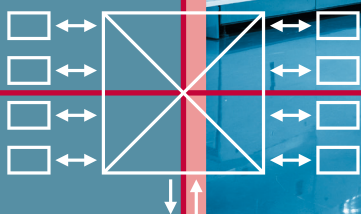


Claus-Gerold Grundig

# Fabrikplanung

Planungssystematik – Methoden – Anwendungen



7., aktualisierte Auflage



HANSER





**Blieben Sie auf dem Laufenden!**

Hanser Newsletter informieren Sie regelmäßig über neue Bücher und Termine aus den verschiedenen Bereichen der Technik. Profitieren Sie auch von Gewinnspielen und exklusiven Leseproben. Gleich anmelden unter

**[www.hanser-fachbuch.de/newsletter](http://www.hanser-fachbuch.de/newsletter)**



Claus-Gerold Grundig

# Fabrikplanung

Planungssystematik – Methoden – Anwendungen

7., aktualisierte Auflage

HANSER

**Autor:**

Prof. Dr.-Ing. Claus-Gerold Grundig  
Technische Hochschule Wildau (FH), Fachbereich Ingenieur- und Naturwissenschaften,  
Professur Fabrikplanung/Fabrikbetrieb



Alle in diesem Buch enthaltenen Informationen wurden nach bestem Wissen zusammengestellt und mit Sorgfalt geprüft und getestet. Dennoch sind Fehler nicht ganz auszuschließen. Aus diesem Grund sind die im vorliegenden Buch enthaltenen Informationen mit keiner Verpflichtung oder Garantie irgendeiner Art verbunden. Autor(en, Herausgeber) und Verlag übernehmen infolgedessen keine Verantwortung und werden keine daraus folgende oder sonstige Haftung übernehmen, die auf irgendeine Weise aus der Benutzung dieser Informationen – oder Teilen davon – entsteht.

Ebenso wenig übernehmen Autor(en, Herausgeber) und Verlag die Gewähr dafür, dass die beschriebenen Verfahren usw. frei von Schutzrechten Dritter sind. 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 Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürften.

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.

Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt.

Alle Rechte, auch die der Übersetzung, des Nachdruckes und der Vervielfältigung des Buches, oder Teilen daraus, sind vorbehalten. Kein Teil des Werkes darf ohne schriftliche Genehmigung des Verlages in irgendeiner Form (Fotokopie, Mikrofilm oder ein anderes Verfahren) – auch nicht für Zwecke der Unterrichtsgestaltung – reproduziert oder unter Verwendung elektronischer Systeme verarbeitet, vervielfältigt oder verbreitet werden.

© 2021 Carl Hanser Verlag München

Internet: [www.hanser-fachbuch.de](http://www.hanser-fachbuch.de)

Lektorat: Frank Katzenmayer

Herstellung: Anne Kurth

Covergestaltung: Max Kostopoulos

Coverkonzept: Marc Müller-Bremer, [www.rebranding.de](http://www.rebranding.de), München

Titelbild: © [stock.adobe.com/kalafoto](http://stock.adobe.com/kalafoto)

Satz: Eberl & Koesel Studio GmbH

Druck und Bindung: CPI books GmbH, Leck

Printed in Germany

Print-ISBN 978-3-446-46751-4

E-Book-ISBN 978-3-446-47006-4

# Vorwort

Globalisierung der Produktion, steigende Marktdynamik, erhöhter Kostendruck sowie die Sicherung von sowohl Energie- und Ressourceneffizienz als auch Ökologie zwingen die Industrieunternehmen zur ständigen innovativen Anpassung ihrer Fabrik- und Produktionsstrukturen an veränderte Bedingungen. Problemstellungen und Projekte des Fachgebietes Fabrikplanung sind damit direkt angesprochen und stellen aufgrund ihrer hohen Bedeutung für die Sicherung der Wettbewerbsfähigkeit der Unternehmen Daueraufgaben betrieblicher Tätigkeiten dar. Die treffsichere, planungsmethodische Beherrschung dieser Fabrikplanungsprozesse ist dabei für die Unternehmen von existenzieller Bedeutung.

Das vorliegende Lehrbuch greift diese Entwicklungen auf und stellt in komprimierter Form klassische und innovative Inhalte wesentlicher Planungsfelder der Fabrikplanung und funktionelle Zusammenhänge dar. Besondere Beachtung wurde der durchgängigen und systematischen Problembearbeitung unter inhaltlich-methodischen Aspekten geschenkt. Eine wesentliche Voraussetzung zur Sicherung einer gezielten Lösungsentwicklung und rationellen Projektentwicklung ist die konsequente Durchsetzung einer problembezogenen und durchgängigen Entscheidungssystematik. Auch zeigt die Anwendungspraxis, dass bei Einsatz digitaler Planungswerkzeuge Kenntnisse der in diesen implizierten Methoden der digitalen Struktur- und Prozessplanung unabdingbar sind. Nur dann ist eine gezielte Werkzeugauswahl sowie eine begründete Ergebnisbewertung und -umsetzung möglich.

Basierend auf der allgemeingültigen Fabrikplanungssystematik werden die für eine systematische Lösungsentwicklung von Fabrikplanungsaufgaben erforderlichen Planungsfelder, Planungsphasen und Bearbeitungsinhalte in ihren Grundsätzen behandelt. Spezielle Projektbeispiele aus der Industriepraxis veranschaulichen den Planungsablauf und Methodeneinsatz. Der Stoffumfang und die Vielgestaltigkeit des Fachgebietes machten Einschränkungen erforderlich, wobei versucht wurde, den Gesamtüberblick über wesentliche Planungsinhalte zu gewährleisten.

Das Lehrbuch entstand als Ergebnis meiner langjährigen Tätigkeiten in Lehre, Forschung und Industriepraxis. Es wendet sich an Studierende des Ingenieur- und Wirtschaftsingenieurwesens an Universitäten und Hochschulen sowie an das Management und an Planungsingenieure in der Industrie. Das Buch will ordnende Grundlage zum Studium des Fachgebietes und zielführender Handlungsleitfaden zur systematischen Lösungsentwicklung sein.

Bei den Herren Professoren S. Wirt, E. Müller, R. Erfurth (Chemnitz), E. Gottschalk (†), M. Schenk (Magdeburg) und H.-K. Reuter (†) (Wismar) möchte ich mich für die langjährige beratende Zusammenarbeit und Unterstützung sehr bedanken.

Dank gilt auch Herrn Dipl.-Ing. D. Hartrampf (Wildau) für die Hilfe bei der technischen Umsetzung der Manuskripte. Ebenfalls danken möchte ich Herrn F. Katzenmayer vom Carl Hanser Verlag für die sehr gute Zusammenarbeit bei der nun vorliegenden siebten Auflage. Ebenso wichtig war der Austausch mit Fachkollegen und Studierenden in meiner Industrie- und Hochschultätigkeit. Für Hinweise aus dem interessierten Leserkreis bin ich dankbar.

Ganz besonderer Dank gilt an dieser Stelle auch meiner Familie, insbesondere meiner Frau Sylvia für viel Verständnis und Geduld in den Phasen der Manuskriptbearbeitung über mehrere Auflagen.

Kleinmachnow, im Juli 2021

*Claus-Gerold Grundig*

# Inhalt

|                                                |           |
|------------------------------------------------|-----------|
| <b>Vorwort</b>                                 | <b>5</b>  |
| <b>1 Grundlagen der Fabrikplanung</b>          | <b>11</b> |
| 1.1 Grundprinzipien                            | 11        |
| 1.2 Planungsgrundfälle                         | 17        |
| 1.3 Merkmale von Fabrikplanungsaufgaben        | 19        |
| 1.4 Planungsgrundsätze                         | 23        |
| 1.5 Entwicklungstendenzen                      | 27        |
| 1.5.1 Grundprinzipien                          | 27        |
| 1.5.2 Globale Fabrikplanung                    | 27        |
| 1.5.3 Kooperative Fabrikplanung                | 28        |
| 1.5.4 Digitale Fabrik – Industrie 4.0          | 29        |
| 1.5.5 Wandlungsfähige Fabrik                   | 30        |
| 1.5.6 Fraktale Fabrik                          | 32        |
| <b>2 Fabrikplanungssystematik</b>              | <b>37</b> |
| 2.1 Planungsablauf                             | 37        |
| 2.2 Planungsphasen                             | 49        |
| <b>3 Fabrikplanungsablauf – Planungsphasen</b> | <b>53</b> |
| 3.1 Zielplanung                                | 53        |
| 3.2 Vorplanung                                 | 56        |
| 3.2.1 Analyse Produktionspotenzial             | 56        |
| 3.2.2 Ableitung Produktionsprogramm            | 63        |
| 3.2.3 Standortklärung (optional)               | 70        |
| 3.2.4 Vorgabe Logistikprinzip/Lösungskonzept   | 70        |
| 3.2.5 Bedarfsabschätzung                       | 73        |
| 3.3 Grobplanung – Lösungsvarianten             | 76        |
| 3.3.1 Funktionsbestimmung – Produktionssystem  | 76        |
| 3.3.1.1 Grundprinzipien                        | 76        |
| 3.3.1.2 Ableitung Funktionsschema              | 78        |

|          |                                                          |            |
|----------|----------------------------------------------------------|------------|
| 3.3.2    | Dimensionierung – Teilsysteme .....                      | 83         |
| 3.3.2.1  | Grundprinzipien .....                                    | 83         |
| 3.3.2.2  | Betriebsmittel .....                                     | 84         |
| 3.3.2.3  | Personal .....                                           | 88         |
| 3.3.2.4  | Flächen .....                                            | 93         |
| 3.3.2.5  | Medien .....                                             | 100        |
| 3.3.3    | Strukturierung – Objektanordnung .....                   | 103        |
| 3.3.3.1  | Grundprinzipien .....                                    | 103        |
| 3.3.3.2  | Analyse Materialfluss .....                              | 107        |
| 3.3.3.3  | Bestimmung Fertigungsform .....                          | 121        |
| 3.3.3.4  | Entwurf Ideallayout .....                                | 143        |
| 3.3.4    | Gestaltung – Lösungsvarianten .....                      | 151        |
| 3.3.4.1  | Grundprinzipien .....                                    | 151        |
| 3.3.4.2  | Entwurf Reallayout .....                                 | 152        |
| 3.3.4.3  | Zuordnung Logistikelemente .....                         | 164        |
| 3.3.4.4  | Variantenauswahl – Vorzugsvariante .....                 | 181        |
| 3.4      | Feinplanung – Ausführungsprojekt .....                   | 188        |
| 3.5      | Ausführungsplanung .....                                 | 195        |
| 3.6      | Ausführung/Inbetriebnahme .....                          | 198        |
| <b>4</b> | <b>Strukturelevante Logistikprinzipien .....</b>         | <b>204</b> |
| 4.1      | Grundprinzipien .....                                    | 204        |
| 4.2      | Lagerorientierte Strukturen .....                        | 205        |
| 4.3      | Segmentierte Strukturen .....                            | 208        |
| 4.4      | Kanban-Strukturen .....                                  | 213        |
| 4.5      | Just-in-time-Strukturen .....                            | 214        |
| 4.6      | Modulare Strukturen .....                                | 216        |
| <b>5</b> | <b>Simulationstechnik im Fabrikplanungsprozess .....</b> | <b>220</b> |
| 5.1      | Grundprinzipien .....                                    | 220        |
| 5.2      | Anwendungsmethodik .....                                 | 230        |
| <b>6</b> | <b>Standortplanung .....</b>                             | <b>239</b> |
| 6.1      | Planungsinhalte .....                                    | 239        |
| 6.2      | Planungsmethodik .....                                   | 241        |
| <b>7</b> | <b>Generalbebauungsplanung .....</b>                     | <b>248</b> |
| 7.1      | Planungsinhalte .....                                    | 248        |
| 7.2      | Planungsmethodik .....                                   | 250        |

|          |                                                                                                                        |            |
|----------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| <b>8</b> | <b>Fabrikplanungsbeispiele – Industrieanwendungen</b>                                                                  | <b>267</b> |
| 8.1      | Simulationsuntersuchungen zur Auslegungs- und Investitionsplanung einer Fertigungslinie                                | 267        |
| 8.1.1    | Problemstellung – Investitionsobjekt Kleinteileproduktion                                                              | 267        |
| 8.1.2    | Untersuchungsablauf – Simulationsexperimente                                                                           | 268        |
| 8.1.3    | Experimentiierungsergebnisse                                                                                           | 273        |
| 8.2      | Logistische Neugestaltung der Geräteproduktion durch Aufbau segmentierter, flexibel automatisierter Fertigungskomplexe | 280        |
| 8.2.1    | Problemstellung – Rationalisierungsobjekt Geräteproduktion                                                             | 280        |
| 8.2.2    | Fabrikplanungsablauf – Industrieprojekt                                                                                | 283        |
| 8.2.2.1  | Zielplanung                                                                                                            | 283        |
| 8.2.2.2  | Vorplanung                                                                                                             | 285        |
| 8.2.2.3  | Grobplanung – Lösungsvariante                                                                                          | 294        |
| 8.2.2.4  | Feinplanung – Ausführungsprojekt                                                                                       | 311        |
| 8.2.2.5  | Ausführungsplanung – Shedhallenumbau                                                                                   | 318        |
| 8.2.2.6  | Projektrealisierung – Aufbau Fertigungskomplexe                                                                        | 319        |
| 8.2.3    | Systemweiterentwicklung                                                                                                | 319        |
| 8.2.3.1  | Nutzungserfahrungen                                                                                                    | 319        |
| 8.2.3.2  | Reengineering-Systemlösung                                                                                             | 322        |
|          | <b>Index</b>                                                                                                           | <b>325</b> |



## ■ 1.1 Grundprinzipien

Gegenstand des Fachgebietes **Fabrikplanung** sind die Standortbestimmung, die Gebäudewahl und -anordnung, die Gestaltung der Produktionsprozesse (Fertigungs- und Montageprozesse) einschließlich der einzuordnenden Logistikprozesse (Transport- und Lagerprozesse) und der erforderlichen Nebenprozesse (Betriebsmittelbau, Instandhaltungsprozesse u. a.) sowie deren Realisierung und Inbetriebnahme. Vereinfachend kann Fabrikplanung (auch als Werkplanung, Werkstrukturplanung bezeichnet) als vorausbestimmende Gestaltung industrieller Fabrik- bzw. Produktionssysteme charakterisiert werden.

Aufgaben und Arbeitsinhalte des Fachgebietes Fabrikplanung bilden dabei einen wesentlichen Teilkomplex innerhalb der Aufgabenkomplexe der **Unternehmensplanung**.

Stärker methodisch betrachtet kann definiert werden: **Fabrikplanung** ist der systematische, zielorientierte in aufeinander aufbauenden Phasen strukturierte und unter Zuhilfenahme von Methoden und Werkzeugen durchgeführte Prozess zur Planung einer Fabrik von der ersten Idee bis zum Aufbau und Hochlauf der Produktion [1.1].

In seinem Wesen stellt der Fabrikplanungsprozess einen **Investitionsprozess** dar, d. h., die Erarbeitung wirtschaftlicher Lösungen von Fabrik- bzw. Produktionsprozessen und deren rationelle Umsetzung sind die Kerninhalte.

Ein besonderer Anspruch der Fabrikplanung beruht darauf, dass es hierbei um die gedankliche Vorwegnahme und Festlegung zeitlich später stattfindender Aktivitäten und zu realisierender Projektlösungen geht, die mit zeitlichem Vorlauf im Rahmen der Fabrikplanungstätigkeit hochwertig vorab festzulegen sind. Der Prozess der Fabrikplanung beinhaltet somit „**vorausgedachte wettbewerbsfähige Produktion**“. In diesem Planungsprozess sind Kollisionen zwischen erforderlicher Planungstiefe, der Aussagekraft der verfügbaren Planungsdaten und Planungsvoraussetzungen und den sich im zeitlichen Planungsablauf verändernden Vorgaben und Bedingungen der Regelfall, sodass die praktische Planungstätigkeit von Unsicherheiten, Änderungen, Abschätzungen, Hochrechnungen, Analysen, Korrekturen und Vergleichen sowie in starkem Maße vom Einbringen von Praxiserfahrungen charakterisiert ist.

Der **Fabrikplanungsprozess** umfasst die Lösung von Problemstellungen der Planung, Realisierung und Inbetriebnahme von Fabriken. Dabei muss die Fabrik als Gesamtsystem gesehen werden, das durch die Gestaltungsergebnisse folgender **Planungsfelder** beschrieben wird:

- Bestimmung von Standorten (**Standortplanung**)
- Entwurf von Bebauungsplänen einschließlich der Wahl und Anordnung von Raum- und Gebäudesystemen (**Generalbebauungsplanung**)
- Konzeption von Produktions- und Logistikprozessen (einschließlich erforderlicher Personal- und Organisationsplanung) innerhalb definierter Flächen- und Raumsysteme (**Fabrikstrukturplanung**).

Diese Planungsfelder bilden in ihrer konkreten Gestaltung das **Fabrikkonzept**. Dieses unterliegt unterschiedlichen Zielsetzungen, die in Anlehnung an *Wiendahl* in drei wesentlichen **Zielfeldern** zusammengefasst werden können [1.2] bis [1.5]:

1. Sicherung einer hohen **Wirtschaftlichkeit** der Fabrik

Produkte sind bei minimalen Durchlaufzeiten und Beständen termin- und qualitätsgerecht unter weitgehender Vermeidung nicht wertschöpfender Tätigkeiten herzustellen. Dabei sind ein logistikgerechter Produktions- und Materialfluss sowie eine bestmögliche Auslastung von Ausrüstungen, Flächen (Räumen) und Personal zu gewährleisten

2. Sicherung einer hohen **Flexibilität und Wandlungsfähigkeit** der Fabrik

Ausrüstungen, Prozesse, Raumstrukturen, Gebäudesysteme, Organisationslösungen sind zur Sicherung permanenter Anpassungsfähigkeit an die Turbulenz äußerer (z.B. Absatzschwankungen) und innerer Einflüsse (z.B. Produktanlauf) flexibel und wandlungsfähig auszulegen

3. Sicherung einer hohen **Attraktivität** der Fabrik

Diese wird bestimmt durch

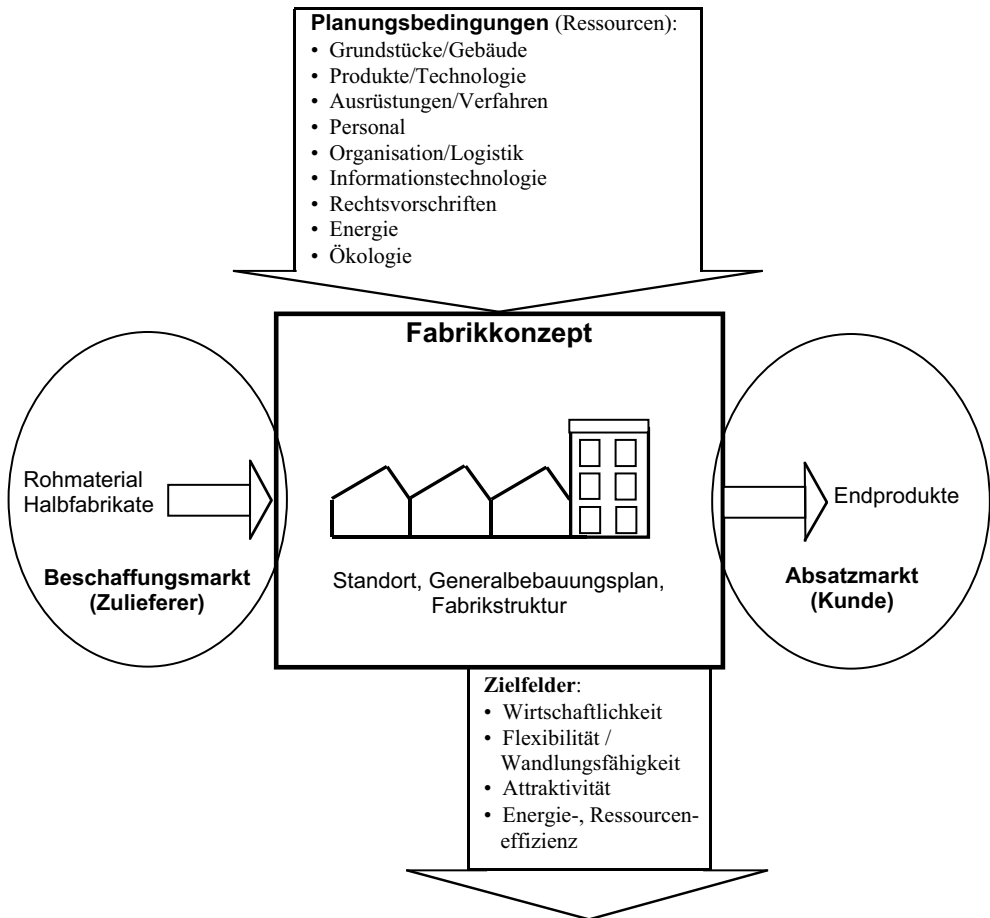
- motivierende, humane Arbeits-, Entlohnungs- und Sozialbedingungen
- Erfüllung ökologischer Kriterien zur Gewährleistung geringer Umweltbelastungen
- Umsetzung moderner, ästhetischer Industriearchitektur der Fabrikgebäude (Erscheinungsbild/Identität – corporate identity).

Aufgrund aktueller Entwicklungen im Energie- und Umweltbereich erfahren diese Zielfelder eine deutliche Erweiterung. So sind solche Fabrikkonzepte gefordert, mit denen die Erreichung und nachhaltige Sicherung einer hohen **Energie- und Ressourceneffizienz** gewährleistet wird (vgl. [1.41] bis [1.43]).

Grundsätzlich wird deutlich, das jeweilige Fabrikkonzept bildet Ergebnisse der Kerninhalte der Fabrikplanung ab – diese bestehen prinzipiell in der Planung des Zusammenwirkens von Mensch, Technik und Organisation.

In Bild 1.1 sind dazu wesentliche Zusammenhänge dargestellt. Erkennbar ist: Die Erarbeitung des Fabrikkonzeptes hat unter Beachtung der vier Zielfelder zu erfolgen. Das jeweilige Fabrikkonzept wiederum ist das Planungs- und Realisierungsergebnis der **Planungsfelder** Standort-, Bebauungs- und Fabrikstrukturplanung. Grundlagen der Fabrikplanung für eine gezielte Bearbeitung der Inhalte der drei Planungsfelder sind die jeweils verfügbaren Ressourcen (Investitions-, Ausrüstungs-, Gebäude- und Grundstückspotenziale), dargestellt als Planungsbedingungen. Weiterhin wird in Bild 1.1 deutlich, dass das Fabrikkonzept maßgeblich vom zu gestaltenden **Produktionsprozess** bestimmt wird, dieser wiederum durch das zu realisierende **Produktionsprogramm** als Ergebnis aktiver Markt- und Absatztätigkeit des Unternehmens beeinflusst ist (markt- bzw. kundengetriebene Fabrik). Die zu produzierenden Produktionsprogramme mit den Tendenzen

- steigende Variantenvielfalt (Diversifikation)
- sinkende Lebenszyklen
- sinkende Stückzahlgrößen
- kurzzeitige Produktwechsel
- steigende Sortimentsbreiten
- kurze Lieferzeiten



**Bild 1.1** Planungsbedingungen und Zielfelder der Fabrikplanung

bilden die Kerngrundlagen (Ausgangsgrößen) der Fabrikplanung. Die Güte der Vorbestimmung kurz-, mittel- bzw. langfristig zu erwartender **Produktionsprogrammentwicklungen** wird damit zu einem wesentlichen Qualitätsmerkmal für einen fundierten Fabrikplanungsprozess. Die Fabrikplanungspraxis zeigt, dass gerade die hinreichend genaue Vorgabe von Produktionsprogrammen bzw. Produktionsprogrammentwicklungen als Planungsgrundlage oftmals große Probleme bereitet. Verstärkt muss von unscharfen, stark wechselnden Vorgaben ausgegangen werden. Das wiederum liegt in der Natur des Fabrik-

planungsprozesses, denn dieser stellt einen betont **zukunftsbezogenen Planungsprozess** bei steigender Turbulenz der Planungsbedingungen dar und besitzt daher unter dem Aspekt seiner Modellierung grundsätzlich stochastischen Charakter. Typisch für den Fabrikplanungsprozess sind eine Vielzahl variabler Eingangsinformationen, von denen ein hoher Anteil Zufallscharakter besitzt. Diese Informationen ermöglichen oftmals keine eindeutigen Transformationen und folglich nur unscharfe Aussagen (z. B. über Kapazitäten, Flächen, Kosten). Wird andererseits der Faktor Zeit in diese Betrachtungen einbezogen, so muss auch vor Überfeinerungen in der Präzisierung und Auslegung von Projektlösungen gewarnt werden – vielmehr ist bei der Lösungsgestaltung eine Flexibilität bzw. Wandlungsfähigkeit der Fabrikanlage gegenüber begrenzten, erkennbaren aber auch offenen Produktionsprogrammveränderungen bewusst zu sichern. Anspruchsvolle Projekte der Fabrikplanung setzen zur Abschätzung von erforderlicher Anpassungsfähigkeit (z. B. gegenüber Schwankungen des Produktionsprogramms) oder zur Analyse von Extremsituationen (Szenarien) Methoden der digitalen Fabrik, wie z. B. virtuelle Analysen oder die Fabrik- und Materialflusssimulation ein. Diese ermöglichen vorausschauende Analysen sowie die Lösungsfindung über den Entwurf einer Vielzahl alternativer Varianten, sodass Extrembereiche und Unsicherheiten erkennbar werden.

Gegenstand und Methodik der Fabrikplanung sind wechselnden Einflüssen und Wandlungen unterworfen. Ursachen des dadurch hervorgerufenen ständigen **Anpassungs-** bzw. **Veränderungsdruckes** sind folgende Entwicklungen – von *Warnecke* als **Paradigmenwechsel** [1.6] bezeichnet (vgl. [1.7] bis [1.9], [1.44]):

- Globalisierung von Märkten und Standorten
- steigende Kundendominanz (Käufermarkt)
- Dezentralisierung der Wertschöpfung
- Dominanz und Differenzierung der Kostenstrukturen
- kurzzyklischer innovativer Wandel von Produkten bzw. Ausrüstungen
- sinkende Lebensdauer von Produkten und Prozessen.

Diese Entwicklungen schlagen bei steigender Marktturbulenz direkt auf die in den Unternehmen installierten Fabrikkonzepte durch und müssen von diesen umgesetzt bzw. kompensiert werden. Zwingend erforderlich ist daher eine permanente **Anpassung** bzw. **Neukonfiguration der Fabrikkonzepte** an die aktuell veränderten Bedingungen durch kontinuierlich veranlasste innovative Fabrikplanungstätigkeit.

Zur Durchsetzung dieser Forderungen wird neben einer **Flexibilität** auch eine darüber hinausgehende bewusst gestaltete und eingebaute **Wandlungsfähigkeit** des Fabriksystems postuliert (vgl. z. B. [1.3], [1.4], [1.10], [1.11], [1.43], [1.45]). Der Lösungsansatz wird hierbei u. a. in der Modularisierung von Fabrikstrukturen und -elementen gesehen (vgl. Abschnitt 1.5). Der erforderliche **Wandlungsbedarf** wird damit zur Führungs- bzw. Planungsgröße innovativer Fabrikkonzepte.

So betrachtet ist die Fabrik prinzipiell als „lebender Organismus“ zu begreifen. Konsequenter zielorientierte permanente Fabrikplanung ist damit von existentieller Bedeutung für die Industrieunternehmen. Im Ergebnis der dargestellten Entwicklungen können folgende Globalziele für den Entwurf **innovativer Fabrikkonzepte** abgeleitet werden:

- konsequente Kundenorientierung (Aufbau Kunden-Lieferanten-Beziehungen, unternehmensintern und -extern)

- Wertschöpfungsorientierung (Minimierung nicht wertschöpfender Prozesse)
- Mensch als wesentlicher Produktionsfaktor (Integration Humanpotenzial)
- Komplexitätsminimierung (Erzeugung Transparenz und Verantwortungsbezug durch Prozessvereinfachung)
- Dezentralisierung von Funktionen
- Sicherung von Flexibilität und Wandlungsfähigkeit
- Entwicklung der Kernkompetenzen/Optimierung der Fertigungstiefen
- Einordnung in effiziente Liefer-, Produktions- und Vertriebsnetzwerke.

Grundsätzlich sollte hinsichtlich der **Fabrikplanungslogik** beachtet werden, die herzustellenden Produkte (Produktionsaufgabe) bestimmen die erforderlichen Prozesse (**Fabrikstrukturen**), diese wiederum legen spezielle Gebäude- und deren Anordnungsstrukturen fest (**Generalbebauungsplanung**) und diese wiederum definieren maßgeblich das Anforderungsprofil des erforderlichen Grundstückes bzw. des Standortes (**Standortplanung**). Das heißt, Produkte definieren den Prozess und dieser wiederum das Grundstück (Standort). Nur in Umsetzung dieser Logik wird die allgemeine zu fordernde **prozessorientierte Fabrikstruktur** realisierbar.

Die Fabrik bzw. das Industrieunternehmen kann in die nachfolgend dargestellten hierarchischen **Strukturebenen** (Planungsebenen) vertikal aufgegliedert werden, wodurch die Komplexität abgebaut und die Transparenz des Planungsobjektes erhöht wird [1.3], [1.9]:

- **Arbeitsplatzstruktur** (Konfiguration Arbeitsplatz/Arbeitsstation)
- **Bereichsstruktur** (Anordnung Arbeitsplätze/Arbeitsstationen in Bereichen)
- **Gebäudestruktur** (Anordnung Bereiche – Fertigung, Montage, Logistik – in Gebäuden)
- **Generalstruktur** (Anordnung Gebäude im Werkgelände)
- **Standortstruktur** (Anordnung Gebäude im regionalen Wirtschaftsraum)
- **Unternehmensnetzstruktur** (Anordnung und Vernetzung von Unternehmen im regionalen bzw. überregionalen/internationalen Wirtschaftsraum).

Die **Fabrikstruktur** wird folglich gebildet durch die Arbeitsplatz-, Bereichs- und Gebäudestruktur bei direkter funktionaler Verknüpfung zur General- und Standortstruktur. Die **Unternehmensnetzstruktur** ist charakterisiert durch die standortübergreifende Vernetzung unterschiedlicher Unternehmen bzw. Leistungseinheiten. Die Fabrik ist unter dem Aspekt der Wertschöpfung folglich nicht als isolierte Einheit zu betrachten, sondern sie bildet einen **Wertschöpfungsknoten** im gesamten **Wertschöpfungsprozess** und ist damit Teil eines **Wertschöpfungsnetzes**. Diese unterliegen einer ständigen Fragmentierung und Neukonfiguration.

Fabriken durchlaufen spezifische **Fabriklebenszyklen**, die bei ganzheitlicher zeitlicher Betrachtung in folgende Phasen gegliedert werden können:

- Entwicklung (Planung Neusystem)
- Aufbau/Realisierung (Koordinierung Gewerke)
- Anlauf/Inbetriebnahme (gestufter Hochlauf)
- Betrieb (Nutzung – Innovationen, Rationalisierung, Instandhaltung)
- Abbau (Weiterverwendung/Sanierung/Verwertung).

Der inhaltliche Charakter und die zeitliche Ausdehnung dieser Phasen innerhalb des Fabriklebenszyklus sind in der industriellen Praxis sehr unterschiedlich. So werden z. B. die

Phasen Anlauf und Betrieb charakterisiert durch die Parallelität und die differenzierten Verläufe der Produkt-, Prozess- und Gebäudelebenszyklen. Zu fordern ist daher zur Synchronisation der Abläufe eine **ganzheitliche, durchgängige Fabrikplanungstätigkeit** über den gesamten Fabriklebenszyklus. Eine wesentliche, grundsätzliche Aufgabe dabei besteht in der ständigen Anpassung zwischen den Herausforderungen aus kurzen Lebenszyklen von Produkten und Prozessen (Innovation/Markturbulenz) und den Erfordernissen aus deutlich länger anzusetzenden Lebenszyklen (Nutzungszeiten) der Fabrikanlage (Gebäude, Anlagensysteme) insbesondere durch eine permanente Sicherung der zu fordernden Flexibilität und Wandlungsfähigkeit des Fabriksystems.

Gegenstand nachfolgender Abhandlungen zur Fabrikplanung sind Fabrikkonzepte für Produktionsprozesse mit diskretem Charakter (Stückprozesse), wie sie für Unternehmen des Maschinen-, Geräte-, Elektronik- und Fahrzeugbaus – folglich in breiten Industriebereichen – typisch sind.

Folgende **Prozessmerkmale** sind prinzipiell anzusetzen:

- Fabrik- bzw. Produktionssysteme werden gebildet aus:

- (quasi-)statischen Elementen
  - Grundstücke
  - Gebäude
  - Ausrüstungen
- dynamischen Elementen (Flusselemente)

#### *Stoffflussssysteme*

- Material/Produkte → Material-, Produktfluss
- Vorrichtungen, Werkzeuge, Prüfmittel → VWP-Fluss
- Medien (Ver- und Entsorgung, Haustechnik) → Medienfluss

#### *Personenflusssysteme*

- Mitarbeiter, Besucher → Personalfluss

#### *Energieflusssysteme*

- Energie (Antriebe, Heizung) → Energiefluss

#### *Informationsflusssysteme*

- Erfassung, Verarbeitung und Übertragung von Informationen → Informationsfluss

Diese unterschiedlichen **Flusssysteme** sind im Fabrikssystem hoch vernetzt, wobei dem Material- bzw. Produktfluss im Regelfall eine dominierende Bedeutung zukommt.

- Ein- oder Mehrstufigkeit von Prozessen (Fertigungsstufen, Verfahrensunterschiedlichkeit), gliederbar in
  - Rohteilefertigung
  - Vorfertigung (Teilefertigung)
  - Baugruppenfertigung (Baugruppenmontage)
  - Erzeugnisfertigung (Endmontage)
  - Sonderfertigungen (z. B. Oberflächenbearbeitung, Wärmebehandlung)
  - Demontageprozesse (Teil- bzw. Komplettzerlegung)

Fertigungsstufen können z. B. in Bereiche, Abschnitte, Inseln, Fraktale untergliedert sein.

- Materialflussvernetzung zwischen den Prozessstufen und innerhalb der Prozessstufen zwischen den Bearbeitungstechniken
- Förder-(Transport-), Lager- und Pufferprozesse innerhalb und zwischen den Prozessstufen (Logistikketten)
- Wert- und Kostenzuwachs mit fortschreitender Prozessstufe (Wertschöpfungskette)

Wesentliche **Produktmerkmale** sind:

- Produktaufbau im Regelfall mehrstufig hierarchisch gegliedert (Erzeugnisgliederung/ Stücklistenstrukturen, Auflösungsebenen) in Gleichteile, Variantenteile, Haupt-, Neben- Unterbaugruppen, Montagesätze und -module
- Werkstückform (Teilegeometrie) unterschiedlich – z. B. prismatisch, flach, rotationssymmetrisch
- Produktionsumfang und Wiederholungsgrad charakterisiert durch die Fertigungsarten
  - Einzelfertigung (einmalig/wiederkehrend)
  - Klein-, Mittel- und Großserienfertigung (zyklisch/azyklisch)
  - Massenfertigung.

## ■ 1.2 Planungsgrundfälle

Fabrikplanungsaufgaben können in fünf Grundfälle gegliedert werden, die sich hinsichtlich Aufgabencharakter, Problemumfang, Schwierigkeitsgrad, Lösungskonzepten und -freiräumen sowie speziellen Inhalten der Planungsmethodik unterscheiden.

### **Grundfall A: Neubau Industriebetrieb**

Der Neubau eines Industriebetriebes bildet den (idealen) klassischen Grundfall der Fabrikplanung (Aufbau einer Fertigungsstätte auf der „grünen Wiese“) und ist charakterisiert durch:

- hohen zeitlich-inhaltlichen Planungsvorlauf
- globale Vorgaben zu Produktionsprogramm und -entwicklung
- Bestimmung des optimalen Standortes einschließlich infrastrukturelle Einbindung erforderlich
- Generalbebauungsplanung Neugrundstück
- Erzielung optimaler Prozesslösungen aufgrund hoher Freiheitsgrade im Gestaltungsprozess.

Der Anteil von Grundfall A an der Vielzahl industrieller Fabrikplanungsaufgaben ist begrenzt. Im Rahmen der Globalisierung von Märkten und Standorten (Verlagerung, Dezentralisierung, Konzentration) ist allerdings eine Zunahme dieses Grundfalls deutlich erkennbar.

**Grundfall B: Um- und Neugestaltung bestehender Industriebetriebe/Fertigungskomplexe (Reengineering)**

Aufgaben diese Grundfalls bilden den dominierenden Anteil der anfallenden Fabrikplanungsaufgaben und stellen oftmals eine betriebliche Daueraufgabe dar („rollende Fabrikplanung“). Spezielle Merkmale sind:

- Zielsetzungen sind die Rationalisierung und/oder Modernisierung vorhandener Fertigungskomplexe (Strukturerneuerung/Restrukturierung/Fertigungstiefenoptimierung)
- relativ exakte Vorgaben zum Produktionsprogramm und zu dessen zeitlicher Entwicklung sind im Regelfall möglich
- fortlaufende Anpassung der Fertigungskomplexe an Produktionsprogrammveränderungen (Markt) bzw. an kostenwirksame Prozess- und Anlageninnovationen (Anpassungsplanung/Verlagerungsplanung).

**Grundfall C: Erweiterung bestehender Industriebetriebe/Fertigungskomplexe**

Dieser Grundfall liegt immer dann vor, wenn es primär um die Schaffung erweiterter Kapazitäten geht, z. B. infolge von Auftrags- und Umsatzwachstum. Verbunden mit diesen Zielsetzungen sind oftmals Modernisierungen bzw. Rationalisierungen tangierender, bestehender bzw. der zu erweiternden Werkstattprozesse. Merkmale diese Grundfalls sind:

- Erweiterung führt im Regelfall zur Intensivierung der Flächen- und Raumnutzung am vorhandenen Standort
- relativ exakte Vorgaben zum Produktionsprogramm und zu dessen zeitlicher Entwicklung sind im Regelfall möglich
- Erweiterung kann mit Standortbestimmung für Neuaufbau von Zusatzkapazitäten verbunden sein (vgl. Grundfall A), dann erweitert mit Aufgaben der Generalbebauungsplanung
- Erweiterung kann im Extremfall den vorhandenen Standort des Unternehmens in Frage stellen und zur Verlagerung bzw. zu Ausgliederungen auf einen Neustandort führen (z. B. Sortimentsneuzuordnungen zwischen mehreren Standorten).

**Grundfall D: Rückbau von Industriebetrieben/Fertigungskomplexen**

Der Grundfall ist gegeben als Folge von Umsatzrückgang, des Abbaus der Fertigungstiefe, der Auslagerung von Produktionsstufen bzw. der Konzentration auf Kernproduktprofile. Im Wesentlichen führt dieser Prozess zur Neuanpassung von Kapazitäten und Strukturen sowohl der Produktionsbereiche als auch der entsprechenden Nebengebiete (z. B. Instandhaltung, Ver- und Entsorgung) bzw. von indirekten Produktionsbereichen (z. B. Arbeitsvorbereitung, Vorrichtungsbau).

Merkmale dieses Grundfalls sind:

- Neustrukturierung von Produktionsprogrammen (u. U. Integration von Neu- bzw. Ergänzungsprodukten)
- Redimensionierung (Potenzialabsenkung)
- Neudimensionierung von Produktions- und Logistikausrüstungen (Systemverkleinerung)
- Restrukturierung (Potenzialumbau)
- Neustrukturierung der Gestaltungs- und Organisationslösungen der Fertigungskomplexe.

### Grundfall E: Revitalisierung von Industriebetrieben (Industriebrachen)

Dieser Grundfall liegt vor, wenn stillgelegte Industriebetriebe einer neuen industriellen Nutzung zugeführt werden sollen. Mit Revitalisierung wird der spezifische Umgestaltungsprozess bezeichnet, er stellt im Kern einen Sanierungsprozess dar [1.12] bis [1.14]. Merkmale dieses Grundfalls sind:

- Neunutzung/Umnutzung Standort
- Abbruch/Sanierung von Flächen- und Raumstrukturen
- globale/exakte Vorgaben zum Produktionsprogramm
- Restrukturierung/Neugestaltung der Fertigungskomplexe, Gebäudestrukturen
- Erzielung optimaler Prozesslösungen aufgrund hoher Freiheitsgrade im Gestaltungsprozess.

## ■ 1.3 Merkmale von Fabrikplanungsaufgaben

Fabrikplanungsaufgaben besitzen grundsätzlich einen stark **interdisziplinären Charakter**, hervorgerufen durch die hohe Komplexität und Verschiedenartigkeit der einzubeziehenden Fachdisziplinen. Von Beginn der Planungsaufgabe an ist daher eine betont teamorientierte Zusammenarbeit unterschiedlicher Fachdisziplinen durch das Management zu praktizieren. Je nach Problemlage sind neben den Planungsingenieuren in das **Planungsteam** einzubeziehen:

- Mitarbeiter der Arbeitsvorbereitung (AV)
- Mitarbeiter der Organisationsbereiche (Informations- und Steuerungstechniken, ERP/PPS-Anwendung)
- Mitarbeiter kaufmännischer Bereiche (Kostenanalysen, Investitionsrechnungen, Finanzierungsmanagement)
- Bauingenieure, Industriearchitekten (Tiefbau/Hochbau)
- Spezialisten für Sondergewerke (z. B. Heizungstechnik, Klimatisierung, Lüftungstechnik, Ver- und Entsorgungstechniken, Arbeitssicherheit)
- Spezialisten für Planungs- und Entscheidungstechniken (z. B. Anbieter von Simulationstechniken für Fabrik- und Materialflussprozesse, Anbieter von Bau- und Montageablauf-Managementsystemen).

Wesentlich für den Planungsablauf ist, dass in den Fällen baurelevanter Planungsobjekte **Industriearchitekten** als Mitglied des Planungsteams in die Koordinierung (Ablauf) und Integration (Gewerke) verantwortlich eingebunden sind. Deren dazu erforderliche Leistungsphasen sind gemäß der „HOAI-Objektplanung“ in den Fabrikplanungsablauf einzuordnen.

Fabrikplanungsaufgaben besitzen im Regelfall typische Merkmale von **Projekten**, d. h., sie sind charakterisiert durch:

- Einmaligkeit, Neuartigkeit und Komplexität der Aufgabenstellung und Problemlage (Unikate-Charakter)

- Abgrenzung der Aufgabenbearbeitung vom Umfeld durch projektspezifisches Management (Projektmanagement)
- projektbezogene Zielvorgaben
- projektbezogene Terminvorgaben und zeitliche Begrenzungen (Meilensteine)
- projektbezogenes Budget (Finanzen, Personal), aufgegliedert auf Etappen der Projektbearbeitung und -umsetzung.

Die Bearbeitung von **Fabrikplanungsprojekten** hat demzufolge entsprechend den Gesetzmäßigkeiten des Projektmanagements zu erfolgen. Durch Wahl zweckmäßiger Formen der Projektorganisation innerhalb der **Aufbauorganisation** des Unternehmens ist die integrierte Bearbeitung und Umsetzung des Projektes zu gewährleisten. Übliche Formen der **Projektorganisation** sind (vgl. z. B. [1.15], [1.16]):

- reine Projektorganisation
- Einfluss-Projektorganisation
- Matrix-Projektorganisation.

Die Projektabwicklung selbst unterliegt den Methoden der Projektplanung, Projektsteuerung und Projektkontrolle. Wesentlich ist dabei die durchgängige Gestaltung des **Projektmanagements**, d. h., das Management umfasst:

- die Erarbeitung von Aufgabenstellungen, Konzepten, Studien, Projekten
- die Sicherung der (gestuften) Entscheidungsfindung
- die Ausführungsplanung des Realisierungsablaufes sowie
- die Projektrealisierung selbst einschließlich des Controlling sowie der Inbetriebnahme- und Übergabeszenarien.

Bei der Bearbeitung von Fabrikplanungsaufgaben besitzt der **Faktor Zeit** eine besondere Bedeutung. Zur Erarbeitung des Lösungsprojektes der Fabrikplanungsaufgabe und dessen Umsetzung in die Praxis ist ein Planungs- und Realisierungszeitraum erforderlich.

Marktdynamik, kurzzyklische Produkt- und Prozessinnovation führen zu Ad hoc Veränderungen von Planungsvorgaben, Projektzielsetzungen und Inbetriebnahmezeitpunkten (Produkteinführung). Daraus leiten sich Zwänge zur Minimierung des Fabrikplanungszeitraumes ab. So wird durch Anwendung von Prinzipien SE (Simultan engineering) bzw. **gleitender Fabrikplanung** versucht, durch Überlappung, Parallelisierung bzw. Vorziehen von Teilkomplexen (z. B. Planung/Realisierung von Teilgewerken) den Planungszeitraum zu verkürzen, obwohl die Bearbeitung der vorauslaufenden Planungsphasen noch nicht abgeschlossen ist. Dabei ergeben sich zwangsläufig Risiken, die abzuschätzen und einzugrenzen sind.

Neben dieser klassischen Vorgehensweise werden gleiche Zielsetzungen durch Prinzipien der **kooperativen Fabrikplanung** verfolgt. Hierbei werden Planungszeitverkürzungen durch eine synchronisierte, teamorientierte, partizipierte Bearbeitung von Planungstools im engen Zeitraster unter Einsatz spezieller Planungswerkzeuge erzielt (vgl. Abschnitt 1.5.3 und 3.3.4.2).

Der Fabrikplanungsprozess stellt aus methodischer Sicht einen **Transformationsprozess** dar, d. h., es werden Eingangsdaten, z. B. durch Anwendung von Vorschriften, Berechnungsformeln, Variantenentscheide, je nach Problemstellung in Zwischen- oder Endergebnisse (Studien, Projekte) und damit in Ausgangsdaten transformiert. Dieser Transformations-

prozess vollzieht sich im Regelfall vom Groben zum Feinen sowie stufenweise innerhalb von abgrenzbaren Teilschritten, wobei iterative Durchläufe bei der systematischen Abarbeitung von Teilschritten auftreten können. Der Inhalt des Transformationsprozesses wird dabei durch den Charakter der Teilprozesse bestimmt.

Erfahrungen der Industriepraxis zeigen, dass sowohl die Planung der Fabrikanlage als auch ihre anschließende Nutzung hinsichtlich der angestrebten Zielsetzungen und Lösungsgestaltung immer im direkten Wechselzusammenhang zu begreifen sind. Zu beachten ist hierbei, dass die **Planungsergebnisse** (quasi-) **statischen Charakter** besitzen, die später nur bedingt (bzw. mit hohem finanziellem Aufwand) veränderbar sind, während die Nutzung der Fabrikanlage einen **dynamischen Charakter** besitzt, der durch die erforderliche ständige wechselseitige Anpassung von Fabrikanlage und Produktionsaufgabe gekennzeichnet ist. In Konsequenz dieser Zusammenhänge ist es erforderlich, bei der Planung der Fabrikanlage auch gleichzeitig die Erfordernisse der späteren Organisation ihrer Nutzung (z.B. Auswahl und Einsatz von ERP/PPS- bzw. BDE-Systemen) parallel bzw. integriert zu bearbeiten. Das heißt, der Fabrikplaner sollte gleichzeitig auch Fabrikorganisator sein – legt er doch z.B. mit der Gestaltung des Produktionssystems immer auch erforderliche organisatorische Grundprinzipien fest (vgl. Planungsgrundsatz 13 in Abschnitt 1.4).

Aus diesem Wechselzusammenhang heraus sind zwei zusammengehörige, aber inhaltlich deutlich unterschiedliche Zeiträume innerhalb des **Fabriklebenszyklus** prinzipiell zu unterscheiden:

#### *Zeitraum der Planung, Realisierung und Inbetriebnahme der Fabrik*

- **Fabrikplanungsphase (Fabrikplanung):** Hier erfolgt unter Einsatz spezieller Methoden die Vorausbestimmung (Anpassung) der erforderlichen Fabrikanlage in Bezug auf ein vorgegebenes Produktionsprogramm, d.h., das Produktionsprogramm bestimmt Größe und Struktur der Fabrik. (**Programm** → **Fabrik**)

#### *Zeitraum der Nutzung der Fabrik*

- **Fabriknutzungsphase (Fabrikbetrieb):** Hier erfolgt eine ständige Anpassung eines veränderlichen (dynamischen) Produktionsprogramms (z.B. durch Einsatz von PPS-Systemen) an eine vorhandene (quasi-)statische Fabrikanlage, d.h., die vorhandene Fabrik bestimmt (bei begrenzter Flexibilität und gegebener Wandlungsfähigkeit) das realisierbare Produktionsprogramm. (**Fabrik** → **Programm**)

Fabrikplanungsaufgaben unterliegen oftmals erheblichen Widersprüchen hinsichtlich des Planungszeitpunkts, der erforderlichen Genauigkeit erster Planungsergebnisse (Ausgangsgrößen) und der zu diesem Zeitpunkt möglichen Genauigkeit der Vorgabedaten (Eingangsgroßen). Diesem **Dilemma der Fabrikplanung** liegt die Gesetzmäßigkeit zugrunde, dass die Arbeitsergebnisse erst mit fortschreitender Abarbeitung der Fabrikplanungsaufgabe schrittweise präziser werden. Andererseits müssen oftmals schon in frühen Planungsphasen Planungsergebnisse z.B. zum Flächen- und Raumbedarf bekannt sein, um rechtzeitig Immobilienaktivitäten, Gebäudeabklärungen und Investitionsabschätzungen vornehmen zu können. Im Extremfall (z.B. bei Neuplanung) müssen diese Informationen schon zu einem Zeitpunkt bekannt sein (z.B. für die Grundstücks- bzw. Gebäudeauswahl), bei dem Ergebnisse der Konstruktion und Arbeitsvorbereitung der geplanten Produktsortimente noch nicht vorliegen (was z.B. aus Gründen des moralischen Verschleißes der Konstruktionslösung auch nicht sinnvoll wäre). In diesen Fällen wird zunächst mit Kennzahlen, Analogievergleichen, Schätzungen gearbeitet, die natürlich den später möglichen

exakten Planungsergebnissen (z.B. Flächenbedarf der Werkstätten) weitgehend entsprechen müssen. Auch wird hier die Bedeutung des Erfahrungsraumes der Planungsingenieure deutlich, die im Regelfall vor der Aufgabe stehen, in einer frühen Planungsphase Festlegungen und Vorgaben zu treffen, die erst in späteren Planungsschritten begründet werden können.

Werden das mögliche, äußerst breite Aufgabenspektrum (vgl. Abschnitt 1.2) sowie die Vielzahl ständiger interner und externer Unternehmenseinflüsse (z.B. Zwang zur Rationalisierung/Produktinnovationen) auf den Fabrikplanungsprozess betrachtet, so ist festzustellen, dass Fabrikplanungsaufgaben Daueraufgaben im Unternehmen darstellen – dann auch als **rollende Fabrikplanung** bezeichnet (vgl. Abschnitt 1.1). Für produzierende Unternehmen ist es überlebensnotwendig, ständig eine wirtschaftliche Produktion durch eine permanente Anpassung der Fabrikanlage an die aktuellen Produktionserfordernisse zu sichern. In kleineren und mittleren Unternehmen werden üblicherweise spezielle Dienstleister zur Lösung von Fabrikplanungsaufgaben herangezogen, während größere Unternehmen eigene Fabrikplanungsbereiche haben, durch die unternehmensinterne, aber auch unternehmensexterne Aufgaben der Fabrikplanung abgedeckt werden.

**Tabelle 1.1** Wesentliche **Arbeitsergebnisse** bzw. -inhalte von Planungs-, Realisierungs- und Inbetriebnahmeaktivitäten

|                             |                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
|-----------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Planungsphase:</b>       | Aufgabenstellungen (AST), Studien, Lastenhefte, Konzepte (Feasibility-Studien), Analysen, Projekte (Varianten), Funktionsbeschreibungen, Berechnungen, Nachweise, Layout-Darstellungen, Funktions- und Anordnungsmodelle, Standortpläne, Generalbebauungspläne, Einrichtungspläne |
| <b>Realisierungsphase:</b>  | Aufgabenstellungen (Ausschreibungen), Lastenhefte, Angebotsbewertungen und -auswahl, Bauablaufpläne, Umzugspläne, Pläne zum Projektmanagement (Projektorganisation, Gewerke- und Terminabläufe, Kapazitätsbedarfe, Abstimmungspflichten), Inbetriebnahmeetappen                   |
| <b>Inbetriebnahmephase:</b> | Inbetriebnahme- und Abnahmeprotokolle, Qualitäts und Schutznachweise, Leistungsnachweise (Anfahrphase), Aufwandsübersichten-Gewerke.                                                                                                                                              |

Deutlich wird in Tabelle 1.1, die Arbeitsergebnisse des komplexen Fabrikplanungsprozesses sind hinsichtlich Inhalt, Bearbeitungszeitraum, Verwendungszweck und Genauigkeit äußerst vielgestaltig. Auch wird erkennbar, dass ihre Erarbeitung einer systematischen Problemlösungslogik unterliegen muss (vgl. Kapitel 2).

Fabrikplanungsaufgaben sind aufgrund ihrer hohen Komplexität sehr anspruchsvolle Problemstellungen. Zwei grundsätzliche, planungsmethodisch unterschiedliche Vorgehensweisen der Bearbeitung sind möglich:

- **analytische Vorgehensweise** (Top-down-Ansatz): Prinzip ist – Planung vom Ganzen (Fabrik) zum Detail (Ausrüstung/Bereich) bzw. „Grob zu Fein“
- **synthetische Vorgehensweise** (Bottom-up-Ansatz): Prinzip ist – Planung vom Detail (Arbeitsplatz/Bereich) zum Ganzen (Gebäude/ Standort).

Verbreitet in der planungsmethodischen Anwendung ist der Top-down-Ansatz. Er sichert durch eine systematische Zerlegung die Bearbeitung der Aufgaben in abgestimmten Ein-

zelkomplexen bei Einhaltung des Gesamtansatzes. Allerdings hat die Praxis gezeigt, dass der kombinierte Einsatz beider Prinzipien (Down-up-Planung) anzustreben ist (wie z. B. in [1.17] gezeigt), um zu sichern:

- Integration nutzender Bereiche in den Planungsprozess (Planung „von oben“ und partizipiert „von unten“)
- „optimaler“ Prozess bestimmt maßgeblich Standort und Bauhülle (möglichst nicht umgekehrt!).

Darauf basierend betonen neue methodische Ansätze wieder synthetische Prinzipien, wobei gesetzt wird auf (vgl. z. B. [1.17], [1.18], [1.19]):

- teamorientierte Planung in Szenarien
- Planung von unten (Vor-Ort-Prozess) zum Gesamtprozess bei Sicherung Gesamtoptimum
- Einsatz planungsunterstützender Werkzeuge.

Je komplexer und komplizierter die Fabrikplanungsaufgabe ist, desto zwingender, aber auch schwieriger wird es, abgrenzbare Einzelelemente und Wechselbeziehungen eindeutig zu ordnen, als Voraussetzung für eine systematische und überschaubare Bearbeitung. Bei der Aufgabenanalyse ist es daher methodisch zweckmäßig, durch gezielte **Elementarisierung** und **Abgrenzung** (Schnittstellenbildung) von Teilaufgaben eine stufenweise Durchdringung und Ordnung des Aufgabenkomplexes zu sichern.

Im Prozess der Bearbeitung von **Fabrikplanungsaufgaben** sind zu unterscheiden:

- **Methodenbereich der Fabrikplanung:** Hier sind einzuordnen alle Fabrikplanungsmethoden (z. B. Berechnungs- und Planungsverfahren, Kennzahlensysteme) sowie Fabrikplanungswerkzeuge (z. B. 2D/3D – Simulationstechniken, virtuelle Planungs- und Darstellungstechniken, räumliche/bildhafte Modelle).
- **Objektbereich der Fabrikplanung:** Hier ist die Vielzahl unterschiedlicher Planungsobjekte (Typ, Anzahl, Strukturen), die zur Funktionserfüllung erforderlich sind (z. B. Bearbeitungstechniken, Logistikelemente, Gebäudesysteme, Ver- und Entsorgungstechniken, Neben- und Hilfsanlagen), einzuordnen.

## ■ 1.4 Planungsgrundsätze

Zur Sicherung einer effektiven Bearbeitung von Fabrikplanungsaufgaben und zur Erfüllung der vorgegebenen Zielstellungen (Aufwand, Termine, Zeiträume, Qualität) ist die Einhaltung der nachfolgend dargestellten, allgemein anerkannten **Planungsgrundsätze** (Gesetzmäßigkeiten der Fabrikplanung) unerlässlich. Diese Grundsätze sind aus theoretischen Analysen abgeleitet, durch eine Vielzahl praktischer Erfahrungen der Projekterarbeitung bestätigt, enthalten aktuelle Neuanforderungen an den Planungsablauf und sichern eine wissenschaftliche Planungsmethodik.

Planungsgrundsätze sind:

1. **Wertschöpfungsanalyse:** Planungsgrundlage (bei Projektbeginn) sollte immer eine durchgängige kritische Analyse der Leistungs- bzw. Wertschöpfungsketten der Pro-

dukte sein (Wertschöpfungsdifferenzierung). Das heißt, die Planung ist primär auszurichten an der Wertschöpfungskette. Wertschöpfende Prozesselemente (Bearbeitungsschritte) sind hochrationell und flexibel zu gestalten, nicht wertschöpfende Prozessschritte (Logistikfunktionen) sind möglichst zu minimieren bzw. zu vermeiden.

2. **Ganzheitliche Planung:** Jede Fabrikplanungsaufgabe besteht aus einer Vielzahl miteinander verflochtener unterschiedlicher Teilaufgaben, die wiederum zahlreichen inner- und außerbetrieblichen Einflüssen unterliegen. Die Lösung dieser Teilaufgaben darf nicht isoliert erfolgen, sondern muss immer durchgängig bei ganzheitlicher Problembetrachtung durchgesetzt werden, sodass eine Ausrichtung auf das Gesamtziel der Fabrikplanungsaufgabe gesichert ist.
3. **Stufenweises Vorgehen (Iteration):** Zur Sicherung zielorientierter und systematischer Abläufe von Fabrikplanungsaufgaben ist die stufenweise, gegebenenfalls auch parallele bzw. überlappende Bearbeitung von abgrenzbaren, logisch geordneten Teilschritten (Funktionen) der Planungsaufgabe unerlässlich. Dabei ist prinzipiell von Grob- zu Feinplanungsinhalten (d. h. in Stufen steigender Konkretisierung) zu planen, Teilschritte sind möglichst eindeutig abgrenzbar zu gestalten und in Stufenfolge – also nacheinander bearbeitbar – ablauforientiert zu gliedern. Im realen Planungsablauf ergeben sich dabei oftmals fließende Übergänge, iterative Rückläufe und zeitliche Überschneidungen (Parallelisierung) der Teilaufgaben.
4. **Visualisierung:** Die Darstellung bzw. Veranschaulichung von Planungsergebnissen sowohl von Teil- bzw. Zwischenergebnissen als auch von komplexen Projektlösungen ist entscheidend insbesondere zur Sicherung abgestimmter, widerspruchsfreier und verteilter Zusammenarbeit unterschiedlicher Fachgruppen – aber auch zur Sicherung verständlicher, überzeugender und funktionsgerechter (kollisionsfreier) Lösungspräsentation z. B. vor Entscheidungsträgern.

Hierzu sind neben 2-D-Darstellungen (Schemata, Layoutdarstellungen, Modellschablonen), 3-D-Darstellungen z. B. räumliche Modelle (Prozessmodelle, Funktionsmodelle – vgl. Beispiel in Abschnitt 8.2) insbesondere auch innovative IT-Systeme zu nutzen. Dabei kommen z. B. parametrisierbare realitätsnahe virtuelle Räume im Rahmen digitaler Fabrikmodelle (z. B. Videoanimationen) zur Anwendung, aber auch teambasierte, interaktive Planungstechniken (vgl. Abschnitt 3.3).

5. **Wirtschaftlichkeit der Planung:** Aktivitäten der Fabrikplanung erfordern erhebliche Kosten, insbesondere für das einzusetzende Planungspersonal, und sind damit in Ihrem Umfang prinzipiell zu begrenzen (Budgetierung). Unter diesem Aspekt sind aufwandseitige Überplanungen (Überbesetzung), aber auch Unterplanungen (Unterbesetzung) zu vermeiden.

Der realen Abschätzung des erforderlichen Planungsaufwandes (Größe Projektteam, Etappen des Zeitvorlaufes, Teamzusammensetzung) einer Fabrikplanungsaufgabe kommt größte Bedeutung zu. Dabei ist auch zu beachten, dass eine wesentliche Kostenbeeinflussung der Projekterarbeitung auch in den konzeptionellen Phasen am Planungsanfang liegt, woraus besondere Anforderungen an das in diesen Phasen tätige Planungspersonal (Integration von Erfahrungsträgern) abzuleiten sind.

6. **Variantenprinzip:** Im Regelfall lässt jede Lösung einer Fabrikplanungsaufgabe mehrere sinnvolle Lösungsvarianten zu, insbesondere auch der Entwurf mehrerer konkre-

ter Ausführungsvarianten. Die prinzipiell anzustrebende Aufweitung des Lösungsraumes durch Variantenbildung muss als bewusst erwünschte Vorgehensweise begriffen und praktiziert werden. Damit wird eine kritisch-schöpferische Auseinandersetzung mit der Lösung, mit Alternativen und mit Einflüssen erzwungen, sodass im Ergebnis ein fundierter Lösungskompromiss in Form einer Vorzugsvariante abgeleitet werden kann. Damit wird eine weitgehend zielsichere Lösungsfindung erreicht, die als Basis für fundierte Entscheidungsprozesse im Rahmen des Fabrikplanungsablaufes anzusehen ist.

7. **Notwendigkeit der Idealplanung:** Innerhalb der Schrittfolge zur Lösungsfindung sollte immer eine „kompromissfreie Ideallösung“ (Idealplanung) die Ausgangsbasis der nachfolgenden Bestimmung von realisierbaren Lösungsvarianten bilden (Realplanung). Durch diesen methodischen Grundsatz wird ein objektiver Beurteilungsmaßstab (Vergleichsbasis) hinsichtlich des Zielerreichungsabstandes der Realvariante zur Idealvariante gesichert, sodass erforderliche Niveauabweichungen detailliert erkennbar werden. Die Begründung des erforderlichen Lösungskompromisses im Rahmen der Projektverteidigung bzw. Entscheidungsfindung wird damit fundiert möglich.
8. **Sicherung von Projekttreue:** Der Zeitraum zur Bearbeitung von Fabrikplanungsaufgaben kann Wochen, in speziellen Fällen Monate, auch Jahre betragen – das Planungsergebnis wiederum kann z. B. hinsichtlich der eingesetzten Gebäudestrukturen eine Lebensdauer von 15 bis 30 Jahren auch deutlich darüber haben. Signifikante Änderungen am Planungsprojekt (Verlassen der *Projekttreue*), sowohl in der Planungs- als auch in der Realisierungsphase, sollten nachträglich nur dann zugelassen werden, wenn erkannte Projektfehler vorliegen oder zwischenzeitlich wesentliche Neuansforderungen zwingend zu berücksichtigen sind. Dabei sind die Konsequenzen auf den bereits erarbeiteten Projekt- bzw. Realisierungsstand umfassend zu berücksichtigen.

Die erforderliche Flexibilität in diesem Planungsprozess wird insbesondere durch möglichst kurze Planungszeiträume der Fabrikplanung z. B. in Form „gleitender“, „rolender“ bzw. partizipierter Fabrikplanung erreicht. Eingriffe werden mit fortschreitendem Planungsablauf folgenswerer (der Änderungsaufwand steigt). Eingriffsfristen bzw. Redaktionsschlussstermine (z. B. „point of no return“) sind daher – wenn möglich – festzulegen.

9. **Sicherung von Flexibilität/Wandlungsfähigkeit:** Von besonderer Bedeutung ist die Forderung nach *Flexibilität und Wandlungsfähigkeit* der Projektlösung (Planungsergebnis), insbesondere auch unter dem Aspekt sinkender Lebensdauer von Produkten und Prozessen sowie der Globalisierung von Produktionsprozessen. Durch eine bewusst gestaltete Projektflexibilität soll eine begrenzte Anpassungs- und Wandlungsfähigkeit der Projektlösung gegenüber wechselnden Produktionsbedingungen bzw. Eingriffen gesichert werden. Diese Forderungen können u. a. erreicht werden durch (vgl. auch Abschnitt 1.5.5):

- sorgfältige, vorausschauende Planungstätigkeit (mittel- und langfristig)
- Modularisierung und Standardisierung von Bearbeitungs-, Logistik-, Flächen- und Raumelementen bei flexibler Kopplung und Installation
- gezielte Überdimensionierung ausgewählter Systemelemente (z. B. Kapazitäten, Ver- und Entsorgungsleistungen, Flächen- und Raumgrößen, Nutzlasten). Zu beachten sind allerdings die erforderlichen finanziellen Mehraufwendungen (Vorleistungen) zur Sicherung der Flexibilität.

- Einsatz flexibler Industriebaustrukturen z. B. in Form von Zeitbauwerken bei temporärer Nutzung (Demontage und Wiederverwendbarkeit) stützenarmer Industriegroßhüllen (vgl. Abschnitt 7.2).
10. **Komplexität der Arbeitsinhalte:** Fabrikplanungstätigkeit ist Teamarbeit von Anfang an. Typisch ist die frühzeitige Zusammenführung von Fabrikplanungsingenieuren z. B. mit Industriearchitekten, Bauingenieuren sowie mit Spezialisten der Klima- und Lüftungstechnik, der Verfahrens- und Entsorgungstechnik. Dieser interdisziplinäre Charakter der Fabrikplanung ist bewusst in das Projektmanagement der Planungsaufgabe einzubeziehen (vgl. auch Planungsgrundsatz 2).
11. **Ordnung und Vereinheitlichung:** Fabrikplanungsaufgaben sind in eine Vielzahl unterschiedlicher Teilaufgaben gliederbar (vgl. Grundsätze 1, 2 und 3). Ihre Lösung ist nur möglich, wenn der Gesamtzusammenhang aller Teilaufgaben erkennbar bleibt. Daher gilt für den Planungsingenieur der Grundsatz: „Sichere die Ordnung und vereinheitliche“, um dadurch komplizierte und komplexe Aufgabenstellungen überschaubar zu halten.
- Folgende Aspekte sind dabei zu beachten:
- Beherrschung einer gemeinsamen Sprach- und Begriffswelt unterschiedlicher Fachleute im Team
  - Durchsetzung der Elementarisierung und Strukturierung von Aufgaben (vgl. Abschnitt 1.3)
  - Anwendung bausteinorientierter Planungs- und Projektierungsweise
  - Begrenzung auf sinnvolle Variantenbreiten der einzusetzenden Ausrüstungs- und Bauobjekte
  - Orientierung an Baustandardmaßen (Industrieraster, Maßketten).
12. **Dezentralisierung/Partizipation:** Die Dezentralisierung von Aufgaben ist u. a. ein Weg zum Komplexitätsabbau durch Verlagerung (Delegation) von Planungsinhalten bzw. Entscheidungen zu den Orten der Wirkungen und Erfahrungen. Sowohl bei Groß- als auch bei Kleinprojekten wird verstärkt – insbesondere für Entscheidungen in der Grob-, Fein- und Ausführungsplanung – in den Planungsebenen Arbeitsplatz-, Bereichs- und Gebäudestrukturen (vgl. Abschnitt 1.1) eine Partizipation der „vor Ort“ Mitarbeiter im interdisziplinären Planungsteam angestrebt. Deren direkte Einbindung in die Planungsrunden (Workshops) beabsichtigt Erfahrungsnutzung, aktive Mitgestaltung, praxisnahe Entscheidungsfindung und Akzeptanz der Lösung (vgl. Abschnitt 3.3.4.2).
13. **Funktionsintegration Fabrikplanung/Fabrikbetrieb:** Die Erarbeitung der Projektlösung der Fabrikplanungsaufgabe (Fabrikplanung) impliziert auch immer die Beachtung von Erfordernissen deren „späterer“ Nutzung (Fabrikbetrieb). Zu beachten ist hierbei, in der Systemplanung werden z. B. Prozessstrukturen, Anordnungen und Vernetzungen (Layout), Lagertechniken und -größen, Logistikprinzipien bestimmt, mit denen zwangsläufig auch spezifische Anforderungen für die in der Systemnutzung durchzusetzende Ablauforganisation (Informationsflüsse, Datenstrukturen, Kriterien PPS- und BDE-Systeme, spezifische Software-Module – z. B. Lagerverwaltung) festgelegt sind. Das heißt, erforderliche Prinzipien, aber auch das Niveau der späteren Ablauforganisation werden schon in der Planungsphase vorbestimmt. Weiterhin gilt – Prinzipien der einzusetzenden Systeme der Ablauforganisation haben wiederum auch

Rückwirkungen (Anforderungen) an die Systemplanung (z. B. Organisationsprinzipien, Datenverfügbarkeit).

Daraus folgt – die Bearbeitung von Fabrikplanungsprojekten erfordert gleichermaßen die integrierte bzw. parallele Bearbeitung von spezifischen funktionellen Fachinhalten sowohl der Fabrikplanung als auch des Fabrikbetriebes bei Beachtung der dargestellten Wechselzusammenhänge (Verschmelzung der Fachinhalte). Das heißt, der Fabrikplaner ist auch gleichzeitig Fabrikorganisator.

## ■ 1.5 Entwicklungstendenzen

### 1.5.1 Grundprinzipien

Das Fachgebiet Fabrikplanung ist durch eine Vielzahl von Einflüssen aus Globalisierung, Kosten- und Zeitdruck, Marktturbulenzen, Innovationen in den Ausrüstungs- und Informationstechniken, neuen Anforderungen durch Mensch und Umwelt in Industriepraxis und Wissenschaft unmittelbar beeinflusst. Daraus leiten sich erkennbar vielfältige Entwicklungstendenzen im Fachgebiet ab, die einen Wandel in speziellen Teilen des **Objekt- und Methodenbereiches der Fabrikplanung** verursachen. So sind innovative Wirkungen sowohl auf die spezifische Gestaltung von Ausrüstungs- und Gebäudetechniken als auch auf Strategien, Planungs- und Entscheidungsmethoden und Werkzeuge zu verzeichnen. Nachfolgend werden daher auf die Vielzahl der Fachliteratur Bezug nehmend spezielle begrifflich-inhaltliche Fachkomplexe in stark gekürzter Form angeführt um diese Entwicklungen deutlich zu machen.

### 1.5.2 Globale Fabrikplanung

Tendenzen überregionaler, internationaler – teils weltweiter – Vernetzung (Globalisierung) von Beschaffungs-, Produktions- und Lieferprozessen bei zunehmend marktnahen Produktions- bzw. Fabrikstandorten erfordern Fabrikplanungsprojekte für international verteilte Standorte unterschiedlicher Kulturen. Verbreitet sind dabei solche internationalen Vorhaben, die von einem Stammhaus (Unternehmenszentrale) ausgehend initiiert und geführt werden (Planungsgrundfälle A, B, C).

Spezifische Aspekte und Besonderheiten in der Planung und Realisierung solcher Vorhaben sind (vgl. z.B. [1.20] bis [1.22]):

- Einbindung Neustandort in Produktions- und Logistiknetzwerk (Stammsitz, Planungszentrale) des Unternehmens, Einordnung in Produktionsverbünde, Bedeutung der Logistik (international) steigt beträchtlich
- genaue Analysen – Gesamtheit/Teilelemente der Wertschöpfungskette zuordnen – Stammwerk/Neustandort
- soziale und kulturelle Standards sowohl in Planung (Planungsteam) als auch bei Realisierung beachten

- Glaubenseinflüsse (Religion) auf Industriearchitektur, Gebäude- und Bereichsanordnung, Sozialbereiche, Farbgestaltung u. a. von Bedeutung
- deutlich veränderte Arbeitsmotivation, Arbeitsplatz- bzw. Unternehmensbindung beachten
- oftmals angestrebt zur Vereinfachung von Planung, Betriebsanlauf, Schulung – Fabrikstrukturgleichheit (Stammsitz/Neustandort) durch Spiegelung der Strukturen
- Klimatisierungsaufwand ganzer Produktionskomplexe erforderlich
- interkulturelles Training aller beteiligten Kulturen (Planungsteam, Führungs- und Produktionskräfte) erforderlich
- Standortanalysen sind unter erweiterten spezifischen Aspekten erforderlich (vgl. Kapitel 6), wie z. B. kulturell-mentale Aspekte, Arbeitskräfteeignung (Brauchtum), Klimaanforderungen, Arbeitsbelastung (Grenzen), Arbeitskräftean- und -abtransport, Umwelanforderungen, Ver- und Entsorgungsmöglichkeiten, nationale und internationale Verkehrslogistik, Schulungs- und Sprachanforderungen (vor Ort / Stammhaus)
- Projektmanagement zentral (Stammhaus) und dezentral (vor Ort) im international gemischten Team (vor Ort Führungskräfte-Schulung) realisieren.
- Informationstechniken und Software-Systeme sind zu spiegeln bei Serveranbindung zum Stammhaus
- Besonderheiten der Genehmigungs- bzw. Zulassungsprozesse vor Ort (Zeiträume, Gesetze, Partnerzuständigkeiten) erfassen
- Analysen zu Stärken und spezifischen Eigenarten der Partner vor Ort (z. B. Gewerke Bauausführung, Bauplanung, Service) realisieren.

### 1.5.3 Kooperative Fabrikplanung

Dem steigenden Druck auf Verkürzung der **Planungszeiten** (bzw. den erforderlichen Planungsvorläufen) kann u. a. durch den Methodenansatz „Kooperative Fabrikplanung“ entsprochen werden. Hierbei ist Grundprinzip – die zielorientierte Synchronisation aller beteiligten Disziplinen bei betont kooperativer Zusammenarbeit gemäß der Planungssystematik unter bewusster Abkehr (Dämpfung) einer rein sequentiellen Vorgehensweise im Planungsprozess (vgl. [1.18], [1.19]).

Grundvoraussetzungen sind auch hier die Fachkenntnisse aller wesentlichen Planungsbeeteiligten hinsichtlich Planungssystematik und -inhalten, erforderlichen Datenbasen und Entscheidungslogiken um so einen sachgerechten Planungsablauf zu sichern. Für abgestimmte definierte Planungstools (Funktionsinhalte, Schnittstellen gemäß Planungssystematik – vgl. Kapitel 2) erfolgt dabei deren Bearbeitung in begrenzten Zeitfenstern (z. B. Tagesrhythmen) bei enger Abfolge verzahnter Planungs-Workshops. Diese beinhalten z. B. geführte Fachdiskussionen, Bewertung von Vorschlägen (Varianten), Berechnungen, virtuelle Darstellungen, Modellpräsentationen, Planungsspiele u. a., die zu Sofortentscheidungen im interdisziplinären Team führen, die dann zu dokumentieren sind als Plattform für den Folgeplanungstool. Das heißt, durch Planungsrunden mit flexiblen Workshop-Charakter bei frühzeitiger Zusammenführung unterschiedlicher Fachkompetenzen im **partizipativen Planungsteam** erfolgt eine zeitlich eng gestaffelte aber gebündelte Abarbeitung inhaltlich komplexer Planungstools mit gestuften Entscheidungen. In den Fällen erforder-

licher örtlich (inhaltlich) verteilter kooperativer partizipierter Planung (national/international) ist der Einsatz von Fabrikplanungs-Assistenzsystemen zur Sicherung der Koordination und Integration des Planungstools vorzusehen (vgl. [1.23], sowie Abschnitt 3.3.4.2).

Je nach Planungsgrundfall (vgl. Abschnitt 1.2) ist eine simultane, auch versetzt parallele Realisierung von Planungstools z.B. bezogen auf die **Fabrikstrukturplanung** (Logistik, Prozesse, Gebäude, Organisation) und **Bauplanung** (Tragwerk, Hülle, Stützen, Medien, Ausbau) möglich, sodass hier sowohl durch Bildung kooperativer partizipierter Planungsteams als auch durch Parallelisierung von Planungsprozessen unter Nutzung von Synergieeffekten eine deutliche Planungszeitverkürzung nachweisbar wird (auch als **synergetische Fabrikplanung** bezeichnet, vgl. [1.25] und [1.26]).

### 1.5.4 Digitale Fabrik – Industrie 4.0

Notwendigkeiten der Planungszeitverkürzung, breiter Variantenplanung, Einbau und Testung von Wandlungsfähigkeit, Sicherung von Anlaufprozessen, bis hin zu Forderungen nach Durchgängigkeit von Produktentwicklung und Prozessplanung einschließlich der Prozesseinpassung in die Bauhülle erfordern den Einsatz innovativer informationstechnischer Werkzeuge.

Die **Digitale Fabrik** stellt ein solches **Planungswerkzeug** dar und kann (nach [1.26]) wie folgt charakterisiert werden:

Die Digitale Fabrik bildet den Oberbegriff für ein komplexes Netzwerk von digitalen Modellen, Methoden und speziellen Werkzeugen (2D/3D-Visualisierung, Simulation), die durch ein durchgängiges Datenmanagement integriert sind. Ziele sind die Schaffung eines virtuellen Abbildes einer geplanten oder realen Fabrik, die eine durchgängige Visualisierung und Simulation von Fabrikstrukturen und -prozessen ermöglicht, diese mithilfe realer Planungsdaten (Produkte, Prozesse, Gebäude) digital darstellbar und veränderbar macht, ohne dass ein reales System vorhanden ist bzw. verändert wird. Daraus folgt, komplexe interaktive Experimente im virtuellen Raum (Umplanungen, Logistikeingriffe, Programmvariationen, Neuauslegung Gebäude u. a.) bei Sicherung Kollisionsfreiheit und Prozessoptimierung sind Zielsetzungen. Der Einsatz von Systemen Digitaler Fabrik ist im Regelfall der Art, dass im Fabrikplanungsprozess, deutlich vor der Realisierung die geplante Projektlösung virtuell abgebildet und gezielt getestet wird – z. B. im Rahmen von Methoden kooperativer Fabrikplanung durch Prozessanimationen und virtuelle Kameraflüge. Die Vielzahl erzielbarer positiver Effekte sind z. B. hohe Planungsgeschwindigkeit, hohe Planungsqualität, Fehler- und Anpassungsumfang sinken, Risiken werden eingrenzbar, große prüfbare Variantenbreiten, Flexibilität und Wandlungsfähigkeit können gezielt getestet und implementiert werden (vgl. [1.27], [1.28]).

Systeme der Digitalen Fabrik bilden im Planungsprozess eine interaktive, integrierende **Kommunikationsplattform** und sind damit ein latent verfügbares wesentliches Werkzeug (Assistenzsystem) für **virtuelle, teambasierte Fabrikplanungsprozesse**. Vision dabei ist – Maximalplanung im Raum virtueller Realität.

Eine wesentliche Grundlage der Digitalen Fabrik bildet die Sicherung folgender durchgängiger, aktueller Datenkomplexe:

- **Daten Technologiesystem** (Produkte/Prozesse): z. B. Stückzahlen, Sortimente, Stücklisten, Arbeitspläne, Logistikelemente

- **Daten Raumsystem:** Diese Daten bilden die Basis zur Darstellung von Layout- und Raumstrukturen (2D/3D) und zur Einpassung von Fertigungs- und Logistikanlagen in bestehenden Gebäudestrukturen. Ihre Erfassung ist z. B. durch Einsatz mobiler Laserscanner (optische Messsysteme) – wie in [1.24] dargestellt – gegeben, die durch eine Raumdigitalisierung gewonnen werden.

Der zweite Datenkomplex ist für die planungsaktuelle Digitalisierung bestehender Fabriken von besonderer Bedeutung, bei Neuplanungen wird von skalierbaren Modellen, Raummodulen (vordefinierte Bausteine/Schnittstellen) ausgegangen. Diese Inhalte des Gesamtsystems Digitale Fabrik stellen wesentliche Bausteine für zukünftige, weitergehende Konzepte von Industrie 4.0 dar.

Mit Lösungen **Industrie 4.0** wird eine ganzheitlich digitale Vernetzung komplexer Fabrik- und Produktionssysteme über das gesamte Wertschöpfungsnetzwerk verfolgt. Grundprinzipien sind die Digitalisierung wesentlicher Elemente und Prozesse im Gesamtablauf von Fabrikplanung und Fabrikbetrieb. Das heißt, dass der komplexe Wertstrom des Unternehmens von Produktentwicklung, Produktion, Beschaffung bis hin zu Vertrieb sowie sämtliche Lieferanden- und Kundenbeziehungen einschließlich von Serviceprozessen erfasst wird. Dazu werden Prototypen, Produkte, Technologien und Verfahren (klassisch und additiv), Maschinen, Roboter, Anlagen, Logistiksysteme (Transport-, Behälter- und Lagertechniken), Layoutstrukturen, Systeme der Ver- und Entsorgung (Medien), Systeme der Instandhaltung, des Services, der Havarievermeidung sowie Infra- und Gebäudestrukturen einschließlich der externen Beziehungen (Lieferanten/Kunden) dargestellt und digital abgebildet (Kommunikationsnetze), sodass eine selbstaktive Kommunikation zwischen den Elementen und Prozessen möglich wird (z. B. „Material sucht Weg“).

Eine wesentliche Entwicklungsgrundlage dieser komplexen IT-Systemgestaltung ist das Vorliegen von Referenzarchitekturmodellen (vgl. [1.47], [1.48]). Durch diese werden die erforderliche Systematik und Verallgemeinerungsfähigkeit im Strukturentwurf aber auch die Standardisierung, Zuordnung und Abgrenzung von Bausteinen (Funktionen, Informationen und Dateien) sowie die Definition von Schnittstellen gesichert (vgl. zum Beispiel dreidimensionale Schichtenmodellldarstellung im Referenzmodell RAMI 4.0 [1.47]).

Wesentliche Zielsetzungen von Industrie 4.0 sind eine hocheffektive Planung komplexer Fabrik-, und Produktionssysteme über das gesamte Wertschöpfungsnetz bei Sicherung von Qualität, Flexibilität, Wandelbarkeit (Stückzahl, Sortimente, Varianten), Reaktions-schnelligkeit und Nachhaltigkeit in allen Planungs- und Realsierungsprozessen.

### 1.5.5 Wandlungsfähige Fabrik

In den Folgen von Globalisierung, Dynamik und Turbulenz von Märkten, Produkten und Technologien ergeben sich deutlich veränderte Anforderungen sowohl an das bestehende Fabrik- bzw. Produktionssystem als auch an die Fabrikplanungsprozesse.

**Unternehmensexterne Faktoren** (Diversifikation, Produktwandel, Stückzahl- und Sortimentsverschiebungen, Kundenstrukturwandel, Wettbewerberagilität, innovative Technologien) aber auch **unternehmensinterne Faktoren** (Produktoffensiven, Fertigungstiefenoptimierung, Sortimentszuordnung, Störungen/Engpässe im Produktionsablauf) stellen in diesem Veränderungsszenario **Wandlungstreiber** dar. Diese erzwingen zur Sicherung

der Wirtschaftlichkeit des Unternehmens dessen spezifische, permanente bzw. zyklische Anpassungsfähigkeit. Das heißt, es sind spezifische Potenziale zur Gewährleistung dieser **Wandlungsfähigkeit** bereitzustellen. Hierbei fällt dem Fabrikplanungsprozess eine Schlüsselrolle zu, muss doch schon im Planungsprozess proaktiv (!) die erforderliche Wandlungsfähigkeit in das Fabrikssystem implementiert werden, um möglichst über die gesamte Fabriklebensdauer eine zukunftsrobuste Wandlungsfähigkeit zu sichern.

Zu beachten ist, Begriff und Inhalte der **Wandlungsfähigkeit** schließen Erfordernisse der **Flexibilität** ein (vgl. Zielfelder der Fabrikplanung – Abschnitt 1.1) gehen aber inhaltlich deutlich über diese hinaus. Diese Systemeigenschaften sind wie folgt charakterisiert (vgl. z. B. [1.4], [1.5]):

- unter *Flexibilität* ist eine vordefinierte installierte (aktivierbare) taktische Fähigkeit von Produktions- und Logistikprozessen zu verstehen, die eine elastische, reaktive Anpassung an veränderte Produktionsbedingungen in der Arbeitsplatz- und Bereichsebene ermöglicht, ohne dass substantielle Veränderungen erforderlich sind
- unter *Wandlungsfähigkeit* ist das über den vordefinierten Spielraum der Flexibilität hinausgehende Potenzial einer Fabrik zu verstehen, das die taktische Fähigkeit ermöglicht, notwendige reaktive/proaktive Anpassungen aufgrund geplanter und ungeplanter externer oder interner Einflüsse unter geringem Aufwand über alle Strukturebenen der Fabrik zu sichern.

**Die Flexibilität** ist begrenzt auf Veränderungsfähigkeiten wie z. B. Umrüstbarkeit, Rekonfigurierbarkeit, Verfahrenssubstitution, Kapazitätsaufweitung, Logistikinnovation, begrenzten Eingriffe in Materialflussstrukturen. Sie ist kurzzeitig aktivierbar und beruht folglich auf den Grundstrukturen der Fabrikgestaltung.

**Die Wandlungsfähigkeit** umfasst erweiterte Anpassungsräume bezüglich:

- Komplexität Produktions- und Logistikprozesse und -systeme
- Gestaltung und Strukturierung von Gebäudesystemen einschließlich der Gebäudeinfrastruktur
- Systeme der Ablauf- und Aufbauorganisation.

Die Wandlungsfähigkeit erfasst damit die Gesamtheit und Komplexität vernetzter Prozess- und Gebäudestrukturen.

Die Sicherung von schnell abrufbarer Wandlungsfähigkeit wird durch in das Fabrik- bzw. Produktionssystem eingebaute Potenziale (Fähigkeiten) gesucht. Die Wandlungsfähigkeit wird auf die unterschiedlichen Strukturebenen einer Fabrik (vgl. Abschnitt 1.1) bezogen, wobei dann Wandlungsanforderungen (Adaptionsbedarfe) und Wandlungsfähigkeit unterschiedlich, ebenenbezogen definiert sind. Werden z. B. Standort und Generalstrukturen als statisch angesetzt, dann sind die Wandlungsfähigkeit der Arbeitsplatz-, Bereichs- und Gebäudeebene als die permanent dominanten Ebenen anzusehen, durch die ausschließlich die Wandlungsfähigkeit zu realisieren ist (vgl. z. B. Grundfälle B, C in Abschnitt 1.2).

Von diesen Grundzusammenhängen ausgehend wurden eine Vielzahl von Beiträgen bzw. methodischen Ansätzen zur Planung und Realisierung von Wandlungsfähigkeit – bei begrenzt unterschiedlichen Schwerpunktsetzungen – erarbeitet (vgl. z. B. [1.3] bis [1.5], [1.10], [1.11], [1.45]).

So werden in [1.3] die **Fabrikmodularisierung** als Kernansatz vorgestellt um Wandlungsfähigkeit zu entwickeln. Dabei wird die Fabrik als ebenenbezogenes (hierarchisches) Sys-

tem betrachtet, dem Fabrikmodule (Schnittstellen) zugeordnet werden. Den Modulen (Bereichen) sind wandlungsbefähigende Eigenschaften zu implementieren wobei Module maßgeblich durch die sie bildenden Elemente (Bestandteile) bestimmt werden.

Wandlungsbefähigende Eigenschaften sind:

- Universalität (Aufgaben-, Funktions- und Anforderungsbreite)
- Kompatibilität (örtliche Beweglichkeit/Vernetzungsfähigkeit)
- Skalierbarkeit (Erweiterungs- oder Reduzierbarkeit)
- Modularität (Strukturaufbau).

Diese Eigenschaften (Ausprägungen) sind für alle Module bzw. Elemente abzuleiten für die Gestaltungsbereiche – Betriebsmittel, Raum- und Gebäudetechnik, Organisation. In [1.3] werden dazu Detaillösungen und Praxisanwendungen vorgestellt.

In den methodischen Ansätzen von [1.10], [1.11] wird ein ganzheitlicher Lösungsansatz basierend auf einem spezifischen integrativen **Modularkonzept** entwickelt, das der Gestaltungslogik PLUG + PRODUCE folgt.

Das Konzept basiert auf einer strikten Trennung von **Produktionssystem** (Subsysteme: Fertigung, Montage, Logistik, Prozesstechnik) und **Gebäudesystem** (Subsysteme: Tragwerk, Hülle, Innenausbau, Haustechnik).

Methodisch setzen (in Anlehnung an Prinzipien aus dem Erzeugnisentwicklungsprozess) Modularisierungs- und Standardisierungskonzepte (Baukastenprinzip, Baureihensystematiken, Plattformkonzepte) spezifische Anforderungen sowohl im Methoden- als auch im Objektbereich. Ziel ist eine Methodik zur Gestaltung und Konfiguration modularer Fabrikstrukturen aufbauend auf einer Baustein bzw. Baukastensystematik. Das heißt, standardisierte Fabrikbausteine (Komponenten, Module) werden nach einem spezifischen Modular-konzept (PLUG + PRODUCE) in Verbindung mit einem konstruktiv bedingten, ordnenden Rastersystem konfiguriert zum Fabrik- bzw. Produktionssystem. Der Ansatz PLUG + PRODUCE verfolgt hierbei das Prinzip, nachdem mobile, modulare Fabrikbausteine aufwandsarm, ohne Störungen des Fabrikbetriebes integriert, separiert oder substituiert werden können. Diese Konfigurations- und Rekonfigurationsprozesse unterliegen den Zielsetzungen – reaktionsschnelle Eingriffe bei kurzzeitigem Hochlauf. Wie in [1.10] dargestellt, ist die Entwicklung und Realisierung von „Fabrikbaukästen“ als eine wesentliche Basis dieses Ansatzes anzusehen.

Insgesamt wird erkennbar, dass Ansätze zur Gewährleistung von Wandlungsfähigkeit auch neue konstruktive Entwicklungsanforderungen z.B. an Bearbeitungs- und Logistiksysteme, an Gebäudesysteme sowie an Ver- und Entsorgungstechniken setzen.

### 1.5.6 Fraktale Fabrik

Dieser Strukturierungsansatz von *Warnecke* [1.6], [1.29] geht ebenfalls vom erkennbaren Paradigmenwechsel in den Umfeldbedingungen von Industrieunternehmen aus. Er basiert auf Analogiebetrachtungen zwischen biologischen und produktionstechnischen bzw. sozio-technischen Systemen und überträgt Folgerungen auf die spezifische Gestaltung von Fabrikstrukturen.