

Hans-Peter Wiendahl
Dirk Nofen
Jan Hinrich Klußmann
Frank Breitenbach

Planung modularer Fabriken

Vorgehen und Beispiele
aus der Praxis



HANSER

Wiendahl / Nofen / Klußmann / Breitenbach
Planung modularer Fabriken



Bleiben Sie einfach auf dem Laufenden:

www.hanser.de/newsletter

Sofort anmelden und Monat für Monat
die neuesten Infos und Updates erhalten.

Hans-Peter Wiendahl
Dirk Nofen
Jan Hinrich Klußmann
Frank Breitenbach

Planung modularer Fabriken

Vorgehen und Beispiele aus der Praxis

Unter Mitarbeit von

Berend Denkena, Gregor Drabow, Jürgen Eichhorn, Marcus Gehm,
Wolfgang Hahner, Christoph Lutz Heger, Bernd Kiel, Adolf Klauke, Hans
Hermann Korte, Matthias Kraemer, Frederik Löllmann, Rainer Riedel,
Werner Schreiber, Lothar Walke, Rüdiger Weißner

HANSER

Die Herausgeber:

Prof. Dr. h.c. mult. Dr.-Ing. Hans-Peter Wiendahl,
Dipl.-Wirtsch.-Ing. Dirk Nofen,
Dipl.-Ing. Dipl.-Kfm. Jan Hinrich Klußmann,
alle drei: IPH – Institut für Integrierte Produktion Hannover gemeinnützige GmbH, Hollerithallee 6,
30419 Hannover
Dr.-Ing. Frank Breitenbach,
EDAG Engineering + Design AG, Reesbergstr. 1, 36039 Fulda

Bibliografische Information Der Deutschen Bibliothek

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

ISBN 3-446-40045-1

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen, usw. in diesem Werk berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, dass solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutzgesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürften.

Alle in diesem Buch enthaltenen Verfahren bzw. Daten wurden nach bestem Wissen erstellt und mit Sorgfalt getestet. Dennoch sind Fehler nicht ganz auszuschließen.

Aus diesem Grund sind die in diesem Buch enthaltenen Verfahren und Daten mit keiner Verpflichtung oder Garantie irgendeiner Art verbunden. Autoren und Verlag übernehmen infolgedessen keine Verantwortung und werden keine daraus folgende oder sonstige Haftung übernehmen, die auf irgendeine Art aus der Benutzung dieser Verfahren oder Daten oder Teilen davon entsteht.

Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt.

Alle Rechte, auch die der Übersetzung, des Nachdruckes und der Vervielfältigung des Buches oder Teilen daraus, vorbehalten. Kein Teil des Werkes darf ohne schriftliche Einwilligung des Verlages in irgendeiner Form (Fotokopie, Mikrofilm oder einem anderen Verfahren), auch nicht für Zwecke der Unterrichtsgestaltung – mit Ausnahme der in den §§ 53, 54 URG genannten Sonderfälle –, reproduziert oder unter Verwendung elektronischer Systeme verarbeitet, vervielfältigt oder verbreitet werden.

© 2005 Carl Hanser Verlag München Wien

www.hanser.de

Gesamtlektorat: Dipl.-Ing. Volker Herzberg

Herstellung: Oswald Immel

Satz: Dipl.-Ing. Dipl.-Kfm. Jan Hinrich Klußmann

Coverconcept: Marc-Müller-Bremer, Rebranding, München, Germany

Titelillustration: Atelier Frank Wohlgemuth, Bremen

Umschlaggestaltung: MCP • Susanne Kraus GbR, Holzkirchen

Druck und Bindung: Kösel, Kempten

Printed in Germany

Geleitwort

*Es ist nicht unsere Aufgabe, die Zukunft voraus zu sagen,
sondern auf sie gut vorbereitet zu sein.*

Perikles

Der schnelle Wandel im Umfeld produzierender Unternehmen hat direkte Auswirkungen nicht nur auf die Produkte und ihre Gestaltung, sondern auch auf die im Unternehmen einzusetzenden Herstellungsverfahren und die dazu notwendigen Betriebsmittel. Wenn die Produktlebenszyklen kürzer werden, müssen Produktions-einrichtungen schnell umrüstbar und anpassbar sein.

Diese Feststellung und die Notwendigkeit, in diesem Bereich verstärkt zu handeln und „Forschung für die Produktion von morgen“ zu betreiben, war Anlass für das Bundesministerium für Forschung und Bildung im Herbst 2000 einen Ideenwettbewerb zum Thema „Flexible, temporäre Fabrik“ zu initiieren. Das Projekt „Wandlungsfähigkeit durch modulare Fabrikstrukturen“ überzeugte durch seine innovativen Vorstellungen. Die in gemeinsamer dreijähriger Forschungsarbeit entwickelten Ergebnisse schließen Forschungslücken. Für den betrieblichen Praktiker sind die Forschungsergebnisse in dem vorliegenden Buch zur Nutzung und Anwendung aufbereitet. Der Leser erhält einen Planungsleitfaden, mit Hilfe dessen er sequentiell Wandlungstreiber identifizieren und eine für seine Bedürfnisse zugeschnittene Wandlungsbedarfsanalyse durchführen kann. Gleichzeitig werden ihm Komponenten und Gestaltungselemente als Wandlungsbefähiger geliefert. Dass es unter Zuhilfenahme dieses regelkreisbasierten Gestaltungsansatzes gelingen kann, eine Fabrik wandlungsfähig zu gestalten, haben drei Pilotanwender im Verbundprojekt unter Beweis gestellt.

Ihnen und den beteiligten Industrieplanungs- und Ausrüsterfirmen möchten wir für ihren Einsatz und ihr Engagement danken und wünschen sehr, dass sie mit ihren neuen, modularen Fabrikstrukturen auf den angespannten Weltmärkten Wettbewerbsvorteile halten und dazu gewinnen. Besondere Anerkennung gebührt auch den beiden Forschungsinstituten: dem Institut für Fertigungstechnik und Werkzeugmaschinen (IFW) der Universität Hannover und dem IPH – Institut für Integrierte

Produktion Hannover gGmbH. Der unermüdliche Einsatz ihrer Mitarbeiter und die fachkundige Koordination haben maßgeblich zum Projekterfolg beigetragen.

Dem Leser dieses Buches möchten wir zur Theorie noch die Praxis und den für das Gelingen unerlässlichen Erfahrungsaustausch empfehlen: Die Partner des Projektes haben einen Industriearbeitskreis ins Leben gerufen, welcher auch nach dem Projektende regelmäßig arbeitet und allen Interessenten offen steht. Somit bleibt zu hoffen, dass die Idee der wandlungsfähigen Fabrik von weiteren Unternehmen in Deutschland zügig aufgegriffen wird und in einem fruchtbaren Dialog zwischen Wissenschaft und Praxis eine Weiterentwicklung erfährt.

Dr. Ingward Bey
Leiter der Projektträgerschaft Produktion und Fertigungstechnologien
Forschungszentrum Karlsruhe GmbH

Christel Schwab
Mitarbeiterin der Projektträgerschaft Produktion und Fertigungstechnologien
Forschungszentrum Karlsruhe GmbH

Vorwort der Herausgeber

Turbulente Zeiten und rasante Veränderungen kennzeichnen heute Wirtschaft und Gesellschaft. Diese Entwicklungen machen auch nicht vor Unternehmen halt. Sie suchen daher nach Lösungen, um diesen Entwicklungen erfolgreich begegnen können. Ein zentraler Ansatz zur Beherrschung von Umfeldturbulenzen ist in diesem Zusammenhang eine angemessene Wandlungsfähigkeit.

In diesem Buch steht die Fabrik im Fokus, also der Teil des Unternehmens, in dem die wertschöpfenden Prozesse stattfinden. Es wird dargelegt, wie Wandlungsfähigkeit geplant, realisiert und im Lebenszyklus einer Fabrik genutzt werden kann. Hierbei konzentrieren sich die Ausführungen auf die Modularisierung der Fabrik, da sie ein umfassender Wandlungsbefähiger auf allen Ebenen ist.

Das vorliegende Buch ist im Rahmen des Verbundforschungsprojekts „Wandlungsfähigkeit durch modulare Fabrikstrukturen“ (WdmF) entstanden. Als produktionstechnische Forschungsinstitute waren hieran das Institut für Fertigungstechnik und Werkzeugmaschinen (IFW) der Universität Hannover sowie das IPH – Institut für Integrierte Produktion Hannover gemeinnützige GmbH beteiligt. Dem IPH oblag zusätzlich die Projektkoordination. Ferner gehörten dem Projektkonsortium folgende namhafte produzierende Unternehmen an: Airbus Deutschland GmbH, Hamburg; A. Friedr. FLENDER AG, Bocholt; John Deere, Mannheim, und Volkswagen AG, Wolfsburg. Darüber hinaus waren Gildemeister Drehmaschinen GmbH, Bielefeld, sowie EDAG Engineering + Design AG, Fulda, aktiv am Projekt WdmF beteiligt. Eine wertvolle Unterstützung hat darüber hinaus die SchürmannSpannel AG, Bochum, geleistet, die das Projekt als assoziierter Partner aus Sicht der Architektur und der technischen Gebäudeausrüstung konstruktiv begleitet hat. Schließlich lieferte das Institut für Fabrikanlagen und Logistik (IFA) der Universität Hannover im Rahmen des assoziierten Industriearbeitskreises einen wichtigen Beitrag zur Bewertung und Wirtschaftlichkeit von Wandlungsfähigkeit. Vertreter aller zuvor genannten Institute und Unternehmen haben aufeinander abgestimmte Beiträge für dieses Buch geliefert. Hierfür möchten wir uns sehr herzlich bei den Autoren bedanken.

Aufgrund der Konstellation dieser Projektgemeinschaft konnte während der dreijährigen Projektlaufzeit der modulare Fabrikansatz sowohl aus praxisorientierter als auch aus wissenschaftlicher Sicht systematisch durchgearbeitet und die Anwendung

der Ergebnisse in der Praxis unter Beweis gestellt. Der RKW Nordwest, Hannover, hat das Projekt WdmF als „Ergebnismultiplikator“ begleitet.

Das Forschungsprojekt wurde vom Bundesministerium für Bildung, Forschung und Technologie (BMBF) gefördert und vom Projektträger Produktion und Fertigungstechnologien am Forschungszentrum Karlsruhe betreut. Wir möchten uns insbesondere bei Frau Christel Schwab vom Projektträger für die kompetente und ausgesprochen kooperative Zusammenarbeit bedanken.

Den Mitgliedern des schon während der Projektlaufzeit gegründeten Industriearbeitskreises WdmF gilt unser Dank für ihre konstruktive Kritik und wertvollen Hinweise. Ihr Engagement und ihre Erfahrung haben wesentlich zu dem umfangreichen Anhang dieses Buches beigetragen.

Den studentischen Mitarbeitern des IPH, Herrn Tobias Vieregge, Herrn André Kieslich und Herrn Nico Paper, danken wir für ihre Unterstützung bei der Erstellung der Abbildungen sowie der redaktionellen Überarbeitung des gesamten Buches. Schließlich danken wir Herrn Volker Herzberg vom Hanser Verlag für die sehr angenehme Zusammenarbeit.

Wir wünschen unseren Lesern viele neue Erkenntnisse und Einsichten bei der Lektüre dieses Buches und hoffen auf wertvolle Impulse für die Neu- und Umplanung von Fabriken.

Hannover und Fulda im November 2004

Hans-Peter Wiendahl
Dirk Nofen
Jan Hinrich Klußmann
Frank Breitenbach

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
1.1	Einführung in die Thematik	1
1.2	Bedeutung der Wandlungsfähigkeit für die Zukunftsrobustheit von Fabriken ...	8
1.2.1	Turbulenzen im Unternehmensumfeld.....	8
1.2.2	Definition des Begriffs Wandlungsfähigkeit	13
2	Methodenteil	17
2.1	Komponenten und Aufbau einer wandlungsfähigen modularen Fabrik	17
2.1.1	Fabrikelemente: Bestandteile von Fabriken	18
2.1.2	Fabrikmodule: Abgegrenzte Bereiche einer Fabrik	20
2.1.3	Schnittstellen von Fabrikmodulen.....	24
2.1.4	Wandlungsbefähiger: Eigenschaften von Fabrikelementen und Fabrikmodulen zum Wandel	25
2.2	Planung wandlungsfähiger modularer Fabriken	31
2.2.1	Phasen der Planung modularer Fabriken.....	32
2.2.2	Vorbereitung	34
2.2.2.1	Zielplanung.....	34
2.2.2.2	Analyse des Ist-Zustandes.....	35
2.2.3	Strukturierung und Gestaltung.....	38
2.2.3.1	Standortplanung.....	38
2.2.3.2	Generalbebauungs- und Gebäudeplanung	39
2.2.3.3	Produktionsstruktur- und Logistikplanung	42
2.2.3.4	Prozess- und Betriebsmittelplanung	44
2.2.3.5	Personal- und Organisationsplanung	45
2.2.4	Umsetzung.....	47
2.3	Nutzung wandlungsfähiger Fabrikstrukturen	51
2.3.1	Notwendigkeit zur Überwachung des Wandlungsbedarfs	51

2.3.2	Veränderungstypen in einer modularen Fabrik	57
2.3.3	Regelkreismodell zur Wandlungsbedarfsüberwachung in modularen Fabriken.....	59
2.4	Gestaltung und Bewertung der Wandlungsfähigkeit von Betriebsmitteln	68
2.4.1	Betriebsmittel als Faktoren der Wandlungsfähigkeit	68
2.4.2	Grundlagen der Beurteilung von Betriebsmitteln.....	70
2.4.3	Modularität von Betriebsmitteln	74
2.4.4	Anforderungsgerechte Wandlungsfähigkeit.....	76
2.4.5	Einfluss der Fertigungsverfahren.....	81
2.4.6	Komponenten der Wandlungsfähigkeit von Betriebsmitteln	83
2.4.7	Bewertungssystem der Wandlungsfähigkeit	84
2.4.7.1	Kriterienhierarchie.....	84
2.4.7.2	Gewichtungsfaktoren.....	88
2.4.7.3	Darstellung von Wandlungsprofilen.....	88
2.4.8	Fazit.....	89
2.5	Bedeutung von Raum und Gebäudetechnik für die Wandlungsfähigkeit	93
2.5.1	Einleitung – Räume für die Zukunft.....	93
2.5.2	Integrierte Fabrikplanung für mehr Wandlungsfähigkeit.....	96
2.5.2.1	Die Prozess- und Organisationssicht	96
2.5.2.2	Die Raumsicht	97
2.5.2.3	Die Sicht der Wirtschaftlichkeit	98
2.5.2.4	Die integrierte Sicht	100
2.5.2.5	Definition des Grades von Wandlungsfähigkeit durch Szenarien	102
2.5.3	Wandlungsfähigkeit: Was kann ein Gebäude zukünftig leisten?	105
2.5.3.1	Beispiel Standort – Grundstück.....	106
2.5.3.2	Beispiel Fläche – Funktion.....	107
2.5.3.3	Beispiel Baukörper: Primär- und Sekundärstruktur	108
2.5.3.4	Beispiel Kommunikation	109
2.5.4	Zusammenfassung	110
2.6	Schnittstellensystematik von Fabrikmodulen	112
2.6.1	Schnittstellen – Die neuralgischen Punkte der Fabrik.....	112
2.6.2	Schnittstellen und Wandlungsfähigkeit	113
2.6.3	Fabrik-DMU – Eine innovative Methode	116

2.6.4	Fabrikmodule	118
2.6.5	Schnittstellenklassifikation	120
2.6.6	Schnittstellenmodell und Gestaltungsbereiche der Fabrik.....	123
2.6.7	Arbeiten mit dem Schnittstellenmodell.....	123
2.6.8	Schnittstellenmodell und Wandlungsbefähiger.....	125
2.6.9	Zusammenfassung.....	126
2.7	Kosten der Wandlungsfähigkeit in der Fabrikplanung.....	129
2.7.1	Wandlungsobjekte	129
2.7.2	Berechnung der Wandlungskosten	131
2.7.3	Kosten als Planungsgrundlage	132
2.7.4	Praxisbeispiele	134
2.7.4.1	Erweiterbarkeit der Montagehalle eines Automobilzulieferers	134
2.7.4.2	Feldverkabelung zwischen Maschine und Steuerschrank	137
3	Anwendungsteil.....	141
3.1	Wandlungsfähige Betriebsmittel, Herausforderung an die Hersteller	141
3.1.1	Ist-Situation im Entwicklungsprozess	141
3.1.2	Betriebsmittel.....	144
3.1.3	Anforderungen an die zukünftige Entwicklung.....	148
3.1.3.1	Fragenkatalog	148
3.1.3.2	Unterschied der Sichtweisen.....	149
3.1.4	Umsetzung der Projektergebnisse	151
3.1.4.1	Kompatibilität	151
3.1.4.2	Mobilität	152
3.1.4.3	Skalierbarkeit.....	152
3.1.4.4	Modularität.....	153
3.1.4.5	Universalität	154
3.1.4.6	Bewertung der Wandlungsfähigkeit.....	154
3.1.5	Fazit, weitere Verwertung	156
3.2	Simultane Entwicklung von Produkt- und Anlagenkonzepten.....	157
3.2.1	Herausforderungen der Zukunft im Fahrzeugbau	157
3.2.1.1	Flexibilität und Modularität als Schlüsselfaktoren moderner Anlagenkonzeption	158

3.2.1.2	Erweiterung des Produktentstehungsprozesses	161
3.2.1.3	Integrierte Produkt- und Prozessdefinitionsphase.....	161
3.2.1.4	Konzeption interdisziplinärer Projektstrukturen.....	162
3.2.2	Ableitung eines flexiblen Rohbaukonzeptes auf Basis der Philosophie des Simultaneous Engineering	164
3.2.2.1	Das Grundkonzept des Kernfertigungsrohbaus.....	164
3.2.2.2	Typenflexible Linienbereiche und Zellenkonzeptionen.....	166
3.2.2.3	Wandlungsfähige Fertigungszellen am Beispiel des robotergeführten Rollfalzens	168
3.2.2.4	Simultaneous Engineering am Beispiel Rollfalzen.....	169
3.2.3	Konsequenzen für eine produktionsbeeinflusste Produktdefinition.....	170
3.3	Planung einer wandlungsfähigen Kabinendachmontage	173
3.3.1	Herausforderungen von John Deere	175
3.3.2	Entwicklung und heutiger Stand des John Deere Werks Bruchsal	176
3.3.2.1	Analyse der Fabrikstruktur.....	178
3.3.2.2	Organisationsstruktur.....	180
3.3.2.3	Produktstruktur	182
3.3.2.4	Fertigungsstruktur	184
3.3.2.5	Wandlungsobjekte des neuen Bereichs der Fahrerkabinenfertigung.....	188
3.3.2.6	Gestaltung des Einzelplatzmoduls Takt 3 nach den WdmF-Kriterien	196
3.3.2.7	Bestimmung der vorhandenen Schnittstellenarten für das Einzelplatzmodul Takt 3.....	198
3.3.3	Zusammenfassung und Ausblick	203
3.3.3.1	Zusammenfassung	203
3.3.3.2	Ausblick	204
3.4	Durch sinnvolle Restrukturierung zur modularen Fabrik.....	206
3.4.1	Die modulare Organisation	207
3.4.1.1	Ablauforganisation	208
3.4.1.2	Die Aufbauorganisation.....	210
3.4.1.3	Zwischenfazit 1	211
3.4.2	Modularisierung der Produktionsstätten oder „Restrukturierung Phase I“	212
3.4.2.1	Aufbau einer Fertigungsinsel.....	214

3.4.2.2	Steuerung der Fertigungsinsel	214
3.4.2.3	Erste Erkenntnisse Phase I	215
3.4.2.4	Grenzen der bisherigen Anwendung.....	215
3.4.2.5	Zwischenfazit 2	216
3.4.3	Systematisches Vorgehen unter Berücksichtigung der Wandlungsfähigkeit oder „Restrukturierung Phase II“	216
3.4.3.1	Systematische Aufbauorganisation / Anwendung des Hierarchieebenenmodells.....	217
3.4.3.2	Anwendung des WdmF-Fabrikplanungsablaufes	218
3.4.4	Zusammenfassung und Ausblick für die weitere Entwicklung	227
3.5	Modularität und Wandlungsfähigkeit – Die Basis für ein flexibles Produktspektrum.....	229
3.5.1	Erarbeitung eines Leitfadens der Fabrikplanung.....	230
3.5.1.1	Ausgangssituation Rumpfmontage	230
3.5.1.2	Wandlungsfähigkeit und Flexibilität – Auch ein Thema bei Airbus.....	231
3.5.1.3	Airbus-Ziele im Rahmen des Projektes	233
3.5.1.4	Anteil Projektarbeit Firma Airbus.....	234
3.5.2	Der Leitfaden – Praktikabel bei Airbus	235
3.5.2.1	Anwendungsfall 1: Untersuchung des Bauplatzes 571 der Strukturmontage.....	236
3.5.2.2	Anwendungsfall 2: Neuplanung des Bereiches der Komponentenfertigung für Struktur und Ausrüstungsteile	237
3.5.3	Zusammenfassung.....	243
3.6	Neue Produktstrukturen erfordern angepasste Fabrikstrukturen	244
3.6.1	Markenübergreifende Plattformstrategie	244
3.6.2	Beherrschung der Teilevielfalt durch Module.....	246
3.6.3	Module als Strukturierungsmerkmal für das Fabriklayout	248
3.6.4	Logistische Einbindung der Fertigungsmodule	250
3.6.5	Zeitliche Entwicklung der Logistikflächenstrukturen in der Montage	251
3.6.6	Neue Fabrikstruktur unterstützt die Kommunikation	254
3.6.7	Strategische Kriterien für die Fabrikplanung	255
4	Schlussbetrachtung	257
4.1	Zusammenfassung.....	257

4.2	Status quo und Ausblick.....	261
5	Anhang	265
5.1	Erläuterungen zu den Fabrikelementen der Gestaltungsbereiche.....	265
5.1.1	Elemente des Gestaltungsbereiches Betriebsmittel.....	266
5.1.2	Elemente des Gestaltungsbereiches Raum und Gebäudetechnik	274
5.1.3	Elemente des Gestaltungsbereiches Organisation	286
5.2	Wandlungshemmer und Detaillösungen zur Steigerung der Wandlungsfähigkeit	297
5.2.1	Erkennen von Wandlungshemmern.....	297
5.2.2	Detaillösungen zur Steigerung der Wandlungsfähigkeit.....	298
5.2.2.1	Detaillösungen zur Gestaltung wandlungsfähiger Betriebsmittel	300
5.2.2.2	Detaillösungen zur Gestaltung von Raum und Gebäudetechnik unter dem Aspekt der Wandlungsfähigkeit...	305
5.2.2.3	Detaillösungen zur Gestaltung einer wandlungsfähigen Organisation.....	312
	Vorstellung der beteiligten Unternehmen und Institute	317
	Stichwortverzeichnis	323

1 Einleitung

1.1 Einführung in die Thematik

Jan Hinrich Klußmann, Dirk Nofen, Frederik Löllmann

IPH – Institut für Integrierte Produktion Hannover gemeinnützige GmbH

Unsere Gesellschaft befindet sich in turbulenten Zeiten. Der Wettbewerb wird durch rasante Veränderungen und globale Entwicklungen geprägt. Reaktionsschnelles, flexibles und vorausschauendes Handeln ist in allen Bereichen der Wirtschaft notwendig. Heutige Fabriken sind aber oftmals aufgrund ihrer ungeeigneten Strukturen und Einrichtungen nicht in der Lage, die hierzu erforderliche Wandlungsfähigkeit zur Verfügung zu stellen.

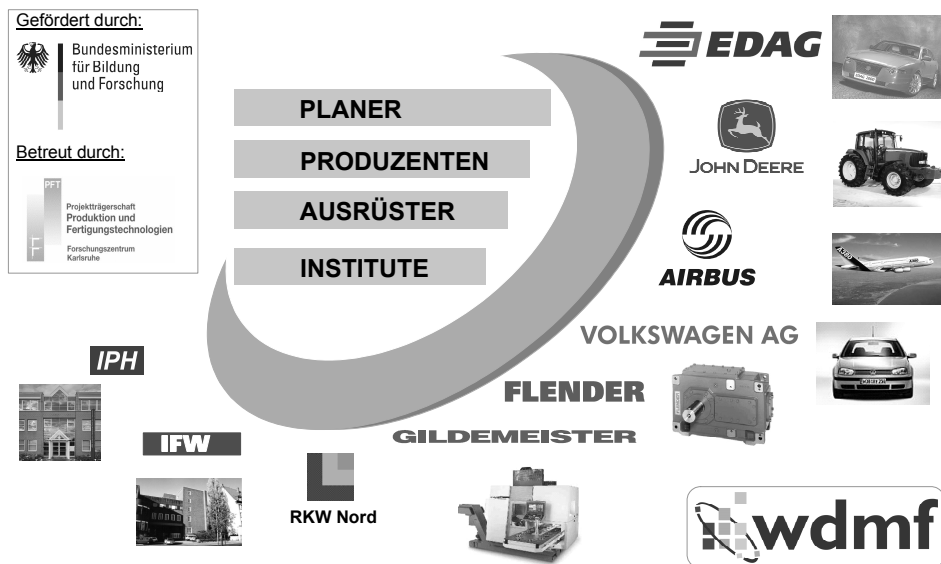


Bild 1.1 Struktur des Forschungsprojekts „Wandlungsfähigkeit durch modulare Fabrikstrukturen“ (WdmF)

Das vorliegende Buch basiert auf den Ergebnissen des Verbundforschungsprojekts „Wandlungsfähigkeit durch modulare Fabrikstrukturen“ (WdmF), das sich speziell mit der Aufgabe befasste, die Wandlungsfähigkeit von Fabriken durch deren Modularisierung zu steigern. Zu diesem Zweck haben sich Produzenten, Fabrikplaner, Ausrüster sowie Institute zu einem Konsortium zusammengeschlossen und die Thematik gemeinsam von verschiedenen Seiten beleuchtet (siehe *Bild 1.1*).

Die Produzenten standen als Betreiber bzw. Anwender von wandlungsfähigen Fabriken im Zentrum des Interesses. Sie wurden bei der Entwicklung von Methoden zur modularen, wandlungsfähigen Auslegung und Gestaltung ihrer Fabriken von Planern und Ausrüstern unterstützt. Die Institute haben die Bearbeitung von wissenschaftlicher Seite vorangetrieben.

Das Forschungsprojekt hatte eine Laufzeit von drei Jahren und wurde durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) gefördert sowie vom Projektträger Produktion und Fertigungstechnologien am Forschungszentrum Karlsruhe betreut.

Die Motivation zum Projekt „Wandlungsfähigkeit durch modulare Fabrikstrukturen“

In Deutschland ansässige Unternehmen sehen sich folgender Problemstellung gegenübergestellt: Die Unternehmensumwelt verändert sich immer schneller und ist langfristig nicht prognostizierbar. Als Konsequenz wirken zahlreiche Wandlungstreiber auf die Fabriken ein. Die Wandlungsfähigkeit der bestehenden Fabriken ist oftmals jedoch nicht ausreichend, um diesen skizzierten Anforderungen adäquat zu begegnen.

Aus dieser Problemstellung heraus haben sich die Konsortialpartner im Projekt WdmF intensiv damit befasst, praxistaugliche Vorgehensweisen zu erarbeiten, mit denen

- eine bedarfsgerechte Wandlungsfähigkeit in den Fabriken realisiert und
- ein bestehender Wandlungsbedarf rechtzeitig erkannt werden kann sowie
- erforderliche Wandlungsprozesse effektiv und wirtschaftlich durchgeführt werden können.

Hierzu muss zunächst unternehmensindividuell festgestellt werden, welches Maß an Wandlungsfähigkeit zweckmäßig ist. Dabei ist zu berücksichtigen, dass der Aufwand für das Vorhalten der Wandlungsfähigkeit in einem angemessenen Verhältnis zu dem zu erwartenden Nutzen hieraus stehen muss. Das Erkaufen von Wandlungsfähigkeit um jeden Preis ist genauso falsch wie das bewusste Ignorieren eines notwendigen Bedarfs an Wandlungsfähigkeit.

Ist das notwendige Maß an Wandlungsfähigkeit ermittelt, muss dieses durch die gezielte Um- oder Neugestaltung der Fabrik realisiert werden. Wie dabei vorzugehen ist, wird im Rahmen dieses Buches detailliert beschrieben.

Darüber hinaus müssen die erforderlichen Wandlungsprozesse effektiv und wirtschaftlich durchführbar sein. Dieses bedarf besonderer Beachtung, da im Prinzip jeder Wandel möglich ist, sofern genügend finanzielle Mittel, Zeit und Personal zur Verfügung stehen. Da die Unternehmen Veränderungsprozesse bisher relativ selten und dann meist improvisiert durchführen, ist noch ein beträchtliches Veränderungspotenzial vorhanden.

Was ist Wandlungsfähigkeit?

Der Begriff Wandlungsfähigkeit wird in der industriellen Praxis sehr unterschiedlich ausgelegt. In diesem Buch wird davon ausgegangen, dass sich eine wandlungsfähige Fabrik dadurch auszeichnet, dass

- sie möglichst viele Zustände annehmen kann,
- notwendige Wandlungsprozesse schnell und bei geringen Kosten sowie geringem Sach- und Personalaufwand durchgeführt werden können und
- in ihr Instrumente zum zeitnahen Erkennen von Wandlungsbedarfen existieren und somit erforderliche Wandlungsprozesse schnell eingeleitet werden können [Kluß04].

Eine Definition der Wandlungsfähigkeit findet sich in *Abschnitt 1.2*.

Die Investition in Wandlungsfähigkeit kann nach Wiendahl mit dem Abschluss einer Versicherung verglichen werden [Wien01]. Durch die Zahlung einer Prämie sichert sich der Versicherte gegen bestimmte zukünftige Entwicklungen ab, die ohne einen derartigen Schutz existenzielle Folgen haben könnten. Welches Maß an „Versicherungsschutz“ für ein Unternehmen sinnvoll und welcher Preis hierfür angemessen ist, muss individuell entschieden werden. Dabei gilt es auch, verschiedene Möglichkeiten zu überprüfen, wie die angestrebte Wandlungsfähigkeit erreicht werden soll. Ein zentraler Ansatz zur Realisierung wandlungsfähiger Fabriken besteht in der Modularisierung ihrer Strukturen.

Vorteile modularer Fabrikstrukturen

Die Modularität ist einer von insgesamt fünf so genannten Wandlungsbefähigern, die die Wandlungsfähigkeit einer Fabrik positiv beeinflussen können (siehe auch *Abschnitt 2.1*). Aufgrund ihres strukturbildenden Charakters nimmt die Modularität eine zentrale Stellung unter den Wandlungsbefähigern ein.

Die Modularität einer Fabrikstruktur führt zur Entkopplung der Unternehmensteile sowie einer klar gegliederten Struktur aus Einheiten handhabbarer Größe. Die damit verbundene Komplexitätsreduzierung bewirkt wiederum einen geringeren Planungs- und Umsetzungsaufwand bei Veränderungen, eine Verkürzung von Planungs- und Umsetzungszyklen sowie eine Verbesserung der Anpassungsfähigkeit im Allgemeinen.

Darüber hinaus bewirkt die Entkopplung von Unternehmensteilen eine Verminderung von Produktionsausfällen, da Veränderungen innerhalb eines Fabrikmoduls auch während des Betriebs möglich werden, ohne Störungen benachbarter Fabrikmodule zu verursachen. Des Weiteren lassen sich Fabrikmodule unabhängig voneinander testen, da sie in sich funktionsfähig sind.

Der Lösungsansatz der wandlungsfähigen modularen Fabrik

Der in dem Projekt WdmF entwickelte Lösungsansatz zur wandlungsfähigen modularen Fabrik baut auf den Vorteilen modularer Fabrikstrukturen auf und stützt sich auf die zwei Säulen „Komponenten“ und „Regelkreis“ (siehe *Bild 1.2*).

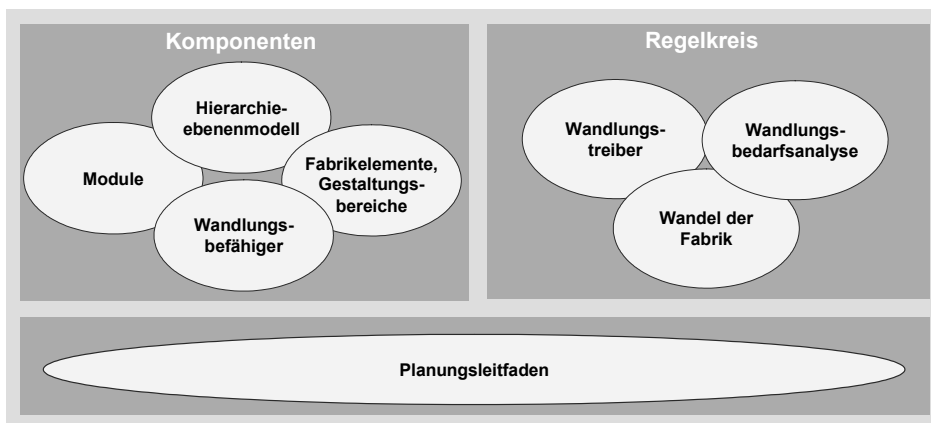


Bild 1.2 Lösungsansatz der wandlungsfähigen modularen Fabrik

Die *Komponenten* sind die Fabrikelemente, die sich nach den Gestaltungsbereichen Betriebsmittel, Organisation sowie Raum und Gebäudetechnik ordnen lassen. Die gewünschte Wandlungsfähigkeit der Fabrik wird durch die gezielte Abgrenzung und Gestaltung der Module unter Berücksichtigung relevanter Wandlungsbefähiger erreicht.

Darüber hinaus muss das durch den modularen Aufbau der Fabrik geschaffene Wandlungspotenzial konsequent genutzt werden. Hierzu sieht der Lösungsansatz ein

Regelkreismodell vor, mit dessen Hilfe regelmäßig Wandlungstreiber beobachtet werden und eine Wandlungsbedarfsanalyse durchgeführt wird. Hierdurch können gegebenenfalls erforderlich werdende Wandlungsprozesse rechtzeitig erkannt und angestoßen werden.

Der *Planungsleitfaden*, den dieses Buch detailliert darstellt, dient als Anleitung zur Gestaltung und Nutzung einer wandlungsfähigen modularen Fabrik. Die enthaltenen Hilfestellungen beziehen sich sowohl auf das Realisieren einer derartigen Fabrik als auch auf das Durchführen späterer Wandlungsprozesse.

Aufbau des Buchs

Das vorliegende Buch gliedert sich neben diesem einleitenden Teil in zwei Hauptteile, eine Schlussbetrachtung und einen Anhang.

Nach einer Einführung in die Thematik in *Kapitel 1* wird in *Kapitel 2* die wandlungsfähige modulare Fabrik von methodischer Seite beleuchtet. Darin stellen die *Abschnitte 2.1, 2.2* und *2.3* einen in sich geschlossenen Teil dar, in dem aufeinander aufbauend die zentralen Ergebnisse des Forschungsprojektes WdmF vorgestellt werden. Zunächst wird erläutert, nach welchen Vorgehensweisen eine wandlungsfähige modulare Fabrik zu planen und zu gestalten ist. Im Anschluss daran wird ausgeführt, wie sich das geschaffene Potenzial an Wandlungsfähigkeit in der betrieblichen Praxis systematisch nutzen lässt. Hierzu wurde der Ansatz der regelkreisbasierten Wandlungsprozesse entwickelt, der in den Unternehmen bestehende Controlling- und Fabrikplanungsinstanzen einbezieht. Die Darstellungen zu den regelkreisbasierten Wandlungsprozessen bauen direkt auf den Ausführungen zu den Wandlungstreibern aus *Abschnitt 1.2* auf.

In den *Abschnitten 2.4, 2.5* und *2.6* wird solchen technischen Fragestellungen nachgegangen, die von hoher Bedeutung für die Wandlungsfähigkeit einer gesamten Fabrik sind [Hern03]. Insbesondere die Ausprägungen von Betriebsmitteln sowie von Elementen des Bereiches Raum und Gebäudetechnik sind maßgeblich für die Wandlungsfähigkeit einer Fabrik. In diesem Zusammenhang ergeben sich folgende Leitfragen, die innerhalb der aufgeführten Abschnitte beantwortet werden:

- Wie müssen Betriebsmittel gestaltet sein, damit diese die Wandlungsfähigkeit einer Fabrik fördern (siehe Abschnitt 2.4)?
- Welche Rolle spielen bauliche Aspekte für die Wandlungsfähigkeit einer Fabrik (siehe Abschnitt 2.5)?
- Welche Bedeutung haben Fabrikmodulschnittstellen im Kontext der Wandlungsfähigkeit (siehe Abschnitt 2.6)?

In *Abschnitt 2.7* wird die Wirtschaftlichkeit wandlungsfähiger Fabriken näher untersucht. Oftmals wird von Kritikern angeführt, dass die in der Regel im Vergleich mit einer „konventionellen“ Fabrik entstehenden höheren Investitionskosten in einem nicht angemessenen Verhältnis zu dem daraus gewonnenen Nutzen stehen [Hern03]. Betrachtet man in diesem Zusammenhang aber den gesamten Lebenszyklus einer Fabrik, lassen sich die erwähnten Anfangsinvestitionen wirtschaftlich rechtfertigen. Hierfür wird eine entsprechende Berechnungsmöglichkeit geliefert.

Die *Abschnitte 2.5* und *2.7* wurden von Autoren verfasst, die das WdmF-Projekt im Rahmen einer assoziierten Partnerschaft begleitet haben. Aus diesem Grund weichen die in den genannten Abschnitten verwendeten Begriffe an einigen Stellen leicht von der Terminologie des WdmF-Projektes ab.

In *Kapitel 3* berichten Industrieunternehmen in Form von Umsetzungsbeispielen über Erfahrungen aus der Praxis, die mit der Modularisierung von Fabriken im Kontext der Wandlungsfähigkeit gemacht worden sind.

Die Berichte der Firmen Gildemeister und EDAG in den *Abschnitten 3.1* und *3.2* liefern konkrete Hinweise und Lösungsvorschläge, wie sich durch eine geeignete Gestaltung von Betriebsmitteln bzw. Produktionssystemen die Wandlungsfähigkeit einer Fabrik verbessern lässt.

In *Abschnitt 3.3* wird von der Firma Deere and Company die Gestaltung einer wandlungsfähigen Produktion auf Arbeitsplatz-, Gruppen- und Bereichsebene thematisiert. Darüber hinaus wird über die Umsetzung des im Methodenteil vorgestellten Ansatzes der regelkreisbasierten Wandlungsprozesse berichtet.

Die Firma Flender stellt in *Abschnitt 3.4* vor, wie ein kompletter Produktionsbereich bei laufendem Betrieb umstrukturiert wurde und hierbei gleichzeitig die Wandlungsfähigkeit des betroffenen Bereiches signifikant gesteigert werden konnte.

Das Praxisbeispiel der Firma Airbus in *Abschnitt 3.5* umfasst die Neuplanung eines wandlungsfähigen modularen Fertigungsbereichs. In diesem Zusammenhang wird eine Vielzahl von Detaillösungen zur Steigerung der Wandlungsfähigkeit vorgestellt, die sich auch in andere Branchen übertragen lassen.

Der Bericht der Firma Volkswagen in *Abschnitt 3.6* zeigt, wie sich die Modularisierung eines Produktes auf die Modularisierung von Standorten und Produktionsnetzwerken übertragen lässt.

Die Schlussbetrachtung in *Kapitel 4* fasst das Buch kurz zusammen und gibt einen Ausblick darauf, wie sich das Thema Wandlungsfähigkeit in seiner zukünftigen Bedeutung entwickeln wird.

Abschließend bietet der Anhang eine umfangreiche Sammlung an Begriffserläuterungen sowie Aufstellungen mit so genannten intelligenten Detaillösungen zur Steigerung der Wandlungsfähigkeit. Diese Detaillösungen sollen als Hilfestellung für die tägliche Arbeit eines Fabrikplaners dienen.

Literatur zu Abschnitt 1.1

- [Hern03] Hernández Morales, R.: Systematik der Wandlungsfähigkeit in der Fabrikplanung. Dissertation, Universität Hannover. Fortschr.-Ber. VDI Reihe 16 Nr. 149. VDI Verlag, Düsseldorf, 2003.
- [Kluß04] Klußmann, J. H.; Nofen, D.; Löllmann, F.: Das Projekt WdmF - Struktur, Partner, Thesen. In: Klußmann, J. H.; Nofen, D.; Löllmann, F. (Hrsg.): Wandlungsfähigkeit durch modulare Fabrikstrukturen - Perspektiven, Methoden, Praxisbeispiele. Tagungsband, 7. Juli 2004, Produktionstechnisches Zentrum der Universität Hannover.
- [Wien01] Wiendahl, H.-P.: Wandlungsfähige Fabriken - Eckpfeiler für den Standort Deutschland. wt Werkstattstechnik online 91 (2001) H.11, S. 723-724.

1.2 Bedeutung der Wandlungsfähigkeit für die Zukunftsrobustheit von Fabriken

Dirk Nofen, Jan Hinrich Klußmann, Frederik Löllmann

IPH – Institut für Integrierte Produktion Hannover gemeinnützige GmbH

Die Fabrikplanung sieht sich großen Herausforderungen gegenübergestellt. Zukünftige Fabriken müssen hinsichtlich ihrer Größe, Funktion und Struktur an veränderte Rahmenbedingungen schneller anpassbar, im Extremfall sogar als Ganzes mobil sein, um sich auf rasch verändernden Märkten behaupten zu können. Diese Notwendigkeit ist auf die geänderten Rahmenbedingungen zurückzuführen, denen heutige Unternehmen verstärkt ausgesetzt sind. Seit Beginn der 1990er Jahre wird in diesem Zusammenhang von einem turbulenten Unternehmensumfeld gesprochen [Warn92]. Das Agieren in solch einem turbulenten Umfeld hat einen enormen Wandlungsdruck auf allen Ebenen eines Unternehmens zur Folge, der früher in dieser Art nicht vorgeherrscht hat. Im Folgenden werden zunächst die Wandlungstreiber erläutert, die zu dem beschriebenen Wandlungsdruck führen, und es wird der Bedarf für wandlungsfähige Fabriken daraus abgeleitet. Anschließend wird der Begriff Wandlungsfähigkeit definiert und gegenüber dem Begriff Flexibilität abgegrenzt.

1.2.1 Turbulenzen im Unternehmensumfeld

Auf ein Unternehmen wirken sowohl interne als auch externe Einflüsse, die Wandlungsprozesse in diesen Unternehmen erfordern. Diese Einflüsse oder Impulse wirken entweder auf das Unternehmen als Ganzes oder nur auf spezielle Bereiche.

Ein Unternehmen kann entlang seiner vier Hauptgeschäftsprozesse sowie der notwendigen Supportprozesse beschrieben werden. Bei den Hauptgeschäftsprozessen handelt es sich um die Markterschließung und Produktentwicklung, die Auftragsgewinnung, die Auftragsabwicklung sowie den Service und Kundendienst [Wien04]. Die Supportprozesse werden vom Personalwesen, Finanzwesen, Controlling und der IT-Abteilung durchgeführt.

Im Fokus der Ausführungen in diesem Buch steht die Fabrik, also der Bereich eines Unternehmens, in dem der Hauptgeschäftsprozess der Auftragsabwicklung (Beschaffung, Produktion und Distribution) durchgeführt wird. Ähnlich wie für das gesamte

Unternehmen gilt bezogen auf die internen sowie externen Impulse auch für eine Fabrik, dass diese Impulse sowohl auf die Fabrik als Ganzes als auch lediglich auf einzelne Teilbereiche einer Fabrik wirken können. Unternehmensexterne sowie -interne Einflüsse und Impulse, die Wandlungsprozesse in Fabriken zur Folge haben können, werden im Folgenden als Wandlungstreiber bezeichnet, *Bild 1.3*.

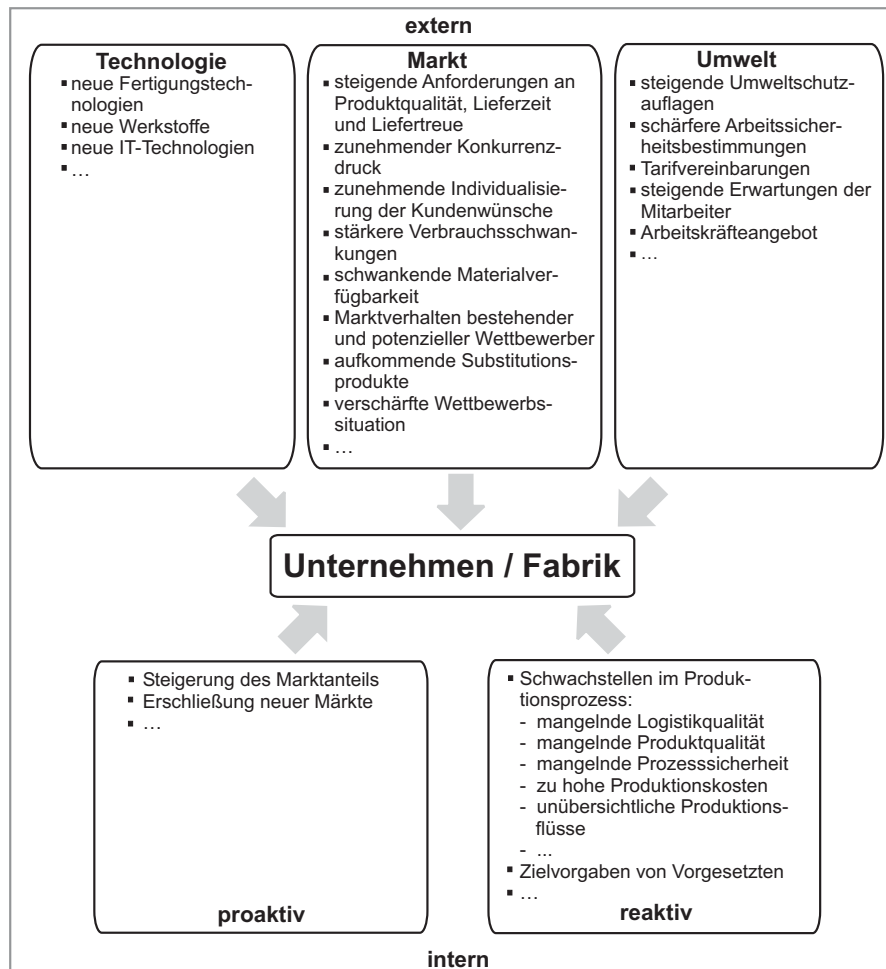


Bild 1.3 Unternehmensexterne und -interne Wandlungstreiber

Die erste Klasse von Wandlungstreibern resultiert aus den Entwicklungen im unternehmensexternen Umfeld. Sie können ihren Ursprung in Technologie-, Markt- oder Umweltveränderungen haben (siehe *Bild 1.3*, oberer Teil) und sollen näher betrachtet werden.

Wesentliche *technologische Wandlungstreiber* sind neue Werkstoffe, neue Fertigungstechnologien oder neue IT-Technologien. Im Folgenden wird exemplarisch die Bedeutung neuer Fertigungstechnologien für Produktionsunternehmen dargestellt. Die industrielle Anwendbarkeit des Laserschneidens hat bei vielen metallverarbeitenden Betrieben, die ihre Produkte aus Flachmaterial (Blechen) fertigen und darüber hinaus eine hohe Variantenvielfalt bei kleinen bis mittleren Stückzahlen je Produkt aufweisen, dazu geführt, dass das konventionelle Stanzen durch das wesentlich flexiblere und rüstzeitärmere Laserschneiden ersetzt worden ist. Sicherlich liegt der Hauptgrund für die Technologiesubstituierung nicht in der Lasertechnologie an sich begründet. Eine solche Entscheidung wird primär unter Wirtschaftlichkeitsaspekten (geringerer Materialverschnitt, Personaleinsparung, deutliche Verringerung der Werkzeuginstandhaltung) und Flexibilitätsaspekten (größeres Bearbeitungsspektrum, kürzere Rüstzeiten) getroffen. Aber erst die Anwendbarkeit der Laserschneidtechnologie für produzierende Unternehmen hat diese Substituierung ermöglicht. Da der Einsatz dieser neuen Fertigungstechnologie neben wirtschaftlichen und flexibilitätsbedingten Aspekten auch weitreichende fabrikplanerische Konsequenzen für das betreffende Unternehmen haben kann, ist es gerechtfertigt, hier von einem technologischen Wandlungstreiber zu sprechen.

Werden beispielsweise mehrere Stanzen einschließlich der benötigten Werkzeuge durch eine Laserschneidanlage ersetzt, so kann diese Substitution umfassende fabrikplanerische Konsequenzen zur Folge haben. Bisher benötigte Flächen in der Fabrik, auf denen die Stanzen gestanden haben, können nun in der Regel einer anderen Nutzung zugeführt werden. Notwendige Schallschutzmaßnahmen zur Eindämmung des Lärms beim Stanzen sind nicht mehr notwendig; dafür werden aber erhöhte Anforderungen an die Abluftabsaugung in der Halle gestellt, um die entstehenden Schneidgase abführen zu können. Ferner werden bisher im Werkzeuglager benötigte Flächen für die Stanzwerkzeuge frei.

Schon an diesem Beispiel wird deutlich, dass die Identifizierung von Wandlungstreibern sowie deren Konsequenzen für die Fabrik keineswegs trivial sind. Gerade deswegen ist ein grundlegendes Verständnis für die verschiedenen Wandlungstreiber, die auf eine Fabrik einwirken können, sehr wichtig.

Externe Wandlungstreiber, die unter dem Oberbegriff der *Marktveränderungen* zusammengefasst werden können, werden aus den fünf Triebkräften des Branchenwettbewerbs nach Porter gemäß *Bild 1.4* abgeleitet [Port99].

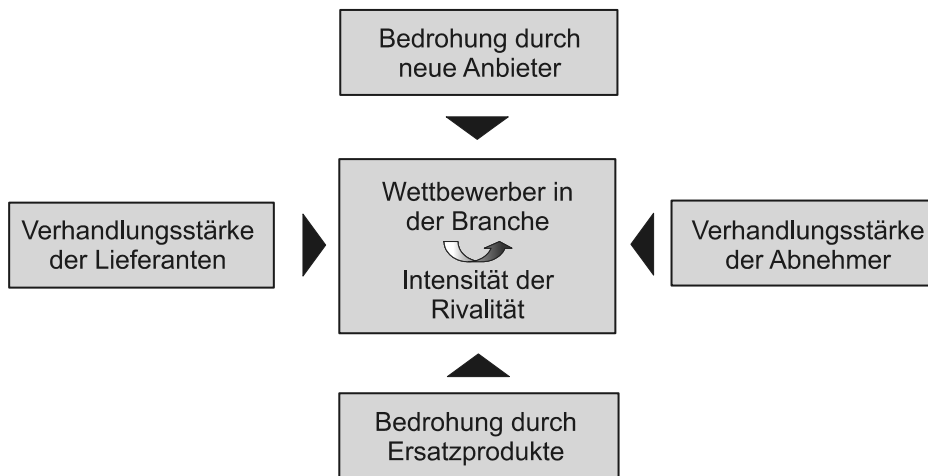


Bild 1.4 Triebkräfte des Branchenwettbewerbs [Port99]

Von Abnehmerseite wirken steigende Anforderungen in Bezug auf Produktqualität, Lieferzeit und Liefertreue sowie ein zunehmender Kostendruck wandlungstreibend auf Fabriken. Ferner sind eine immer stärkere Individualisierung der Kundenwünsche sowie stärker werdende Verbrauchsschwankungen zu verzeichnen. Lieferantenseitige Schwankungen bezüglich der Materialverfügbarkeiten hinsichtlich Menge, Qualität und Lieferzeiten können ebenfalls wandlungstreibende Einflüsse sein, die auf Fabriken einwirken. Weiterhin muss das Marktverhalten von bestehenden sowie potenziellen neuen Wettbewerbern beobachtet werden. Erzeugt einer dieser Marktteilnehmer Turbulenz am Markt durch eine überraschende Preisreduzierung oder Lieferzeitverkürzung, muss hierauf ein Unternehmen durch entsprechende Maßnahmen in seiner Fabrik reagieren. Einen weiteren marktseitigen Wandlungstreiber stellt ferner die Bedrohung durch Ersatzprodukte dar, die von bestehenden oder auch neuen Wettbewerbern angeboten werden. Kritisch wird es für Unternehmen besonders dann, wenn bestehende Produkte durch gänzlich neue Produkttechnologien bzw. Produkte substituiert werden. Es lässt sich feststellen, dass sich marktseitig die Wettbewerbssituation insgesamt zunehmend verschärft.

Externe Wandlungstreiber aus dem Bereich *Umwelt* resultieren aus der zunehmenden Globalisierung, schärfer werdenden Arbeitsschutz- und Umweltschutzaufgaben, steigenden Erwartungen der Mitarbeiter, den Tarifvereinbarungen zwischen Gewerkschaften und Arbeitgebern sowie aus dem Arbeitskräfteangebot hinsichtlich Mitarbeiterverfügbarkeit und -qualifikation.

Die zweite Klasse von Wandlungstreibern hat ihren Ursprung im Unternehmen selbst. Diese unternehmensinternen Wandlungstreiber können in zwei Unterklassen

eingeteilt werden: reaktive und proaktive Wandlungstreiber (siehe *Bild 1.3*, unterer Teil).

Zu den *reaktiven Wandlungstreibern* zählen vor allem Schwachstellen im Produktionsprozess, auf die erst im Nachhinein, also nach deren Auftreten, reagiert wird. Zu den Schwachstellen werden dabei eine mangelnde Produktqualität, eine zu geringe Logistikqualität (zu hohe Lieferzeiten, zu hohe Bestände), eine zu geringe Prozesssicherheit, zu hohe Produktionskosten sowie unübersichtliche Strukturen und Materialflüsse gezählt. Weiterhin gehören zu den reaktiven Wandlungstreibern Anweisungen oder Zielvorgaben von übergeordneten Hierarchieebenen an untergeordnete Fabrikbereiche.

Bei der Suche nach den Gründen für diese Entscheidungen des Managements kommen in der Regel zwei Aspekte in Betracht. Zum einen können die Entscheidungen durch externe Wandlungstreiber oder Impulse, die auf eine übergeordnete Hierarchieebene einwirken, begründet sein [Nofe02]. Zum anderen kann einer Vorgesetztenentscheidung („Vorstandsentscheidung“) aber auch ein unternehmensinterner Wandlungstreiber der zweiten Unterklasse von unternehmensinternen Wandlungstreibern zugrunde liegen: die *proaktiven Wandlungstreiber*. Diese können nach Wiendahl das Verfolgen einer Offensivstrategie seitens der Unternehmensleitung bedeuten [Wien02]. Kerninhalt dieser Offensivstrategie ist das bewusste und damit vorhersehbare Erzeugen von Turbulenz am Markt. Das Ziel dieses proaktiven Handelns ist eine Erhöhung des Marktanteils oder die Erschließung neuer Märkte. Zur Erreichung dieser Ziele werden Maßnahmen eingeleitet, die weder der Kunde direkt fordert noch ein Wettbewerber schon anbietet, die aber dennoch direkt vom Kunden wahrgenommen werden können. Exemplarisch seien in diesem Zusammenhang die Einführung neuer Produkttechnologien oder die Reduzierung von Lieferzeiten genannt.

Wandlungstreiber wirken permanent auf ein Unternehmen und damit auch auf die Fabrik ein. Erst wenn bestimmte Schwellen über- oder unterschritten werden, zeigen sie auch tatsächlich einen Wandlungsbedarf an und werden damit zu Wandlungsbedarfsindikatoren. Kann ein Wandlungstreiber in Form einer Kennzahl quantifizierbar gemacht werden, lässt sich in der Regel ein unternehmensspezifischer Schwellwert ermitteln, bei dessen Unterschreiten ein Wandlungsprozess angestoßen werden sollte. Lässt sich ein Wandlungstreiber dagegen nicht quantifizieren, kann kein Schwellwert angegeben werden. In diesen Fällen ist der Übergang eines Wandlungstreibers zu einem Wandlungsbedarfsindikator fließend.

Als Fazit kann festgehalten werden, dass die auf ein Unternehmen einwirkenden Einflüsse mehr oder weniger wandlungsfähige Fabriken erfordern. Nur so kann die Zukunftsfähigkeit einer Fabrik und damit die Wettbewerbsfähigkeit eines gesamten

Unternehmens sichergestellt werden. Bei der Analyse von Wandlungstreibern muss sowohl das unternehmensexterne Umfeld als auch das Unternehmen selbst betrachtet werden. Ein ausschließliches Reagieren auf unternehmensinterne Schwachstellen reicht nicht aus, um die Zukunftsfähigkeit des Unternehmens zu sichern. Es ist zusätzlich erforderlich, unternehmensexterne Entwicklungen in den Bereichen Technologie, Markt und Umwelt permanent zu beobachten, um auf geänderte Anforderungen entsprechend reagieren zu können. Darüber hinaus kann das proaktive Erzeugen von Turbulenz am Markt eine notwendige Maßnahme zur Erhöhung des Marktanteils und damit zur Sicherstellung der Zukunftsfähigkeit eines gesamten Unternehmens sein [Wien02a].

Die hohe Bedeutung wandlungsfähiger Fabriken für die Zukunftsfähigkeit von Unternehmen belegt auch eine Unternehmensstudie, die vom Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung (IPA) und dem Institut für Industrielle Fertigung und Fabrikbetrieb (IFF) der Universität Stuttgart durchgeführt wurde [Kirc03]. Hier hat die Auswertung des Veränderungsbedarfs gezeigt, dass über 80% der Unternehmen eine Erhöhung der Wandlungsfähigkeit unter der Prämisse der Wirtschaftlichkeit als notwendig erachten.

1.2.2 Definition des Begriffs Wandlungsfähigkeit

Wie bereits dargelegt wurde, ist der Aspekt Wandlungsfähigkeit inzwischen zu einem zentralen Erfolgsfaktor für zukunftsfähige Fabriken geworden. Zu den klassischen Zielfeldern der Fabrikplanung Wirtschaftlichkeit, Flexibilität und Attraktivität tritt Wandlungsfähigkeit als neues Zielfeld hinzu [Wien02b]. In Anlehnung an Wiendahl wird in diesem Buch unter Wandlungsfähigkeit Folgendes verstanden [Wien02a]:

Wandlungsfähigkeit beschreibt das Vermögen einer Fabrik, ausgehend von internen und externen Auslösern, aktiv ihren Aufbau auf allen Ebenen bei geringem Aufwand verändern zu können.

Wandlungsfähigkeit geht über die klassische Flexibilität hinaus. Diese kann in Anlehnung an Wiendahl und Hernández als ein definierter Spielraum zur Veränderung bezeichnet werden, der lediglich eine elastische Anpassung ohne substanzielle Veränderung des Fabrikaufbaus ermöglicht [Wien00]. Wandlungsfähigkeit repräsentiert vielmehr das Potenzial einer Fabrik, über einen vordefinierten Handlungsspielraum hinaus notwendige Veränderungen durchführen zu können [Hern03].

Wandlungsfähigkeit kann also als Systemeigenschaft einer Fabrik verstanden werden, die die Fabrik in die Lage versetzt, auf geplante oder ungeplante Veränderungen

effektiv und effizient zu reagieren [Wien02b]. Wandlungsfähigkeit schließt Flexibilität grundsätzlich mit ein.

Abschließend sei angemerkt, dass neben der zuvor vorgestellten Definition für den Begriff Wandlungsfähigkeit noch eine große Zahl weiterer, aber dennoch vergleichbarer Definitionen in der Literatur existieren. An dieser Stelle wird besonders auf die Arbeiten von Reinhart, Schuh, Wirth und Westkämper hingewiesen [Rein02, Schu04, Wirt01, West00].

Literatur zu Abschnitt 1.2

- [Hern03] Hernández Morales, R.: Systematik der Wandlungsfähigkeit in der Fabrikplanung. Dissertation, Universität Hannover. Fortschr.-Ber. VDI Reihe 16 Nr. 149. VDI Verlag, Düsseldorf, 2003.
- [Kirc03] Kirchner, S.; Winkler, R.; Westkämper, E.: Unternehmensstudie zur Wandlungsfähigkeit von Unternehmen. Ergebnisse einer Unternehmensbefragung unter 200 deutschen produzierenden Unternehmen. wt Werkstattstechnik online 93 (2003) H. 11, S. 254-260.
- [Nofe02] Nofen, D.; Klußmann, J.: Wandlungsfähigkeit durch modulare Fabrikstrukturen. *Industriemanagement* 18 (2003) H. 3, S. 49-52.
- [Port99] Porter, M. E.: Wettbewerbsstrategie - Methoden zur Analyse von Branchen und Konkurrenten. 10. Auflage, Campus-Verlag, Frankfurt/Main, 1999.
- [Rein02] Reinhart, G.; Berlak, J.; Effert, C.; Selke, C.: Wandlungsfähige Fabrikgestaltung. *ZWF Jahrg.* 97, H. 1-2, S. 18-23.
- [Schu04] Schuh, G.; Harre, J.; Gottschalk, S.; Kampker, A.: Design for Changeability (DFC) - Das richtige Maß an Wandlungsfähigkeit finden. Ergebnisse des EU-Verbundforschungsprojektes „Modular Plant Architecture“. wt Werkstattstechnik online 94 (2004) H. 4, S. 100-106.
- [Warn92] Warnecke, H. J.: Die Fraktale Fabrik - Revolution in der Unternehmenskultur. Springer-Verlag, Berlin u.a., 1992.
- [West00] Westkämper, E.; Zahn, E.; Balve, P.; Tilebein, M.: Ansätze zur Wandlungsfähigkeit von Produktionsunternehmen. Ein Bezugsrahmen für die Unternehmensentwicklung im turbulenten Umfeld. wt Werkstattstechnik 90 (2000) H. 1/2, S. 22-26.

-
- [Wien04] Wiendahl, H.-P.: Betriebsorganisation für Ingenieure. 5. korrigierte Auflage, Hanser, München, Wien, 2004.
- [Wien00] Wiendahl, H.-P.; Hernández, R.: Wandlungsfähigkeit - neues Zielfeld in der Fabrikplanung. *Industrie Management* 16 (2000) H.5, S. 37-41.
- [Wien02a] Wiendahl, H.-P.: Wandlungsfähigkeit - Schlüsselbegriff der zukunftsfähigen Fabrik. *wt Werkstattstechnik online* 92 (2002) H. 4, S. 122-127.
- [Wien02b] Wiendahl, H.-P.; Hernández, R.: Fabrikplanung im Blickpunkt. Herausforderung Wandlungsfähigkeit. *wt Werkstattstechnik online* 92 (2002) H. 4, S. 133-138.
- [Wirt01] Wirth, S.; Enderlein, H.; Hildebrand, T.: PLUG + PRODUCE. Ein Modulkonzept zur effizienten Gestaltung wandelbarer Produktions- und Organisationsstrukturen durch Vernetzung. *Industriemanagement* 17 (2001) H. 5, S. 67-70.

2 Methodenteil

2.1 Komponenten und Aufbau einer wandlungsfähigen modularen Fabrik

Dirk Nofen, Jan Hinrich Klußmann, Frederik Löllmann

IPH – Institut für Integrierte Produktion Hannover gemeinnützige GmbH

Im Kontext der Fabrikplanung wird die modulare Fabrik schon seit Ende der 1980er Jahre diskutiert [Wild88]. Wildemann versteht unter der modularen Fabrik eine nach produktbezogenen Aspekten in Segmente dezentralisierte Produktion (Fertigungssegmentierung). Hierbei bildet ein Fertigungssegment eine produktorientierte Einheit, die indirekte Funktionen beinhaltet, mehrere Wertschöpfungsstufen umfasst, eine hohe Markt- und Zielausrichtung aufweist sowie kosten- und ergebnisverantwortlich ist [Wild98]. Während Wildemann ähnlich wie Warnecke [Warn92] den organisatorischen Aspekt der Fabrikmodularisierung betont, stehen in anderen Ansätzen verstärkt die Modularisierung von Fertigungseinrichtungen (modulare Betriebsmittel) [Roßk04, Weck00] oder die Modularisierung von Gebäudeelementen (Fassaden, Dächer, Decken, Wände) bzw. der Gebäudetechnik im Vordergrund [Schu02]. Die Rasterung von Flächen (Flächenraster) oder von ganzen Gebäuden (Gebäuderaster) ist ein weiterer Aspekt, der im Zusammenhang mit der Modularisierung von Fabriken diskutiert wird [Reic99, Reic01].

Die zuvor dargestellten Modularisierungsansätze stellen lediglich einen kleinen Auszug aus den vorhandenen Modularisierungsansätzen in Bezug auf die Fabrikplanung dar. Generell hat die Modularisierung das Ziel, die Übersichtlichkeit von Fertigungseinrichtungen, der Produktion oder der ganzen Fabrik zu erhöhen, die Planungsdauer zu verkürzen und den Planungsaufwand zu reduzieren [Nofe03a]. Insbesondere durch die Standardisierung der technischen Module (Betriebsmittel, Gebäudetechnik) sowie ihrer Schnittstellen wird sichergestellt, dass Module einfach austauschbar sowie reduzier- und erweiterbar sind. Hierdurch können die Komplexi-

tät und die Dynamik, durch die sich technische Systeme auszeichnen, beherrscht werden [Göpf98]. Notwendige Veränderungen können zielorientiert in einzelnen, gekapselten Modulen durchgeführt werden, ohne dass dadurch das Gesamtsystem in seiner Funktion gestört wird.

Aufgrund dieser positiven Eigenschaften, die die Modularisierung von Produktions- und Fabrikstrukturen bietet, wird die Fabrikmodularisierung als ein zentraler Ansatz gesehen, um einzelne Produktionssysteme, aber auch ganze Fabriken wandlungsfähig zu gestalten und damit robust gegen zukünftige Veränderungen zu machen [Wien01, Matt02].

Zu diesem Ergebnis ist auch die Expertengruppe gekommen, die im Rahmen des BMBF-Verbundprojekts „Wandlungsfähigkeit durch modulare Fabrikstrukturen“ (WdmF) unter anderem die Potenziale intensiv untersucht hat, die die Modularisierung von Fabrikstrukturen bietet [Kluß04]. Hier hat sich schnell gezeigt, dass die Modularisierung neben weiteren Befähigern eine zentrale Rolle bei der Gestaltung wandlungsfähiger Fabriken einnimmt. Im Folgenden wird detailliert aufgezeigt, wie eine Fabrik als Ganzes modular gestaltet werden kann. Ferner wird erläutert, welche Rolle dabei den einzelnen Fabrikelementen innerhalb der modularen Struktur zukommt. Schließlich wird dargestellt, durch welche Maßnahmen die Potenziale, die modulare Fabrikstrukturen in Bezug auf die Wandlungsfähigkeit bieten, konsequent ausgeschöpft werden können. Hierzu werden so genannte Wandlungsbefähiger vorgestellt, die abrufbare Eigenschaften von Fabrikelementen und Fabrikmodulen zum Wandel darstellen [Hern03].

Der in diesem Buch verfolgte Modularisierungsansatz berücksichtigt integrativ technische, organisatorische und bauliche Aspekte. Es sei angemerkt, dass die zuvor vorgestellten, schon existierenden Modularisierungsansätze dadurch nichts an ihrer Aktualität verlieren.

2.1.1 Fabrikelemente: Bestandteile von Fabriken

Bevor eine Fabrik systematisch modularisiert werden kann, ist zunächst eine genaue Kenntnis darüber erforderlich, aus welchen Bestandteilen eine Fabrik aufgebaut ist. In Anlehnung an Nofen et. al. wird der Begriff *Fabrikelement* wie folgt definiert [Nofe03a]:

Unter einem Fabrikelement wird eine fabrikplanerisch gestaltbare physische oder nicht-physische Einheit einer Fabrik verstanden, die so weit detailliert ist, dass sie eindeutig einem der drei Gestaltungsbereiche einer Fabrik (Betriebsmittel, Organisation sowie Raum und Gebäudetechnik) zugeordnet werden kann. Zum

Zweck der konkreten Ausplanung kann ein Fabrikelement in weitere Teilelemente zerlegt werden, allerdings nur so weit, wie es aus Sicht der Fabrikplanung zweckmäßig ist.

Sieht man sich diese Definition genauer an, so fallen drei Punkte ins Auge:

- Die Betrachtung einzelner Fabrikelemente berücksichtigt den integrativen Ansatz. Nicht-physische Organisationselemente wie z.B. Logistikkonzepte werden gleichbedeutend zu den physischen Betriebsmittel- sowie Raum- und Gebäudetechnikelementen behandelt.
- Die Fabrikplanungssicht steht im Vordergrund. Fabrikelemente werden nur soweit in weitere Elemente zerlegt, wie es aus Fabrikplanungssicht notwendig ist. Zur Verdeutlichung dieser Aussage wird exemplarisch die Zerlegung einer Fertigungseinrichtung in einzelne Baugruppen betrachtet. Eine solche Detaillierung ist für den Konstrukteur aus funktionalen Gründen zwingend erforderlich. Aus Fabrikplanungssicht ist sie aber nicht notwendig und wird daher auch nicht vorgenommen. Die Baugruppen z.B. einer Werkzeugmaschine sind deshalb auch nicht dem Bereich der Fabrikelemente zuzuordnen. Aus Fabrikplanungssicht sind vielmehr die Eigenschaften interessant, die ein Betriebsmittel erfüllen muss, um die Wandlungsfähigkeit der Fabrik zu unterstützen.
- Die Mitarbeiter eines Unternehmens stellen keine Fabrikelemente dar. Der Grund hierfür besteht darin, dass man ihrer Rolle im Unternehmen nicht gerecht werden würde, betrachtete man sie als gestaltbare Einheiten einer Fabrik. Mitarbeiter stellen vielmehr eine Ressource dar und sind Träger der Wandlungskompetenz [Hern03]. Zu dieser Wandlungskompetenz gehört neben der Fähigkeit, einen Wandel durchführen zu können, auch die Bereitschaft, erforderliche Veränderungen durchführen und unterstützen zu wollen [Nofe03a]. Zur Förderung dieser Wandlungskompetenz ist jedoch eine entsprechende Ausgestaltung des Fabrikelements Arbeitsorganisation entscheidende Voraussetzung.

Bild 2.1 zeigt eine Übersicht über die verschiedenen Fabrikelemente sowie deren Zuordnung zu den verschiedenen Gestaltungsbereichen einer Fabrik [Nofe03]. Sowohl die Gestaltungsbereiche als auch die zugeordneten Fabrikelemente sind im Rahmen diverser Expertengespräche erarbeitet und validiert worden.

Eine Erläuterung sowie Detaillierung der verschiedenen Fabrikelemente befindet sich im *Abschnitt 5.1*. Die dort jeweils vorgenommene Detaillierung der Fabrikelemente in weitere Teilelemente ist unter Berücksichtigung der oben angesprochenen Fabrikplanungssicht durchgeführt worden. Ergänzend wird erwähnt, dass andere Autoren in diesem Zusammenhang nicht von Fabrikelementen und Teilelementen, sondern von

Wandlungsobjekten erster und zweiter Ordnung sprechen [Hern03, Nyhu04]. In diesem Zusammenhang wird auch auf *Abschnitt 2.7* verwiesen.

				Gestaltungsbereiche		
				Betriebsmittel (B)	Organisation (O)	Raum- und Gebäudetechnik (R)
Fabrikelemente				<ul style="list-style-type: none"> ▪ Fertigungseinrichtungen ▪ Montageeinrichtungen ▪ Logistikeinrichtungen ▪ Qualitätssicherungseinrichtungen ▪ Informations-/Kommunikationseinrichtungen ▪ Übergeordnete Systeme ▪ Ver-/ Entsorgungseinrichtungen ▪ Mobiliar 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Unternehmensstrategie ▪ Logistikkonzept ▪ Prozessgestaltung ▪ Aufbauorganisationsgestaltung ▪ Arbeitsorganisation ▪ Qualitätssicherungskonzept 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Grundstück ▪ Baukonstruktion ▪ Technische Anlagen ▪ Außenanlagen ▪ Ausstattung ▪ Konzepte

Bild 2.1 Gestaltungsbereiche und Elemente einer Fabrik

2.1.2 Fabrikmodule: Abgegrenzte Bereiche einer Fabrik

Aus den zuvor vorgestellten Fabrikelementen lassen sich Fabrikmodule bilden. Jedes Fabrikmodul ist jeweils eindeutig einer der fünf Strukturebenen einer Fabrik zuordenbar und stellt einen technisch, organisatorisch sowie räumlich abgegrenzten Bereich einer Fabrik dar [Nofe03a, Nofe03b]. Ein Fabrikmodul hat gemäß *Bild 2.2* eine definierte Aufgabe zu erfüllen und diese in Form einer unternehmensintern oder -extern verkaufbaren Leistung zur Verfügung zu stellen. Bei dieser Leistung kann es sich um einzelne (verkaufbare) Bearbeitungsoperationen (z.B. Schleifen als Lohnarbeit), Werkstücke/Baugruppen, Komponenten/Subsysteme, Produkte/Systeme oder um Produkt-/Serviceportfolios handeln [Wien02].

Zur Leistungserfüllung wird ein Fabrikmodul über definierte Schnittstellen mit allen für die zur Erfüllung der Aufgabe notwendigen Flüssen (Information, Kommunikation, Material, Energie, Medien, Personal und Werte) versorgt und ist damit isoliert von anderen Fabrikmodulen testbar. Ein Fabrikmodul kann ebenenspezifische Fabrikelemente aus den drei Gestaltungsbereichen sowie Submodule untergeordneter Fabrikstrukturebenen enthalten und wird durch Mitarbeiter betrieben. Mitarbeiter sind damit integraler Bestandteil eines Fabrikmoduls. Darüber hinaus verfügt ein