcen und Betriebsmittel zurückgreifen. Anhand dieser Informationen kann dann in der Layoutplanung zunächst ein Ideallayout erarbeitet werden, das letztendlich unter Einsatz eines Layoutplanungssystems in ein Reallayout überführt wird, das in der physischen Lernumgebung umgesetzt werden kann und alle gestellten Restriktionen beachtet. Den Kern des Layouts bildet die Endmontage, bei der das Handarbeitsplatzmodul und die Robotermodule in einer Linie angeordnet werden. Das automatische Lager wird über ein Verzweigungsmodul eingebunden, so dass die Produktvarianten, die am Handarbeitsplatzmodul entnommen werden sollten ohne, den Umweg und die Staugefahr am automatischen Lager an das Handarbeitsplatzmodul zurückgeleitet werden können. Der manuelle Arbeitsplatz zur Vormontage der Leselampe wird wieder an das Handarbeitsplatzmodul angebunden. Um den Laufweg des Logistikers zu minimieren, wird das Zwischenlager und die Fertigung parallel zur Hauptlinie der Endmontage angeordnet (s. Abbildung 6-18).

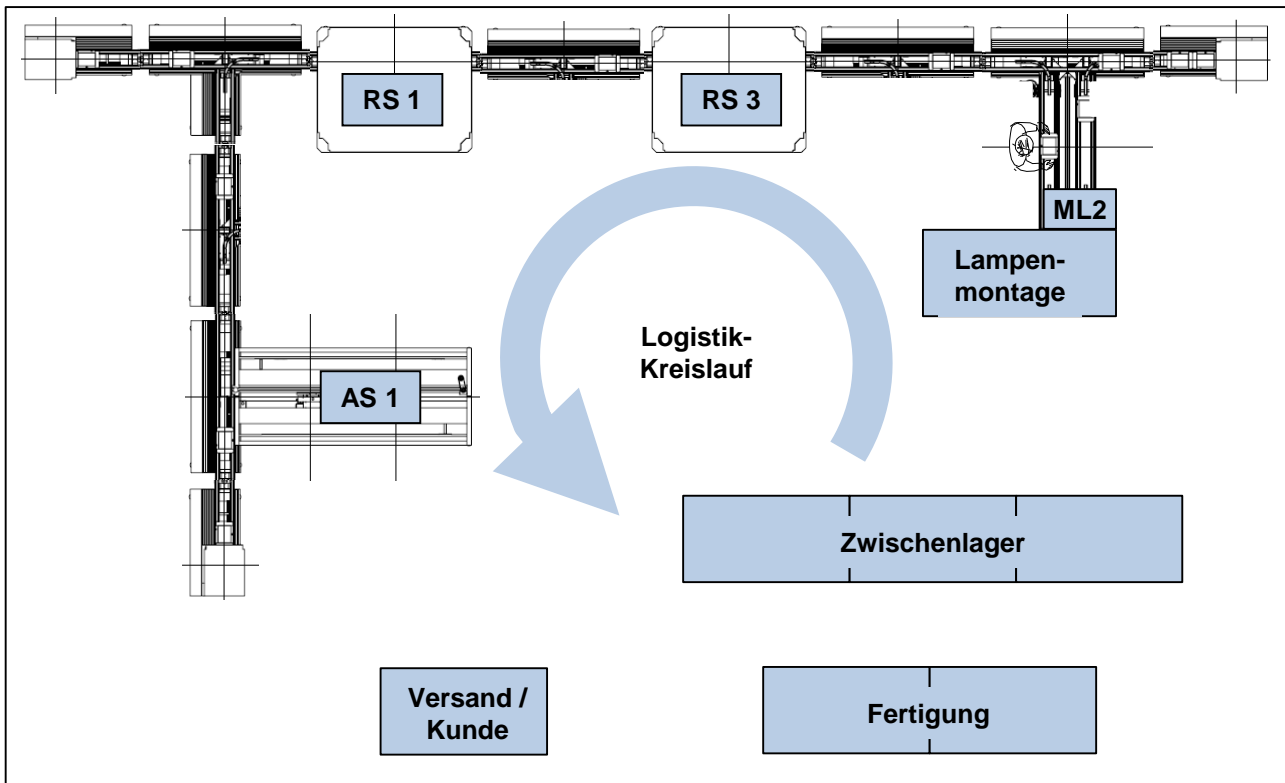


Abbildung 6-18: Ergebnis der Layoutplanung (Szenario2)

Im weiteren Planungsverlauf wird dann die Dimensionierung der Kanban-Kreisläufe vorgenommen, um die Materialversorgung der Endmontage sicherzustellen. Für die detaillierte Auslegung und Überprüfung der Kanban-Kreisläufe wird das, im Verlauf der Planung erstellte Materialflusssimulationsmodell, eingesetzt. Nach der logistischen Dimensionierung erfolgen die ergonomische Gestaltung des Handarbeitsplatzmoduls sowie die Feinplanung des Layouts und der detaillierte Maschinenaufstellungsplan. Nachdem auch in diesem Szenario die Roboterprogramme für die eingeplanten Produktkomponenten bereits vorliegen, kann auf diesen Planungsschritt verzichtet werden.

Nach Abschluss der Planungen zu Turbulenzbewältigung wird das Planungsergebnis von den Lernenden in der physischen Lernumgebung realisiert und in einem Produktionsdurchlauf getestet. Wenn das Gesamtsystem der Produktion zeigt, dass es den hohen Kundenbedarf decken kann, wird die Turbulenz einer technischen Störung an einem Robotermodul eingespielt, so dass eine Produktionsunterbrechung auftritt. Aufgrund des Notfallplans wird von den Lernenden das ausgefallene Robotermodul durch das als Reserve vorhandene Handarbeitsplatzmodul ersetzt und die auf dem Robotermodul eingeplanten Arbeitsgänge im MES-System auf das neue Handarbeitsplatzmodul verschoben. Somit kann die Produktion nach kurzer Zeit fortgesetzt werden. Aufgrund der Störung in der Endmontage läuft die Fertigung mit

einiger Verzögerung leer, da über das MilkRun-System der Logistik keine Kanban-Bestellung vom Zwischenlager ausgelöst wird. Nach einiger Zeit hatte sich das Gesamtsystem aber wieder stabilisiert und das Planungsergebnis den Praxistest bestanden. Abgeschlossen wird der Produktionsdurchlauf des Szenarios mit einer Kurzanalyse und einer Abschlussdiskussion in der Reflexionsphase.

6.2.5 Zusammenfassung des Qualifizierungskonzepts

Die Methoden des klassischen Industrial Engineering werden mithilfe von e-Learning und dem Einsatz der Lernplattform ILIAS vermittelt, so dass alle Lernenden die wesentlichen Grundlagen des Industrial Engineering beherrschen, was in einer Eingangsprüfung im ersten Lernmodul abgeprüft wird.

Die Lernplattform ILIAS dient den Lernenden auch in den folgenden Bereichen des Qualifizierungskonzepts für die Vor- und Nachbereitung der Lehrinhalte. Dazu werden die gesamten Lehrunterlagen auf der Lernplattform hinterlegt.

Im Lernmodul Grundlagen zur Turbulenzbewältigung wird mit dem neuen Verständnis des Industrial Engineering der Rahmen für die Lehrinhalte zur Planung und Optimierung der Produktion gespannt. So erhalten die Lernenden Grundlagen über die Potentiale wandlungsfähiger Unternehmensstrukturen in der variantenreichen Montage (s. Kapitel 3.2 - Grundlagen des Stuttgarter Unternehmensmodells). Dazu werden die Turbulenzen aufgezeigt, die die Montage beeinflussen und welche Reaktionsmöglichkeiten sich dem Industrial Engineer bieten. Eine wesentliche Rolle spielen dabei die Standardisierung, die Transparenz und die abteilungsübergreifenden Synchronisation von Prozessen, die die Produktion am optimalen Betriebspunkt halten soll.

In den Lernmodulen Fabrikanalyse, Arbeitsablaufplanung, Fabrikstruktur- und Logistikplanung sowie der Arbeitssystemplanung werden die in Kapitel 6.2.2 vorgestellten Methoden und Werkzeuge des IE behandelt. Die Anwendung der Methoden und Werkzeuge erfolgt in diesen Lernmodulen in der ersten von den Lehrenden geführten Spielrunde des Planspiels. Das Planungsergebnis dieser Lernmodule stellt den Ausgangszustand für die zweite Planspielrunde dar, die im Lernmodul Planspiel mit Szenarien von den Lernenden selbstständig bearbeitet werden soll (s. Abbildung 6-19). Die Lernenden werden mit Turbulenzen und Rahmenbedingungen der Produktion konfrontiert, die im Team gelöst werden müssen. Die Planungsergebnisse werden dann in der Modellfabrik umgesetzt und getestet. Den Lernenden wird es so ermöglicht, das Gelernte unter realen Rahmenbedingungen einzusetzen und zu trainieren, ohne den laufenden Betrieb im Unternehmen zu beeinflussen.



Abbildung 6-19: Qualifizierungskonzept für Industrial Engineers

7 Validierung des Qualifizierungskonzepts zur Nutzung einer Lernfabrik für die variantenreiche Montage

Ziel dieses Kapitels ist die Validierung des Qualifizierungskonzepts zur Vermittlung eines neuen IE-Verständnisses in einer Lernfabrik für die variantenreiche Montage. Durch das nachhaltige Qualifizierungskonzept werden Industrial Engineers in die Lage zu versetzen den Umgang mit Planungsmethoden und -werkzeugen kennenzulernen und die Potentiale und Risiken der Digitalen und Virtuellen Fabrik einzuschätzen, um die Produktion in ihren Unternehmen wandlungsfähig und damit wettbewerbsfähig zu gestalten.

Aus dieser Zielsetzung (s. Kapitel 1.3) ergeben sich drei wesentliche Anforderungen an eine Lernfabrik für die variantenreiche Montage, die im Rahmen der Validierung zu prüfen sind.

- Der Anforderung nach der Vermittlung eines neuen IE-Verständnisses zur Turbulenzbewältigung und dem dafür notwendigen Zusammenhang zwischen den kurz- und mittelfristigen Turbulenzen und den Planungsabschnitten, soll im Lernmodul „Grundlagen der Turbulenzbewältigung“ begegnet werden.
- Der Anforderung, die Lernenden in die Lage zu versetzen, mit Planungsmethoden und -werkzeugen auf kurz- und mittelfristige Turbulenzen zu reagieren und Potentiale und Risiken beim Einsatz von Werkzeugen der Digitalen und Virtuellen Fabrik kennenzulernen, soll in den Lernmodulen „Fabrikanalyse“, „Arbeitsablaufplanung“, „Fabrik- und Logistikplanung“ sowie „Arbeitssystemplanung“ Rechnung getragen werden.
- Die Anforderung eines nachhaltigen Lernerfolges soll im Lernmodul „Planspiel mit Szenarien“ in einer realitätsnahen Lernumgebung erfüllt werden.

Die Validierung einer Lernfabrik für die variantenreiche Montage erfolgte in einem zweistufigen Vorgehen, durch eine Befragung der Teilnehmenden der Validierungsgruppe. In der ersten Stufe wurden die Teilnehmenden unmittelbar nach Abschluss des jeweiligen Lernmoduls befragt. In der zweiten Stufe, der mittelbaren Validierung, erfolgte eine Befragung sechs Monate nach Abschluss der gesamten Schulung (s. Abbildung 7-1). Nachdem die oben genannten Anforderungen an eine Lernfabrik für die variantenreiche Montage aufeinander aufbauen, galt es, die Wirkbeziehungen der Anforderungen in der Validierung zu berücksichtigen.

In der ersten Stufe wurde eine unmittelbare Validierung mithilfe eines Fragebogens durchgeführt, die aus der Zielsetzung des jeweiligen Lernmoduls abgeleitet wurde. Die Anforderung nach dem Zusammenhang zwischen den kurz- und mittelfristigen

Turbulenzen und den zur Bewältigung erforderlichen Planungsabschnitten, stellt die fachliche Basis für die weiteren Anforderungen dar, so dass das Lernmodul „Grundlagen der Turbulenzbewältigung“ die Basis für die weiteren Lernmodule bildet. Darauf aufbauend erfolgte die Validierung der Lernmodule „Fabrikanalyse“, „Arbeitsablaufplanung“, „Fabrik- und Logistikplanung“ sowie „Arbeitssystemplanung“ hinsichtlich der Anforderung des Erlernens der zur Turbulenzbewältigung eingesetzten Planungsmethoden und -werkzeuge sowie der Einschätzung von Potentialen und Risiken des Werkzeugeinsatzes der Digitalen und Virtuellen Fabrik. Sie sind Voraussetzung, um der Anforderung eines nachhaltigen Lernerfolges durch das Qualifizierungskonzept gerecht zu werden, die mit dem Lernmodul „Planspiel mit Szenarien“ in einer realitätsnahen Lernumgebung erfüllt werden soll. In der zweiten Stufe wurde eine mittelbare Validierung sechs Monate nach Abschluss der gesamten Schulung durchgeführt, in der die Teilnehmenden der Validierungsgruppe erneut befragt wurden, um die Erreichung der Zielsetzung eines nachhaltigen Lernerfolges des Qualifizierungskonzeptes zu prüfen. Dabei wurde einerseits die Praxisrelevanz der Lehrinhalte und andererseits die Übertragbarkeit und Anwendbarkeit des Gelernten in den Arbeitsalltag der Teilnehmenden der Validierungsgruppe betrachtet.

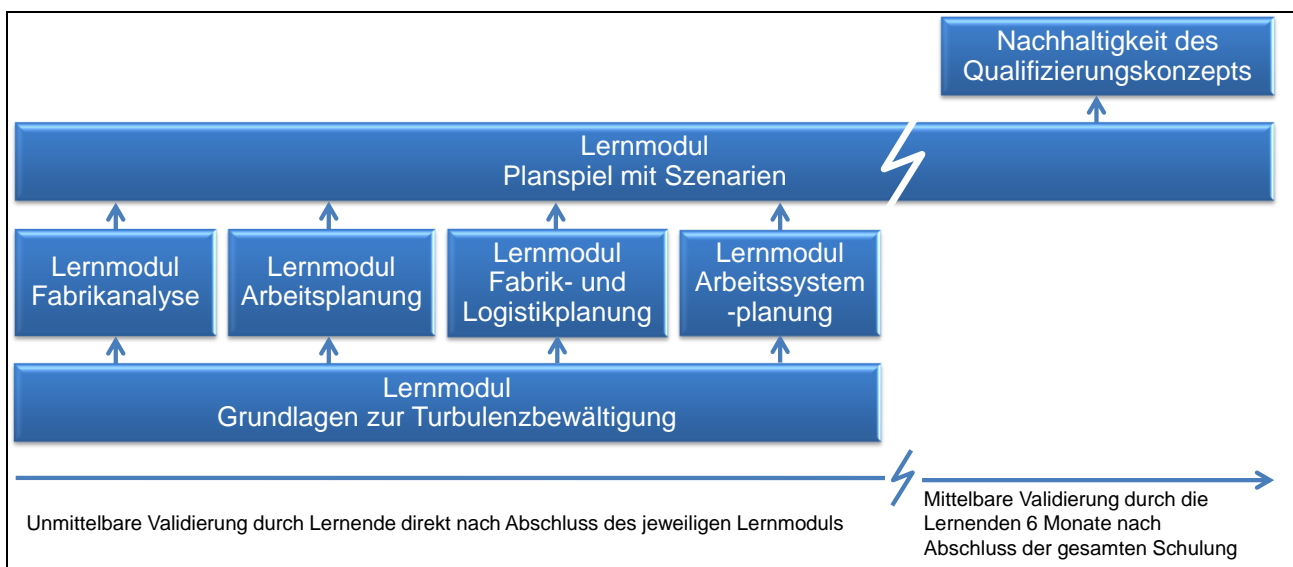


Abbildung 7-1: Vorgehensweise der Validierung

Für die zweistufigen Validierung wurden Fragen entwickelt, die auf die jeweiligen Lernmodule und deren Lernziele abgestimmt sind (s. Abbildung 7-2). Die Teilnehmenden der Validierungsgruppe hatten bei den einzelnen Fragen jeweils sechs Antwortmöglichkeiten, ob die Aufgabe erfüllt (1) oder nicht erfüllt (6) wurde.

Für das Lernmodul Grundlagen der Turbulenzbewältigung ergaben sich Fragen hinsichtlich der Wirkbeziehungen zwischen den kurz- und mittelfristigen Turbulenzen und den erforderlichen Planungsabschnitten zur Turbulenzbewältigung sowie den dafür

bereitzustellenden Rahmenbedingungen in der Produktion. Des Weiteren war es von Bedeutung, inwieweit Kenntnisse über diese Wirkbeziehungen das Gesamtverständnis der Lernenden für Abläufe im Arbeitsalltag steigern (s. Abbildung 7-2 – Fragen 1 bis 4).

Für die Lernmodule „Fabrikanalyse“, „Arbeitsablaufplanung“, „Fabrik- und Logistikplanung“ sowie „Arbeitssystemplanung“ werden dieselben Fragen verwendet, da sich alle Lernmodule auf die Vermittlung der Planungsmethoden und -werkzeuge einzelner Planungsabschnitte zur Turbulenzbewältigung bezogen. Dabei war zunächst wichtig, ob die Relevanz der einzelnen Methoden und Werkzeuge für die Turbulenzbewältigung in den einzelnen Planungsabschnitten logisch und nachvollziehbar vermittelt wurde. Im Fokus stand anschließend die spezifische Wissensvermittlung der Methoden und Werkzeuge sowie deren Anwendung. Bei Werkzeugen der Digitalen und Virtuellen Fabrik wurden vor allem die Chancen und Risiken ihres Einsatzes betrachtet. Für die Förderung der selbstständigen Anwendung war es wichtig, dass die Lernenden aktiv in die Turbulenzbewältigung eingebunden waren und ob die gelernten Theorien in der Lernumgebung praxisnah angewandt wurden (s. Abbildung 7-2 – Fragen 4 bis 10).

Aus der Zielsetzung (s. Kapitel 1.3) wurden für das Lernmodul „Planspiel mit Szenarien“ Fragen abgeleitet, inwieweit es durch das Planspiel in einer realen Produktionsumgebung gelang das ganzheitliche Verständnis für Turbulenzen und deren Bewältigung zu vertiefen. Ein wichtiger Beitrag wurde dazu geliefert, als die Teilnehmenden der Validierungsgruppe die Methoden und Werkzeuge aktiv als Teil eines Planungsteams selbstständig anwenden und sich somit intensiver mit den Methoden und Werkzeugen beschäftigen mussten (s. Abbildung 7-2 – Fragen 10 bis 14).

Für die mittelbare Validierung hinsichtlich der Nachhaltigkeit des Qualifizierungskonzeptes wurden die Teilnehmenden der Validierungsgruppe sechs Monate nach Abschluss der Schulung nach dem Transfer des Gelernten in ihren Arbeitsalltag befragt. Eine große Rolle spielte dabei, inwieweit die Teilnehmenden an der Bewältigung von Turbulenzen beteiligt waren und welche Methoden und Werkzeuge dabei selbstständig angewandt wurden. Mit Blick auf das Qualifizierungskonzept ist dabei von Bedeutung, wie die Teilnehmenden der Validierungsgruppe durch das Lernmodul „Planspiel mit Szenarien“ auf die Optimierungs- und Gestaltungsherausforderungen im Unternehmen vorbereitet wurden (s. Abbildung 7-2 – Fragen 13 bis 18).

Frage Nr.	Fragen an die Lernenden	Validierung der Lernmodule (unmittelbar)						Validierung Nachhaltigkeit (mittelbar)
		Grundlagen zur Turbulenzbewältigung	Fabrikanalyse	Arbeitsplanung	Fabrik- und Logistikplanun	Arbeitssystemplanung	Planspiel mit Szenarien	Nachhaltigkeit des Lernerfolges
1	Wurde Verständnis für die Wirkbeziehungen zwischen Turbulenzen und den Handlungsoptionen zur Turbulenzbewältigung erzeugt?	x						
2	Wurden die Voraussetzung und Rahmenbedingungen eines Produktionssystems zur Bewältigung von Turbulenzen vermittelt?	x						
3	Wurde anhand der Wirkbeziehungen von Turbulenzen und Handlungsoptionen das Gesamtverständnis für Abläufe im Arbeitsalltag gesteigert?	x						
4	Wurde praxisrelevante Theorie vermittelt?	x	x	x	x	x		
5	Haben die Inhalte und Vorgehensweisen Anregungen für meine Arbeit gegeben?		x	x	x	x		
6	Waren die Planungsabschnitte zur Turbulenzbewältigung und der Zusammenhang mit den Methoden und Werkzeuge nachvollziehbar und konnten diese spezifisch angewandt werden?		x	x	x	x		
7	Wurde der fachliche Inhalte und die Anwendung der einzelnen Methoden und Werkzeuge gut vermittelt?		x	x	x	x		
8	Wurde die Relevanz von Methoden und Werkzeugen zur Turbulenzbewältigung ausreichend dargelegt?		x	x	x	x		
9	Konnten die, für die Planungsabschnitte spezifisch gelernte Theorie in der Lernumgebung praxisnah angewendet werden?		x	x	x	x		
10	Wurden Sie aktiv in die Turbulenzbewältigung		x	x	x	x	x	
11	Konnte durch das Planspiel ein ganzheitliches Verständnis für Turbulenzen und deren Bewältigung						x	
12	Turbulenzbewältigung?						x	
13	Konnten Methoden und Werkzeuge selbstständig angewandt werden?						x	x
14	Konnte durch das Planspiel in einer realen Produktionsumgebung die Wirkung von Methoden und Werkzeugen durch die Anwendung erlebt werden?						x	x
15	Konnten Sie die Inhalte und Vorgehensweise zur Turbulenzbewältigung in ihren Arbeitsalltag transferieren und somit anwenden?							x
16	Wurden Sie in der Praxis mit den Turbulenzen konfrontiert, die Sie in den Lernmodulen erlernten?							x
17	Haben Sie zur Bewältigung von Turbulenzen die, im Qualifizierungskonzept vorgesehenen Planungsabschnitte durchgeführt, die in ihren							x
18	Haben Sie persönlich Methoden und Werkzeuge zur Bewältigung von Turbulenzen angewandt?							x

Abbildung 7-2: Fragen an die Lernenden zur Validierung

7.1 Struktur der Validierungsgruppe

Die Validierung einer Lernfabrik für die variantenreiche Montage erfolgte durch eine Validierungsgruppe, mit denen mehrere Schulungen durchgeführt wurden. Um die Übertragbarkeit der Ergebnisse in die Praxis sicherzustellen, mussten die Teilnehmenden der Validierungsgruppe folgende Anforderungen erfüllen (s. Abbildung 7-3).

Anforderung an Validierungsgruppe	Ausprägung der Anforderung
Branche	Automobilindustrie, Automobilzulieferindustrie, Maschinen- und Anlagenbau, Zulieferindustrie der Anlagenhersteller sowie Konsumgüterindustrie
Unternehmensgröße	Kleinunternehmen, Mittelständische Unternehmen, Großunternehmen
Erzeugnisspektrum und Fertigungsart	Variantenreiche Serienproduktion
Aufgabenspektrum des Industrial Engineers	Planung und Optimierung von Produktionsstrukturen und -prozessen
Vorbildung der Teilnehmenden	Studienabschluss im Bereich Maschinenbau/Wirtschaftsingenieur oder mehrjährige Berufserfahrung im IE-Bereich

Abbildung 7-3: Anforderungen an die Teilnehmenden der Validierungsgruppe

Die Teilnehmenden der Validierungsgruppe entstammten unterschiedlichen Branchen wie der Automobilindustrie, der Automobilzulieferindustrie, dem Maschinen- und Anlagenbau, den Zulieferern der Anlagenhersteller sowie der Konsumgüterindustrie. Die Unternehmen waren alle im Bereich der variantenreichen Serienproduktion tätig, so dass der Betrachtungsrahmen der Arbeit (s. Kapitel 2.1) abgedeckt wurde.

Die Teilnehmenden der Validierungsgruppe waren sowohl bei Großunternehmen wie den OEMs der Automobilindustrie angestellt, als auch bei mittelständischen Unternehmen mit einigen tausend Mitarbeitern an verschiedenen Standorten und Kleinunternehmen mit bis zu 150 Mitarbeitern tätig. Somit waren alle in der Arbeit betrachteten Unternehmensgrößen in der Validierungsgruppe vertreten.

Das Aufgabenspektrum der Teilnehmenden der Validierungsgruppe war breit gefächert und reichte von der Begleitung und Ausführung strategischer Fabrikplanungs- und Technologie-planungsaufgaben, über Aufgaben der Produktionsoptimierung, der Neuplanung von Produktionsbereichen und der Einführung neuer Produkte in die Eigenproduktion, bis hin zur Produktionsleitung. Somit waren alle Teilnehmenden der Validierungsgruppe mit planerischen Aufgaben im Produktionsbereich betraut und somit

eng mit dem Bereich des advanced Industrial Engineering (wie in Kapitel 3.1.1 definiert) verbunden.

Die Vorbildung der Teilnehmenden der Validierungsgruppe und deren Erfahrung in den verschiedenen Produktionsbereichen waren ebenfalls breit gestreut. Die meisten hatten ein abgeschlossenes Ingenieurs- oder Wirtschaftsingenieurstudium (Universität oder Fachhochschule) und mehrjährige Berufserfahrung, die jedoch zwischen wenigen und über 20 Jahren variierte. Hinzu kamen noch Teilnehmende der Validierungsgruppe, die über eine Lehre, einen Meister oder eine Techniker Ausbildung verfügten und über mehrere Jahre hinweg verschiedene Tätigkeitsbereiche in den Unternehmen durchlaufen haben, bevor sie planerische Aufgaben im Produktionsbereich übernommen hatten. Somit konnte mit dem Qualifizierungskonzept auf den Kenntnissen des klassischen IE aufgebaut werden.

Um die Vorkenntnisse der Teilnehmenden der Validierungsgruppe sicherzustellen wurde nach Abschluss des Lernmoduls „Grundlagen des klassischen Industrial Engineering“, das mithilfe von e-Learning durchgeführt wurde, eine schriftliche Prüfung abgelegt, die von allen mit großem Erfolg bestanden wurde. Dabei mussten die Teilnehmenden der Validierungsgruppe Fragen aus allen Themenbereichen (Problemanalyse, Lösungsfindung, Visualisierung, Kaizen/Qualitätsmanagement und Arbeitssystemplanung) beantworten. Einzig im Bereich des Qualitätsmanagements wurden bei einigen Teilnehmenden der Validierungsgruppe teilweise Schwachpunkte aufgedeckt, die durch weitere Unterlagen aus diesem Bereich und einer ausführlicheren Behandlung dieses Themenbereichs in den Lernmodulen „Arbeitsablaufplanung“ und „Arbeitssystemplanung“ angegangen wurden.

7.2 Validierung (unmittelbar)

Für die unmittelbare Validierung wurden die Lernenden der Validierungsgruppe direkt nach Abschluss des jeweiligen Lernmoduls per Fragebogen (s. Anhang B) befragt. Wie in Kapitel 7 erläutert, wurde die Fragestellung an die einzelnen Lernmodule angepasst, da diese im Qualifizierungskonzept unterschiedliche Anforderungen erfüllen sollten.

7.2.1 Validierung des Lernmoduls Grundlagen zur Turbulenzbewältigung (unmittelbar)

Im Lernmodul „Grundlagen zur Turbulenzbewältigung“ (s. Abbildung 7-4) wurde bei den Lernenden das Verständnis für die Wirkbeziehungen zwischen Turbulenzen und den Handlungsoptionen zur Turbulenzbewältigung erzeugt (Frage 1 - durchschnittliche Bewertung von 2,1), das die Grundlage für alle weiteren Zielsetzungen darstellt. Darauf

aufbauend konnte vermittelt werden, inwieweit die Voraussetzungen und Rahmenbedingungen des Produktionssystems die Bewältigung von Turbulenzen unterstützen (Frage 2 - durchschnittliche Bewertung von 1,7). Die Frage nach der Vermittlung von praxisrelevanter Theorie (Frage 4 - durchschnittliche Bewertung von 2,2) zeigt, dass die Wirkbeziehungen für die Lernenden einen wesentlichen Aspekt darstellen, mit den Herausforderungen in der Produktion umzugehen. Die Kenntnisse dieser Wirkbeziehungen unterstützten die Lernenden außerdem, das Gesamtverständnis für die Abläufe im Arbeitsalltag zu steigern. (Frage 3 - durchschnittliche Bewertung von 2,1).

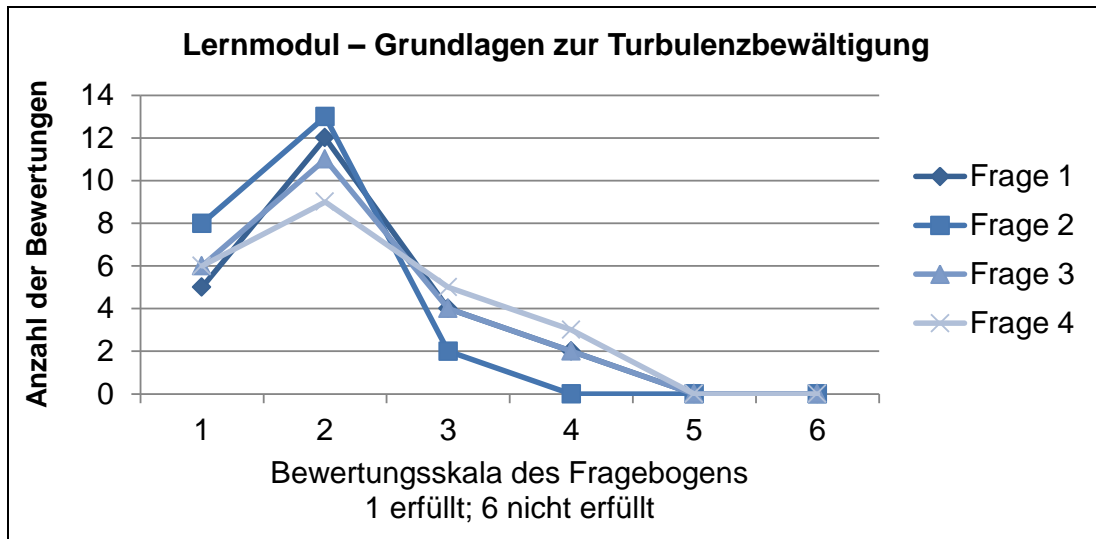


Abbildung 7-4: Validierung des Lernmoduls Grundlagen zur Turbulenzbewältigung (unmittelbar)

Insgesamt kann für die unmittelbare Validierung des Lernmoduls „Grundlagen zur Turbulenzbewältigung“ festgehalten werden, dass die Zielsetzung den Zusammenhang zwischen den kurz- und mittelfristigen Turbulenzen und den zur Bewältigung erforderlichen Planungsabschnitten überwiegend erreicht wurde und somit die fachliche Basis für die weiteren Lernmodule geschaffen wurde.

7.2.2 Validierung des Lernmoduls Fabrikanalyse (unmittelbar)

Im Lernmodul „Fabrikanalyse“ stand die Identifikation von Turbulenzen und der sich anschließende Planungsabschnitt der IST-Analyse als Ausgangspunkt für die Planung im Fokus (s. Abbildung 7-5). Das Ziel, den Zusammenhang zwischen dem Vorgehen der Identifikation von Turbulenzen und dem folgenden Planungsabschnitt der IST-Analyse mit den dafür eingesetzten Methoden und Werkzeugen konnte von den Lernenden sehr gut nachvollzogen und anhand eines Planungsszenarios spezifisch angewandt werden (Frage 6 - durchschnittliche Bewertung von 1,8). Darauf aufbauend galt es, die Relevanz der zur Turbulenzbewältigung eingesetzten Methoden und Werkzeugen darzulegen, was

ebenfalls erreicht wurde (Frage 8 - durchschnittliche Bewertung von 1,7). Die anschließende Vermittlung der fachlichen Inhalte und die Anwendung der Methoden und Werkzeuge durch Vorträge und Best-Practice-Beispiele wurde erfolgreich umgesetzt (Frage 7 - durchschnittliche Bewertung von 1,6), so dass die Lernenden die für diesen Planungsabschnitt spezifische Theorie in der Lernumgebung praxisnah anwenden konnten (Frage 9 - durchschnittliche Bewertung von 1,7). Die Lernenden konnten die Methoden und Werkzeuge unter fachlicher Anleitung der Referenten selbstständig anwenden, so dass die Lernenden wie im Qualifizierungskonzept geplant, aktiv in die Turbulenzbewältigung eingebunden werden (Frage 10 - durchschnittliche Bewertung von 1,8). Die sehr positive Bewertung für die Vermittlung praxisrelevanter Theorie (Frage 4 - durchschnittliche Bewertung von 1,6) legte die Basis dafür, dass die Inhalte und Vorgehensweise zur Turbulenzbewältigung den Lernenden Hilfestellungen in ihrem Arbeitsalltag geben (Frage 5 - durchschnittliche Bewertung von 1,7).

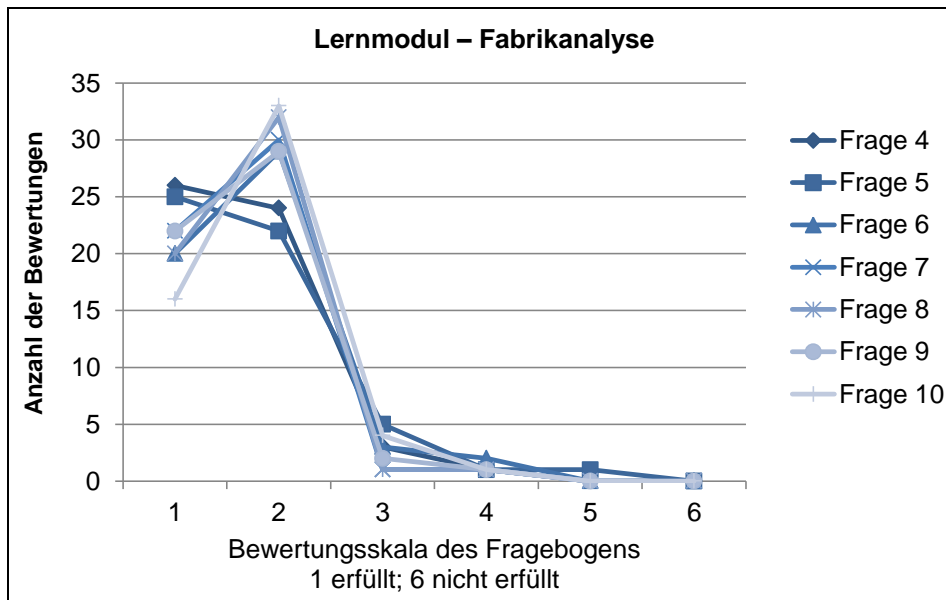


Abbildung 7-5: Validierung des Lernmoduls Fabrikanalyse (unmittelbar)

Somit wurde im Lernmodul „Fabrikanalyse“ das Ziel erreicht, die Lernenden in die Lage zu versetzen mit Planungsmethoden und -werkzeugen auf kurz- und mittelfristigen Turbulenzen zu reagieren und dabei Chancen und Risiken des Einsatzes von Werkzeugen der Digitalen und Virtuellen Fabrik kennenzulernen.

7.2.3 Validierung des Lernmoduls Arbeitsablaufplanung (unmittelbar)

Das Lernmodul „Arbeitsablaufplanung“ umfasst mit der Arbeitsplanentwicklung den Bereich des klassischen IE zur Integration neuer Produkte und Technologien (s. Abbildung 7-6). Der Zusammenhang von Turbulenzen und Methoden und Werkzeugen zur Arbeitsplanentwicklung wurde nachvollziehbar erläutert und die Lernenden konnten

das Gelernte in einem zusammenhängenden Szenario spezifisch anwenden (Frage 6 - durchschnittliche Bewertung von 1,5). Im Rahmen des Planungsvorgehens wurde die Relevanz der eingesetzten Methoden und Werkzeuge erfolgreich dargelegt (Frage 8 - durchschnittliche Bewertung von 1,5). Nachdem die Lernenden die für diesen Planungsabschnitt erforderliche Theorie in der Lernumgebung anwenden konnten (Frage 9 - durchschnittliche Bewertung von 1,5) ist auch das Ergebnis der sehr guten Bewertung über die Vermittlung der fachlichen Inhalte sowie die Anwendung der Methoden und Werkzeuge logisch (Frage 7 - durchschnittliche Bewertung von 1,6). Wie durch die offene Gesamtkonzeption des Qualifizierungskonzeptes beabsichtigt, waren die Lernenden aktiv in die Turbulenzbewältigung eingebunden und konnten diese selbstständig gestalten (Frage 10 - durchschnittliche Bewertung von 1,6). Die Fragen nach der Praxisrelevanz der erlernten Theorie (Frage 4 - durchschnittliche Bewertung von 1,4) und ob die Lerninhalte Anregungen für den Arbeitsalltag der Lernenden geben und somit der Praxiseinsatz beabsichtigt ist (Frage 5 - durchschnittliche Bewertung von 1,7), wurden von den Lernenden sehr positiv eingeschätzt.

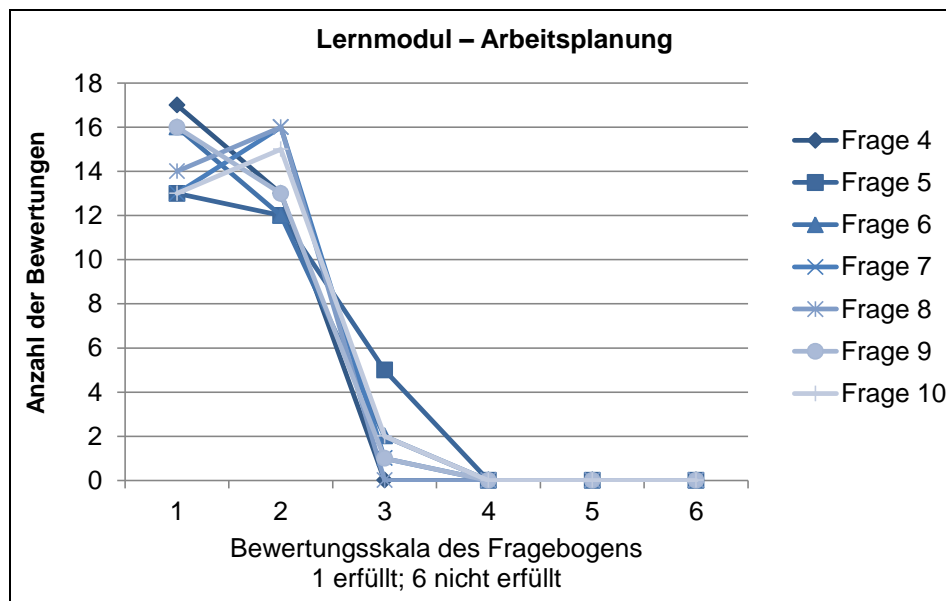


Abbildung 7-6: Validierung des Lernmoduls Arbeitsablaufplanung (unmittelbar)

Somit wurde im Lernmodul „Arbeitsablaufplanung“ die Zielsetzung erfüllt, die Lernenden in die Lage zu versetzen mit Planungsmethoden und -werkzeugen auf kurz- und mittelfristigen Turbulenzen zu reagieren und dabei Chancen und Risiken des Einsatzes von Werkzeugen der Digitalen und Virtuellen Fabrik kennenzulernen.

7.2.4 Validierung des Lernmoduls Fabrik- und Logistikplanung (unmittelbar)

Im Rahmen des Lernmoduls „Fabrik- und Logistikplanung“ wird die Planung des Material- und Informationsflusses sowie die Umsetzung in der Fabrikstruktur vorgenommen

(s. Abbildung 7-7). Nachdem diese Planungsabschnitte tiefe Eingriffe in die Produktionsstruktur vornehmen, war es wichtig, dass die Lernenden den Zusammenhang zwischen Turbulenzen, Planungsvorgehen und den dabei unterstützenden Methoden und Werkzeugen nachvollziehen konnten (Frage 6 - durchschnittliche Bewertung von 2,0). Anhand von Best-Practice-Beispielen wurde die notwendige Relevanz der Methoden und Werkzeuge ausreichend dargelegt (Frage 8 - durchschnittliche Bewertung von 2,3). Den Kern des Moduls stellte die Vermittlung der fachlichen Inhalte und deren Anwendung zur Erreichung der Methodenkompetenz dar, was in guter Weise umgesetzt werden konnte (Frage 7 - durchschnittliche Bewertung von 2,0). Die Lernenden konnten die in der Theorie erlernten Methoden und Werkzeuge zur Gestaltung des Material- und Informationsflusses sowie der Layoutplanung in der Optimierungsplanung des ersten Schulungsszenarios anwenden und die Ergebnisse in der Lernumgebung umsetzen (Frage 9 - durchschnittliche Bewertung von 1,8). Dabei waren die Lernenden stets aktiv eingebunden und wurden vom Referenten nur mit fachlichem Rat unterstützt (Frage 10 - durchschnittliche Bewertung von 2,2). Durch diese praktische Anwendung konnte dargelegt werden, dass die theoretischen Grundlagen praxistauglich sind (Frage 4 - durchschnittliche Bewertung von 1,8). Obwohl bisher die wenigsten Lernenden an einer kompletten Restrukturierung einer Fabrik beteiligt waren, konnten die Einflüsse dieser Planungsabschnitte auf die Turbulenzbewältigung aufgezeigt und somit Anregungen für künftige Aufgaben im Unternehmen vermittelt werden (Frage 5 - durchschnittliche Bewertung von 2,1).

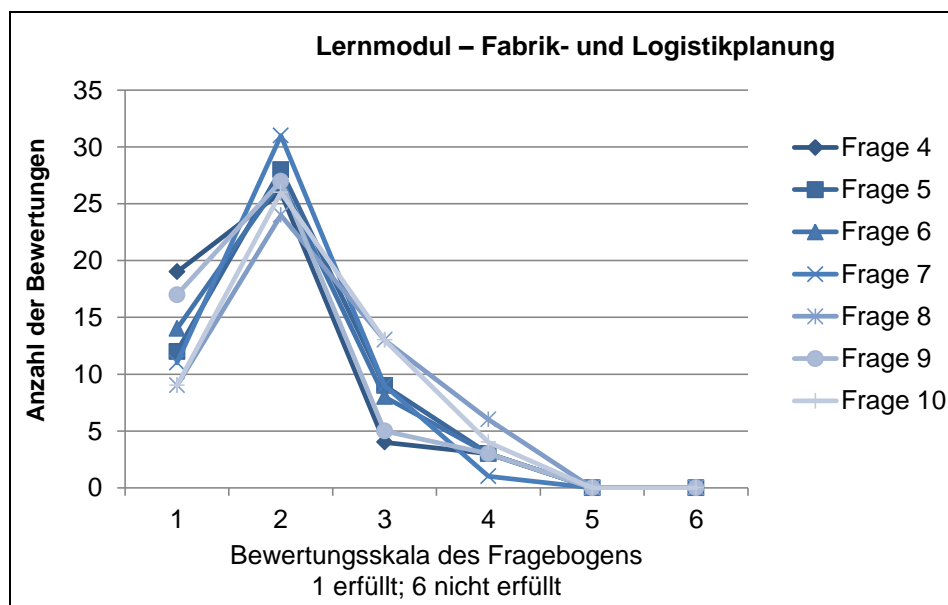


Abbildung 7-7: Validierung des Lernmoduls Fabrik- und Logistikplanung (unmittelbar)

Anhand der Bewertung des Lernmodul „Fabrik- und Logistikplanung“ kann festgehalten werden, dass die Zielsetzung erfüllt wurde, den Lernenden Planungsmethoden und -

werkzeuge zur Bewältigung von kurz- und mittelfristigen Turbulenzen an die Hand zu geben und Chancen und Risiken des Einsatzes von Werkzeugen der Digitalen und Virtuellen Fabrik kennenzulernen.

7.2.5 Validierung des Lernmoduls Arbeitssystemplanung (unmittelbar)

Das Lernmodul „Arbeitssystemplanung“ stellt mit den Inhalten der Feinplanung der Produktion und Realisierung der Planung sowie die Produktionsplanung und -steuerung den Abschluss der Turbulenzbewältigung dar (s. Abbildung 7-8). Der Zusammenhang zwischen den Turbulenzen und den zur Bewältigung einzusetzenden Methoden und Werkzeugen in den jeweiligen Planungsabschnitten wurde nachvollziehbar dargestellt. Nachdem sich alle kurz- und mittelfristigen Turbulenzen auf diesen Bereich auswirken war dies eine besondere Herausforderung (Frage 6 - durchschnittliche Bewertung von 2,0). Darauf aufbauend konnte die Relevanz der Methoden und Werkzeuge (Frage 8 - durchschnittliche Bewertung von 2,2) anhand der direkten praxisnahen Anwendung im Schulungsszenario und der Umsetzung in der Lernumgebung gezeigt werden (Frage 9 - durchschnittliche Bewertung von 1,8). Die Lernenden wurden dabei aktiv in den Planungsprozess eingebunden (Frage 10 - durchschnittliche Bewertung von 1,9). Für die praktische Anwendung galt es zunächst die fachlichen Inhalte der Methoden und Werkzeuge zu vermitteln, so dass die Lernenden diese selbstständig einsetzen konnten, was auch erreicht wurde (Frage 7 - durchschnittliche Bewertung von 1,7). Aus Sicht der Lernenden wurde auch in diesem Lernmodul praxisrelevante Theorie vermittelt (Frage 4 - durchschnittliche Bewertung von 1,8), die den Lernenden im Arbeitsalltag als Handlungsleitfaden dienen kann (Frage 5 - durchschnittliche Bewertung von 2,1).

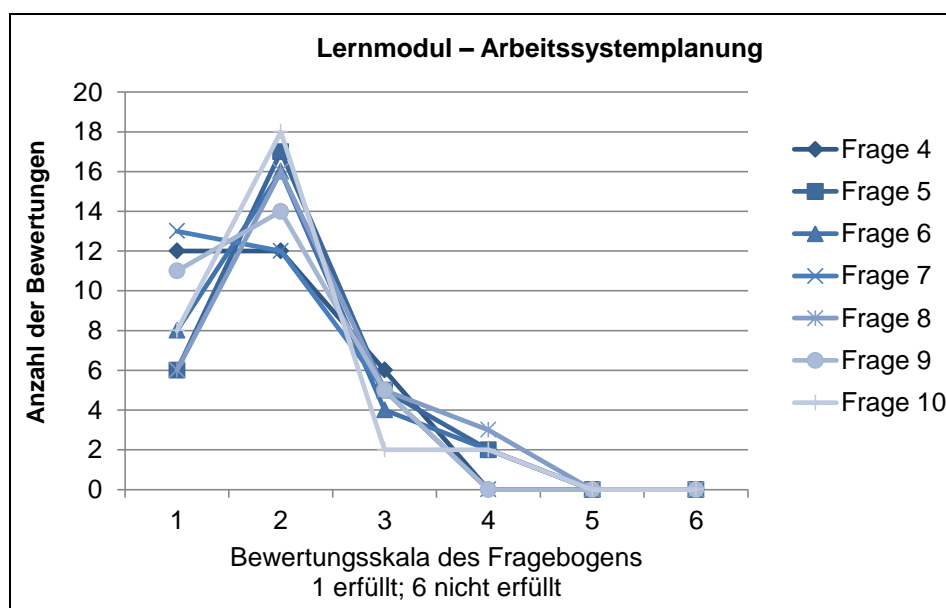


Abbildung 7-8: Validierung des Lernmoduls Arbeitssystemplanung (unmittelbar)

Die Bewertungen des Lernmoduls „Arbeitssystemplanung“ haben gezeigt, dass die Zielsetzung, die Lernenden in die Lage zu versetzen mit Planungsmethoden und -werkzeugen auf kurz- und mittelfristigen Turbulenzen zu reagieren und dabei Chancen und Risiken des Einsatzes von Werkzeugen der Digitalen und Virtuellen Fabrik kennenzulernen.

7.2.6 Validierung des Lernmoduls Planspiel mit Szenarien (unmittelbar)

Das Lernmodul „Planspiel mit Szenarien“ verfolgt das Ziel der selbstständigen Lösung komplexer Problemstellungen durch die Lernenden, die dabei die erlernten Zusammenhänge zwischen Turbulenzen und Handlungsoptionen sowie den dabei einzusetzenden Methoden und Werkzeugen zur Turbulenzbewältigung in Szenarien anwenden sollen. Nachdem dieses Lernmodul inhaltlich auf den vorgelagerten Lernmodulen aufbaut, ist eine positive Validierung als Basis für dieses Lernmodul anzusehen (s. Abbildung 7-9).

In diesem Lernmodul müssen die Lernenden nach der Vorstellung der Problemstellung durch den Referenten die erforderlichen Handlungsoptionen zur Turbulenzbewältigung selbstständig ableiten und die Entscheidung über die einzusetzenden Methoden und Werkzeuge treffen. Durch die intensive Auseinandersetzung mit der Problemstellung und den zuvor gelegten theoretischen Grundlagen konnte das ganzheitliche Verständnis für Turbulenzen und deren Bewältigung vertieft werden (Frage 11 - durchschnittliche Bewertung von 1,2). Alle Lernenden wurden aktiv in das Team zur Turbulenzbewältigung eingebunden (Frage 10 - durchschnittliche Bewertung von 1,5) und konnten somit einerseits ihre individuellen Erfahrungen in die Planung einbringen und sich andererseits gegenseitig in der Anwendung der neu erlernten bzw. vertieften Methoden und Werkzeuge unterstützen (Frage 13 - durchschnittliche Bewertung von 1,4). Um ein sehr gutes Planungsergebnis zu erreichen mussten die Lernenden die Methoden und Werkzeuge aller Planungsabschnitte selbstständig anwenden (Frage 12 - durchschnittliche Bewertung von 1,1). Nach Abschluss der Planungsphase wurden die Ergebnisse in der realen Produktionsumgebung umgesetzt und dem Praxistest in einem Produktionsdurchlauf unterzogen, so dass die Wirkung der Planungsvorgehensweise mit geeigneten Methoden und Werkzeugen zur Turbulenzbewältigung demonstriert werden konnte (Frage 14 - durchschnittliche Bewertung von 1,3).

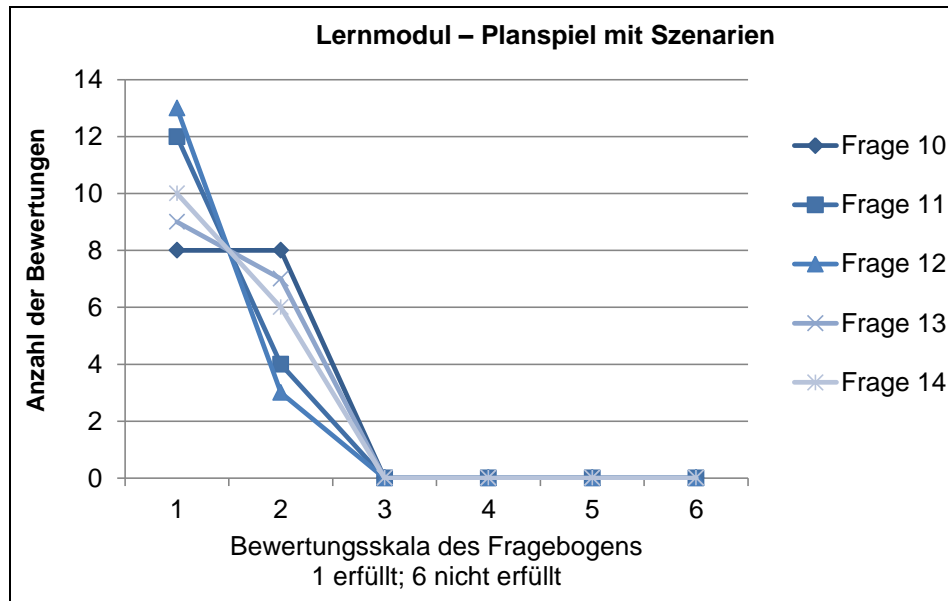


Abbildung 7-9: Validierung des Lernmoduls Planspiel mit Szenarien (unmittelbar)

Mit dem Lernmodul „Planspiel mit Szenarien“ wurde der Grundstein für die Nachhaltigkeit des Lernerfolges gelegt, da die Teilnehmenden der Validierungsgruppe die erlernten Zusammenhänge zwischen kurz- und mittelfristigen Turbulenzen und den Planungsmethoden und -werkzeugen im Rahmen von Szenarien selbstständig angewandt und Problemstellungen erfolgreich gelöst haben. Die Zielsetzung der Nachhaltigkeit kann aber erst endgültig mit der folgenden mittelbaren Validierung sechs Monate nach Abschluss der Schulungen bestätigt werden.

7.3 Validierung des Qualifizierungskonzeptes hinsichtlich Nachhaltigkeit (mittelbar)

Für die mittelbare Validierung des Qualifizierungskonzeptes hinsichtlich der Anforderung seines nachhaltigen Lernerfolges wurden die Lernenden der Validierungsgruppe sechs Monate nach Abschluss der Schulung anhand eines Fragebogens (s. Anhang C) erneut befragt. Im Fokus stand dabei vor allem, inwieweit die Validierungsgruppe durch das Qualifizierungskonzept auf den Umgang mit Turbulenzen im Arbeitsalltag vorbereitet wurde und ob die Lerninhalte konkret im Unternehmen angewandt werden konnten (s. Abbildung 7-10).

Die Teilnehmenden der Validierungsgruppe wurden im Unternehmen mit kurz- und mittelfristigen Turbulenzen konfrontiert, deren Bewältigung im Qualifizierungskonzept erarbeitet wurde (Frage 16 - durchschnittliche Bewertung von 1.5). Nachdem die Teilnehmenden der Validierungsgruppe in den Unternehmen mit planerischen Aufgaben betraut waren (s. Kapitel 7.1) wurden sie fast ausschließlich mit mittelfristigen Turbulenzen konfrontiert, da die Bewältigung von kurzfristigen Turbulenzen in den Bereich der

Produktionssteuerung fallen. Dennoch sind die Kenntnisse über die Wirkung von kurzfristigen Turbulenzen und deren Bewältigung von Bedeutung, da in den Planungen die Grenzen für die Handlungsoptionen der Produktionsplanung und -steuerung gesetzt werden. Die Lernenden wurden im Wesentlichen mit den mittelfristigen Turbulenzen „Verschiebung des Produktmixes“ aufgrund der Einführung neuer Produkte, einer „steigenden Variantenzahl“ und der „Integration neuer Produktionsressourcen“ konfrontiert. Alle weiteren Turbulenzen wie die „Änderung von Nachfragemengen und Lieferbedingungen“ spielten in dem Zeitraum bis zur mittelbaren Validierung keine Rolle. Zur Turbulenzbewältigung wurden von den Teilnehmenden der Validierungsgruppe in ihrem Aufgabenbereich die im Qualifizierungskonzept vorgesehenen Planungsabschnitte durchgeführt (Frage 17 - durchschnittliche Bewertung von 1,4). Bei einer „Verschiebung des Produktmixes“ aufgrund der Einführung neuer Produkte wurden alle Planungsabschnitte mit den Schwerpunkten auf der Prozessplanung (Arbeitsablaufplanung und Produktionsstrukturierung), der Kapazitätsplanung und der logistischen Dimensionierung bearbeitet. Bei einer „steigenden Variantenzahl“ hingegen wurden meist nur die Arbeitsablaufplanung und die logistische Dimensionierung eingehender durchlaufen, da die grundsätzlichen Steuerungsprinzipien des Material- und Informationsflusses sowie die Layoutstruktur beibehalten wurden. Bei der „Integration neuer Produktionsressourcen“ wurden hingegen alle Planungsabschnitte von der IST-Analyse bis zur Realisierung durchlaufen, da die neue Ressource sowohl in die Arbeitspläne zur Fertigung und Montage als auch in den Material- und Informationsfluss sowie die Layoutstruktur integriert werden musste.

In den Aufgabenbereichen der Teilnehmenden der Validierungsgruppe wurden die erlernten Methoden und Werkzeuge vielfältig angewandt (Frage 18 - durchschnittliche Bewertung von 1,2). Die selbstständige Anwendung der Methoden und Werkzeuge zur Turbulenzbewältigung im Rahmen des Planspiels mit Szenarien lieferte einen wichtigen Beitrag für den nachhaltigen Lernerfolg. Nach der Anwendung der Methoden und Werkzeuge unter fachlicher Anleitung in anderen Lernmodulen mussten die Teilnehmenden der Validierungsgruppe entstehende Herausforderungen im Team selbstständig lösen und sich somit intensiver mit den Methoden und Werkzeugen auseinandersetzen (Frage 13 - durchschnittliche Bewertung von 1,3). Diese eigenen Handlungen in der realen Produktionsumgebung des Planspiels sowie die Realisierung und der Testlauf der Planungsergebnisse haben auch in der Nachbetrachtung die Erkenntnisse über die Wirkung von Methoden und Werkzeugen zur Turbulenzbewältigung nachhaltig gefördert (Frage 14 - durchschnittliche Bewertung von 1,1). Der Transfer der erlernten, fachlichen Inhalte und Vorgehensweise zur Turbulenzbewältigung in den

Arbeitsalltag wurde durch die praxisnahen Szenarien im Planspiel sehr gut unterstützt (Frage 15 - durchschnittliche Bewertung von 1,4).

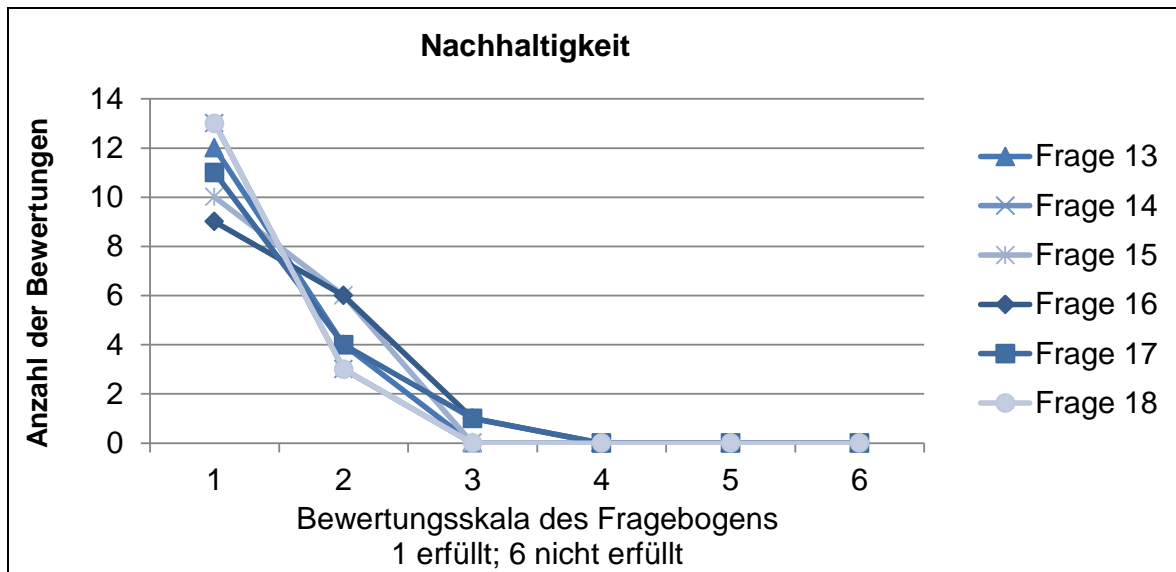


Abbildung 7-10: Validierung Nachhaltigkeit (mittelbar)

7.4 Ergebnis der Validierung

Die Ergebnisse der Validierung des Qualifizierungskonzepts zur Nutzung einer Lernfabrik für die variantenreiche Montage, das das Ziel verfolgt, Industrial Engineers ein neues Verständnis des Industrial Engineerings zu vermitteln das mit den vorhandenen Potentialen der Digitalen Fabrik und modularer, wandlungsfähiger Montagesysteme Lösungswege zur Bewältigung von Turbulenzen aufzeigt, haben gezeigt, dass die aus der Zielsetzung abgeleiteten Anforderungen erfüllt wurden. Die Ergebnisse wurden durch mehrere Schulungen mit einer ausgewählten Validierungsgruppe erzielt.

Die grundlegende Anforderung nach dem Zusammenhang zwischen kurz- und mittelfristigen Turbulenzen und den zur Bewältigung erforderlichen Planungsabschnitten wurde im Lernmodul „Grundlagen zur Turbulenzbewältigung“ erfüllt und im Lernmodul „Planspiel mit Szenarien“ durch selbstständige Anwendung vertieft, so dass die Teilnehmenden der Validierungsgruppe diese Erkenntnisse letztendlich auch in den Unternehmen anwenden konnten.

Die Anforderung, die Lernenden in die Lage zu versetzen, mit Planungsmethoden und -werkzeugen auf kurz- und mittelfristige Turbulenzen zu reagieren und Potentiale und Risiken beim Einsatz von Werkzeugen der Digitalen und Virtuellen Fabrik kennenzulernen, wurde in den Lernmodulen „Fabrikanalyse“, „Arbeitsablaufplanung“, „Fabrik- und Logistikplanung“ sowie „Arbeitssystemplanung“ erfüllt. Dabei wurden zunächst die theoretischen Grundlagen der Methoden und Werkzeuge zur Turbulenzbewältigung vorgestellt und mit Best-Practice Beispielen hinterlegt, bevor die Validierungsgruppe diese

unter fachlicher Anleitung anhand eines Szenarios selbstständig anwenden konnten. Somit wurde die Basis für einen späteren Einsatz der Methoden und Werkzeuge in den Unternehmen gelegt.

Die Anforderung eines nachhaltigen Lernerfolges des Qualifizierungskonzepts wurde durch das Lernmodul „Planspiel mit Szenarien“ in einer realitätsnahen Lernumgebung erfüllt, in dem die Teilnehmenden der Validierungsgruppe selbstständig als Team Szenarien zur Turbulenzbewältigung bearbeiteten. Dabei wurden typische Problemstellungen in der Produktion analysiert und mit planerischen Methoden und Werkzeugen gelöst, bevor die Planungsergebnisse in der physischen Lernumgebung umgesetzt und hinsichtlich ihrer Praxistauglichkeit getestet wurden. Gerade die folgende reale Produktion und das Erleben, wie die Planung in der Realität funktioniert, förderte das Verständnis für die Gesamtzusammenhänge und die Notwendigkeit des Methodeneinsatzes in der Planung.

Die Prüfung des nachhaltigen Lernerfolges durch die mittelbare Validierung sechs Monate nach Abschluss der Schulungen hat gezeigt, dass die Teilnehmenden der Validierungsgruppe das Gelernte in die Unternehmen übertragen konnten und die Methoden und Werkzeuge in den jeweiligen Arbeitsbereichen einsetzten. Die Nachhaltigkeit des Lernerfolges wurde in der mittelbaren Validierung von der Validierungsgruppe somit bestätigt.

8 Zusammenfassung der Ergebnisse und Ausblick

Unter dem Einfluss der globalen Rahmenbedingungen müssen sich produzierende Unternehmen an Herausforderungen wie verkürzte Innovations- und Produktlebenszyklen, Veränderungen im Bestellverhalten der Kunden sowie Entwicklungen der Produkt-, Produktions-, Informations- und Kommunikationstechnologien anpassen, um auf dem Markt wettbewerbsfähig zu bleiben.

Als entscheidende Zielgrößen für den Erfolg eines Unternehmens im Bereich der variantenreichen Serienproduktion lassen sich daraus die Fähigkeiten flexibel auf Kundenwünsche eingehen zu können, sichere Produktqualität zu gewährleisten und kurze Lieferzeiten zu realisieren ableiten. Um diese Herausforderungen, die in der Wissenschaft als Turbulenzen bezeichnet werden, zu bewältigen müssen Unternehmen die Fähigkeit entwickeln kurz- und mittelfristig auf Veränderungen zu reagieren.

Die stetige Adaption der Produktion wird durch eine kontinuierliche Planung und Optimierung der Produktionsprozesse erreicht. Um eine höhere Planungsgeschwindigkeit bei hoher Planungsqualität und Realitätsnähe zu gewährleisten, ohne dabei den laufenden Betrieb zu stören, ist die Verfügbarkeit aller für die Planung notwendigen Daten entscheidend. Eine schnelle Beurteilung des aktuellen Produktionszustands erfordert einen Informationsrückfluss aus der Produktion in die Planung, der nur durch die Integration von IT-Technologie möglich ist. Des Weiteren haben die Methoden und Werkzeuge der Digitalen und Virtuellen Fabrik ihren Beitrag bei der Bewertung dynamischen Systemverhaltens wie bei einer Produktion nachgewiesen.

Die Montage rückt bei der Turbulenzbewältigung in den Fokus, da hier die hohe Produktvarianz entsteht und sie als letzte Produktionsstufe durch den direkten Kundenkontakt als erstes mit externen Turbulenzen konfrontiert wird.

Als Lösung zur Bewältigung von kurz- und mittelfristigen Turbulenzen wird häufig die Wandlungsfähigkeit genannt. Wandlungsfähigkeit beschreibt dabei die taktische Fähigkeit einer ganzen Fabrikstruktur internen und externen Turbulenzen reaktiv und proaktiv begegnen zu können. Sie wird durch eine kontinuierliche Planung von Prozessen, Abläufen und Strukturen der produktionstechnischen Systeme erreicht, die zu Rekonfigurationen des Systems auf allen Ebenen führen kann. Die Arbeitsvorbereitung, das sogenannte Industrial Engineering rückt in den Fokus, da in dessen Bereich die Planung und Optimierung der Strukturen und insbesondere die kontinuierliche Optimierung der Produktion sowie die Verkürzung der Prozessketten fällt. Für die Durchführung dieses Aufgabenspektrums ist ein neues Verständnis des Industrial

Engineering notwendig, das sowohl in die strategische als auch operative Planung und Gestaltung von Produktionsprozessen eingebunden wird

Im Industrial Engineering werden daher hochqualifizierte Mitarbeiter mit dem entsprechenden Know-how zur Planung und Optimierung von Produktionsprozessen benötigt, die jedoch nur in geringer Zahl in den Unternehmen zur Verfügung stehen. Aufgrund der stetigen Weiterentwicklung der Methoden und Werkzeuge des IE müssen die Unternehmen ihren Mitarbeitern Weiterbildungsmöglichkeiten bieten, um durch den Zugang zu neuen Erkenntnissen aus Wissenschaft und Forschung die eigene Wettbewerbsfähigkeit zu stärken. Die Industrial Engineers müssen ihrerseits gewillt sein diese Möglichkeiten zu ergreifen, durch lebenslanges Lernen für die künftigen Aufgaben gerüstet zu sein. Für diesen Bereich existieren zwar Qualifizierungsangebote, die notwendige Sachkenntnisse und Methodenwissen vermitteln, jedoch keinen Bezug zwischen dem Veränderungsbedarf in der Produktion, den Methoden und Werkzeugen des IE und der Digitalen und Virtuellen Fabrik herstellen. Aus den beschriebenen Anforderungen und Defiziten leitet sich daher die Zielsetzung zur Konzeption einer Lernfabrik für die variantenreiche Montage ab, um ein neues Verständnis des Industrial Engineerings zu vermitteln, das mit den vorhandenen Potentialen der Digitalen Fabrik und modularer, wandlungsfähiger Montagesysteme Lösungswege zur Bewältigung von Turbulenzen aufzeigt. Der Know-how-Transfer des neuen Verständnisses im Industrial Engineering wird durch ein Qualifizierungskonzept realisiert, so dass die Industrial Engineers, den Umgang mit Planungsmethoden und -werkzeugen sowie die notwendigen Strukturen von Produktionsressourcen kennenlernen.

Der Betrachtungsrahmen der Arbeit wurde in Kapitel 2 auf die variantenreiche Serienproduktion in turbulentem Umfeld eingegrenzt. Die Planung und Optimierung von Produktionsprozessen, die im Industrial Engineering durchgeführt wird wurde zunächst in den Kontext der Fabrikplanung und des Fabrik-Lifecycle-Managements gesetzt. Anschließend erfolgte eine detailliertere Betrachtung des Industrial Engineering. Während das Industrial Engineering in den USA als eigenständige Disziplin der Ingenieurwissenschaften gilt, wird es in Deutschland und vielen europäischen Staaten als Teilgebiet des Maschinenbaus gesehen. Somit gibt es zwar Parallelen aber kein einheitliches Verständnis für das Industrial Engineering, das in die Arbeitsablaufplanung, die Arbeitssystemplanung und die Arbeitssteuerung gegliedert wird. Der Betrachtungsrahmen der Digitalen und Virtuellen Fabrik wurde auf den Aufgabenbereich des Industrial Engineering eingeschränkt. Nachdem die Montage eine besondere Stellung in der variantenreichen Serienproduktion innehat, wird sie eingehend betrachtet. Die Vorgehensweise der Montageplanung ist im Industrial Engineering beinhaltet, so dass der

Fokus auf das Montagesystem gelegt wurde, das einerseits die notwendigen Informationen für die Planung liefert und andererseits eine schnelle Umsetzung der Planungsergebnisse ermöglicht. Dabei werden die Ebenen vom Montagesystem bis zur Montagestation betrachtet.

Für die Entwicklung eines methodisch didaktischen Qualifizierungskonzeptes zur Vermittlung eines neuen IE-Verständnisses wurden Lerntheorien individueller Lernprozesse betrachtet, die als Grundlage ganzheitlichen Lernens dienen. Das Erreichen der beruflichen Handlungskompetenz (Fach-, Methoden-, Sozial- und Individualkompetenz) wird durch ganzheitliches Lernen unterstützt, wobei der Mensch durch handlungsorientierte Konzepte als Ganzes (dem Kopf, den Händen und allen Sinnen (auch seinen Emotionen)) in den Lernprozess eingebunden werden muss. Ein Lernerfolg kann durch handlungsorientiertes Lernen in einer realen Lernumgebung nachhaltig unterstützt werden.

In Kapitel 3 wurden bereits vorhandene Konzepte und Ansätze zur Konzeption einer Lernfabrik für die variantenreiche Montage auf ihre Anwendbarkeit hin untersucht. Hierzu wurde als Grundlage das klassische Industrial Engineering betrachtet und in einem internationalen Vergleich aktuelle Forschungs- und Entwicklungsrichtungen analysiert, bevor Anforderungen an die künftige Rolle des Industrial Engineerings gestellt wurden. Darüber hinaus wurden die Potentiale der Bereiche der Digitalen und Virtuellen Fabrik und der Montagesysteme zur Unterstützung der kontinuierlichen Adaption der Produktion untersucht. Abschließend wurden Qualifizierungskonzepte und Lernmethoden auf ihre Eignung zu Vermittlung eines neuen IE-Verständnisses betrachtet. Dabei wurde festgestellt, dass Teilaspekte der Aufgabenstellung durch vorhandene Ansätze unterstützt werden und als Grundlage für die Konzeption einer Lernfabrik für die variantenreiche Montage genutzt werden können. Ein umfassendes Qualifizierungskonzeptes für Industrial Engineers in turbulentem Umfeld konnte nicht identifiziert werden.

In Kapitel 4 wird zunächst das neue Verständnis des Industrial Engineering definiert, das die Methoden und Werkzeuge des klassischen Industrial Engineerings mit den Potentialen der Digitalen Fabrik und den Möglichkeiten des Produktionstechnologiemanagements vereint. Um eine kontinuierliche Adaption der Produktion auf strategischer und operativer Ebene zu ermöglichen wurde anschließend ein methodisches Planungsvorgehen entwickelt, das die Prämissen beachtet und die Potentiale der Digitalen Fabrik integriert.

Ausgangspunkt für die grundlegende Vorgehensweise zur Turbulenzbewältigung ist das Fabrikmonitoring, in dessen Rahmen ein stetiger SOLL-IST-Vergleich von Turbulenzindikatoren erfolgt. Hierzu wurden zunächst die Indikatoren zur Identifikation der kurz- und mittelfristigen Turbulenzen ermittelt, bevor die Auswirkungen der Turbulenzen

auf die Produktion untersucht wurden. Anhand dessen wurden Handlungsoptionen zur Bewältigung der Turbulenzen abgeleitet und der konkrete Zusammenhang zwischen Turbulenzen und Planungsaufgaben im Bereich des Fabrikplanungsprozesses hergestellt. Die Aufgaben zur Planung und Optimierung der Produktion beginnen mit der Betriebsanalyse, der IST-Analyse des Ausgangszustands (Schwachstellenanalyse) und der Identifizierung des Handlungsbedarfs zur Potentialerschließung. Anschließend werden die Bereiche der Prozessplanung, der Kapazitätsplanung, der Layoutplanung, der logistischen Dimensionierung und der Feinplanung der Produktion durchlaufen. Nach der Realisierung der Planungsergebnisse zeigt sich durch das Fabrikmonitoring im Fabrikbetrieb, ob die Turbulenzbewältigung erfolgreich war und die Zielsetzungen der Planung erreicht wurden.

Aufbauend auf den fachlichen Inhalten wurde zur Vermittlung des neuen Verständnisses des Industrial Engineering ein Qualifizierungskonzept entwickelt. Zunächst gilt es Grundlagenwissen des klassischen IE zu wiederholen, um vorhandene Wissenslücken zu schließen und eine gemeinsame fachliche Basis der Lernenden zu erreichen. Die Wiederholung erfolgt durch selbstständige Alleinarbeit unter Einsatz von e-Learning vor Beginn der beruflichen Weiterbildung. Auf dieser Basis kann das Erlernen neuer Methoden und Werkzeuge des IE zur Unterstützung der Turbulenzbewältigung erfolgen. Mit der Vier-Stufen-Methode wurde eine Lernmethode zur schnellen und zielgerichteten Wissensvermittlung ausgewählt, bei der die Lernenden befähigt werden die Methoden und Werkzeuge in engen Grenzen selbstständig anzuwenden. Die selbstständige Anwendung der Methoden in komplexen Zusammenhängen und die Fähigkeit des Problemlösens werden im dritten Lernabschnitt erreicht, indem die Lernenden im Rahmen eines Planspiels Szenarien bearbeiten. Um die berufliche Handlungskompetenz insbesondere für Entscheidungssituationen in komplexen Handlungsfeldern zu entwickeln werden realitätsnahe Aufgaben in einer realen Produktionsumgebung bearbeitet

Für die Umsetzung des handlungsorientierten Qualifizierungskonzeptes wurde anschließend eine Lernumgebung mit einer digitalen Planungsumgebung und einer physischen Montageumgebung konzipiert, um das neue Verständnis des Industrial Engineering und die Potentiale modularer, wandlungsfähiger Montagesysteme nachhaltig zu vermitteln und es den Lernenden zu ermöglichen direkt eigene Erfahrungen im Umgang mit den Lerninhalten zu machen. Die digitale Planungsumgebung basiert auf dem Konzept der Stuttgarter Integrationsplattform mit einer Basiseinheit als zentraler Datenbasis für Produkt-, Prozess- und Ressourceninformationen, einer Integrationsebene für die Koordination des Datenaustausches und einer Werkzeugebene. In der Konzeption der physischen Montageumgebung wurden Anforderungen aus der Planung, dem

Produktionsprogramm und hinsichtlich der Wandlungsfähigkeit des Montagesystems gestellt, um einerseits mit aktuellen Informationen über den Zustand der Produktion die Identifikation von Turbulenzen zu unterstützen und andererseits eine schnelle Umsetzung der Planungsergebnisse zu ermöglichen. Die Beschreibung der umgesetzten Lernumgebung, der Verknüpfung der digitalen Planungsumgebung und des wandlungsfähigen Montagesystems sowie des variantenreichen Produktes erfolgte in Kapitel 5.

Die detaillierte Ausarbeitung der fachlichen Inhalte des Qualifizierungskonzeptes zur Nutzung einer Lernfabrik für Industrial Engineering wurde in Kapitel 6 durchgeführt. Dabei wurden für alle Planungsabschnitte der methodischen Vorgehensweise zur Turbulenzbewältigung Lernziele definiert und der Zusammenhang zwischen kurz- und mittelfristigen Turbulenzen, den daraus resultierenden Planungsaufgaben und den dabei eingesetzten Methoden und Werkzeugen des IE hergestellt. Darauf aufbauend wurden handlungsorientierte Szenarien entwickelt.

Abschließend wurden die Lerninhalte des Qualifizierungskonzeptes in Lernmodule gegliedert. Die Wiederholung der Methoden und Werkzeuge des klassischen IE vor Schulungsbeginn erfolgt durch e-Learning im Rahmen der selbstständigen Alleinarbeit. Die folgenden Lernmodule werden mit der Vier-Stufen-Methode durchgeführt. Im Lernmodul „Grundlagen der Turbulenzbewältigung“ werden die Grundlagen der Wandlungsfähigkeit und der Zusammenhang zwischen Turbulenzen und Planungsaufgaben vermittelt. Die neuen Methoden und Werkzeuge des IE werden in den Lernmodulen „Fabrikanalyse“, „Arbeitsablaufplanung“, „Fabrik- und Logistikplanung“ und „Arbeitssystemplanung“ behandelt. Die selbstständige Anwendung des Gelernten erfolgt abschließend im Lernmodul „Planspiel mit Szenarien“ und trägt zum nachhaltigen Lernerfolg bei.

Für die Validierung des Qualifizierungskonzeptes zur Nutzung einer Lernfabrik für die variantenreiche Montage (Kapitel 7) wurden mehrere Schulungen mit einer ausgewählten Validierungsgruppe durchgeführt, um den kurzfristigen und nachhaltigen Lernerfolg zu überprüfen. Die Teilnehmer der Validierungsgruppe waren alle mit entsprechender Vorbildung im Bereich des Industrial Engineering tätig und entstammten unterschiedlichen Branchen der variantenreichen Serienproduktion, so dass die Ergebnisse als allgemeingültig angesehen werden können. In der zweistufigen Validierung wurde die Validierungsgruppe zunächst unmittelbar nach den jeweiligen Lernmodulen befragt bevor in einer mittelbaren Validierung sechs Monate nach Abschluss der Schulung die Nachhaltigkeit des Lernerfolges abgefragt wurde.

Die Ergebnisse der Validierung des Qualifizierungskonzept zur Vermittlung eines neuen IE-Verständnisses in einer Lernfabrik für die variantenreiche Montage haben gezeigt, dass das Ziel, die berufliche Handlungskompetenz von Industrial Engineers bzgl. Methoden und Werkzeugen zur Turbulenzbewältigung durch ein nachhaltiges Qualifizierungskonzept erreicht wurde.

Aus der Konzeption der Lernfabrik für die variantenreiche Montage ergeben sich Handlungsfelder für weitere Forschungsarbeiten, die für die Qualifizierung von Industrial Engineers relevant sind.

- Industrial Engineers sind bei der Planung und Optimierung von Produktionsprozessen nicht nur für die Montage zuständig, sondern auch für die Fertigung. Gerade die Planung technischer Prozessketten und deren Verkürzung (z. B. durch Verfahrensintegration) erfordern eine genauere Betrachtung, um die Wirtschaftlichkeit und Qualität im Bereich der Fertigung zu erhöhen und Durchlaufzeiten zu reduzieren.
- Der Themenbereich der Energieeffizienz und des Energiemanagements wird in den bisherigen Planungen in geringem Umfang betrachtet und geht nur über verschiedene Faktoren wie den Maschinenstundensatz mit ein. Eine Systematik zur energieeffizienten Planung im Bereich der Arbeitsvorbereitung bzw. der Produktionsplanung und -steuerung existiert bisher nicht.
- Die aktuellen Kostenrechnungssystematiken des Lifecycle-Costing unterstützen den Industrial Engineer zwar bei der Kalkulation der Wandlungskosten der aktuellen Veränderung des Produktionssystems, geben aber keinen Aufschluss darüber, inwieweit sich Kostenveränderungen über mehrere Wandel hinweg entwickeln.
- In den Bereichen der Digitalen und Virtuellen Fabrik wurde deutlich, dass die vorhandenen Potentiale durch den Einsatz moderner Werkzeuge nur mit einer durchgängigen Integration erreicht werden können, hierfür jedoch keine ausreichenden Lösungen für KMUs vorhanden sind. In diesem Bereich besteht der Entwicklungsbedarf darin Lösungsmöglichkeiten wie service-basierte Architekturen zu suchen, mit denen auf bestimmte Bereiche spezialisierte Werkzeuge, die in den Unternehmen vorhanden sind miteinander verknüpft werden können, ohne großen Integrationsaufwand zu generieren. Des Weiteren sind Werkzeuge zu entwickeln, die der Industrial Engineer ohne aufwendige Einarbeitung effektiv bedienen kann.
- Im Bereich der physischen Produktionsressourcen gibt es ebenfalls Forschungsbedarf, um die Wandlungsfähigkeit auf weitere Module der Fertigungstechnologien zu erweitern, so dass die gesamte Prozesskette abgedeckt werden kann.

Summary

Manufacturing companies influenced by global general conditions must adapt themselves to challenges like shortened innovation life cycles and product life cycles, changes of customer order patterns as well as developments of product, production, information and communication technologies to be competitive on the market.

Key targets for a company's success in the field of multi-variant series production are the capabilities to react flexibly to customer specifications, to ensure reliable product quality and to realize short delivery times. To handle these challenges, which scientists call turbulences, companies must develop the capability to react to short- and medium-term changes.

To ensure continuous adaptation of production, continuous planning and optimization of the production processes is necessary. To secure a higher planning speed with high planning quality and realism without disturbing the continuing operation, the availability of all necessary data for the planning is crucial. Quick evaluation of the current production state requires an information flow from the real production to the production planning which is possible only by integrating IT technology. Further methods and tools of the digital and virtual factory have proved their contribution to evaluate the performance of a dynamic system like a production.

When managing turbulences the focus is on assembly as the last stage of production because during assembly a high number of product variants is generated and because assembly is in close contact with the customers and is confronted directly with external turbulences.

Transformability is often called the solution for managing short- and medium-term turbulences. Transformability describes the tactical capability of an entire factory structure to handle internal and external turbulences reactively and proactively. Transformability is achieved by continuous planning of processes and the production system structures that can make reconfigurations of the production system on different levels necessary. Continuous production optimization and reduction of process chains are part of the area of responsibility of industrial engineering. To be able to manage these tasks a new understanding of industrial engineering is necessary that includes the strategic and operative planning and design of production processes because the actual industrial engineering is operating under continuous circumstances.

Therefore, industrial engineering needs highly qualified employees, of whom only a few are available for companies. To keep up with the continuous advancement of methods and tools in the field of industrial engineering, companies must provide education opportunities

to their employees, because access to scientific findings enables companies to increase their own competitiveness. The industrial engineers themselves must take these opportunities to be prepared for future tasks of lifelong learning. For this field diverse professional seminars exist to impart skills and knowledge of methods, but they do not establish any reference between the required changes to production, the methods and tools of industrial engineering and the digital and virtual factory.

The described requirements and deficits lead to the concept of a learning factory for the multi-variant assembly in order to impart a new understanding of industrial engineering which demonstrates solutions for handling turbulences using the potentials of the digital factory and modular, transformable assembly systems. This new understanding of industrial engineering is communicated with a qualification concept so that industrial engineers can become familiar with planning methods and tools as well as the necessary structure of production resources.

Chapter 2 of this study covers the turbulent field of the multi-variant series production. The planning and optimization of production processes used in industrial engineering are regarded in the context of factory planning and factory lifecycle management, followed by a detailed consideration of industrial engineering. Whereas in the US industrial engineering is an independent discipline, in Germany and many European countries it is considered part of mechanical engineering. So although there are parallels, there are too many differences for a unified understanding of industrial engineering, which is generally divided into process planning, work system planning and process controlling. The scope of the digital und virtual factory was restricted to the tasks of industrial engineering. Assembly has a special status in the field of multi-variant series production and therefore it was examined in detail. Because assembly planning is part of industrial engineering, the focus was on the assembly system. The assembly system must on the one hand deliver the necessary data for planning and on the other hand be able to realize the planning results as part of turbulence handling. At the same time the levels from the assembly system to the assembly station are analysed.

To develop a methodical didactic qualification concept to impart a new understanding of industrial engineering, learning theories of individual learning processes have been analysed which serve as the basis of holistic learning. Holistic learning helps trainees achieve occupational competence (including professional, methodical, social and individual competence). The trainees are completely involved in the learning process, with their heads, their hands and all other senses (including their emotions) involved in activity-oriented concepts. Sustainable learning success can be achieved by means of activity-oriented learning combined with a realistic learning environment.

In chapter 3 existing concepts and approaches to developing a learning factory for multi-variant assembly have been analysed with respect to their adaptability. The focus is on the tasks of classic industrial engineering and the analysis of research and development directions in an international comparison before the requirements of the future role of industrial engineers had been set. In addition, the potentials of the digital and virtual factory and the assembly systems for supporting continuous adaptation of production were investigated. Finally, qualification concepts and learning methods were analysed with respect to their suitability for imparting a new understanding of industrial engineering. It was determined that only partial aspects of the problem are supported by existing approaches, which can be used as basis for developing a learning factory for multi-variant assembly. No holistic qualification concept for industrial engineers in a turbulent environment could be identified.

In chapter 4 this new understanding of industrial engineering is defined, which includes the methods and tools of classical industrial engineering, the potentials of the digital factory and the possibilities of production technology management. To enable the continuous adaptation of production on strategic and operational levels a methodical planning procedure was developed that observes premises like standardisation, synchronisation of processes, lifecycle management and participative planning, and which integrates the potential of the digital factory.

The starting point of the fundamental procedure for handling turbulences is factory monitoring, which includes continuous comparison between the actual and target performance of turbulence indicators. Therefore at first, indicators to detect short and medium-term turbulences have been identified before the impact of turbulences on production are analysed. On this basis, the options for handling turbulences are deduced and concrete connections between turbulences and planning tasks in the area of factory planning process are set up. The tasks of planning and optimising production start with an operational analysis, the analysis of the actual state of the production (weak point analysis) to identify the necessary tasks to tap the full potential. The planning tasks are developed in the fields of process planning, capacity planning, layout planning, logistical dimensioning and detailed production planning. The planning results are then realised in the next phase. Factory monitoring during continuing operation makes it possible to determine whether turbulence handling has been successful and whether the planning targets have been achieved.

Building on the technical content, the qualification concept is designed to impart the new understanding of industrial engineering. At first the basic knowledge of classical industrial engineering must be repeated in order to close existing knowledge gaps and to achieve

consolidated specialist knowledge of the trainees. The learning method of independent solitary work with e-learning is used for revision before the vocational training is started. On that basis, the learning of new methods and tools of industrial engineering can support the turbulence handling process. The four steps method is a learning method for fast and goal-oriented communication of knowledge with which the trainees should be able to execute the methods and tools within narrow limits on their own. The independent usage of the methods in complex correlations and the capability of problem solving are achieved in the third part of the qualification concept by working with scenarios in the context of a business game. The trainees work on realistic tasks in a real production environment to acquire occupational competence especially for decision-making situations in complex fields of actions.

Next, a learning environment with digital planning and a physical assembly environment was designed in order to realise the action-oriented qualification concept. This makes it possible to sustainably achieve the new understanding of industrial engineering and the potential of modular, transformable assembly systems because trainees can gain experience using the learning content. The digital planning environment is based on the concept of the Stuttgart integration platform with a central database for product, process and resource information as a basis layer, an integration layer to coordinate data exchange with the tool layer, which includes the individual tools of the digital and virtual factory. The concept for the physical assembly environment must take into account the requirements of the planning phase, the production program and the transformability of assembly systems to be able to support the identification of turbulences with actual information about production status on the one hand and the fast realisation of planning results on the other. The realised learning environment, the linking of the digital planning environment and the transformable assembly system, and the multi-variant product are described in chapter 5.

The detailed elaboration of the technical content of the qualification concept for a learning factory for industrial engineering follows in chapter 6. Learning targets are defined for all planning phases of the methodical procedure for handling turbulences. In addition, links are established between short- and medium-term turbulences, the resulting planning tasks for the turbulence handling and the methods and tools used in industrial engineering. On that basis, activity-oriented scenarios are designed.

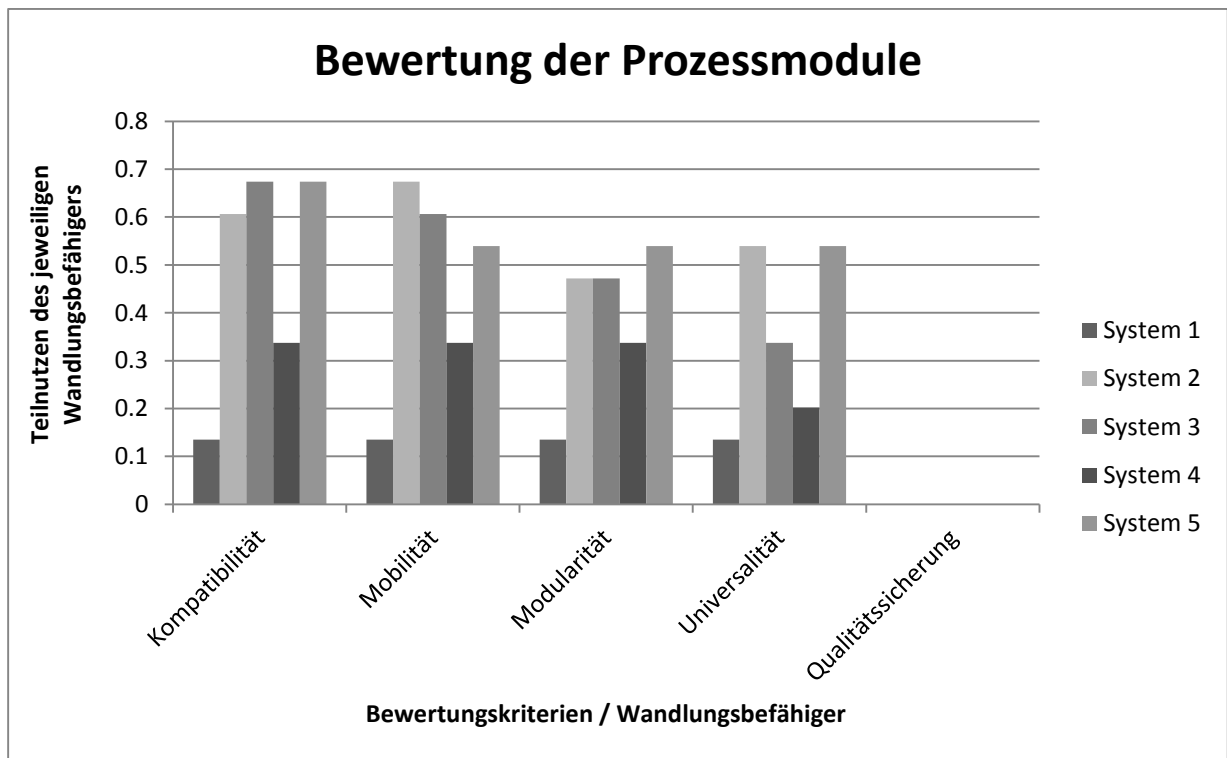
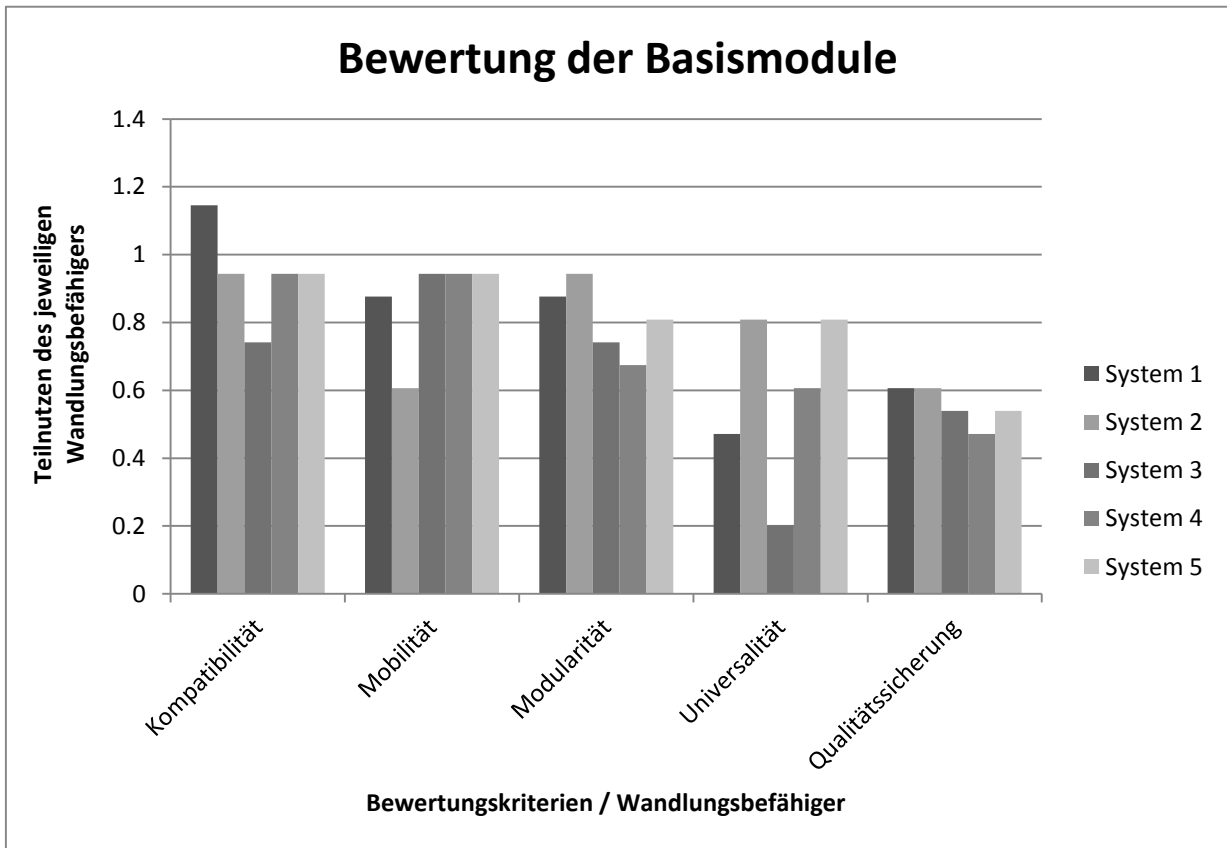
In conclusion, the learning content of the qualification concept is organised into learning modules. The methods and tools of classical industrial engineering are revised in independent solitary work with e-learning. The following learning modules are implemented in the four steps method. In the module “Fundamentals of turbulence

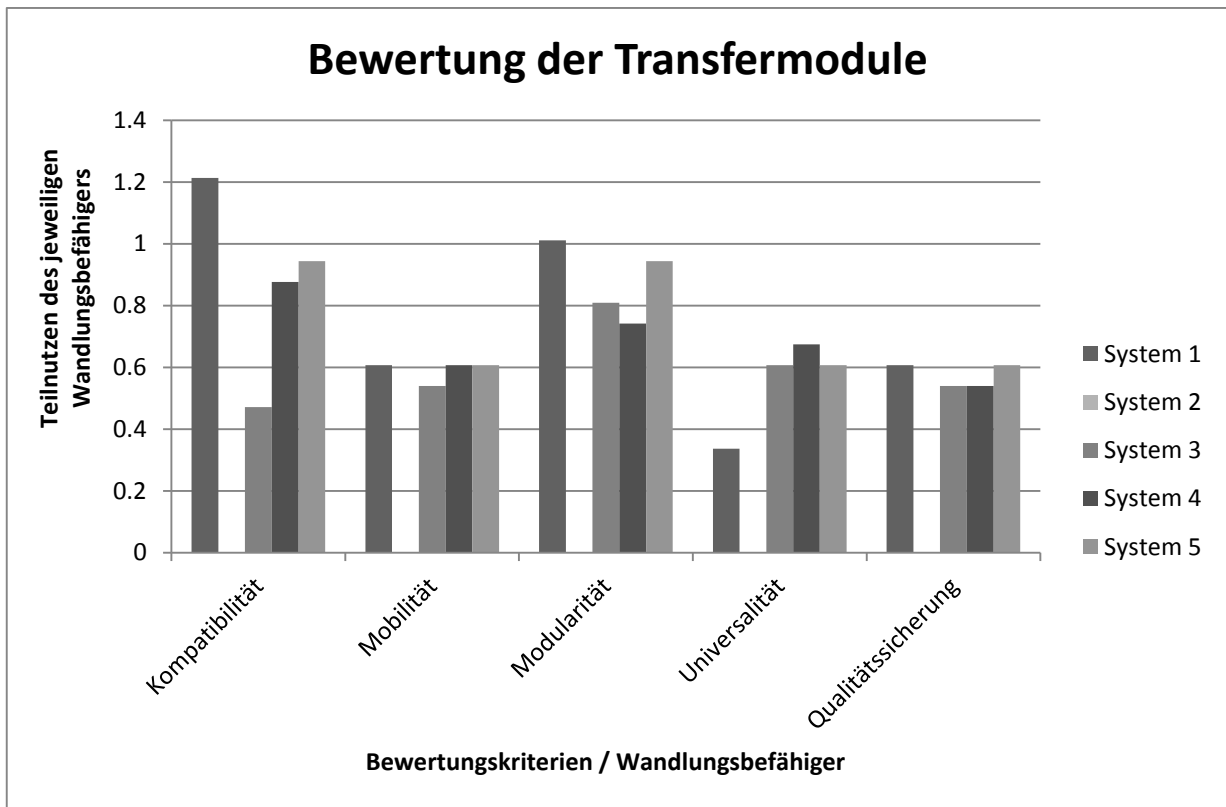
handling” the basic principles of transformability and the interrelation between turbulences and planning tasks are conveyed. The new methods and tools of industrial engineering are discussed in the modules “Factory analysis”, “Process planning”, “Factory and logistic planning” and “Work system planning”. The technical content is applied independently in the final module “Business game with scenarios” and contributes to sustainable learning success.

To validate the qualification concept for using a learning factory for multi-variant assembly (chapter 7), several training courses have been held with a select validation group to review both short-term and sustainable learning success. The trainees of the validation group had the necessary professional qualification and working experience in the field of industrial engineering. Additionally, they worked in different industrial sectors of multi-variant series production, so the evaluation results can be regarded as generally accepted. Validation was done in two steps: the validation group was interviewed first directly after the learning modules and later on by indirect validation six months after the training course for sustainable learning success.

The results of the validation of the qualification concept for imparting a new understanding of industrial engineering in a learning factory for multi-variant series production show that the target of improving the occupational expertise of industrial engineers regarding methods and tools for handling turbulences was achieved by a sustainable qualification concept.

Anhang A Detaillierte Auswertung modularer Montagesysteme





Anhang B Fragebogen zur unmittelbaren Validierung

Fragebogen zur unmittelbaren Validierung

Lernmodul: _____

Frage Nr.	Fragen an die Validierenden	erfüllt	nicht erfüllt
		1	6
1.	wurde verstananis tur die wirkbeziehungen zwischen Turbulenzen und den Handlungsoptionen zur Turbulenzbewältigung erzeugt?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2.	Wurden die Voraussetzung und Rahmenbedingungen eines Produktionssystems zur Bewältigung von Turbulenzen vermittelt?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3.	Wurde anhand der Wirkbeziehungen von Turbulenzen und Handlungsoptionen das Gesamtverständnis für Abläufe im Arbeitsalltag gesteigert?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4.	Wurde praxisrelevante Theorie vermittelt?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5.	Haben die Inhalte und Vorgehensweisen Anregungen für meine Arbeit gegeben?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
6.	Waren die Planungsabschnitte zur Turbulenzbewältigung und der Zusammenhang mit den Methoden und Werkzeuge nachvollziehbar und konnten diese spezifisch angewandt werden?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
7.	Wurde der fachliche Inhalte und die Anwendung der einzelnen Methoden und Werkzeuge gut vermittelt?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
8.	Wurde die Relevanz von Methoden und Werkzeugen zur Turbulenzbewältigung ausreichend dargelegt?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
9.	Konnten die, für die Planungsabschnitte spezifisch gelernte Theorie in der Lernumgebung praxisnah angewendet werden?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
10.	Wurden Sie aktiv in die Turbulenzbewältigung eingebunden?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
11.	Konnte durch das Planspiel ein ganzheitliches Verständnis für Turbulenzen und deren Bewältigung geschaffen werden?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
12.	Fühlten Sie sich als Teil eines Teams zur Turbulenzbewältigung?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
13.	Konnten Methoden und Werkzeuge selbstständig angewandt werden?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
14.	Konnte durch das Planspiel in einer realen Produktionsumgebung die Wirkung von Methoden und Werkzeugen durch die Anwendung erlebt werden?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Anhang C Fragebogen zur mittelbaren Validierung

Fragebogen zur mittelbaren Validierung

Frage Nr.	Fragen an die Validierenden	erfüllt	nicht erfüllt
		1	6
13.	Konnten Methoden und Werkzeuge selbstständig angewandt werden?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
14.	Konnte durch das Planspiel in einer realen Produktionsumgebung die Wirkung von Methoden und Werkzeugen durch die Anwendung erlebt werden?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
15.	Konnten Sie die Inhalte und Vorgehensweise zur Turbulenzbewältigung in ihren Arbeitsalltag transferieren und somit anwenden?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
16.	Wurden Sie in der Praxis mit den Turbulenzen konfrontiert, die Sie in den Lernmodulen erlernten?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
17.	Haben Sie zur Bewältigung von Turbulenzen die, im Qualifizierungskonzept vorgesehenen Planungsabschnitte durchgeführt, die in ihren Aufgabenbereich fallen?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
18.	Haben Sie persönlich Methoden und Werkzeuge zur Bewältigung von Turbulenzen angewandt?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Anhang D Industrial Engineering im internationalen Vergleich

Universitäten

Lfd. Nr.	Region	Land	Universität	Link
1	Amerika	Brasilien	USP - Universidade de SP	http://www.prd.usp.br/
2	Asien	Japan	Aoyama Gakuin University	http://www.ctc.puc-rio.br/pos-grad/ind-eng.asp
3	Asien	Japan	Musashi Institute of Technology	http://www.ctc.ufsc.br/index.php
4	Asien	China	Hongkong University	http://eii.ucv.cl/site/pags/la_escuela/antecedentes/index.html
5	Europa	Portugal	Universidade de Minho	http://www.ici.ubiobio.cl/index2.htm
6	Amerika	USA	Purdue University	http://fresno.ulima.edu.pe/sf/sf_bd5600.nsf/default/car?OpenDocument&dn=1.1
7	Amerika	USA	University of Washington	https://engineering.purdue.edu/IE/People/profile?resource_id=9249
8	Amerika	USA	University of Pittsburgh	http://depts.washington.edu/ie/
9	Amerika	USA	University of Nebraska	http://www.engr.pitt.edu/industrial/pages/faculty_bon.html
10	Amerika	Brasilien	PUC - Rio de Janeiro	http://www.engr.unl.edu/ie/
11	Amerika	Venezuela	Universidad Católica Andrés bello	http://www.egr.uh.edu/IE/
12	Amerika	Peru		http://www.usc.edu/dept/ise/news/announcements/announcement_2006100562219.htm
13	Amerika	Brasilien	Universidade Federal de Santa Catarina	http://imse.eng.usf.edu/
14	Amerika	Chile	Universidad Católico de Valparaíso	http://www.isye.gatech.edu/
15	Asien	Australien	Monash University	http://ise.tamu.edu/
16	Amerika	USA	University of Houston	http://www.iese.uiuc.edu/
17	Amerika	USA	University of South California	http://dept.lamar.edu/industrial/
18	Asien	Japan	Tokio Institute of Techology	http://www.ie.ucf.edu/
19	Amerika	USA	University of South Florida	http://www.ohio.edu/industrial/
20	Amerika	USA	Georgia Institute of Technology	http://emgt.umn.edu/
21	Europa	Dänemark	Technical University of Denmark	http://www.tecs.ecu.edu/tsys/grad/
22	Asien	Korea	Korea Advanced Institute of Science and Technology	http://ie.oregonstate.edu/degree/graduate/index.htm
23	Amerika	USA	Texas A&M University	http://www.ncat.edu/
24	Asien	China	Hong Kong University of Science and Technology	http://www.csuohio.edu/ime/
25	Amerika	USA	University of Illinois at Urbana	http://www.imse.iastate.edu/
26	Amerika	USA	Lamar State University, Texas	http://www.lehigh.edu/~inime/whatsise.html
27	Amerika	USA	University of Central Florida	http://www.mercer.edu/Engineering
28	Amerika	Chile	Universidad del Bio Bio	http://www.ise.ncsu.edu/
29	Amerika	USA	Ohio University	http://cis.appstate.edu/
30	Amerika	USA	University of Missouri	http://ceae.colorado.edu/new/
31	Amerika	USA	EastCarolina University	http://www.leanconstruction.org/howellbio.htm
32	Amerika	USA	Oregon State university	http://www.usc.edu/dept/ise/
33	Amerika	USA	North Carolina Agricultural & Technical State University	http://www.isye.gatech.edu/
34	Amerika	USA	Cleveland State University	http://ioe.engin.umich.edu/
35	Amerika	USA	Iowa State University	http://www.ieor.berkeley.edu
36	Europa	Belgien	Gent University	http://www.iems.northwestern.edu/
37	Amerika	USA	Lehigh University	http://www.iese.uiuc.edu/

Lfd. Nr.	Region	Land	Universität	Link
38	Amerika	USA	Mercer University	http://www.ucab.edu.ve/ucabnuevo/index.php?seccion=181
39	Amerika	USA	North Carolina State University	http://www.eng.monash.edu.au/courses/undergraduate/ieem.html
40	Amerika	USA	Appalachian State University	http://courses.swinburne.edu.au/Courses/ViewCourse.aspx?id=8643
41	Amerika	USA	University of Colorado	http://www.buet.ac.bd
42	Amerika	USA	Rutgers University	http://www.imse.hku.hk/programmes/msc.htm
43	Amerika	USA	California Polytechnic State University	http://www.ielm.ust.hk/
44	Amerika	USA	Georgia Institute of Technology	http://me.sjtu.edu.cn/english/brief_of_department/ie.htm
45	Asien	Südafrika	University of Pretoria	http://www.ise.polyu.edu.hk/
46	Asien	Südafrika	Stellenbosch University	http://www.cityu.edu.hk/cityu/dpt-acad/fse-me.htm
47	Europa	Schweden	Växjö University	http://www.mech.pec.edu/
48	Asien	Kuwait	Kuwait University	http://www.iitkgp.ac.in/departments/home.php?deptcode=IM
49	Asien	China	The Hong Kong Polytechnic University	http://www.ie.ui.ac.id/
50	Asien	China	City University of Hong Kong	http://195.146.42.4/kntu/industrial/Home/tabid/193/Default.aspx
51	Asien	Taiwan	Yuan Ze University	http://iew3.technion.ac.il/
52	Asien	Thailand	School of Engineering and Technology, Asian Institute of Technology	http://www.aoyama.ac.jp/en/academic/science/Industsys.html
53	Asien	Taiwan	Da-Yeh University	http://www-mitech.musashi-tech.ac.jp/Eng/si-E.html
54	Amerika	USA	University of Michigan	http://www.titech.ac.jp/
55	Europa	Türkei	Uludag University	http://www.kaist.edu/
56	Asien	Indien	Pondicherry Engineering College	http://ie2.postech.ac.kr/2005/eng.php
57	Europa	Deutschland	Technische Fachhochschule Berlin	http://www.kuniv.edu.kw/?q=industrial_management_eng&Lang=en
58	Europa	Deutschland	Hochschule Bremen	http://www.dlsu.edu.ph/academics/colleges/coe/default.asp
59	Europa	Deutschland	ONCAMPUS (Kooperation von FH Lübeck und Kiel)	http://engg.kau.edu.sa/ie/
60	Europa	Deutschland	Fachhochschule Regensburg	http://www.up.ac.za/up/web/en/academic/industrial_and_system_engineering/index.html
61	Europa	Deutschland	Fachhochschule Oldenburg	http://www.ie.sun.ac.za/
62	Europa	Österreich	FH Technikum Wien	http://www.iem.yzu.edu.tw/english/
63	Europa	Deutschland	Universität Bremen	http://www.ietm.dyu.edu.tw/english/e-index.htm
64	Amerika	USA	University of California Berkeley	http://www.ie.nthu.edu.tw/english/
65	Europa	Österreich	Donau-Universität Krems	http://www.set.ait.ac.th/iem/
66	Asien	Indien	Indian Institute of Technology	http://ir18.ugent.be/
67	Asien	Bangladesh	Bangladesh University of Engineering & Technology	http://www.ipl.dtu.dk/English/About_IPL/PVL.aspx
68	Asien	Iran	K.N.Toosi University of Technology	http://www.tfh-berlin.de/~fsi/ie/
69	Asien	Israel	Technion - Israel Institute of Technology	http://www.hs-bremen.de/Deutsch/Seiten.asp?SeitenID=1996
70	Asien	Saudi Arabien	King Abdulaziz University	http://www.oncampus.de/index.php?id=46

Lfd. Nr.	Region	Land	Universität	Link
71	Asien	Australien	Swinburne University of Technology	http://www.fh-regensburg.de/index.php-id=117.html
72	Asien	Korea	Pohang University of Science and Technology	http://www.technik-emden.de/studium/m/technical_management.php
73	Asien	Philippines	De La Salle University	http://www.fb4.uni-bremen.de/studiengaenge/roduction_engineering/production_engineering.html
74	Asien	Taiwan	National Tsing Hua University	http://www.hi.is/page/fac_engineering
75	Amerika	USA	Northwestern University	http://www.fachhochschulen.at/FH/Studium/Internationaler_Wirtschaftsingenieur_243.htm
76	Amerika	USA	University of Illinois at Urbana-Champaign	http://www.donau-uni.ac.at/de/studium/industrialmba/index.php
77	Asien	Indonesien	University of Indonesia	http://www.uminho.pt/
78	Europa	Türkei	Bilkent University	http://www.vxu.se/td/english/
79	Asien	China	Shanghai Jiaotong University	http://www.ie.bilkent.edu.tr/
80	Europa	Island	University of Iceland	http://www.uludag.edu.tr/

Kongresse

Lfd.-Nr.	Region	Land	Kongress
1	Amerika	USA	IIE Annual Conference & Exposition 2005
2	Amerika	USA	IIE Annual Conference & Exposition 2006
3	Asien	Philippinen	APIEMS Kongress 2005 (Manila)
4	Asien	Thailand	APIEMS Kongress 2006 (Bangkok)
5	Europa	Deutschland	MTM-Bundestagung 2005
6	Europa	Deutschland	MTM-Bundestagung 2006
7	Europa	Deutschland	Kongress MTM, REFA, IfaA, Fraunhofer IAO 2005
8	Europa	Deutschland	Kongress MTM, REFA, IfaA, Fraunhofer IAO 2006

Journals

Lfd.-Nr.	Titel der Zeitschrift	ISSN
1	Industrial Management & Data Systems	0263-5577
2	Journal of Quality Technology	0022-4065
3	International Journal of Production Economics	0925-5273
4	Journal of Engineering and Technology Management	0923-4748
5	Ergonomics	0014-0139
6	Journal of Production Innovation Management	0737-6782
7	CIRP Annals-Manufacturing Technology	0007-8506
8	IEEE Transaction on Engineering Management	0018-9391
9	Research in Engineering Design	0934-9839
10	Reliability Engineering & System Safety	0951-8320
11	Computers & Operations Research	0305-0548
12	Applied Ergonomics	0003-6870
13	Probability in the Engineering and Information Sciences	0269-9648
14	Safety Sciences	0925-7535
15	Journal of Material Processing Technology	0924-0136
16	International Journal of Industrial Ergonomics	0169-8141
17	Technovation	0166-4972
18	International Journal of Production Research	0020-7543
19	IIE Transactions	0740-817X
21	Journal of Construction Engineering and Management - ASCE	0733-9364
22	Production Planning & Control	0953-7287
23	Research Technology Management	0895-6308
24	Computer & Industrial Engineering	0360-8352
25	Journal of Management in Engineering	0742-597X
26	Issues in Science and Technology	0748-5492
27	Journal of Scientific & Industrial Research	0022-4456
28	Journal of Manufacturing Systems	0278-6125
29	Industrial Robot-An International Journal	0143-991X
30	Travail Humain	0041-1868
31	Industrial Engineering	1542-894X
32	International Journal of Industrial Engineering - Theory Applications and Practice	1072-4761
33	R&D Magazine	0746-9179

Beratungsunternehmen

Lfd.-Nr.	Region	Land	Berater	Link
1	Afrika	Südafrika	Kwaliteg	http://www.kwaliteg.co.za/profile.htm
2	Asien	Indien	A. K. Associates	www.akindia.com
3	Asien	Indien	Tata Consultancy Services	http://www.tcs.com/#
4	Europa	Deutschland	Ingenieurbüro Hanli	www.painttec.de
5	Europa	Deutschland	PROPLANT	www.proplant-mvi.com
6	Europa	Deutschland	Flexible Fabrik	www.flexible-fabrik.com
7	Europa	Deutschland	agiplan	www.agiplan.de
8	Europa	Deutschland	SEMIS GmbH	www.semis-2sg.com
9	Europa	Deutschland	EPC Industrial Engineering GmbH	http://www.epc-online.de/index.php?catid=12
10	Europa	Deutschland	Rheinland Consulting	http://www.rheinland-consulting.com/index.htm
11	Europa	Deutschland	Tasco GmbH	http://www.tasco-gmbh.de/index.php
12	Europa	Deutschland	UVM Consulting GmbH	http://www.uvm-consulting.de/de/content/?jump=edg97835
13	Europa	Deutschland	Rigobert Opitz, Consulting & Engineering	http://www.opitz-consult.de/roc/index.html
14	Europa	Deutschland	IE-Consult	http://www.ie-consult.de/index.html
15	Europa	Deutschland	Unternehmensberatung für Industrial Engineering Hermann-Josef Frenefort	http://www.unternehmensberatung-frenefort.de/index.html
16	Europa	Deutschland	UBV Unternehmensberatung (Industrial Engineering)	http://www.volmer-online.com/module-Inhalt-viewpub-tid-2-pid-1.htm
17	Europa	Deutschland	Wilfried Kittel Unternehmensberatung	http://www.wilfried-kittel.de/index.html
18	Europa	Deutschland	ITO	http://www.ito-gmbh.de/index_flash.html
19	Europa	Deutschland	Wolf Consult	http://www.wolf-consult.de/firma.htm
20	Europa	Deutschland	Die procedo Unternehmensberatung GmbH	http://www.procedo-gmbh.de/
21	Europa	Deutschland	Schüttler Unternehmensberatung GmbH	http://www.schuettler.de/profil/index.html
22	Europa	Deutschland	GS-Büro für Industrial Engineering	http://www.gs-indust.de/
23	Europa	Frankreich	Steap Stailor	www.steapstailor.com
24	Europa	Frankreich	Thales Services Consulting	http://www.thales-is.com/services/home.html
25	Europa	Großbritannien	The Consulting Exchange	http://www.cx.com/supply_chain_management_consultants.htm
26	Europa	Italien	Industrial Engineering Consultants	www.ictorino.com/
27	Europa	Schweiz	Innovation	http://www.innovatica.ch/webenglish/index.html
28	Europa	Schweiz	Resoplan AG	http://www.resoplan.ch/resoplan.html

Lfd.-Nr.	Region	Land	Berater	Link
29	Europa	Großbritannien	Trouleshooters UK, Ltd.	website.lineone.net/ troubleshooters
30	Europa / Asien	Deutschland / China	Seidenschwarz & Comp.	www.seidenschwarz.com
31	Weltweit	Deutschland (Stammhaus)	Fichtner	www.fichtner.de
32	Europa/ Nordamerika	Israel, Großbritannien, Polen, USA	Tefen Management Consulting	www.tefen.com
33	Europe	Niederlande	Ergo-Design B.V. - Industrial Engineering	www.ergodesign.nl
34	Mittel-Ost	Saudi Arabien	Saudi Consulting House	http://saudinf.com/main/e54.htm
35	Nordamerika	Kanada	UMA	http://www.uma.aecom.com/ index.jsp
36	Nordamerika	Kanada	ValuCurve	www.valucurve.com
37	Nordamerika	Kanada	The Createch Group	www.thecreatechgroup.com
38	Nordamerika	USA	KEOGH Consulting	www.keogh-consulting.com
39	Nordamerika	USA	Graphnet, Inc.	www.graphnetconsulting.com
40	Nordamerika	USA	The Sims Consulting Group, Inc.	www.simsconsult.com
41	Nordamerika	USA	Strategic Impact	www.strategicimpact.com
42	Nordamerika	USA	Strategos	www.strategosinc.com
43	Nordamerika	USA	Flex Process Improvement	www.flexpi.com
44	Nordamerika	USA	Operations Concepts, Inc. Professional Consulting Services	www.operationsconcepts.com
45	Nordamerika	USA	Sigma Design Company	www.sigmadesign.net
46	Nordamerika	USA	Astro Manufacturing & Design	www.astromodel.com
47	Nordamerika	USA	DeHart Consulting, LLC	www.dehartconsulting.com
48	Nordamerika	USA	Pragmatic Consulting, Inc.	pragmatic.net/sys-tmpl/door/
49	Nordamerika	USA	SONIL Inc.	www.sonil.com
50	Nordamerika	USA	H+M Company	www.hmcompany.com
51	Nordamerika	USA	Hawthorne Management Consulting Inc.	http://ourworld.compuserve.com /homepages/hmcinc/
52	Nordamerika	USA	Trecker & Associates Industrial Engineers	trecker_indus_engrs.tripod.com
53	Nordamerika	USA	Vines Enterprises	www.vinesenterprises.com
54	Nordamerika	USA	Production Technology	http://www.protech-ie.com/
55	Nordamerika	USA	The Pinnacle Consulting Group Inc.	http://www.pinnaclegrp.com/
56	Nordamerika	USA	Boston Industrial Consulting	http://www.bicinc.com/
57	Nordamerika	USA	C-four	http://www.c- four.com/default.htm
58	Nordamerika	USA	OpenMFG	http://www.openmfg.com/ solutions/consulting.php
59	Nordamerika	USA	Tag	http://www.theaccessgroupllc. com/index.html
60	Nordamerika	USA	ProModel	http://www.promodel.com/
61	Nordamerika	USA	UIC College of Engineering, University of Illinois	http://www.uic.edu/depts/enga/ techservices/MIETech.htm #Industrial
62	Nordamerika	USA	Footlik & Associates	http://www.footlik.com/ index2.html

Lfd.-Nr.	Region	Land	Berater	Link
63	Nordamerika	USA	DLB Associates	http://www.dlbassociates.com/S354.html
64	Nordamerika	USA	Six Sigma Consulting Inc.	http://www.industrialtraininginc.com/index.htm
65	Nordamerika	USA	ReliaSoft	http://www.reliasoft.com/
66	Nordamerika	USA	Trainor and Associates	http://www.goTRAINOR.com/index2.html
67	Nordamerika/ Europa	USA / Schweiz	George Group Consulting	www.georgegroup.com
68	Nordamerika/ Europa	USA / Türkei	PMC	www.pmc.com
69	Pazifik	Australien	Peter J. Ellis & Associates Pty. Ltd.	www.peterjellis.com.au
70	Pazifik	China	Lean Manufacturing Academy In China	www.lean.cn.org
71	Asien	Thailand	4B-EURO-ASIA Industrial Services	http://www.4b-euro-asia.biz/html
72	Asien		EAC	http://www.eac-consulting.de/
73	Asien	China	Cubik	http://www.cubik.de/about_us/about_us.php
74	Asien	China	NML	http://www.manufacturing-logistics.com/
75	Europa/Asien/ Nordamerika	USA	Establish ULG	http://www.establishinc.com
76	Europa	Deutschland	Unity AG	http://www.unity.de
77	Europa	Deutschland	ACP IT	http://www.acp-it.com
78	Europa	Deutschland	Trivit AG	http://www.trivit.de/
79	Nordamerika	USA	Ennex	www.ennex.com
80	Nordamerika	USA	Delfoi	http://www.delfoi.com
81	Europa/Asien/ Nordamerika	Deutschland	Ingenics	http://www.ingenics.de

Literaturverzeichnis

- Abele u. a. 2009 Abele, E.; Brungs, F.; Hueske, B.: Produktionsgerecht modularisieren: Eine Weiterentwicklung des modular Function Deployment. In: wt Werkstattstechnik online 99 (2009) 9, S. 598–605.
- Abramovici/Schulte 2005 Abramovici, M.; Schulte, S.: PLM - Neue Bezeichnung für alte CIM-Ansätze oder Weiterentwicklung von PDM? In: Konstruktion - Zeitschrift für Produktentwicklung und Ingenieur-Werkstoffe (2005) 1/2, S. 64-70.
- Aggteleky 1987 Aggteleky, Béla: Grundlagen - Zielplanung - Vorarbeiten. Unternehmerische und systemtechnische Aspekte, Marketing und Fabrikplanung. 2., durchges. Aufl. der Neuausg. München : Hanser, 1987 (Fabrikplanung Bd. 1).
- AIIE 2010 American Institute of Industrial Engineering (AIIE): Definition of Industrial Engineering. URL <http://www.iienet2.org/SHS/Details.aspx?id=282> – Überprüfungsdatum 2013-04-10.
- Aldinger u. a. 2006a Aldinger, L.; Constantinescu, C.; Hummel, V.; Kreuzhage, R.; Westkämper, E.: Neue Ansätze im „advanced Manufacturing Engineering“. In: wt Werkstattstechnik online 96 (2006) 3, S. 110–114.
- Aldinger u. a. 2006b Aldinger, L.; Rönnecke, T.; Hummel, V.; Westkämper, E.: Advanced Industrial Engineering : Planung und Optimierung für Fabriken im Jahr 2020. In: Industriemanagement (2006) 22, S. 59–62.
- Argyris/Schön 1978 Argyris, Chris; Schön, Donald A: Organizational learning. Reading, Mass : Addison-Wesley, 1978 (Organization development series).
- Argyris/Schön 2006 Argyris, Chris; Schön, Donald A: Die lernende Organisation : Grundlagen, Methode, Praxis. 3. Aufl. Stuttgart : Klett-Cotta, 2006 (/Management - Die blaue Reihe)].
- Armbruster u. a. 2005 Armbruster, H.; Kinkel, S.; Kirner, E.; Wengel, J.: Innovationskompetenz auf wenigen Schultern : Wie abhängig sind Betriebe vom Wissen und den Fähigkeiten einzelner Mitarbeiter? Karlsruhe, 2005 (Mitteilungen aus der Produktionsinnovationserhebung. PI-Mitteilungen, 35).
- Aschersleben 1999 Aschersleben, Karl: Frontalunterricht - klassisch und modern : Eine Einführung. Neuwied : Luchterhand, 1999 (Studentexte für das Lehramt 1).
- Bandura 1979 Bandura, Albert: Sozial-kognitive Lerntheorie. 1. Aufl. Stuttgart : Klett-Cotta, 1979.

- Baumgarten u. a. 2003 Baumgarten, H.; Sommer-Dietrich, T.; Friese, M.: Einsatz von Realoptionen zur effizienten Simulation wandlungsfähiger industrieller Strukturen. In: Schulze, Thomas; Schlechtweg, Stefan; Hinz, Volkmar (Hrsg.): Simulation und Visualisierung : Proceedings der Tagung "Simulation und Visualisierung 2003" am Institut für Simulation und Graphik der Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg am 6. und 7. März 2003. Erlangen : SCS-European Publishing House, 2003, S. 21–34.
- BDI 2005 Bundesverband der Deutschen Industrie e. V. (BDI) ; Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung der angewandten Forschung e. V. (FhG) ; Verband Deutscher Maschinen- und Anlagenbau e. V. (VDMA): Intelligenter produzieren : 32 Thesen zur Forschung für die Zukunft der industriellen Produktion. Berlin, 2005.
- Bergholz 2006 Bergholz, Markus: Objektorientierte Fabrikplanung. Aachen, Techn. Hochsch., Diss. 2005. Aachen : Shaker, 2006 (Berichte aus der Produktionstechnik 2006,31).
- Bierschenk u. a. 2005 Bierschenk, Sabine; Kuhlmann, Timm; Ritter, Arno: Stand der Digitalen Fabrik bei kleinen und mittelständischen Unternehmen : Auswertung einer Breitenbefragung. Stuttgart : Fraunhofer IRB Verlag, 2005.
- Binner 2003 Binner, Hartmut F: Prozessorientierte Arbeitsvorbereitung. 2., verb. Aufl. München : Hanser, 2003 (Reihe Organisationsmanagement und Fertigungsautomatisierung).
- Bley u. a. 2006 Bley, H.; Fritz, J.; Zenner, C.: Die zwei Seiten der Digitalen Fabrik. In: Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb (ZWF) 101 (2006) 1-2, S. 19–23.
- Bley/Franke 2001 Bley, H.; Franke, C.: Integration von Produkt- und Produktionsmodell mit Hilfe der Digitalen Fabrik. In: wt Werkstattstechnik online 91 (2001) 4, S. 214–220.
- Blötz 2003 Blötz, Ulrich: Planspiele in der beruflichen Bildung : Aktualisierter Planspielkatalog und neue Fachbeiträge 2003 ; Abriss zur Auswahl, Konzeptionierung und Anwendung von Planspielen ; Multimedia-Publikation ; mit einer Einführung in die Planspieldidaktik, einer aktualisierten Planspielübersicht auf CD-ROM, Beispielen, Erfahrungsbeiträgen zur Anwendung von Planspielen sowie mit einem Internet-Planspielforum. 3., überarb. Aufl. Bielefeld: Bertelsmann, 2003 (Schriftenreihe des Bundesinstituts für Berufsbildung).
- BMBF 2007 Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF): Produktionsforschung : 57 erfolgreiche Projekte für Menschen und Märkte. München; Bonn; Berlin, 2007.
- Bokranz u. a. 2006 Bokranz, Rainer; Landau, Kurt; Becks, Carl: Produktivitätsmanagement von Arbeitssystemen : MTM-Handbuch. Stuttgart : Schäffer-Poeschel, 2006.

- Bonz 2009a Bonz, Bernhard: Didaktik und Methodik der Berufsbildung. Baltmannsweiler : Schneider Verl. Hohengehren, 2009 (Berufsbildung konkret 10).
- Bonz 2009b Bonz, Bernhard: Methoden der Berufsbildung : Ein Lehrbuch. 2., neubearb. und erg. Aufl. Stuttgart : Hirzel, 2009 (weiter @ lernen).
- Bonz 2009c Bonz, Bernhard: Methodik : Lern-Arrangements in der Berufsbildung. 2., neubearb. Aufl. Baltmannsweiler : Schneider-Verl.Hohengehren, 2009 (Studientexte Basiscurriculum Berufs- und Wirtschaftspädagogik 4).
- Borutzky u. a. 2006 Borutzky, W. (Hrsg.); Orsoni, A. (Hrsg.); Zobel, R. (Hrsg.): ECMS : 20th European Conference on Modelling and Simulation. St. Augustin, 2006.
- Böswirth 2007 Böswirth, Leopold: Technische Strömungslehre : Lehr- und Übungsbuch. 7., überarbeitete und erweiterte Auflage. Wiesbaden : Vieweg, 2007.
- Bower u. a. 1983 Bower, Gordon Howard; Hilgard, Ernest Ropiequet; Aebli, Hans: Theorien des Lernens. 5., veränd. Aufl., 1. - 5. Tsd. Stuttgart : Klett, 1983.
- Bracht u. a. 2008 Bracht, U.; Rooks, T.; Adrian, R.: Virtuelle Logistikplanung für die Montage im Rahmen der Digitalen Fabrik. In: Rabe, M. (Hrsg.): Advances in simulation for production and logistics applications : Tagungsband zur 13. Fachtagung, Berlin, 01. - 02. Oktober 2008. Stuttgart : Fraunhofer IRB-Verl., 2008 (ASIM-Mitteilung, 118).
- Bracht u. a. 2008 Bracht, U.; Rooks, T.; Adrian, R.: Virtuelle Logistikplanung für die Montage im Rahmen der Digitalen Fabrik. In: Rabe, M. (Hrsg.): Advances in simulation for production and logistics applications : Tagungsband zur 13. Fachtagung, Berlin, 01. - 02. Oktober 2008. Stuttgart : Fraunhofer IRB-Verl., 2008 (ASIM-Mitteilung, 118)
- Bracht u. a. 2011 Bracht, Uwe; Geckler, Dieter; Wenzel, Sigrid: Digitale Fabrik : Methoden und Praxisbeispiele. Berlin: Springer-Verlag Berlin, 2011 (VDI-Buch).
- Brockhaus 2010 F.A. Brockhaus in der wissenmedia GmbH: Brockhaus Enzyklopädie. URL www.brockhaus-encyklopaedie.de – Überprüfungsdatum 2013-04-10.
- Constantinescu u. a. 2009 Constantinescu, C.; Eichelberger, H.; Westkämper, E.: Durchgängige und integrierte Fabrik- und Prozessplanung : "Grid Engineering for Manufacturing". In: wt Werkstattstechnik online 99 (2009) 3, S. 92–98.
- Corsten 2007 Corsten, Hans: Produktionswirtschaft : Einführung in das industrielle Produktionsmanagement. 11., vollst. überarb. Aufl. München : Oldenbourg, 2007 (Lehr- und Handbücher der Betriebswirtschaftslehre).

- Cube 1982 Cube, Felix von: Kybernetische Grundlagen des Lernens und Lehrens. 4., neubearb. Aufl. Stuttgart : Klett-Cotta, 1982 (Klett-Cotta Pädagogik, Theorie).
- DeToni/Tonchia 1998 DeToni, A.; Tonchia, S.: Manufacturing flexibility: a literature review. In: Manufacturing Systems. Proceedings of the CIRP Seminars on Manufacturing Systems 36 (1998) 6, S. 1587.
- DIN 8593 Deutsches Institut für Normung e.V. DIN 8593. 2003-09: Fertigungsverfahren Fügen.
- Dombrowski u. a. 2001a Dombrowski, U.; Tiedemann, H.; Bothe, T.: Auf dem Weg zur digitalen Fabrik. In: Carolo Wilhelmina, Forschungsmagazin der TU Braunschweig (2001) 1, S. 44–49.
- Dombrowski u. a. 2001b Dombrowski, U.; Tiedemann, H.; Bothe, T.: Visionen für die Digitale Fabrik. In: Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb (ZWF) 96 (2001) 3, S. 96–115.
- Dombrowski/Tiedemann 2004 Dombrowski, U.; Tiedemann, H.: Wissensmanagement in der Fabrikplanung : Vom innovativen zum standardisierten Fabrikplanungswissen. In: wt Werkstattstechnik online 94 (2004) 4, S. 137–140.
- Dombrowski/Tiedemann 2005 Dombrowski, U.; Tiedemann, H.: Die richtigen Fabrikplanungswerkzeuge auswählen : Eine Methode zur Entscheidungsunterstützung. In: Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb (ZWF) 100 (2005) 3, S. 136–140.
- Drabow 2006 Drabow, Gregor: Modulare Gestaltung und ganzheitliche Bewertung wandlungsfähiger Fertigungssysteme. Hannover, Univ., Diss. 2006. Hannover : Garbsen : PZH Produktionstechn. Zentrum, 2006 (Berichte aus dem IFW 2006,5).
- Dreher/Kath 2002 Dreher, Ralph; Kath, Fritz M: Arbeiten mit Projekten : Ein Ansatz für mehr Selbständigkeit beim Lernen ; Sonderband zu Ehren von Fritz M. Kath als Anerkennung für seine Dienste zum "Arbeiten mit Projekten" und sein langjähriges Wirken in der Internationalen Gesellschaft für Ingenieurpädagogik (IGIP). Bremen : Donat, 2002 (Arbeit, Bildung und Schule 1).
- Dürr/Kuhlmann 2008 Dürr, Mark; Kuhlmann, Timm: Kooperative Fabrikplanung mit Laserscans. In: ZWF Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb 103 (2008) 1-2, S. 28–30.
- Dürr/Lickefett 2010 Dürr, Mark; Lickefett, Michael: In virtuellen Räumen real planen : IPA-Planungstisch bekommt neue Multitouch-Oberfläche - mit einem Klick in die Cave. In: wt Werkstattstechnik online 100 (2010) 6, S. 541–544.
- Dürschmidt 2001 Dürschmidt, Stephan: Planung und Betrieb wandlungsfähiger Logistiksysteme in der variantenreichen Serienproduktion. München, Techn. Univ., Diss. 2001. München : Utz, 2001 (Forschungsberichte / IWB 152).

- Edelmann 2005 Edelmann, Walter: Lernpsychologie : [Lehrbuch]. 6., vollst. überarb. Aufl., [Nachdr.]. Weinheim : Beltz, 2005.
- Eigner/Stelzer 2001 Eigner, Martin; Stelzer, Ralph: Produktdatenmanagement-Systeme : Ein Leitfaden für Product Development und Life Cycle Management. Berlin : Springer, 2001.
- Eigner/Stelzer 2009 Eigner, Martin; Stelzer, Ralph: Product Lifecycle Management : Ein Leitfaden für Product Development und Life Cycle Management. 2., neu bearbeitete Auflage. Berlin, Heidelberg : Springer, 2009.
- Enderlein u. a. 2003 Enderlein, H.; Hildebrand, T.; Müller, E.: Plug+Produce : Die Fabrik mit Zukunft aus dem Baukasten. In: wt Werkstattstechnik online 93 (2003) 4, S. 282–286.
- Engelhardt-Nowitzki u. a. 2008 Engelhardt-Nowitzki, Corinna; Krenn, Barbara; Nowitzki, Olaf: Praktische Anwendung der Simulation im Materialflussmanagement : Erfolgsfaktoren und Implementierungsszenarien. 1. Aufl. Wiesbaden : Gabler, 2008 (Gabler Edition Wissenschaft/Leobener Logistik Cases).
- Erlach 2010 Erlach, Klaus: Wertstromdesign : Der Weg zur schlanken Fabrik. Berlin, Heidelberg : Springer, 2010 (VDI-Buch).
- Erlach/Westkämper 2009 Erlach, Klaus; Westkämper, E.: Energiewertstrom : Der Weg zur energieeffizienten Fabrik. Stuttgart : Fraunhofer Verl., 2009.
- EU-Kommission 2006 Kommission der Europäischen Gemeinschaft: Ein wettbewerbsfähiges Europa in einer globalen Welt : Ein Beitrag zur EU-Strategie für Wachstum und Beschäftigung. Brüssel: 2006.
- Eversheim 1986 Eversheim, W.: Maschinelle Montagesysteme. In: Spur, Günter; Stöferle, Theodor (Hrsg.): Handbuch der Fertigungstechnik Bd. 5: Fügen, Handhaben und Montieren. München : Hanser, 1986, S. 683–692.
- Eversheim 1996 Eversheim, Walter: Organisation in der Produktionstechnik 1: Grundlagen. 3., neu bearb. und erw. Aufl. Düsseldorf : VDI-Verl., 1996 (Studium und Praxis).
- Eversheim 2002 Eversheim, Walter: Organisation in der Produktionstechnik 3: Arbeitsvorbereitung. 4., bearb. und korrigierte Aufl. Berlin: Springer, 2002.
- Eversheim/Neuhausen 2001 Eversheim, W.; Neuhausen, J.: Modular Plant Architecture. In: wt Werkstattstechnik online 91 (2001) 10, S. 654–657.
- Feldmann 2000 Feldmann, Klaus: Simulationsbasierte Planungssysteme für Organisation und Produktion : Modellaufbau, Simulationsexperimente, Einsatzbeispiele. Berlin : Springer, 2000.

- Feldmann 2004 Feldmann, Klaus: Montage strategisch ausrichten : Praxisbeispiele marktorientierter Prozesse und Strukturen. Berlin : Springer, 2004 (Engineering online library).
- Feldmann/Slama 2001 Feldmann, Klaus; Slama, S.: Effizienzsteigerung in der Montage durch marktorientierte Strukturen und erweiterte Mitarbeiterkompetenz. In: wt Werkstattstechnik online 91 (2001) 8, S. 483–488.
- Feldmann/Slama 2003 Feldmann, Klaus; Slama, S.: Planen von flexiblen Montagesystemen : Rechnergestützte Konzeptfindung für Klein- und mittelständische Unternehmen. In: wt Werkstattstechnik online 93 (2003) 9, S. 592–598.
- Felix 1998 Felix, Herbert: Unternehmens- und Fabrikplanung : Planungsprozesse, Leistungen und Beziehungen. 1. Aufl. München : Hanser, 1998 (REFA-Fachbuchreihe Betriebsorganisation).
- Fichtmüller 1996 Fichtmüller, Niklas: Rationalisierung durch flexible, hybride Montagesysteme. München, Techn. Univ., Diss., 1995. Berlin : Springer, 1996 (Forschungsberichte IWB 95).
- Franke 2003 Franke, Christina: Feature-basierte Prozesskettenplanung in der Montage als Basis für die Integration von Simulationswerkzeugen in der Digitalen Fabrik. Saarbrücken Univ., Diss., 2003. (Schriftenreihe Produktionstechnik 28).
- Fraunhofer IPA 2010 Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung (IPA): Vorgehen in der Fabrikstrukturplanung und Materialflussoptimierung : Fabrikplanung und Produktionsmanagement.
URL http://www.ipa.fraunhofer.de/fileadmin/www.ipa.fhg.de/pdf/Fabrikplanung_und_Produktionsoptimierung/Vorgehensweise.pdf – Überprüfungsdatum 2013-04-10.
- Fritz 2007 Fritz, Jürgen Ulrich: Zielführende Modellierung und Analyse schlanker Fertigungssysteme mit der digitalen Fabrik. Saarbrücken, Univ., Diss., 2007. (Schriftenreihe Produktionstechnik 41).
- Gagné 1980 Gagné, Robert Mills: Die Bedingungen des menschlichen Lernens. 5., neu bearb. Aufl. nach der 3. amerikan. Aufl. Hannover : Schroedel, 1980 (Beiträge zu einer neuen Didaktikreihe A, Allgemeine Didaktik).
- Ganzenmüller 2001 Ganzenmüller, Armin: Die Vier-Stufen-Methode (REFA) : Theorie und Praxis der Arbeitsunterweisung in Forst- und Landwirtschaft ; für zukünftige Meister und Meisterinnen im Agrarbereich, Studierende der Agrar- oder Forstwirtschaft. Bonn : Aid, 2001.

- Gäse u. a. 2005 Gäse, Th; Günther, U.; Heller, A.; Müller, E.: Kooperative Planung in Netzwerken mit visTABLE : Verteilte Layoutplanung und Visualisierung von Produktionssystemen. In: wt Werkstattstechnik online 95 (2005) 4, S. 205–209.
- Gausemeier 2004 Gausemeier, Jürgen: Planung der Produkte und Fertigungssysteme für die Märkte von morgen : Ein praktischer Leitfaden für mittelständische Unternehmen des Maschinen- und Anlagenbaus ; [Abschlussbericht des Verbundprojekts Strategische Produkt- und Prozessplanung, BMBF Rahmenprogramm "Forschung für die Produktion von morgen"]. Frankfurt am Main : VDMA Verl., 2004.
- Gausemeier u. a. 2001 Gausemeier, Jürgen; Ebbesmeyer, Peter; Kallmeyer, Ferdinand: Produktinnovation : Strategische Planung und Entwicklung der Produkte von morgen. München : Hanser, 2001.
- Gerloff/Hartleib 2006 Gerloff, M.; Hartleib, H.: Fehler und Ursache lückenlos nachweisen : Traceability in flexiblen Montagesystemen zunehmend gefordert. In: Intelligenter Produzieren (2006) 3, S. 22–24.
- Gienke u. a. 2007 Gienke, Helmuth; Kämpf, Rainer; Aldinger, Lothar: Handbuch Produktion : Innovatives Produktionsmanagement: Organisation, Konzepte, Controlling. München : Hanser, 2007.
- Glöckel 2003 Glöckel, Hans: Vom Unterricht : Lehrbuch der allgemeinen Didaktik. 4., durchges. und erg. Aufl. Bad Heilbrunn/Obb. : Klinkhardt, 2003.
- Gomez u. a. 1975 Gomez, P.; Malik, F.; Oeller, K. -H: Systemmethodik : Grundlagen einer Methodik zur Erforschung und Gestaltung komplexer soziotechnischer Systeme. Bern : Haupt, 1975.
- Gourman 1997 Gourman, Jack: The Gourman report : A rating of graduate and professional programs in American and international universities. 8. ed., rev. Los Angeles, Calif. : National Education Standards, 1997.
- Gräsel 2006 Gräsel, C.: Lernstrategien in Lernumgebungen. In: Mandl, H.; Friedrich, H. -F (Hrsg.): Handbuch Lernstrategien. Göttingen ; Bern ; Wien [u.a.] : Hogrefe, 2006, S. 325–333.
- Greschner 1996 Greschner, Jürgen: Lernfähigkeit von Unternehmen Grundlagen organisationaler Lernprozesse und Unterstützungstechnologien für Lernen im strategischen Management. Zugl.: Stuttgart, Univ., Diss., 1996. Frankfurt am Main : Lang, 1996 (Schriften zur Unternehmensplanung 38).
- Grundig 2006 Grundig, Claus-Gerold: Fabrikplanung : Planungssystematik - Methoden - Anwendungen. 2., aktualisierte Aufl. München : Hanser, 2006.

- Gudjons 2007 Gudjons, Herbert: Frontalunterricht - neu entdeckt : Integration in offene Unterrichtsformen. 2., durchges. Aufl. Bad Heilbrunn : Klinkhardt, 2007 (UTB Schulpädagogik, Erziehungswissenschaft 2948).
- Gudjons u. a. 1991 Gudjons, Herbert; Teske, Rita; Winkel, Rainer: Unterrichtsmethoden: Grundlegung und Beispiele. Hamburg : Bergmann + Helbig, 1991.
- Gudjons u. a. 2006 Gudjons, Herbert; Winkel, Rainer; Klafki, Wolfgang: Didaktische Theorien. 12. Aufl. Hamburg : Bergmann + Helbig, 2006 (PB-Bücher 1).
- Günther/Tempelmeier 2005 Günther, Hans-Otto; Tempelmeier, Horst: Produktion und Logistik. 6, verb. Aufl. Berlin : Springer, 2005 (Springer-Lehrbuch).
- Hanselmann 2001 Hanselmann, Jochen: Wissenstransfer zwischen Produktentstehungsprozessen. Stuttgart, Univ., Diss. 2001. Heimsheim : Jost-Jetter, 2001 (IPA-IAO Forschung und Praxis 340).
- Heger 2007 Heger, Christoph Lutz: Bewertung der Wandlungsfähigkeit von Fabrikobjekten. Hannover, Univ., Diss. 2007. Garbsen : PZH Produktionstechn. Zentrum, 2007 (Berichte aus dem IFA 2007,1).
- Heilala/Montonen 2006 Heilala, J. Helin K.; Montonen, J.: Total cost of ownership analysis for modular final assembly systems. In: International Journal of Production Research 44 (2006) 18/19, S. 3967–3988.
- Heimann u. a. 1979 Heimann, Paul; Otto, Gunter; Schulz, Wolfgang: Unterricht : Analyse und Planung. 10., unveränd. Aufl. Hannover : Schroedel, 1979 (Auswahlreihe B 1/2).
- Heinrich u. a. 2007 Heinrich (Hrsg.); Grote, Karl-Heinrich (Hrsg.); Feldhusen, Jörg (Hrsg.); Dietz, Peter (Hrsg.); Ziegmann, Gerhard (Hrsg.): Dubbel : Taschenbuch für den Maschinenbau. 22., Neubearb. und erw. Aufl. Berlin : Springer, 2007.
- Heisel/Meitzner 2004 Heisel, Uwe; Meitzner, M.: Rekonfigurierbare Bearbeitungssysteme : Modulare Werkzeugmaschinen zur Anpassung an den Produktlebenszyklus. In: wt Werkstattstechnik online 94 (2004) 10, S. 517–520.
- Hernández Morales 2003 Hernández Morales, Roberto: Systematik der Wandlungsfähigkeit in der Fabrikplanung. Als Ms. gedr. Düsseldorf : VDI-Verl., 2003.
- Hesse 1993 Hesse, Stefan: Montagemaschinen : Grundlagen und Prinzipien in Aufbau, Funktion, Antrieb und Steuerung montierender Maschinen. 1. Aufl. Würzburg : Vogel, 1993 (Kamprath-Reihe).

- Hildebrand 2005 Hildebrand, Torsten: Theoretische Grundlagen der bausteinbasierten, technischen Gestaltung wandlungsfähiger Fabrikstrukturen nach dem PLUG+PRODUCE Prinzip. Chemnitz, Techn. Univ., Diss. 2005. Chemnitz : IBF, 2005 (Wissenschaftliche Schriftenreihe des Institutes für Betriebswissenschaften und Fabrikssysteme 45).
- Hildebrand u. a. 2005 Hildebrand, Torsten; Mäding, Katja; Günther, Uwe: PLUG + PRODUCE : Gestaltungsstrategien für die wandlungsfähige Fabrik. Chemnitz : IBF - Inst. für Betriebswiss. und Fabrikssysteme Techn. Univ., 2005.
- Hohmann 2003 Hohmann, R. (Hrsg.): Proceedings of the 17th Simulation Symposium ASIM 2003 : SCS Publishing House, 2003.
- Hoppenstedt 2007 Hoppenstedt: Angepasst : Montagetechnik im Wandel – Kooperation und Simulation. In: Handling Online Fachprotal für - Handhabunstechnik - Fabrikautomation - Intralogistik (08.09.2007). URL: <http://www.handling.de/M Montagetechnik/M Montagetechnik---Flexible-Montagesysteme.htm>. Aktualisierungsdatum 20.12.2010
- Horváth 2009 Horváth, Péter: Controlling. 11., vollst. überarb. Aufl. München : Vahlen, 2009 (Vahlens Handbücher der Wirtschafts- und Sozialwissenschaften).
- Hull 1958 Hull, Clark Leonard: A behavior systeman introduction to behavior theory concerning the individual organism. 2. Aufl. New Haven : Yale Univ. Press, 1958.
- Hungenberg/Wulf 2007 Hungenberg, Harald; Wulf, Torsten: Grundlagen der Unternehmensführung. 3. aktualisierte und erweiterte Auflage. Berlin, Heidelberg : Springer, 2007 (Springer-Lehrbuch).
- IFF 2006 IFF, Universität Stuttgart: Bildungsangebote im Bereich Industrial Engineering : Unveröffentlichte Ergebnisse einer internen Forschungsstudie des Instituts für industrielle Fertigung und Fabrikbetrieb (IFF), Stuttgart 2006.
- IMSE 2010 Department of Industrial and Manufacturing Systems Engineering (IMSE) of the University of Hong Kong: Definition of Industrial Engineering. URL <http://www.imse.hku.hk/about/IE.htm/>. – Aktualisierungsdatum: 2010-09-05.
- IMSE 2010 Department of Industrial and Manufacturing Systems Engineering (IMSE) of the University of Hong Kong: Definition of Industrial Engineering. URL <http://www.imse.hku.hk/about/IE.htm/>. – Aktualisierungsdatum: 2010-09-05.

- Jovane u. a. 2009 Jovane, Francesco; Westkämper, E.; Williams, David: The ManuFuture Road : Towards Competitive and Sustainable High-Adding-Value Manufacturing. Berlin, Heidelberg : Springer, 2009.
- Kaluza/Behrens 2005 Kaluza, Bernd; Behrens, Stefan: Erfolgsfaktor Flexibilität : Strategien und Konzepte für wandlungsfähige Unternehmen. Berlin : Schmidt, 2005 (Technological economics 60).
- Kapp 2011 Kapp, R.: Ein betriebsbegleitendes Fabriksimulationssystem zur durchgängigen Unterstützung der kontinuierlichen Fabrikadaption. Heimsheim : Jost-Jetter Verlag, 2011 (IPA-IAO Forschung und Praxis 504).
- Kapp u. a. 2005 Kapp, R.; Le Blond, J.; Westkämper, E.: Fabrikstruktur und Logistik integriert planen : Erweiterung eines kommerziellen Werkzeugs der Digitalen Fabrik für den Mittelstand. In: wt Werkstattstechnik online 95 (2005) 4, S. 191–196.
- Katalinic 2002 Katalinic B, Visekruna V. Kordic V.: Bionic Assembly Systems : Design and Scheduling of Next Generation of Self-organising Complex Flexible Assembly System. In: Lee, K. et al (Hrsg.): 35th CIRP International Seminar on Manufacturing Systems : "Manufacturing Technology in the Information Age". Seoul, Korea, 2002, S. 155–162.
- Kettner u. a. 1984 Kettner, Hans; Schmidt, Jürgen; Greim, Hans-Robert: Leitfaden der systematischen Fabrikplanung. München : Hanser, 1984.
- Kidd 1994 Kidd, Paul T.: Agile Manufacturing: Forging new frontiers. Wokingham: Addison-Wesley, 1994
- Kinkel 2005 Kinkel, S.: Anforderungen an die Fertigungstechnik von morgen : Wie verändern sich Variantenzahlen, Losgrößen, Materialeinsatz, Genauigkeitsanforderungen und Produktlebenszyklen tatsächlich. Karlsruhe : Fraunhofer ISI, 2005 (Mitteilungen aus der Produktionsinnovationserhebung. PI-Mitteilungen, 37).
- Kinkel u. a. 2007 Kinkel, S.; Lay, G.; Jäger, A.: Mehr Flexibilität durch Organisation : Stellenwert strategischer Flexibilitätsziele, Nutzung organisatorischer Befähiger und Erreichbarkeit von Flexibilitätszuwächsen. Karlsruhe : Fraunhofer ISI, 2007 (Mitteilungen aus der ISI-Erhebung zur "Modernisierung der Produktion", 42).
- Kirchner u. a. 2003 Kirchner, Sören; Winkler, Ralph; Westkämper, E.: Unternehmensstudie zur Wandlungsfähigkeit von Unternehmen : Ergebnisse einer Unternehmensbefragung unter 200 deutschen produzierenden Unternehmen. In: wt Werkstattstechnik online 93 (2003) 4, S. 254–260.

- Kirner u. a. 2006 Kirner, E.; Armbruster, H.; Kinkel, S.: Kontinuierlicher Verbesserungsprozess - Baustein zur Prozessinnovation in KMU : Nutzung und Effekte von KVP im Verarbeitenden Gewerbe. Karlsruhe, 2006 (Mitteilungen aus der ISI-Erhebung zur "Modernisierung der Produktion", 40).
- Klafki 2007 Klafki, Wolfgang: Neue Studien zur Bildungstheorie und Didaktik : Zeitgemäße Allgemeinbildung und kritisch-konstruktive Didaktik. 6., neu ausgestattete Aufl. Weinheim : Beltz, 2007 (Beltz-Bibliothek).
- Kletti 2006 Kletti, Jürgen: MES - Manufacturing Execution System : Moderne Informationstechnologie zur Prozessfähigkeit der Wertschöpfung. Berlin, Heidelberg : Springer, 2006.
- Klimecki u. a. 1992 Klimecki, Rüdiger; Probst, Gilbert; Eberl, Peter: Systementwicklung als Managementproblem. In: Staehle, Wolfgang H. (Hrsg.): Managementforschung : 2, 1992 (Managementforschung, 2), S. 103–162.
- Kluge u. a. 2007 Kluge, S.; Riffelmacher, P.; Hummel, V.; Westkämper, E.: Montagesystemplanung : ein Handlungsfeld der Lernfabrik für aIE. In: wt Werkstattstechnik online 97 (2007) 3, S. 150–156.
- König u. a. 1979 König, Ernst; Riedel, Harald; König/Riedel: Systemtheoretische Didaktik. 4., überarb. Aufl. Weinheim : Beltz, 1979.
- Konold/Reger 2009 Konold, Peter; Reger, Herbert: Praxis der Montagetechnik : Produktdesign, Planung, Systemgestaltung. 2., überarb. und erw. Aufl. Wiesbaden : Vieweg, 2009.
- Koren 2005 Koren, Y.: Reconfigurable Manufacturing and Beyond. In: 3rd International CIRP Conference on Reconfigurable Manufacturing. University of Michigan, Ann Arbor, USA, 10.-12. Mai 2005, S. 1–6.
- Kösel-Merkel/Hildebrand 2002 Kösel-Merkel, J.; Hildebrand, T.: Wandlungsfähige Fabriken auf der Basis integrierter Modularkonzepte. In: „Karlsruher Arbeitsgespräche – Forschung für die Produktion von morgen“ : 14-15 März 2002. Karlsruhe, 2002, S. 347–355.
- Krieger 1998 Krieger, David J: Einführung in die allgemeine Systemtheorie. 2., unveränd. Aufl. München : Fink, 1998 (UTB für WissenschaftUni-Taschenbücher 1904).
- Kron 2004 Kron, Friedrich W: Grundwissen Didaktik : Mit 18 Tabellen. 4., neu bearb. Aufl. München : Reinhardt, 2004 (UTB Pädagogik 8073).
- Krüger/Helsper 2010 Krüger, Heinz-Hermann (Hrsg.); Helsper, Werner (Hrsg.): Einführung in Grundbegriffe und Grundfragen der Erziehungswissenschaft. 9. Aufl. Opladen : Budrich, 2010 (UTB Erziehungswissenschaft 8092).
- Kudlich 2000 Kudlich, Thomas: Optimierung von Materialflusssystemen mit Hilfe der Ablaufsimulation. München, Techn. Univ., Diss. 2000.

- Kühn 2006a Kühn, Wolfgang: Digital factory : Integration of simulation from product and production planning towards operative control. In: Borutzky, W.; Orsoni, A.; Zobel, R. (Hrsg.): ECMS : 20th European Conference on Modelling and Simulation. St. Augustin, 31.05.2006.
- Kühn 2006b Kühn, Wolfgang: Digitale Fabrik : Fabriksimulation für Produktionsplaner. München : Hanser, 2006.
- Kuhn 2007 Vogel Business Media GmbH & Co. KG: Modulare Montagesysteme sind Garant für Produktivität und Sicherheit. URL <http://www.maschinenmarkt.vogel.de/themenkanaele/automatisierung/montageundhandhabungstechnik/articles/57947/> – Überprüfungsdatum 2013-04-10.
- Küppers u. a. 2001 Küppers, Bert; Leuthold, Dieter; Pütz, Helmut: Handbuch berufliche Aus- und Weiterbildung : Leitfaden für Betriebe, Schulen, Ausbildungsstätten und Hochschulen. 2. Aufl. München : Vahlen, 2001.
- Lackmann 2007 Lackmann, J.: Mechanik: 6 Hydro- und Aerodynamik (Strömungslehre, Dynamik der Fluide). In: Heinrich; Grote, Karl-Heinrich; Feldhusen, Jörg; Dietz, Peter; Ziegmann, Gerhard (Hrsg.): Dubbel : Taschenbuch für den Maschinenbau. 22., neubearb. und erw. Aufl. Berlin : Springer, 2007, S. B48 - B64.
- Landau/Luczak 2001 Landau, K. (Hrsg.); Luczak, H. (Hrsg.): Ergonomie und Organisation in der Montage. München : Hanser, 2001.
- Lässig 2006 Lässig, Jörg: Gestaltungslösung für die Dienstleistungsfabrik Montage. Chemnitz, Techn. Univ., Diss. 2005. (Wissenschaftliche Schriftenreihe des Institutes für Betriebswissenschaften und Fabrikssysteme 52).
- Lay/Maloca 2005 Lay, G.; Maloca, S.: Aufgabenintegration - Abkehr vom Taylorismus? : Stand der Nutzung integrierter Modernisierungskonzepte zur Ausweitung des Tätigkeitsspektrums auf Werkerebene. Karlsruhe : Fraunhofer ISI, 2005 (Mitteilungen aus der Produktionsinnovationserhebung. PI-Mitteilungen, 36).
- Lee 2002 Lee, K. et al (Hrsg.): 35th CIRP International Seminar on Manufacturing Systems : "Manufacturing Technology in the Information Age". Seoul, Korea, 2002.
- Lefrancois 2006 Lefrancois, Guy R.: Psychologie des Lernens. 4., überarb. u. erw. Aufl. Berlin : Springer Berlin, 2006.
- Lenzen 1989 Lenzen, Dieter (Hrsg.); Rost, Friedrich (Mitarb.): Pädagogische Grundbegriffe. Reinbek bei Hamburg : Rowohlt, 1989.
- Lindemann u. a. 2006 Lindemann, Udo; Reichwald, Ralf; Zäh, M.: Individualisierte Produkte - Komplexität beherrschen in Entwicklung und Produktion. Berlin, Heidelberg : Springer-Verlag, 2006.

- Lödning 2008 Lödning, Hermann: Verfahren der Fertigungssteuerung : Grundlagen, Beschreibung, Konfiguration. 2., erw. Aufl. Berlin, Heidelberg : Springer-Verlag, 2008 (VDI-Buch).
- Lotter/Wiendahl 2006 Lotter, Bruno; Wiendahl, H. -P: Montage in der industriellen Produktion : Ein Handbuch für die Praxis. Berlin, Heidelberg : Springer-Verlag, 2006.
- Malik 2003 Malik, Fredmund: Strategie des Managements komplexer Systeme : Ein Beitrag zur Management-Kybernetik evolutionärer Systeme. Hochsch., Habil.-Schr.--St. Gallen, 1977. 8., unveränd. Aufl. Bern : Haupt, 2003.
- Mandl/Friedrich 2006 Mandl, H. (Hrsg.); Friedrich, H. -F (Hrsg.): Handbuch Lernstrategien. Göttingen ; Bern ; Wien [u.a.] : Hogrefe, 2006.
- Maynard/Zandin 2001 Maynard, Harold Bright; Zandin, Kjell B: Maynard's industrial engineering handbook. 5. ed. /. New York : McGraw-Hill, 2001 (McGraw-Hill standard handbooks).
- Meier 2005 Meier, K. -J: Montage in Hochlohnländern. In: wt Werkstattstechnik online 95 (2005) 4, S. 232–235.
- Merz 2000 Merz, Eberhard: Lernen - das gegenwärtige Ereignis für die Zukunft : Wie man wettbewerbsfähig wird und bleibt. Berlin : Springer, 2000.
- Meyer 1995 Meyer, Hilbert: Unterrichts-Methoden; II: Praxisband. Frankfurt/M. : Cornelsen, 1995.
- Meyer 2008 Meyer, Hilbert: Unterrichts-Methoden; I: Theorieband. Frankfurt/M. : Cornelsen, 2008.
- Meyer 2009 Meyer, Hilbert: Leitfaden Unterrichtsvorbereitung : [der neue Leitfaden]. 4. Aufl., komplett überarb. Berlin : Cornelsen, 2009.
- Meyer/Paradies 2005 Meyer, Hilbert; Paradies, Liane: Frontalunterricht lebendiger machen. 9. Aufl. Oldenburg : Didaktisches Zentrum Univ., 2005 (Oldenburger Vordrucke 192).
- Milberg 2002 Milberg, Joachim: Erfolg in Netzwerken. 1. Aufl. Berlin : Springer, 2002.
- Miller 1986 Miller, Max: Kollektive Lernprozesse : Studien zur Grundlegung einer soziologischen Lerntheorie. 1. Aufl. Frankfurt am Main : Suhrkamp, 1986.
- Minguez u. a. 2010 Minguez, Jorge; Lucke, Dominik; Jakob, Mihály; Constantinescu, Carmen; Mitschang, Bernhard; Westkämper, Engelbert: Introducing SOA into Production Environments - The Manufacturing Service Bus. In: Sustainable Production and Logistics in Global Networks. Wien Graz : Neuer Wissenschaftlicher Verlag, 2010, S. 1117–1124.
- Möller 1976 Möller, Christine: Technik der Lernplanung : Methoden und Probleme der Lernzielerstellung. 5. Aufl., (26. - 30. Tsd.). Weinheim : Beltz, 1976 (Beltz-Studienbuch 7).

- Müller/Brecher 2009 Müller, Rainer; Brecher, Christian: Studie Strategien und Trends in der Montagetechnik und -organisation : Cluster of excellence integrative production technology for high wage countries. Aachen : Apprimus, 2009 (Excellence in materials and production).
- Nägele/Schreiner 2002 Nägele, R.; Schreiner, P.: Potenziale und Grenzen von Business Process Management Tools für geschäftsprozessorientiertes Wissensmanagement. In: Geschäftsprozessorientiertes Wissensmanagement. Berlin : Springer, 2002, S. 25–46.
- National Research Council 1998 National Research Council, Committee On Visionary Manufacturing Cha Commission On Engineering And Technical: Visionary manufacturing challenges for 2020. Washington, D.C : National Academy Press, 1998.
- Nickolaus/Schanz 2008 Nickolaus, Reinhold (Hrsg.); Schanz, Heinrich (Hrsg.): Didaktik der gewerblich-technischen Berufsbildung : Konzeptionelle Entwürfe und empirische Befunde. Baltmannsweiler : Schneider-Verl. Hohengehren, 2008 (Diskussion Berufsbildung 9).
- Niemann 2009 Niemann, J.: Life Cycle Management – Das Paradigma der ganzheitlichen Produktlebenslaufbetrachtung. In: Bullinger H.-J.; Spath, D.; Warnecke, H. -J; Westkämper, E. (Hrsg.): Handbuch Unternehmensorganisation : Strategien, Planung, Umsetzung. 3., neu bearb. Aufl. Berlin, Heidelberg : Springer, 2009 (VDI-Buch), S. 224–235.
- Nyhuis 2008a Nyhuis, P. (Hrsg.): Beiträge zu einer Theorie der Logistik. Berlin, Heidelberg : Springer, 2008.
- Nyhuis 2008b Nyhuis, P. Heinen T. Reinhart G. Rimpau C. Abele E. und Wörn A.: Wandlungsfähige Produktionssysteme. In: wt Werkstattstechnik online 98 (2008) 1/2, S. 85–91.
- Nyhuis u. a. 2004 Nyhuis, P.; Elscher, A.; Kolakowski, M.: Prozessmodell der Synergetischen Fabrikplanung : Ganzheitliche Integration von Prozess- und Raumsicht. In: wt Werkstattstechnik online 94 (2004) 4, S. 95–99.
- Nyhuis u. a. 2008 Nyhuis, Peter; Reinhart, Gunther; Abele, Eberhard: Wandlungsfähige Produktionssysteme : Heute die Industrie von morgen gestalten. Garbsen : PZH Produktionstechnisches Zentrum, 2008.
- Okino 1994 Okino, Nori: Bionic Manufacturing Systems. In: Manufacturing Systems 23 (1994), Nr. 3, S. 175-187
- Olbert-Bock 2002 Olbert-Bock, Sibylle: Lernprozesse bei Veränderungen in Unternehmen. Univ., Diss.--Karlsruhe. Frankfurt am Main : Lang, 2002 (Arbeitswissenschaft in der betrieblichen Praxis 20).

- Ott 2007 Ott, Bernd: Grundlagen des beruflichen Lernens und Lehrens : Ganzheitliches Lernen in der beruflichen Bildung. 3., überarb. und erw. Aufl. Berlin : Cornelsen, 2007.
- Ott 2008 Ott, Bernd: Eigenverantwortliches und arbeitsprozessorientiertes Lernen als technikdidaktische Kategorie. In: Nickolaus, Reinhold; Schanz, Heinrich (Hrsg.): Didaktik der gewerblich-technischen Berufsbildung : Konzeptionelle Entwürfe und empirische Befunde. Baltmannsweiler : Schneider-Verl. Hohengehren, 2008 (Diskussion Berufsbildung, 9), S. 25–43.
- Pätzold u. a. 2003 Pätzold, G.; Klusmeyer, J.; Wingels, J.; Lang, M.: Lehr-Lern-Methoden in der beruflichen Bildung : eine empirische Untersuchung in ausgewählten Berufsfeldern : Oldenburg : Bibliotheks- und Informationssystem der Universität, 2003.
- Pawellek 2008 Pawellek, Günther: Ganzheitliche Fabrikplanung : Grundlagen, Vorgehensweise, EDV-Unterstützung. Berlin, Heidelberg : Springer, 2008 (VDI-Buch).
- Pawlowsky 1992 Pawlowsky, Peter: Betriebliche Qualifikationsstrategien und organisationales Lernen. In: Staehle, Wolfgang H. (Hrsg.): Managementforschung : 2, 1992 (Managementforschung, 2), S. 177–237.
- Peterßen 2003 Peterßen, Wilhelm H: Lehreraufgabe Unterrichtsplanung : Das Weingartener Planungsmodell. 1. Aufl. München : Oldenbourg, 2003.
- Peterßen 2006 Peterßen, Wilhelm H: Handbuch Unterrichtsplanung : Grundfragen, Modelle, Stufen, Dimensionen. 9., aktualisierte und überarb. Aufl., [Nachdr.]. München : Oldenbourg, 2006.
- Piaget 2003 Piaget, Jean: Das Erwachen der Intelligenz beim Kinde : Autorisierte Übersetzung nach der dritten Auflage. 5. Aufl. Stuttgart : Klett-Cotta, 2003.
- Piaget/Fatke 1981 Piaget, Jean; Fatke, Reinhard: Jean Piaget über Jean Piagetsein Werk aus seiner Sicht. München : Kindler, 1981.
- Porter 2000 Porter, Michael Eugene: Wettbewerbsvorteile : Spitzenleistungen erreichen und behaupten = (Competitive advantage). 6. Aufl. Frankfurt/Main : Campus-Verl., 2000.
- Porter 2008 Porter, Michael E: Wettbewerbsstrategie : Methoden zur Analyse von Branchen und Konkurrenten = (Competitive strategy). 11., durchges. Aufl. Frankfurt/Main : Campus-Verl., 2008.
- REFA 1984 REFA: Methodenlehre des Arbeitsstudiums : Teil 1 Grundlagen. 7. Aufl. München : Hanser, 1984.

- Reinhart 1997 Reinhart, G.: Innovative Prozesse und Systeme : Der Weg zu Flexibilität und Wandlungsfähigkeit. In: Milberg, J.; Reinhart, G. (Hrsg.): Mit Schwung und Aufschwung : Münchner Kolloquium. Landsberg/Lech, 1997.
- Reinhart u. a. 2007 Reinhart, G.; Tekouo, W.; Rösel, W.; Wiesbeck, M.; Vogl, W.: Robotergestützte kognitive Montagesysteme : Montagesysteme der Zukunft. In: wt Werkstattstechnik online 97 (2007) 9, S. 689–693.
- Reinhart/Wildemann 2000 Reinhart, Gunther; Wildemann, Horst: Virtuelle Fabrik : Wandlungsfähigkeit durch dynamische Unternehmenskooperationen. München : TCW Transfer-Centrum, 2000 (TCW-Report 21).
- Roßkopf 1999 Roßkopf, M.: Prozessmodule erhöhen die technische Flexibilität. In: HYMOS: Hybride Montage-Systeme : BMBF-Verbundprojekt FKZ 02 PV 18057; Abschlußbericht. Karlsruhe , : Gesellschaft f. Arb.-Schutz- u. Humanisierungsforschung, 1999, S. 47–84.
- Rück u. a. 1992 Rück, Rudolf; Stockert, Armin; Vogel, Franz Otto: CIM und Logistik im Unternehmen : Praxiserprobtes Gesamtkonzept für die rechner-integrierte Auftragsabwicklung. München, Wien : Hanser, 1992.
- Rudolf 2007 Rudolf, Henning: Wissensbasierte Montageplanung in der digitalen Fabrik am Beispiel der Automobilindustrie. München, Techn. Univ., Diss. 2006. München : Utz, 2007 (Forschungsberichte IWB 204).
- Schack 2008 Schack, Rainer: Methodik zur bewertungsorientierten Skalierung der Digitalen Fabrik. München, Techn. Univ., Diss. 2007. München : Utz, 2008 (IWB Forschungsberichte 207).
- Schatz/Mußbach-Winter 2010 Schatz, A.; Mußbach-Winter, U.: Kopplung von ERP und MES - Aspekte der Schnittstellengestaltung. In: Productivity management 15 (2010) 2, S. 18–21.
- Scheer 2003 Scheer, August-Wilhelm: Real-Time Enterprise : Mit beschleunigten Managementprozessen Zeit und Kosten sparen. Berlin : Springer, 2003.
- Schelten 2005 Schelten, Andreas: Grundlagen der Arbeitspädagogik. 4., vollst. neu bearb. Aufl. Stuttgart : Steiner, 2005 (Pädagogik).
- Schenk/Wirth 2004 Schenk, Michael; Wirth, Siegfried: Fabrikplanung und Fabrikbetrieb : Methoden für die wandlungsfähige und vernetzte Fabrik. Berlin, Heidelberg : Springer, 2004.
- Schirra 2009 Schirra, Roman: Entwicklung eines Systems zur immersiven Arbeitssystemgestaltung mit CAD-Schnittstelle. Stuttgart, Univ., Diss. 2008. Heimsheim : Jost-Jetter, 2009 (IPA-IAO-Forschung und Praxis Nr. 480).

- Schirrmeister u. a. 2003 Schirrmeister, E.; Warnke, P.; Dreher, C.; Fraunhofer-Institut für Systemtechnik und Innovationsforschung-ISI, Karlsruhe: Untersuchung über die Zukunft der Produktion in Deutschland: Sekundäranalyse von Vorausschau-Studien für den europäischen Vergleich. Deutscher Anteil des Eureka-Factory-Projekts Informan 2000+. Abschlussbericht : Sekundäranalyse von Vorausschau-Studien für den europäischen Vergleich. Deutscher Anteil des Eureka-Factory-Projekts Informan 2000+. Abschlussbericht. Karlsruhe : Fraunhofer ISI, 99 S., 2003.
- Schlick u. a. 2010 Schlick, Christopher M; Bruder, Ralph; Luczak, Holger: Arbeitswissenschaft. 3., vollst. überarb. und erw. Aufl. Berlin: Springer, 2010.
- Schmidt 1992 Schmidt, Maximilian: Konzeption und Einsatzplanung flexibel automatisierter Montagesysteme. Techn. Univ., Diss.--München, 1991. Berlin u.a. : Springer, 1992 (Iwb-Forschungsberichte Bd. 41).
- Schmigalla 1995 Schmigalla, Hans: Fabrikplanung : Begriffe und Zusammenhänge. 1. Aufl. München : Hanser, 1995 (REFA-Fachbuchreihe Betriebsorganisation).
- Schotten u. a. 1998 Schotten, Martin; Luczak, Holger; Eversheim, Walter: Produktionsplanung und -steuerung : Grundlagen, Gestaltung und Konzepte. 1. Aufl. Berlin : Springer, 1998 (VDI).
- Schöttner 1999 Schöttner, Josef: Produktdatenmanagement in der Fertigungsindustrie : Prinzip, Konzepte, Strategien. München : Hanser, 1999.
- Schuh 2002 Schuh, G.: Kooperation als Wettbewerbsfaktor - Prämierungsveranstaltung : 18. Oktober 2002 (Die Beste Kooperation 2002). Hamburg, 2002. – Aktualisierungsdatum: 2002.
- Schuh 2005 Schuh, Günther: Produktkomplexität managen : Strategien - Methoden - Tools. 2., überarb. und erw. Aufl. München : Hanser, 2005.
- Schuh 2006 Schuh, Günther: Produktionsplanung und -steuerung : Grundlagen, Gestaltung und Konzepte. 3., völlig neu bearbeitete Auflage. Berlin, Heidelberg : Springer, 2006 (VDI-Buch).
- Schuh 2007 Schuh, Günther: Effizient, schnell und erfolgreich : Strategien im Maschinen- und Anlagenbau. Frankfurt, M. : VDMA-Verl., 2007 (Betriebswirtschaft).
- Schuh u. a. 2004a Schuh, G.; Wemhöner, N.; Kampker, A.: Lebenszyklusbewertung flexibler Produktionssysteme : Kennzahlen und Verfahren für langfristig optimale Entscheidungen in einer dynamischen Umwelt. In: wt Werkstattstechnik online 94 (2004) 4, S. 116–121.

- Schuh u. a. 2004b Schuh, Günther; Harre, J.; Gottschalk, S.; Kampker, A.: Design for Changeability (DFC) – Das richtige Maß an Wandlungsfähigkeit finden : Ergebnisse des EU-Verbundforschungsprojektes „Modular Plant Architecture“. In: wt Werkstattstechnik online 94 (2004) 4, S. 100–104.
- Schuh u. a. 2007a Schuh, G.; Gottschalk, S.; Lösch, F.; Wesch, C.: Fabrikplanung im Gegenstromverfahren. In: wt Werkstattstechnik online 97 (2007) 4, S. 195–199.
- Schuh u. a. 2007b Schuh, G.; Wesch, C.; Gulden, A.; Gottschalk, S.: Objektorientierte Fabrikplanung : Teil 2: Architekturen und Vorgehensweise. In: wt Werkstattstechnik online 97 (2007) 3, S. 166–169.
- Schuh u. a. 2007c Schuh, G.; Wesch, C.; Koch, S.; Gulden, A.; Gottschalk, S.: Objektorientierte Fabrikplanung : Teil 1: Modellierung modularer Produktionsstrukturen. In: wt Werkstattstechnik online 97 (2007) 3, S. 170–174.
- Schulz 1980 Schulz, Wolfgang: Unterrichtsplanung. 2., durchges. Aufl. München : Urban & Schwarzenberg, 1980.
- Schulze u. a. 2003 Schulze, Thomas (Hrsg.); Schlechtweg, Stefan (Hrsg.); Hinz, Volkmar (Hrsg.): Simulation und Visualisierung : Proceedings der Tagung "Simulation und Visualisierung 2003" am Institut für Simulation und Graphik der Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg am 6. und 7. März 2003. Erlangen : SCS-European Publishing House, 2003.
- Schwalbach/Oberhammer 2008 Schwalbach, Joachim; Oberhammer, Clemens: Produktionstheorie. 2., überarb. Aufl. München : Vahlen, 2008 (Vahlens Kurzlehrbücher).
- Seifert/Weitz 1999 Seifert, Hartmut; Weitz, Bernd O: Handlungsorientierte Methoden und ihre Umsetzung : Technik ; [technisches Experiment, Projektarbeit, Erkundung, Expertenbefragung, Demonstration, Produktlinienanalyse, Werkaufgabe]. Bad Homburg vor der Höhe : Gehlen, 1999 (Gehlenbuch 05137).
- Silcher u.a. 2010 Silcher, S., Minguez, J., Scheibler, T., & Mitschang, B.: A Service-Based Approach for Next-Generation Product Lifecycle Management. In 11th IEEE International Conference on Information Reuse and Integration (pp 219-224), Las Vegas, NV, USA, 2010
- Skinner 1938 Skinner, B. F.: The behavior of organisms : An experimental analysis. New York : Appleton, 1938 (The Century psychology series).
- Slama 2004 Slama, Stefan: Effizienzsteigerung in der Montage durch marktorientierte Montagestrukturen und erweiterte Mitarbeiterkompetenz. Erlangen-Nürnberg, Univ., Diss. 2004. Bamberg : Meisenbach, 2004 (Fertigungstechnik - Erlangen 148).

- Spanner-Ulmer 2009 Spanner-Ulmer, B.: "Höher, schneller, weiter" : Produktivitätsstrategien für die Zukunft!? In: Deutsche MTM-Vereinigung e.V. (Hrsg.): In schwachen Zeiten auf starke vorbereiten: Branchenübergreifende Impulse für die Zukunft, Stuttgart 22.10.2009.
- Spath 2008 Spath, Dieter: Organisatorische Wandlungsfähigkeit produzierender Unternehmen : Unternehmenserfahrungen, Forschungs- und Transferbedarfe. Stuttgart : Fraunhofer IRB Verlag, 2008.
- Spath u. a. 2002 Spath, D.; Baumeister, M.; Rasch, D.: Wandlungsfähigkeit und Planung von Fabriken : Ein Ansatz durch Fabriktypologisierung und unterstützenden Strukturbaukasten. In: Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb (ZWF) 97 (2002) 1-2, S. 28–32.
- Spath u. a. 2007 Spath, D.; Scholtz, O.; rally, P.; Bender, M.: Montagesystem-Check : Produkt und Montageaufgabe bestimmen die Auswahl des Montagesystems. In: wt Werkstattstechnik online 97 (2007) 9, S. 625–632.
- Spath/Baumeister 2001 Spath, D.; Baumeister, M.: Synchronisation of material flow and modular systems. In: Assembly Automation 21 (2001) 2, S. 152–157.
- Spur 1986 Spur, Günter: Fortgeschrittene Produktionssysteme im Wandel der Arbeitswelt (Reinisch Westfälische Akademie der Wissenschaft). Düsseldorf, 1986. – Aktualisierungsdatum: 1986.
- Spur/Stöferle 1986 Spur, Günter (Hrsg.); Stöferle, Theodor (Hrsg.): Handbuch der Fertigungstechnik Bd. 5: Fügen, Handhaben und Montieren. München : Hanser, 1986.
- Statistisches Bundesamt 2008 Statistisches Bundesamt: Datenreport 2008 : Ein Sozialbericht für die Bundesrepublik Deutschland. Bonn : Bundeszentrale für politische Bildung, 2008.
- Steinmann/Schreyögg 2005 Steinmann, Horst; Schreyögg, Georg: Management : Grundlagen der Unternehmensführung; Konzepte, Funktionen, Fallstudien. 6. Aufl. Wiesbaden : Gabler, 2005.
- Stowasser 2010 Stowasser, S.: Die Verankerung des Industrial Engineering in gegenwärtigen Organisationskonzepten. In: Zülch, Gert (Hrsg.): Arbeitsorganisation im Zeichen wirtschaftlicher und demographischer Veränderungen: Beiträge im Rahmen des Kolloquiums zum 25-jährigen Bestehen des ifab am 2. Juli 2010 in Karlsruhe. Aachen : Shaker, 2010 (Forschungsberichte aus dem Institut für Arbeitswissenschaft und Betriebsorganisation der Universität Karlsruhe, 39).
- Straßburger 2003 Straßburger, S.: HLA als Basis eines Simulationsbackbones für die Digitale Fabrik. In: Hohmann, R. (Hrsg.): Proceedings of the 17th Simulation Symposium ASIM 2003 : SCS Publishing House, 2003, S. 355–360.

- Treml 2010 Treml, A. -K: Lernen. In: Krüger, Heinz-Hermann; Helsper, Werner (Hrsg.): Einführung in Grundbegriffe und Grundfragen der Erziehungswissenschaft. 9. Aufl. Opladen : Budrich, 2010 (UTB Erziehungswissenschaft, 8092), S. 97.
- US News 2010 U.S. News & World Report L.P.: U.S. News & World Report Ranking Portal. URL <http://www.usnews.com/>. – Aktualisierungsdatum: 2010-09-13.
- VDI 2219 VDI-Richtlinie. VDI 2219. 2002-11: Informationsverarbeitung in der Produktentwicklung - Einführung und Wirtschaftlichkeit von EDM/PDM-Systemen.
- VDI 2860 VDI-Richtlinie. VDI 2860. 1990-05: Montage- und Handhabungstechnik; Handhabungsfunktionen, Handhabungseinrichtungen; Begriffe, Definitionen, Symbole.
- VDI 3644 VDI-Richtlinie. VDI 3644. 2010-08: Analyse und Planung von Betriebsflächen - Grundlagen, Anwendung und Beispiele.
- VDI 4499 VDI-Richtlinie. VDI 4499 - Blatt 1. 2008-02: Digitale Fabrik - Grundlagen.
- VDI 5200 VDI-Richtlinie. VDI 5200 - Blatt 1. 2009-01: Fabrikplanung - Planungsvorgehen.
- VDI 5600 VDI-Richtlinie. VDI 5600 - Blatt 1. 2007-12: Fertigungsmanagementsysteme - Manufacturing Execution Systems (MES).
- VDMA 2010 VDMA: Maschinenbau in Zahl und Bild 2010. Frankfurt/Main, 2010.
- von der Weiden 2008 Weiden, S. von der: Modulare Montagesysteme erobern den Mittelstand. In: VDI Nachrichten. (2008) 38, S. 20.
- Warnecke 2003 Warnecke, Hans-Jürgen: Wirtschaftlichkeitsrechnung für Ingenieure : Mit 3 ausführlichen Fallstudien. 3., überarb. Aufl. München : Hanser, 2003.
- Warnecke u. a. 1975 Warnecke, Hans-Jürgen; Löhr, Hans-Günter; Kiener, Waldemar: Montagetechnik. Schwerpunkt d. Rationalisierung. Mainz : Krausskopf, 1975 (Produktionstechnik heute Bd. 7).
- Warnecke/Hüser 1996 Warnecke, Hans-Jürgen; Hüser, Manfred: Die Fraktale Fabrik : Revolution der Unternehmenskultur. Neuaufl. Reinbek bei Hamburg : Rowohlt, 1996 (rororo science 9708).
- Weidenmann 1989 Weidenmann, B.: Lernen-Lerntheorie. In: Lenzen, Dieter (Hrsg.): Pädagogische Grundbegriffe. Reinbek bei Hamburg : Rowohlt, 1989.
- Westkämper 1999 Westkämper, E.: Die Wandlungsfähigkeit von Unternehmen. In: Wt Werkstattstechnik online 89 (1999) 4, S. 131–140.
- Westkämper 2000 Westkämper, Engelbert: Kontinuierliche und partizipative Fabrikplanung. In: Wt Werkstattstechnik 90 (2000) 3, S. 92–95.

- Westkämper 2001a Westkämper, E.: Modulare Produkte - modulare Montage. In: wt Werkstattstechnik online 91 (2001) 8, S. 479–482.
- Westkämper 2001b Westkämper, E.: Montageplanung - effizient und marktgerecht. Berlin : Springer, 2001 (VDI-Buch).
- Westkämper 2002a Westkämper, E. (Hrsg.): Wandlungsfähige Unternehmensstrukturen für die variantenreiche Serienproduktion : Forschungsstrategien, Ergebnisse, Anwendungen. Forschungskolloquium SFB 467. Stuttgart : Fraunhofer IRB Verlag, 2002.
- Westkämper 2002b Westkämper, E.: Wandlungsfähigkeit - Herausforderungen und Lösungen im turbulenten Umfeld. In: Westkämper, E. (Hrsg.): Wandlungsfähige Unternehmensstrukturen für die variantenreiche Serienproduktion : Forschungsstrategien, Ergebnisse, Anwendungen. Forschungskolloquium SFB 467. Stuttgart : Fraunhofer IRB Verlag, 2002, S. 17–45.
- Westkämper 2004 Westkämper, E.: Fertigungsplanung - Schneller und häufiger planen. In: wt Werkstattstechnik online 94 (2004) 3, S. 42.
- Westkämper 2006a Westkämper, E.: Deutschland - Standort mit Zukunft? Forschung für die Zukunft. In: Wirth, Siegfried (Hrsg.): Von der integrierten Fertigung zur vernetzten Produktion : Festschrift zum Ehrenkolloquium anlässlich des 70. Geburtstages von Prof. Siegfried Wirth. Chemnitz, 2006, S. 27–50.
- Westkämper 2006b Westkämper, E.: Digitale Produktion - Herausforderung und Nutzen. In: Heisel, Uwe (Hrsg.): FtK2006 - Fertigungstechnisches Kolloquium : Stuttgarter Impulse. : Schriftliche Fassung der Vorträge zum Fertigungstechnischen Kolloquium am 20. und 21. September in Stuttgart. Stuttgart, 2006.
- Westkämper 2006c Westkämper, E.: Einführung in die Organisation der Produktion. Berlin: Springer, 2006 (Springer-Lehrbuch).
- Westkämper 2006d Westkämper, E.: Research for Adaptive Assembly. In: Westkämper, E. (Hrsg.): First CIRP International Seminar on Assembly Systems. Stuttgart : Fraunhofer IRB Verlag, 2006, S. 9–15.
- Westkämper 2006e Westkämper, Engelbert (Hrsg.): Wandlungsfähige Unternehmensstrukturen für die variantenreiche Serienproduktion - Abschlußbericht 1997-2005 : Sonderforschungsbereich 467. Stuttgart : Universität <Stuttgart> / Institut für Industrielle Fertigung und, 2006.
- Westkämper 2008a Westkämper, E.: Fabriken sind komplexe langlebige Systeme. In: Nyhuis, P. (Hrsg.): Beiträge zu einer Theorie der Logistik. Berlin, Heidelberg : Springer, 2008, S. 85–107.

- Westkämper 2008b Westkämper, E.: Fabrikplanung vom Standort bis zum Prozess. In: mic - management information center (Hrsg.): Fabrikplanung : Planung effizienter und attraktiver Fabriken. Landsberg/Lech, 2008, S. 26.
- Westkämper 2009 Westkämper, E.: Digitale Produktion : Herausforderung und Nutzen. In: Bullinger H.-J.; Spath, D.; Warnecke, H. -J; Westkämper, E. (Hrsg.): Handbuch Unternehmensorganisation : Strategien, Planung, Umsetzung. 3., neu bearb. Aufl. Berlin, Heidelberg : Springer, 2009 (VDI-Buch), S. 515–529.
- Westkämper u. a. 2000 Westkämper, E.; Zahn, E.; Balve, P.; Tilebein, M.: Ansätze zur Wandlungsfähigkeit von Produktionsunternehmen: Ein Bezugsrahmen für die Unternehmensentwicklung im turbulenten Umfeld. In: wt Werkstattstechnik online 2000 1/2, S. 22–26.
- Westkämper u. a. 2001 Westkämper, E.; Bischoff, J.; Briel, R. von; Dürr, M.: Fabrikdigitalisierung : Ein angepasster Ansatz für die digitale Fabrikplanung in bestehenden Fabriken und Gebäuden. In: wt Werkstattstechnik online 91 (2001) 6, S. 304–307.
- Westkämper u. a. 2003 Westkämper, Engelbert; Bierschenk, Sabine; Kuhlmann, Timm: Digitale Fabrik - nur was für die Großen? In: wt Werkstattstechnik online 93 (2003) 1/2, S. 22–26.
- Westkämper u. a. 2004 Westkämper, E.; Pfeffer, M.; Dürr, M.: Partizipative Fabrikplanung mit skalierbarem Modell: Ein Ebenenmodell zur schrittweisen Verfeinerung der Layouts mit "i-plant". In: wt Werkstattstechnik online 94 (2004) 3, S. 48–51.
- Westkämper u. a. 2008 Westkämper, E.; Kreuzhage, R.; Hummel, V.; Kluge, S.; Wiese, S.: Managementsysteme vom Typ Toyota : In klein- und mittelständischen Unternehmen des Maschinenbaus und der Elektroindustrie mit 100 bis 1500 Mitarbeitern. State of the art, Entwicklungs- und Erfahrungsstand, Forschungs- und Handlungsbedarf. Stuttgart, 2008.
- Westkämper/Hummel 2005 Westkämper, E.; Hummel, V.: The Stuttgart Enterprise Model : Integrated Engineering of Strategic & Operational Functions. In: In: Weingärtner, L. (Chairman) ; Westkämper, E. (Co-Chair) ; CIRP: 38th International Seminar on Manufacturing Systems Florianopolis, Brazil (2005).
- Westkämper/Zahn 2009 Westkämper, E.; Zahn, E.: Wandlungsfähige Produktionsunternehmen : Das Stuttgarter Unternehmensmodell. Berlin: Springer, 2009.
- Wiendahl 2002a Wiendahl, H. -P: Auf dem Weg zur „Digitalen Fabrik“. In: wt Werkstattstechnik online 92 (2002) 4, S. 121.
- Wiendahl 2002b Wiendahl, H. -P: Wandlungsfähigkeit : Schlüsselbegriff der zukunftsfähigen Fabrik. In: wt Werkstattstechnik online 92 (2002) 4, S. 122–127.

- Wiendahl 2005 Wiendahl, H. -P: Planung modularer Fabriken : Vorgehen und Beispiele aus der Praxis. München : Hanser, 2005.
- Wiendahl 2008 Wiendahl, H. -H: Herausforderungen und Anwendungspotenziale: Stolpersteine der Lieferterminermittlung und -erfüllung. In: Effiziente Auftragsabwicklung mit myOpenFactory. München : Hanser, 2008, S. 31–54.
- Wiendahl 2010 Wiendahl, H. -P: Betriebsorganisation für Ingenieure. 7., aktualisierte Aufl. München : Hanser, 2010.
- Wiendahl u. a. 2005 Wiendahl, H. -P; Reinsch, S.; Ouali, K.: Simulationsgestützte Planung und Steuerung von Lieferketten. In: wt Werkstattstechnik online 95 (2005) 4, S. 242–247. URL [http://www.technikwissen.de/wt/get_article.php?data\[article_id\]=2233](http://www.technikwissen.de/wt/get_article.php?data[article_id]=2233).
- Wiendahl u. a. 2009 Wiendahl, H. -P; Reichardt, Jürgen; Nyhuis, Peter: Handbuch Fabrikplanung : Konzept, Gestaltung und Umsetzung wandlungsfähiger Produktionsstätten. München : Hanser, 2009.
- Wirth 2006 Wirth, Siegfried (Hrsg.): Von der integrierten Fertigung zur vernetzten Produktion : Festschrift zum Ehrenkolloquium anlässlich des 70. Geburtstages von Prof. Siegfried Wirth. Chemnitz, 2006.
- Wirth u. a. 2000 Wirth, Siegfried; Enderlein, H.; Hildebrand, T.: Vision zur wandlungsfähigen Fabrik. In: Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb (ZWF) 10 (2000), S. 456–462.
- Witte u. a. 2005 Witte, K. -W; Vielhaber, W.; Ammon, C.: Planung und Gestaltung wandlungsfähiger und wirtschaftlicher Fabriken. In: wt Werkstattstechnik online 95 (2005) 4, S. 227–231.
- Witte/Vielhaber 2003 Witte, Karl-Werner; Vielhaber, Wolfgang: Flexible und wirtschaftliche Serienmontage : Wege zu zukunftsstabilen Montagesystemen. Aachen : Shaker, 2003 (Berichte aus der Betriebswirtschaft).
- Wittlage 1995 Wittlage, Helmut: Personalbedarfsermittlung. München : Oldenbourg, 1995.
- Zäh u. a. 2003a Zäh, M.; Cisek, R.; Sudhoff, W.; Redelstab, P.: Mit Mobilität zu mehr Strukturvariabilität. In: wt Werkstattstechnik online 93 (2003) 4, S. 327–331.
- Zäh u. a. 2003b Zäh, M.; Patron, C.; Fusch, T.: Die Digitale Fabrik : Definition und Handlungsfelder. In: Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb (ZWF) 98 (2003) 3, S. 75–77.
- Zäh u. a. 2003c Zäh, M.; Sudhoff, W.; Rosenberger, H.: Bewertung mobiler Produktionsszenarien mithilfe des Realloptionsansatzes. In: Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb (ZWF) 98 (2003) 12, S. 646–651.

- Zäh u. a. 2004 Zäh, M.; Müller, N.; Prasch, M.; Sudhoff, W.: Methodik zur Erhöhung der Wandlungsfähigkeit von Produktionssystemen. In: Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb (ZWF) 99 (2004) 4, S. 173–177.
- Zäh u. a. 2005 Zäh, M.; Müller, N.; Aull, F.; Sudhoff, W.: Digitale Planungswerkzeuge : Methodik zur Bewertung von Potentialen und Risiken. In: wt Werkstattstechnik online 95 (2005) 4, S. 175–179.
- Zäh/Alders 2006 Zäh, M.; Alders, K.: Produktionsmanagement : Herausforderung Variantenmanagement. 82. Aufl. München : Utz, 2006.
- Zahn 2007 Zahn, E.: Erfolgreich produzieren am Standort Deutschland : Eine strategische Herausforderung. Bonn : Lemmens Medien, 2007 (Eine Reihe des Förderkreises Betriebswirtschaft an der Universität Stuttgart e.V).
- Zahn u. a. 2000 Zahn, E.; Foschiani, S.; Tilebein, M.: Lernprozesse in Organisationen. In: Welge, Martin K. (Hrsg.): Management Development : Praxis, Trends und Perspektiven. Stuttgart : Schäffer-Poeschel, 2000 (USW-Schriften für Führungskräfte, 32), S. 117–137.
- Zahn u. a. 2004 Zahn, Erich; Nowak, Michael; Berger, Stefan: Wissen als Faktor der Wandlungsfähigkeit von Unternehmen. In: Sonderforschungsbereich 467: Wandlungsfähige Unternehmensstrukturen. Lampertheim : Alpha Informations GmbH, 2004, S. 51–54.
- Zahn/Dillerup 1994 Zahn, Erich; Dillerup, Ralf: Fabrikstrategien und -strukturen im Wandel. In: Zülch, Gert (Hrsg.): Vereinfachen und verkleinern : Die neuen Strategien in der Produktion. Stuttgart : Schäffer-Poeschel, 1994 (HAB-Forschungsberichte, 6), S. 15–51.
- Zenner 2006 Zenner, C.: Durchgängiges Variantenmanagement in der Technischen Produktionsplanung. Saarbrücken, Univ., Diss., 2006. (Schriftenreihe Produktionstechnik 37). Saarbrücken :

Diese Arbeit beschäftigt sich mit der Konzeption einer Lernfabrik für die variantenreiche Montage, um ein neues Verständnis des Industrial Engineerings zu vermitteln, das mit den vorhandenen Potentialen der Digitalen Fabrik und modularer, wandlungsfähiger Montagesysteme Lösungswege zur Bewältigung von Herausforderungen wie verkürzten Innovations- und Produktlebenszyklen, verändertem Bestellverhalten der Kunden sowie Entwicklungen der Produkt-, Produktions-, Informations- und Kommunikationstechnologien aufzeigt. Für den Know-how-Transfer des neuen Industrial Engineering Verständnisses wurde ein handlungsorientiertes Qualifizierungskonzept entwickelt, sodass Industrial Engineers den Umgang mit Planungsmethoden und -werkzeugen kennenlernen und in realitätsnahen Szenarien selbstständig anwenden können.

ISBN 978-3-8396-0576-9



FRAUNHOFER VERLAG