

# Grundlagen der Fabrikplanung

|            |  |           |
|------------|--|-----------|
| <b>1.1</b> | <b>Einleitung</b> .....                                | <b>3</b>  |
| 1.1.1      | Wandlungsträge Fabriken .....                          | 3         |
| 1.1.2      | Bisherige Ansätze der Unternehmensführung .....        | 6         |
| 1.1.3      | Wettbewerbsfaktoren überlegener Organisationen .....   | 10        |
| 1.1.4      | Lösungsansatz für die Fabrikplanung .....              | 14        |
| <b>1.2</b> | <b>Synergetische Fabrikplanung</b> .....               | <b>15</b> |
| 1.2.1      | Bestehende Fabrikplanungsansätze .....                 | 15        |
| 1.2.2      | Ansatz der Synergetischen Fabrikplanung .....          | 17        |
| 1.2.3      | Prozess- und Schalenmodell .....                       | 20        |
| <b>1.3</b> | <b>Planungsgrundlagen</b> .....                        | <b>29</b> |
| 1.3.1      | Fabrikplanung als Teil der Unternehmensplanung .....   | 29        |
| 1.3.2      | Zielhierarchie der Fabrikplanung .....                 | 31        |
| 1.3.3      | Von der Wettbewerbsstrategie zur Fabrikstrategie ..... | 32        |
| 1.3.4      | Marktleistung .....                                    | 36        |
| 1.3.5      | Geschäftsprozesse .....                                | 40        |
| 1.3.6      | Gestaltungsfelder der Fabrik .....                     | 41        |
| 1.3.7      | Produktionsstandort und Fabrik .....                   | 41        |
| 1.3.8      | Morphologie der Fabriktypen .....                      | 42        |
| <b>1.4</b> | <b>Produktionsanforderungen</b> .....                  | <b>46</b> |
| 1.4.1      | Generelle Aspekte .....                                | 46        |
| 1.4.2      | Reaktionsschnelligkeit .....                           | 47        |
| 1.4.3      | Mengen- und Variantenflexibilität .....                | 48        |
| 1.4.4      | Grenzwertorientierung .....                            | 51        |
| 1.4.5      | Selbstorganisation und Partizipation .....             | 56        |
| 1.4.6      | Vernetzung und Kooperation .....                       | 58        |
| 1.4.7      | Demografische Entwicklung .....                        | 61        |
| 1.4.8      | Unternehmenskultur .....                               | 62        |
| <b>1.5</b> | <b>Zusammenfassung</b> .....                           | <b>66</b> |

# 1

## Grundlagen der Fabrikplanung

Kapitel 1 leitet in das Themenfeld der Fabrikplanung ein und beschreibt den inhaltlichen Rahmen dieses Handbuchs. Die Kernidee des hier vorgestellten Fabrikplanungsansatzes besteht darin, über eine integrierte Betrachtung von Prozess- und Raumsicht aus der spezifischen Problemstellung heraus ein Ergebnis methodengeleitet schrittweise zu erarbeiten, welches vorgegebene Fabrikziele bestmöglich erfüllt und eine zukunftsfähige Fabrik garantiert. Hierzu behandelt Kapitel 1 folgende Themenschwerpunkte:

- Die *Einleitung* (Abschnitt 1.1) illustriert die Problemfelder wandlungsträger Fabriken und leitet daraus Wettbewerbsfaktoren überlegener Organisationen ab, die das heutige Verständnis der Fabrikplanung maßgeblich prägen.
- Aus diesem Verständnis formt sich das Bild der *Synergetischen Fabrikplanung* (Abschnitt 1.2), mit der Fabriken in einem integrativen Modell aus Prozess- und Raumsicht geplant werden. Diese Herangehensweise und die damit einhergehenden Planungsprozesse geben den strukturellen und inhaltlichen Rahmen dieses Handbuchs vor.
- Zur besseren Einordnung der Fabrikplanung stellt Abschnitt 1.3 die notwendigen *Planungsgrundlagen* vor, die einen Einfluss auf die Gestaltungsfelder der Fabrik haben.
- Darüber hinaus bedarf es der Herleitung wesentlicher *Produktionsanforderungen* (Abschnitt 1.4), die weitere grundlegende Rahmenbedingungen an die Planung von Fabriken stellen.

## 1.1 Einleitung

Steigen Veränderungsgeschwindigkeit und -umfang im Umfeld eines Unternehmens, verliert die Fabrik ohne adäquate Veränderungen über wenige Jahre ihre Wettbewerbsfähigkeit. Der Hauptgrund liegt in der mangelnden Anpassungsfähigkeit ihrer Einrichtungen und Organisation. Für eine strategisch weitsichtige Fabrikplanung ist es daher unerlässlich, die Veränderungstreiber zu kennen, die in der Vergangenheit, Gegenwart und Zukunft auf eine Fabrik eingewirkt haben bzw. einwirken.

Neben der bekannten Anforderung an Effizienz werden heutzutage auch ergänzende Anforderungen vor allem bezüglich der Veränderungsfähigkeit, der Nachhaltigkeit, der Kommunikation sowie der digitalen Infrastruktur gestellt. Um diese bei der Fabrikgestaltung angemessen zu berücksichtigen, ist eine integrierte Prozess- und Raumsicht, die sogenannte Synergetische Fabrikplanung, wichtig.

Dieses Kapitel zeigt zunächst die Symptome einer wandlungsträgen Fabrik, erläutert dann wesentliche Entwicklungsstufen der modernen Fabrik, skizziert erste Ansätze eines wettbewerbsfähigen Produktionsunternehmens und gibt einen einleitenden Überblick über den im Buch verfolgten Lösungsansatz der Synergetischen Fabrikplanung.

### 1.1.1 Wandlungsträge Fabriken

Seit Beginn der 1990er-Jahre ist in Deutschland eine intensive Diskussion über die Rolle und Bedeutung der Produktion in Wissenschaft und Praxis zu beobachten. Der in den 1980er-Jahren entwickelte Ansatz des Computer Integrated Manufacturing (CIM) brachte nicht den erhofften Erfolg, um den weltweit höchsten Arbeitskosten zu begegnen. Die Scheinkonjunktur nach der deutschen Wiedervereinigung täuschte über die immer deutlicher werden den Schwächen des Produktionsstandorts Deutschland hinweg. Erst die vom Massachusetts Institute of Technology (MIT), USA, erstellte Studie über die japanische, US-amerikanische und europäische Automobilindustrie machte schlagartig deutlich, dass insbesondere die deutschen Industrieunternehmen dabei waren, ihre Wettbewerbsfähigkeit hinsichtlich Produktivität, Lieferzeiten und Qualität einzubüßen [Wom90].

Als Hauptursache gilt die unzureichende Innovations- und Anpassungsfähigkeit der Unternehmen an die enorme Dynamisierung der Märkte und Technologien. Diese überwiegend durch Führungsmängel verursachte Schwäche lässt sich mit dem Begriff der *wandlungsträgen Fabrik* bezeichnen, deren Merkmale Bild 1.1 nach vier Hauptkriterien gliedert.

In der wandlungsträgen Fabrik entstand im Laufe einer langen Unternehmenstradition eine *komplexe Aufbau- und Ablauforganisation*: Zahlreiche Abteilungen, streng gegliedert in fünf bis zu sieben Hierarchiestufen, haben genau festgelegte Aufgaben und Kompetenzen. Eine Mitarbeiterbeteiligung ist nicht erwünscht, die Entgeltsysteme sind

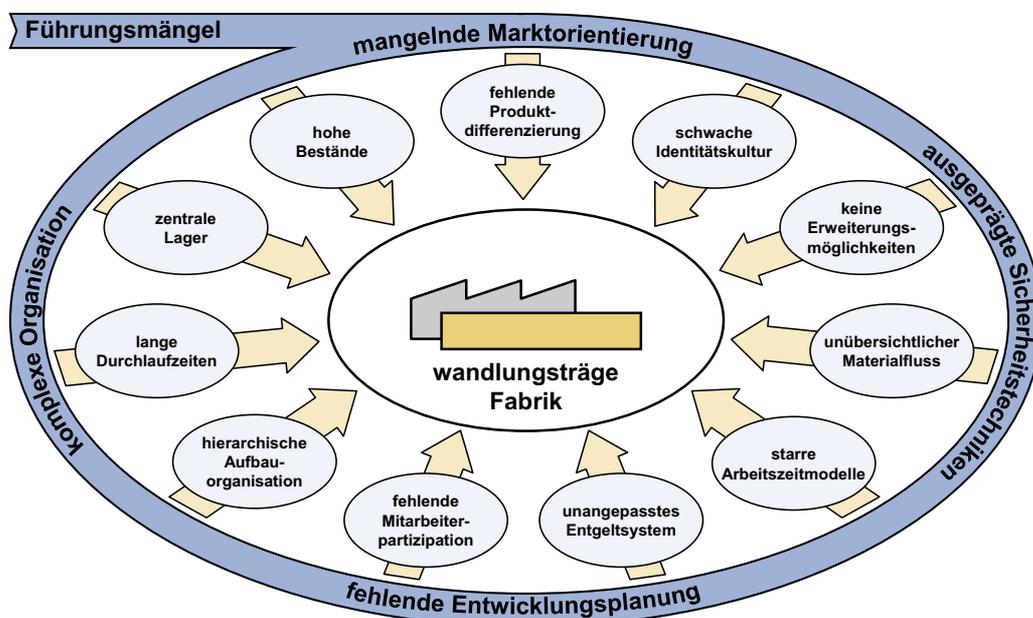


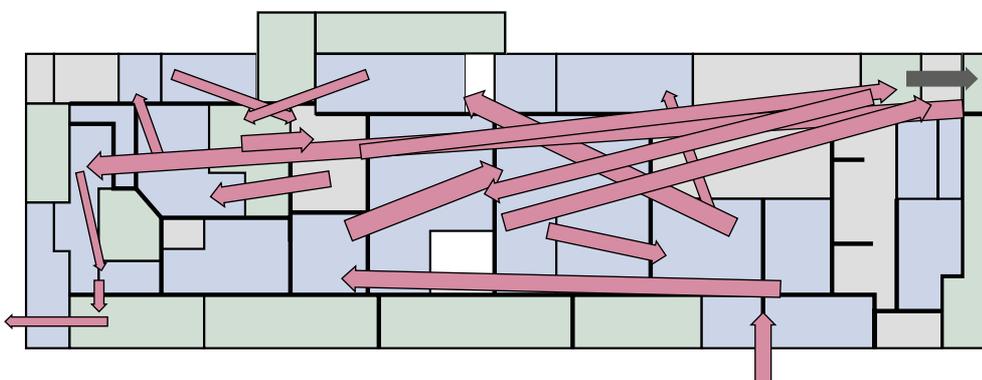
Bild 1.1 Merkmale wandlungsträger Fabriken

auf Leistung, nicht auf Ergebnisse ausgerichtet. Betont wird die funktionale Optimierung der Abläufe in Vertrieb, Konstruktion und Produktion. Lange Entscheidungswege und eine mehrfach aufgeteilte Verantwortung gegenüber dem Kunden für die Auftragsabwicklung sind die Folge. Fehlende Kundennähe steht in einem engen Zusammenhang mit einer *mangelnden Marktorientierung*. Infolge der funktionalen Organisation stehen nicht der Kunde und die Erfüllung seiner Wünsche im Vordergrund, sondern die Betonung von Betriebszielen wie die hohe Auslastung des Maschinenparks oder die Fertigung in sogenannten wirtschaftlichen Losgrößen. Erfolgreiches Handeln am Markt ist aber nur möglich, wenn es nach dem Grundsatz erfolgt, dass alles, was dem Kunden nicht dient, Verschwendung ist. Wandlungsträgen Unternehmen fehlt diese Ausrichtung. Sie nehmen meist keine innerbetriebliche Differenzierung ihrer Leistungen nach Kundengruppen und Märkten vor. Lange Durchlaufzeiten, hohe Bestände und zentrale Lager sind die sichtbaren Zeichen dieser falschen bzw. inkonsistenten Unternehmensausrichtung. Vielfach fehlt auch eine Unternehmensvision als Handlungsleitlinie, aus der für jeden Mitarbeiter unmittelbar verständlich wird, worin das grundlegende Unternehmensziel besteht. Eine gefährliche Folge ist die schwindende Unternehmensidentität und -kultur. Da sich die Mitarbeiter nicht mit dem Unternehmen und seinen Produkten identifizieren, sondern sich als Rädchen in einem großen Getriebe fühlen, kommt es teilweise zur „inneren Kündigung“. Man kämpft sich von Tag zu Tag durch die komplizierte Organisation. Kraft für neue Ideen bleibt nicht mehr. Dies spüren auch die Kunden, die zu Recht ein mangelndes Engagement ihrer Gesprächspartner beklagen. Ohne eine solche Gesamtzielsetzung ist auch die *Unternehmensentwicklung* nicht zu planen. Die historisch gewachsenen Strukturen spiegeln sich in einer planlosen

Gebäudestruktur wider, die einen ungeordneten Materialfluss und lange Transportwege nach sich zieht. Kurzfristige Anpassungen von Betriebsbereichen, z. B. aufgrund eines steigenden Produktionsbedarfs, sind nur mit erheblichem Aufwand möglich, weil keine Erweiterungsmöglichkeiten vorhanden oder vorgesehen sind. Verstärkt wird der Kulturverfall noch durch unansehnliche Gebäude, ungeordnete, räumlich verstreute Lagerflächen mit Rohmaterial, halb fertigen Teilen und Schrottsammlungen sowie schmutzige, schlecht beleuchtete Werkhallen, die eine positive Arbeitseinstellung erschweren. In diesem Zustand möchten die Verantwortlichen der Fabrik ihre Kunden gar nicht mehr durch den Betrieb führen, weil die Diskrepanz zwischen dem Produktanspruch und dem Erscheinungsbild der Fabrik zu offensichtlich ist.

Die geschilderten Entwicklungen führen schließlich zu einem *ausgeprägten Sicherheitsdenken*. Hohe Bestände in Rohmaterial, Zukaufteilen, Zwischenfabrikaten und Endprodukten täuschen eine Reaktionsfähigkeit vor, welche die Struktur selbst nicht mehr leisten kann. Kommt es zu Aufträgen, die nicht der Routine entsprechen, entstehen lange Lieferzeiten, Eilaufträge und Terminverzögerungen.

Bild 1.2 zeigt ein typisches Praxisbeispiel für Wandlungsträgheit. In dem dargestellten Fertigungsbereich fällt sofort der stark ungerichtete Materialfluss auf. Die hier gefertigten Produkte legen während ihrer Bearbeitung deutlich mehr als einen Kilometer Wegstrecke zurück. Durchlaufzeiten von mehr als vier Wochen bei einer Bearbeitungszeit von zwei Tagen hatten hier eine ihrer Ursachen, doch auch lange Rüstzeiten und ein hoher Anteil an Nacharbeit bremsen den Auftragsdurchlauf. Ein neu aufzunehmendes Produkt in der Fertigung erzeugte ein Flächendefizit von 1400 m<sup>2</sup>. Das bildete einen Anlass, diese Struktur infrage zu stellen. Eine daraufhin initiierte Studie zeigte, dass eine konsequente Ausrichtung auf drei



#### Analyseergebnisse

- stark ungerichteter Materialfluss
- Durchlaufzeit ca. 38 Arbeitstage
- Fertigungswege 1300 m bis 1500 m
- Nacharbeitsanteil 20 %
- Rüstzeiten bis zu 16 Stunden
- Flächendefizit 1400 m<sup>2</sup>

**Bild 1.2**

Istzustand eines Fertigungsbereichs

Produktgruppen (Renner, Läufer, Exoten), eine Vereinheitlichung der Arbeitsabläufe und eine Einführung des Ziehprinzips für die Auftragssteuerung eine Durchlaufzeitverkürzung von 50% und eine Flächenverringern von 40% ermöglichen.

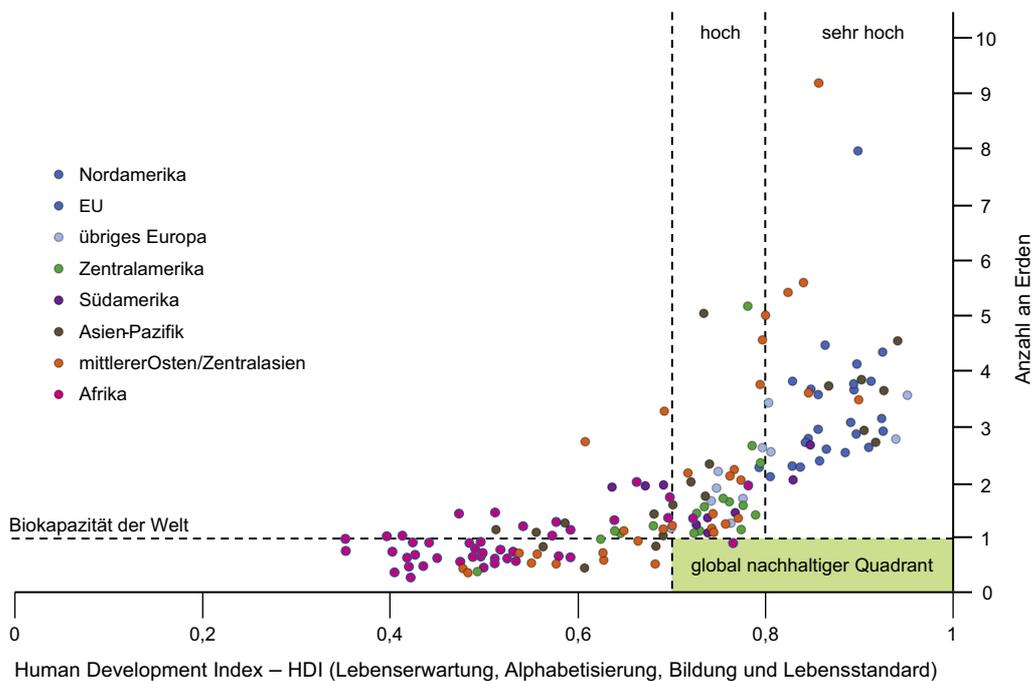
Neben dieser internen Sicht auf eine Fabrik sind auch externe ökologische Aspekte, also insbesondere Ressourcenschonung und Umweltschutz, in dieser Form nicht mehr erfüllbar. Eine wichtige Größe in diesem Zusammenhang ist der sogenannte ökologische Fußabdruck (Ecological Footprint): „Er misst, wie viel Land und Wasser die Menschen benötigen, um die Ressourcen (wie Nahrung und Holz) zu produzieren, die sie verbrauchen, und wie viel Land für Infrastruktur und die Absorption des dabei erzeugten CO<sub>2</sub> benötigt wird. Diese Werte werden mit der Biokapazität verglichen, also der Fähigkeit der Natur, diese Anforderung zu erfüllen“ [Gfn17]. In der globalen Übersicht über die Schuldner und Gläubiger der Ökobilanz zeigt sich, dass die Industrienationen, aber auch einige Länder des Nahen Ostens und Afrikas deutlich über ihre Verhältnisse leben, weil ihr Footprint teilweise dramatisch größer ist als ihre Biokapazität [Gfn17]. Dabei ist festzuhalten, dass sich der Verbrauch natürlicher Ressourcen in den letzten 40 Jahren verdoppelt hat [Pol10]. Seit mehr als 20 Jahren verbraucht die Menschheit jährlich ein Viertel bis ein Drittel mehr, als die Erde regenerieren kann.

Bild 1.3 zeigt den ökologischen Fußabdruck der Länder abhängig von ihrem Wohlstand und normiert auf die An-

zahl an benötigten Erden. Als Human Development Index (HDI) wird ein geometrisches Mittel aus den Teilindizes für die Lebenserwartung (life expectancy at birth), für Bildung (mean years of schooling and expected years of schooling) und für Einkommen (GNI = Gross National Income per capita) gebildet. Als hoch gilt ein Indexwert von etwa 0,7 und als sehr hoch ein Wert von etwa 0,8. Der Ecological Footprint wird in Hektarfläche pro Person bemessen.

Als nachhaltig vertretbar gilt der Quadrant, der unter Beibehaltung der heutigen Flächenbelegung einen Human Development Index zwischen 0,7 und 1 ermöglicht. Bild 1.3 macht deutlich, dass nur einige Länder aus Afrika, Lateinamerika und Europa diesem Anspruch genügen. Der Rest gliedert sich in zwei Gruppen. Die Länder der einen Gruppe – vorwiegend die USA, Europa und einige asiatische Länder – verbrauchen zu viele Ressourcen bei hohem Lebensstandard. Alleine Deutschland benötigt Stand heute im Weltmaßstab 2,9 Erden, um den hier erreichten Lebensstandard zu halten. Die Länder der zweiten Gruppe – überwiegend afrikanische und viele asiatische sowie lateinamerikanische Länder – leben unterhalb des wünschenswerten Lebensstandards, verbrauchen aber (noch) vergleichsweise wenig Land.

Für 2050 werden 9,7 Mrd. Menschen prognostiziert. Wenn die Lebensqualität dieser Menschen insbesondere in den aufstrebenden Schwellenländern (Transition Economies) wie China, Brasilien und Indien unter Beibehaltung der bisherigen Produktionsverfahren und des Konsumverhal-



**Bild 1.3** Ecological Footprint and Human Development (Global Footprint Network)

tens der Industrieländer erhalten bzw. erreicht werden soll, wird jedes verantwortbare Maß des Verbrauchs überschritten [WWF10; Sel07].

Die nähere Ursachenanalyse verdeutlicht Bedeutung und Wirkhebel der Fabrikplaner und -betreiber: So nutzen die Gebäudetypen Wohn-, Nichtwohn- und Industriegebäude die Gesamtenergie zu 8%, 22% bzw. 32%. Der Industriesektor inklusive der Wertschöpfungsketten verantwortet 31% der Emissionen [IEA19]. In Deutschland verursacht das verarbeitende Gewerbe jährlich die größte CO<sub>2</sub>-Emission [UBA21]. Der Einsatz endlicher Rohstoffe für die Herstellung von Prozesstechnik und Gebäuden sowie Flächenversiegelung für weitläufige Anlagen beeinflussen unsere Umwelt weiter negativ.

Nur wenn neben der Wandlungsfähigkeit die Nachhaltigkeit in ökonomischer, ökologischer und sozialer Hinsicht als zukünftiges Handlungsprinzip anerkannt wird, kann es gelingen, die Produktion von Gütern weiterhin zu ermöglichen, den gesamtheitlichen Wohlstand auszubauen und damit die Lebensqualität aller Menschen zu verbessern und zeitgleich die natürlichen Ressourcen und Ökosysteme für zukünftige Generationen zu erhalten. Letztlich geht es also um den zum Teil schon eingetretenen und weiter drohenden Klimawandel und seine Begrenzung oder – positiv gewendet – um das Gelingen einer fundamentalen Öko-Innovation.

### 1.1.2 Bisherige Ansätze der Unternehmensführung

Die skizzierten Entwicklungen verdeutlichen, dass die früher erfolgreichen Grundsätze der industriellen Unternehmensführung angesichts eines immer schlechter planbaren Umfeldes sowie höherer ökologischer Anforderungen nicht mehr greifen. Hierzu zählten insbesondere folgende Grundsätze [Lut96; Klo98]:

- Maximale Durchplanung und Effektivierung aller betrieblichen Abläufe, vor allem in der Produktion: Exemplarisch hierfür stehen eine große Arbeitsvorbereitung und ausgeprägte Zeitwirtschaft.
- Klare arbeitsteilige Abgrenzung von Ressorts, fachlichen Zuständigkeiten und hierarchischen Verantwortlichkeiten: Kennzeichen hierfür sind umfangreiche Organisationshandbücher mit genauen Stellen- und Ablaufbeschreibungen.
- Gleichsetzung von fachlicher Kompetenz und hierarchischer Position: Dieses klassische Karrieremuster führt zwangsläufig zum Aufbau statt Abbau von Hierarchien.
- Eindeutige Präferenz für unternehmensinterne Lösungen: Nur ungern gab man vermeintliches oder tatsächliches unternehmensspezifisches Know-how in Form

von Zulieferungen aus dem Hause mit der Folge einer steigenden Teile- und Variantenvielfalt.

- Maximale Nutzung des Serieneffektes: Als typische Verhaltensweise resultiert hieraus die Bildung großer Lose, das Vorziehen von Aufträgen oder die Auslösung von Vorratsaufträgen ohne konkreten Kundenbedarf.
- Marktbehauptung durch inkrementale Produktinnovationen in Form schrittweiser Verbesserungen existierender Produkte als Normalfall: Ein dominantes Basisprodukt, häufig eine Erfindung des Firmeninhabers, erreichte so über lange Zeit eine starke Kundenbindung.
- Entwicklung neuer Produkte, sogenannter Sprunginnovationen, nur ausnahmsweise und zur Erschließung neuer Märkte: Selten erfolgten diese Innovationen auf Basis einer Studie der Kundenbedürfnisse (Market Pull) als vielmehr aus dem Technologiepotenzial des Unternehmens heraus (Technology Push). Im günstigsten Fall traf das neue Produkt auf ein vorhandenes Kundenbedürfnis oder weckte dieses.
- Primat arbeitssparender Investitionen und Innovationen: Da die Märkte noch nicht gesättigt waren, galt es, die hohen Lohn- und Lohnnebenkosten sowie die immer größeren Gemeinkosten durch überproportionale Rationalisierung des Produktionsprozesses zu kompensieren.
- Weitestgehende Externalisierung aller hierfür geeigneten Lasten und Kosten: Hierzu zählen insbesondere die Kosten der Umweltbelastung und bestimmter Sozialkosten, z. B. bei betriebsbedingter Kündigung.

Der Erfolg dieser Grundsätze war an bestimmte, relativ stabile Umfeldbedingungen geknüpft, die seit Ende der 1990er-Jahre allenfalls eingeschränkt Gültigkeit besitzen. So war beispielsweise die Veränderung der Absatzmärkte meist langfristig vorhersehbar. Ein Kennzeichen hierfür war eine mittelfristige Unternehmensplanung von drei bis fünf Jahren. Die Zahl der Wettbewerber auf diesen Märkten war begrenzt und ihre Stärken und Schwächen waren bekannt. Investitionskapital und natürliche Ressourcen waren zu niedrigen Kosten zu beschaffen. Die Umweltlasten spielten für den Unternehmenserfolg eine untergeordnete Rolle. Gleiches galt für den Börsenkurs des eigenen Unternehmens. Schließlich waren hoch motivierte, gut qualifizierte Arbeitskräfte überall verfügbar [Lut96]. Diese Rahmenbedingungen veränderten sich seit Beginn der 1980er-Jahre mit einer zuvor nicht erlebten Geschwindigkeit. Als wohl bedeutendste Herausforderung gilt die Globalisierung der Waren und Informationsströme, vorangetrieben durch die rasanten Entwicklungen der Logistik und des Internets sowie der digitalen Unterstützung der Prozesse. Dadurch drängt eine Fülle von Produkten aus jungen aggressiven Industrienationen auf den Weltmarkt. Als Folge davon werden Veränderungen der Märkte immer schlechter planbar.

Ausgehend von H.-J. Warnecke und Westkämper hat sich hierfür der Begriff des turbulenten Handlungsumfeldes etabliert [War93; Wes99]. Demnach können sich alle für die Produktion relevanten Parameter wie Produktaufbau, Wettbewerber, Absatzzahlen und verfügbare Technologien sehr schnell, kurzzyklisch und sprunghaft ändern. Damit nimmt die Vorhersehbarkeit von Veränderungen des industriellen Umfeldes stark ab. Indizien hierfür sind die anhaltende Verkürzung der Lebenszyklen eines Produktes vom Markteintritt bis zur Ablösung und die Diversifikation der Produkte mit immer mehr Varianten. Das neuere Akronym „VUCA“ beschreibt das Gleiche und steht für die englischen Begriffe „volatility“ (dt. Volatilität), „uncertainty“ (dt. Unsicherheit), „complexity“ (dt. Komplexität) und „ambiguity“ (dt. Mehrdeutigkeit) und charakterisiert die Herausforderung der Fabrikplanung: Veränderungen z.B. in der Technik können schwer bis gar nicht antizipiert werden (volatility). Sicher geglaubte Eingangsparameter gehören der Vergangenheit an (uncertainty). Der digitale Vormarsch verspricht dezentrale Lösungen, die vielschichtig und für manche undurchschaubar miteinander interagieren (complexity). Darüber hinaus lassen sich keine eindeutigen Ursache-Wirkketten mehr aufbauen (ambiguity).

Um die zunehmende Produktindividualisierung und die damit erhöhten logistischen Herausforderungen durch Zahlen zu untermauern, dient das nachfolgende Beispiel aus der Automobilbranche. Ein Audi A3 konnte im Jahr 2014 in der Theorie in sagenhaften  $1,1 \times 10^{38}$  Varianten konfiguriert werden. Damit ist die Losgröße „1“ im Automobilsektor genau genommen keine Fiktion mehr [Hir15]. Im heutigen Straßenverkehr ist die Wahrscheinlichkeit, dass ein Audi einem identisch ausgestatteten Audi begegnet, praktisch null. Nicht ohne Grund möchte Audi als Teil

des VW Konzerns auf die steigende Individualisierung mit immer ausgefeilteren Plattformstrategien – dem sogenannten Modulare Querbaukasten (MQB) – antworten, welche individuelle Konfigurationen unter Einhaltung von festen Standards im Fahrzeugaufbau und bei Systembauteilen ermöglichen. Die Einführung des MQB realisierte Kosteneinsparungen von bis zu 30%. Inzwischen droht jedoch die Komplexität des Produktportfolios die Unternehmen zu überfordern, was zu weiteren Anstrengungen geführt hat, die wuchernde Modell- und Variantenvielfalt einzudämmen.

Zur Produktvielfalt tritt das rasche Vordringen neuer technologischer Entwicklungen hinzu, sei es in Form neuer Werkstoffe, Fertigungsverfahren und Informations- und Kommunikationstechniken wie Internet, RFID (Radio Frequency Identification Device) und Virtual sowie Augmented Reality. Sie eröffnen sowohl dem Konstrukteur als auch dem Fabrikgestalter neue Gestaltungsspielräume.

Eine weitere eher strukturelle Entwicklung betrifft das Auseinanderdriften der *Lebenszyklen* der technischen Fabrikelemente Prozess, Gebäude und Grundstück im Vergleich zum Produkt. Wirth verdeutlicht diesen Tatbestand auf anschauliche Weise, wie in Bild 1.4 dargestellt wird ([Wirt00], zitiert nach [Sche14]):

- Die *Produktlebenskurve* (A) wird nicht zuletzt wegen der selbst erzeugten Variantenvielfalt immer kürzer. Um dieser Entwicklung zu begegnen, erfolgt häufig eine Aufteilung des Produktes in Grundmodule, die mehrere Produkte überdauern, und in variantenabhängige Komponenten, die den Neuheitsanspruch des Produktes begründen, wie z.B. eine zusätzliche Funktion oder ein neues Design. Die bereits erläuterten modularen Baukastensysteme sind zumindest in der Automobilindustrie mittlerweile stark verbreitet.

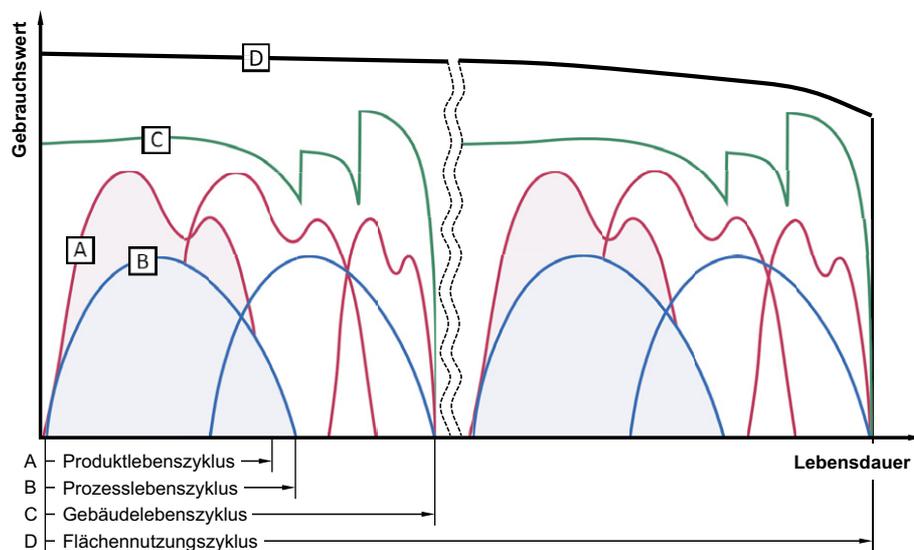


Bild 1.4

Zusammenhang zwischen Produkt-, Prozess-, Gebäudelebens- und Flächennutzungszyklus (Wirth)

- Technische Neuerungen und deren Wirtschaftlichkeit bestimmen den *Prozesslebenszyklus* (B). In der Regel wird er länger als der Produktlebenszyklus sein und für mehrere Produktgenerationen genutzt, nicht zuletzt wegen der Abschreibungsdauer der Betriebsmittel.
- Beim *Gebäudelebenszyklus* (C) ist zwischen dem eigentlichen Baukörper, der 30 bis 50 Jahre hält, und der technischen Gebäudeausrüstung, die vielleicht 10 bis 15 Jahre nutzbar ist, zu unterscheiden. Meist beträgt die Dauer beider Teilzyklen das Mehrfache der Prozess- und Produktzyklen.
- Der *Flächennutzungszyklus* (D) ist schließlich von der Lage des Grundstücks abhängig und dem damit verbundenen Bebauungsrecht. Er bewegt sich in der Größenordnung von Jahrzehnten und überdauert auch die Nutzungsdauer der Gebäude.

Wirth folgert daraus, dass die Teilsysteme wandlungsfähig zu gestalten und im Lebenszyklus der ganzen Fabrik zeitlich zu harmonisieren sind.

Trotz der daraus resultierenden vielfach vernetzten Entscheidungs- und Ausführungsprozesse bei der Produktentwicklung, Markteinführung und Auftragsabwicklung nimmt die verfügbare Zeit ab, die den Unternehmen zur Reaktion auf die Umfeldveränderungen zur Verfügung steht. Als wesentliche Reaktion auf diese Entwicklungen setzte sich zunächst der Gedanke der Komplexitätsreduktion durch. Angetrieben durch Konzepte der schlanken Produktion [Wom90] und des Business-Reengineering [Ham93] zeigten sich weitere Wege:

- Produkte und Produktionsprogramme wurden in Komponenten, Module und Teilsysteme zerlegt (*Produktmodularisierung*), und es erfolgte eine Konzentration auf Kernkompetenzen. Dies reduzierte die Eigenfertigungspositionen und zu disponierenden Artikel durch entsprechende Zulieferanten genauso drastisch wie die Arbeitskräfte in einer Fabrik. Die zwangsläufig engere Vernetzung mit anderen Unternehmen führt zu komplexeren und damit auch störungsanfälligeren Produktionsnetzwerken.
- Im Einklang hierzu erfuhr die gesamte *Beschaffungslogistik* eine Neustrukturierung, Differenzierung und Beschleunigung durch Direktbelieferung an den Verbauort des Materials sowie den Aufbau von Modul- und Systemlieferanten. Letztere übernahmen die Verantwortung von der konstruktiven Gestaltung bis zum Einbau in das Endprodukt. Ein weiteres Beispiel ist die Vergabe des kompletten C-Teile-Spektrums – das sind die Artikel eines Produkts, die nur 5 bis 10% des Wertes, aber 50 bis 80% der Teilepositionen ausmachen – an einen Logistikdienstleister.
- Schließlich erfuhr der direkte Wertschöpfungsbereich der Fertigung und Montage eine grundlegende Neuord-

nung durch *Segmentierung* und *Dezentralisierung*. Ausgehend von der Gruppentechnologie der 1960er-Jahre [Mit60] über die Fertigungsinseln der 1970/80er-Jahre entstanden die Konzepte der modularen Fabrik [Wild88] und der fraktalen Fabrik [War93]. Die Grundidee bestand darin, fertigungs- und montagetechnisch ähnliche Teilegruppen bzw. Baugruppen für ein Marktsegment mit bestimmten Anforderungen hinsichtlich Lieferzeit und Liefertreue in einer Leistungseinheit beginnend mit dem Auftragsabruf herzustellen und 100% qualitätsgeprüft einbaufertig weiterzugeben. Sämtliche indirekten Funktionen wie Material- und Werkzeugdisposition, Terminierung, Wartung, Instandhaltung bis hin zur Kapazitäts- und Personaleinsatzplanung wurden in die Leistungseinheit integriert. Sie tritt wie ein interner Zulieferer auf.

- Als Alternative zur Verlagerung findet die Einbindung in *Unternehmensnetzwerke* immer stärkere Beachtung [Kirs96]. Hier schließen sich Firmen zu einem virtuellen Unternehmen zusammen, welches nach außen wie ein großes Unternehmen auftritt und alle Leistungen aus einer Hand anbietet. Es erlaubt insbesondere kleinen und mittleren Unternehmen, sich bei geringem Gemeinkostenaufwand erfolgreich um größere Projekte zu bewerben und diese abzuwickeln [Dan97].
- Neben diesen Strukturveränderungen in der Wertschöpfungskette ist seit Ende der 1990er-Jahre eine vermehrte *Methodenorientierung* zu beobachten. Basierend auf dem von Toyota eingeführten Toyota-Produktionssystem [Ohn93], das heute als Maßstab für eine effiziente Produktion gilt (siehe Abschnitt 2.1), erkannten viele Unternehmen, dass sie ihre gesamten Prozesse auf die Vermeidung von Verschwendung ausrichten müssen. Dieser Ansatz wird heute unter dem Begriff *schlanke Produktion* oder *Lean Production* zusammengefasst. Er wurde zunächst nur als Instrument zum Personalabbau verstanden, hat aber seit Beginn der 2000er-Jahre eine Neubewertung erfahren und die Entwicklung zahlreicher sogenannter ganzheitlicher Produktionssysteme (GPS) angestoßen [Spa03; LaZa07; Dom06]. Eine pragmatische Vorgehensweise, um in diesem Zusammenhang die Verschwendung an Zeit, Beständen, Flächen und Bewegungen rasch analysieren zu können, ist die von Rother und Shook vorgestellte Methode des Wertstromdesigns [RoSh04], die ihrerseits zu dem Begriff der Wertstromfabrik führte [Erl20].

Fasst man die bisherigen Evolutionsschritte der Fabrik unter den vorgenannten Aspekten zusammen, lassen sich stark vereinfacht vier prinzipielle Erscheinungsformen erkennen (Bild 1.5):

- Die *funktionale Fabrik* war bei stabilen und gut prognostizierbaren Märkten auf eine Effizienzsteigerung durch

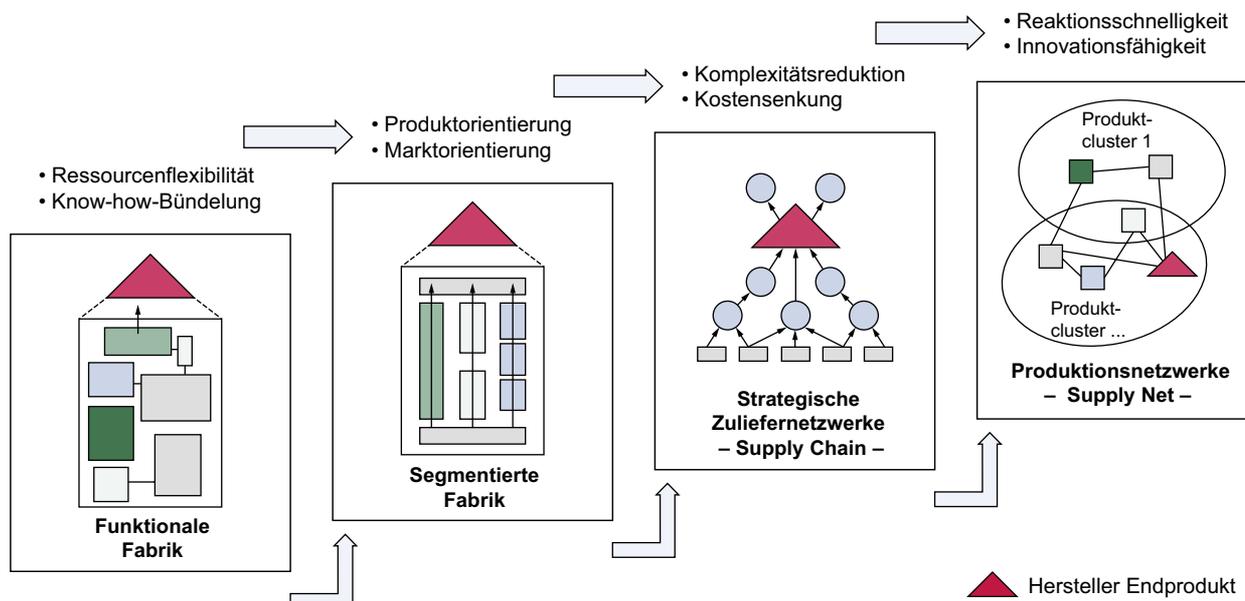


Bild 1.5 Von der funktionalen Fabrik zum Standort im Produktionsnetzwerk

Know-how-Bündelung ausgerichtet. Das damit einhergehende Werkstättenprinzip mit entsprechenden Stabsabteilungen gewährleistete eine hohe Ressourcenflexibilität, allerdings um den Preis hoher Bestände und langer Durchlaufzeiten.

- Die Notwendigkeit, sich stärker an den Märkten und ihren zugehörigen Produkten zu orientieren, führte zu der beschriebenen *modularen, fraktalen oder segmentierten Fabrik*. Die Auftragsabwicklung beschleunigte sich spürbar, jedoch war eine gelegentliche Unterauslastung der Einrichtungen in Kauf zu nehmen. Das Personal konnte nur durch Mehrfachqualifizierung und flexible Arbeitszeitmodelle ausgelastet werden.
- Mit weiter zunehmender Produkt- und Marktdifferenzierung wuchs die Komplexität jedoch, sodass mithilfe der beschriebenen Maßnahmen der Fertigungstiefenreduzierung insbesondere in der Automobilindustrie *strategische Zuliefernetzwerke*, auch als *Lieferketten* oder *Supply Chains* bezeichnet, entstanden. Das Unternehmen, das den Endkunden beliefert, konzentriert sich auf seine Kernkompetenzen, im Extremfall auf das Produktdesign, die Endmontage und den Vertrieb und schöpft beträchtliche Kostenpotenziale durch die konsequente Fremdvergabe von Beschaffungs-, Fertigungs-, Distributions- bis hin zu Entwicklungsprozessen aus. Derartige Netze sind üblicherweise auf die Produktionsdauer eines Produktes beschränkt. Typisch sind drei bis fünf Jahre.
- Mit steigender Turbulenz der Märkte und der gleichzeitigen Forderung nach größerer Geschwindigkeit der Leistungserstellung und erweitertem Leistungsumfang

entwickeln sich zusehends regionale und überregionale *Produktionsnetzwerke*. Sie bilden Produktionscluster, die sich mit hoher Innovationsrate und reaktionsschnell auftragsbezogen konfigurieren und ebenso wieder auflösen, wenn die Leistung erbracht wurde.

Allen skizzierten Erscheinungsformen der Fabrik ist gemeinsam, dass sie von immobilen Ressourcen (Gebäude, Betriebsmittel, Infrastruktur) und Standorten ausgehen. In Abschnitt 1.4 wird diskutiert, inwieweit sie damit den bereits existierenden und absehbaren zukünftigen Anforderungen genügen. Mit den geschilderten Konzepten ist es den Produktionsunternehmen in einem ersten Schritt weitgehend gelungen, ihre betriebliche Effizienz und die Reaktionsfähigkeit zu steigern, um den Herausforderungen des sich internationalisierenden Marktes gewachsen zu sein. Dabei haben sich die überlegene Produktfunktionalität, hohe Qualität und pünktliche Belieferung als wesentliche Alleinstellungsmerkmale erwiesen.

Als relativ neue Geschäftsfelder werden darüber hinaus seit den 1990er-Jahren sogenannte produktintegrierte Dienstleistungen entwickelt. Diese erstrecken sich über den gesamten Lebenszyklus des gelieferten Produktes, beginnend mit der Unterstützung des Kunden bei der Planung und Auslegung über die Montage und Inbetriebnahme bis zum internetgestützten Teleservice und Ersatzteilgeschäft sowie der Außerbetriebnahme und zum Rückbau bzw. der Rücknahme. Weiterentwicklungen dieses Ansatzes bestehen in sogenannten *Betreibermodellen*, bei denen der Anlagenhersteller ihr Eigentümer bleibt und der Kunde nur für die tatsächlich erzeugten Produkte

bezahlt. Betreibermodelle stellen auch einen wichtigen Beitrag zur sogenannten nachhaltigen Entwicklung (Sustainable Development) dar. Dieses strebt an, den Ressourcenverbrauch an Rohstoffen und Energie durch weitgehende Wiederverwendung und Wiederverwertung der Produkte zu minimieren und die Luft-, Wasser- und Bodenbelastung möglichst gering zu halten.

Viele Unternehmen sahen eine Lösung der eingangs geschilderten Probleme jedoch auch in der Verlagerung von Teilen ihrer Produktion in sogenannte Billiglohnländer, weil dort vermeintlich günstigere Produktionsbedingungen besonders hinsichtlich der Lohnkosten und Arbeitszeit vorliegen. Das Fraunhofer Institut für System- und Innovationsforschung (ISI) führt hierzu systematische Befragungen in der deutschen Industrie durch. Deren Ergebnisse für die Jahre 1995 bis 2015 zeigt Bild 1.6 – differenziert nach Betrieben der Metall- und Elektroindustrie sowie dem verarbeitenden Gewerbe [Kin18]. Nach 1995 ist beispielsweise bei der Metall- und Elektroindustrie eine starke Zunahme der Verlagerungen zu beobachten, die ab 2009 auf 12 % zurückgeht. Die Rückverlagerungen (auch Re-/Nearshoring, von engl.: shore, Küste) pendelten sich nach einer Sättigungsphase bei 3 % ein. Dominierend für eine Verlagerung waren Personalkosten, Kundennähe, die Markterschließung und die Nähe zu bereits verlagelter Produktion. Hauptmotive für eine Rückverlagerung waren mangelnde Flexibilität und Lieferfähigkeit, ungenügende Produktqualität, schlechte Kapazitätsauslastung, hohe Transportkosten und unerwartet hoher Koordinationsaufwand.

Einerseits ist unstrittig, dass Direktinvestitionen im Ausland einen positiven Effekt auf die Beschäftigung in Deutschland ausüben [Klo04]. Andererseits vermittelt die Studie wichtige Impulse für weitergehende Ansätze zur Wettbewerbsverbesserung insbesondere kleinerer Betriebe, um sie vor voreiligen Entscheidungen zu bewahren.

### 1.1.3 Wettbewerbsfaktoren überlegener Organisationen

Gleichwohl reichen die bisherigen Anstrengungen nicht aus, da die Strategie der Komplexitätsreduzierung eher auf das Abfedern der Marktturbulenz gerichtet ist und nicht durchgängig auf die ganze Wertschöpfungskette wirkt. Insbesondere droht die Gefahr des Verlustes der Reaktionsfähigkeit. Die internen Stärken der deutschen Unternehmen bergen vor dem Hintergrund eines hohen Ausbildungsniveaus, eines stabilen Sozialsystems, einer hervorragenden Infrastruktur und einer robusten Währung noch ein erhebliches Potenzial zur *Komplexitätsbeherrschung* als Erfolg versprechende Zukunftsstrategie. Denn schließlich bieten gerade turbulente Märkte Chancen für eine Offensivstrategie, die zusätzliche Marktanteile eröffnet. Dies setzt jedoch die Fähigkeit der Unternehmen voraus, nicht nur auf äußere Entwicklungen zu reagieren, sondern proaktiv – also vorausschauend – im Markt aufzutreten. Dazu gehört auch, selbst Turbulenz erzeugen zu können, indem beispielsweise überraschend

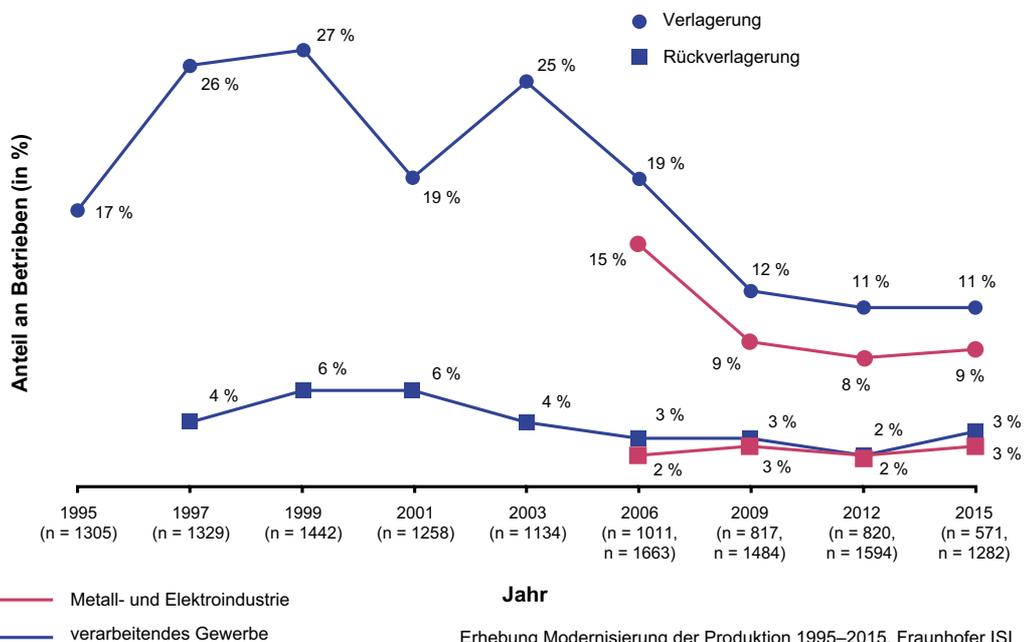
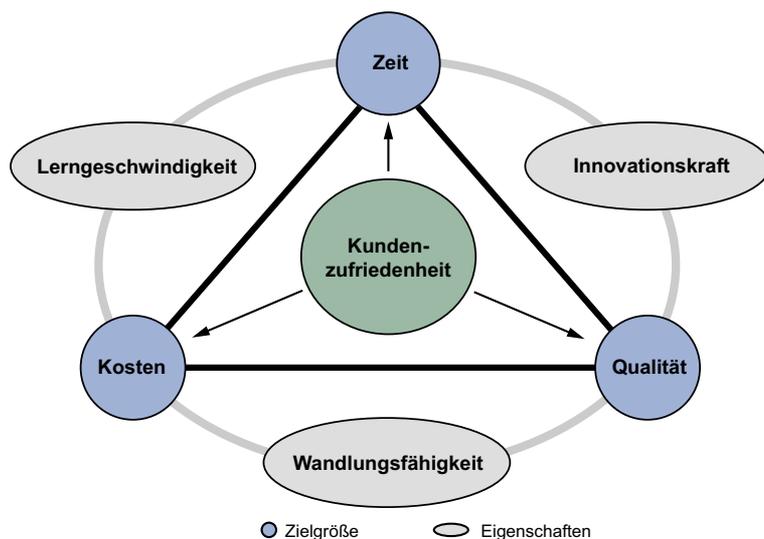


Bild 1.6 Produktionsverlagerungen und Rückverlagerungen im Zeitvergleich (Kinkel)



**Bild 1.7**  
Wettbewerbsfaktoren überlegener Organisationen

die Lieferzeit halbiert, eine ungewöhnlich dichte Folge neuer Produkte für ein spezifisches Marktsegment angeboten wird oder eine Qualitätsoffensive im Sinne einer Verdoppelung der Garantiezeit erfolgt.

Eine derartige Strategie setzt jedoch mehr als die Beherrschung von Kosten, Qualität und Zeit zur Erreichung der Kundenzufriedenheit voraus (Bild 1.7). Drei Eigenschaften kennzeichnen eine überlegene Organisation:

1. Es ist eine große *Innovationskraft* erforderlich, die es zu entwickeln und zu fordern gilt. Sie bedeutet, bestehende Produkte, Dienstleistungen, Prozesse und das Verhalten sowohl im kontinuierlichen Verbesserungsprozess als auch in Sprunginnovationen permanent infrage zu stellen [Ever03]. Dies erfordert eine kommunikationsorientierte Unternehmenskultur mit einer ausgeprägten Mitarbeiterpartizipation und starker Ergebnis- statt Leistungsfokussierung.
2. Neues schnell nutzbar zu machen, also eine hohe organisationale *Lerngeschwindigkeit* zu besitzen, ist die zweite wichtige Eigenschaft turbulenznutzender Unternehmen. Das hervorsteckende Merkmal einer solchen Organisation ist die Fähigkeit zur Entwicklung gemeinsamer Visionen und Ziele zur Bündelung der Energie und des Wissens. Dazu gehören kontinuierliche Qualifizierungsmaßnahmen mit dem primären Ziel der Vermittlung von Methoden- und Sozialkompetenz, ein hohes Maß an informeller Kommunikation und eine ausgeprägte Selbstorganisation in flachen Hierarchien mit autonomen Organisationseinheiten [Gau04].
3. Die dritte wesentliche Eigenschaft ist schließlich die *Wandlungsfähigkeit* [Wes99; Rein00; WieP99a]. Sie beschreibt das Vermögen einer Fabrik, ausgehend von internen oder externen Auslösern, aktiv strukturelle Veränderungen auf allen Ebenen mit geringem Auf-

wand durchführen zu können. Dabei erfordert der Wandlungsprozess eine durch den Markt bestimmte Geschwindigkeit in Planung und Realisierung. Diese Wandlungsfähigkeit unterscheidet sich von verwandten Begriffen wie Reaktionsschnelligkeit, Adaptionfähigkeit, Flexibilität und Agilität und wird in Abschnitt 2.2 ausführlich erläutert. Sie gilt in diesem Buch als zentraler Begriff der Eignung, die ein Unternehmen in einem turbulenten Umfeld erfolgreich sein lässt.

Diese Eigenschaften wappnen die Unternehmen gegenüber den Veränderungstreibern und ermöglichen eine hohe Zielerreichung trotz des turbulenten Umfeldes. Um ein Verständnis dafür zu entwickeln, aus welchen Entwicklungen diese Veränderungstreiber resultieren und wie umfassend ihr Einfluss auf die Fabrik ist, werden im Folgenden die *Megatrends* erläutert. „Megatrends sind die großen gesellschaftlichen, wirtschaftlichen und politischen Veränderungen unserer Zeit. Sie haben einen prägenden Einfluss auf Tiefenstruktur, Verhaltensweisen, Lebensweisen und Wertesysteme in einer Gesellschaft. Sie bilden und entfalten sich langsam, aber wenn sie wirken, kann von einem globalen rückschlagsresistenten Einfluss von mindestens zehn bis zwanzig Jahren ausgegangen werden, auch wenn ihre Wirkungsstätte regional sehr unterschiedlich ausfallen kann.“ [Sei14] Megatrends beschreiben also das konzentrierte Ergebnis neuartiger Entwicklungen in allen Lebensbereichen. Ihre Langwierigkeit und Vielschichtigkeit erschweren eine Früherkennung. Die Herausforderung besteht also darin, ähnliche Entwicklungen in unterschiedlichsten Bereichen zu erkennen und sinnvoll zu interpretieren. Demnach entstehen Megatrends, wenn

- „sich gesellschaftliche, wirtschaftliche oder technische Phänomene oder Innovationen aus gesellschaftlichen

Randbereichen oder Nischen heraus in die gesellschaftliche Mitte hineinbewegen.“ [Zuk21]

- „neue Phänomene eine höhere Relevanz bekommen und kleine Avantgarden das Potenzial entwickeln, den Mainstream zu verändern – in Lebensformen oder Familienmodellen, in der Mediennutzung, im Konsumverhalten, in der Arbeitswelt, bei technologischen Anwendungen oder in einzelnen Branchen.“ [Zuk21]

Die *Globalisierung* beschreibt das Zusammenwachsen der Weltbevölkerung: Die Grenzen für interkulturellen, wissenschaftlichen und wirtschaftlichen Austausch öffnen sich. Menschen können sich immer freier auf globaler Ebene bewegen und somit ihr Wissen, ihre Waren und ihre Fähigkeiten verbreiten.

Doch nicht nur Politik und Wirtschaft treiben die Globalisierung, sondern auch die fortschreitende weltweite Vernetzung. Diese *Konnektivität* beschreibt die Vernetzung durch digitale Infrastrukturen und die Nutzung modernster Informations- und Kommunikationstechnologien (IKT). Neben der Globalisierung bildet sie wohl den einflussreichsten Megatrend des 21. Jahrhunderts und treibt die Entwicklung zu einer vernetzten Gesellschaft.

In einer vernetzten und immer näher zusammenrückenden Gesellschaft erscheint ein Streben der Menschen nach *Individualisierung* und Selbstverwirklichung plausibel. Insbesondere die Zunahme persönlicher Wahlfreiheiten in nahezu allen Belangen des menschlichen Lebens verlangt unter anderem nach Produkten, die diese Anforderungen erfüllen.

Gleiches gilt auch für den Beruf: Das klassische Verständnis von Karriere und Beruf verändert sich. Sinnfragen (der Arbeit) treten in den Vordergrund und die Grenzen zwischen privaten Überzeugungen und der Berufswahl verschwimmen. Der Fokus auf die Berufsleistung und finanzielle Anreize verlieren an Bedeutung und damit einhergehend Überstunden, Konkurrenzkampf und Präsenzzeiten. Insbesondere die Coronakrise beschleunigte den Megatrend *New Work* und damit Themen wie Work-Life-Balance oder Remote Work.

Immer mehr Menschen ziehen in die Städte: Diese *Urbanisierung* ist für alle größeren Städte und insbesondere für die bekannten Metropolen zu beobachten. Großstädte oder Megacities werden somit zu wichtigen Lebensräumen und eröffnen Potenziale, Menschen zusammenzubringen und Städte zu essenziellen Zentren von Innovation und Fortschritt weiterzuentwickeln. Ein solches Zusammenkommen vieler Menschen auf engem Raum birgt aber auch Konfliktpotenzial – beispielsweise für Fabriken im direkten Wohnumfeld.

Die sogenannte *Silver Society* umfasst alle Entwicklungen einer immer länger lebenden Gesellschaft. Ein höheres Gesundheitsbewusstsein und der medizinische Fortschritt

erhöhen die Lebenserwartung. Diese gesellschaftliche Transformation gilt es erfolgreich zu meistern und in allen Bereichen des Lebens zu berücksichtigen.

Die aktuellen Diskussionen zum Klimawandel und die erforderlichen Konsequenzen für den Umweltschutz betonen die *Neu-Ökologie*. Neue Umweltgesetze oder -richtlinien sollen den Klimawandel abmildern, beispielsweise zielt der EU-Emissionshandel darauf ab, durch Kosteneinsparungen den CO<sub>2</sub>-Ausstoß zu reduzieren und so zum Klimaschutz beizutragen [Umw22]. Auch die Verknappung der Ressourcen auf der Welt sorgt für eine geringe Verfügbarkeit und steigende Rohstoffpreise.

Die Beschreibung dieser Megatrends gibt noch wenig Aufschluss über die konkreten Auswirkungen auf die Fabrik bzw. die Fabrikplanung. Sie drücken eher die aktuelle gesellschaftliche Stimmung und absehbare Entwicklungen aus und begrenzen so den Entscheidungsspielraum der Fabrikplanung.

Die konkreten Auswirkungen auf das Fabrikssystem heißen *Veränderungstreiber* [AbRe11; Nof05]. Diese kommen aus dem Unternehmen selbst oder wirken von außerhalb auf die Fabrik. Bild 1.8 fasst die wesentlichen Veränderungstreiber einer Fabrik zusammen (vgl. dazu ausführlich [AbRe11]).

Weltwirtschaft, Umwelt, Politik, Gesellschaft und Technologie bilden die Rahmenbedingungen, die mittelbar auf die Unternehmen einwirken. Sie führen zu den unmittelbar wirkenden Veränderungstreibern, die sich nach externen und internen Impulsen unterscheiden lassen. Globalisierung, Technologie und Gesellschaft haben eine wachsende Individualisierung der Produkte mit kurzen Produktlebenszyklen und eine Ausweitung der Marktleistung hin zu Dienstleistungen über den ganzen Lebenszyklus zur Folge. Dabei sinken die Lieferzeiten weiterhin, der Anspruch an die Liefertreue steigt, und dies bei starken Verbrauchsschwankungen bis hin zur Turbulenz. Dem anhaltenden Kosten- und Qualitätsdruck müssen sich die Unternehmen weiterhin stellen. Die Leistungen selbst werden immer stärker global in Produktionsnetzen erbracht, sei es mit eigenen, verbundenen oder fremden Unternehmen.

Die wesentlichen internen Impulse stammen aus *präventiven strategischen Überlegungen* wie z.B. Erschließung neuer Märkte, Ausweitung des Leistungsangebotes oder eine grundlegende Reorganisation, ausgelöst durch einen Wechsel im Management oder in den Besitzverhältnissen. *Reaktive interne Impulse* entstehen demgegenüber durch die Beseitigung merklicher Schwächen in den technischen und logistischen Leistungen, die Entwicklung neuer Arbeitsmodelle für eine alternde Belegschaft oder die Neujustierung der Produktionsvolumina zwischen inländischen und ausländischen Standorten aufgrund von Währungs- oder Versorgungsrisiken. Schließlich gilt es

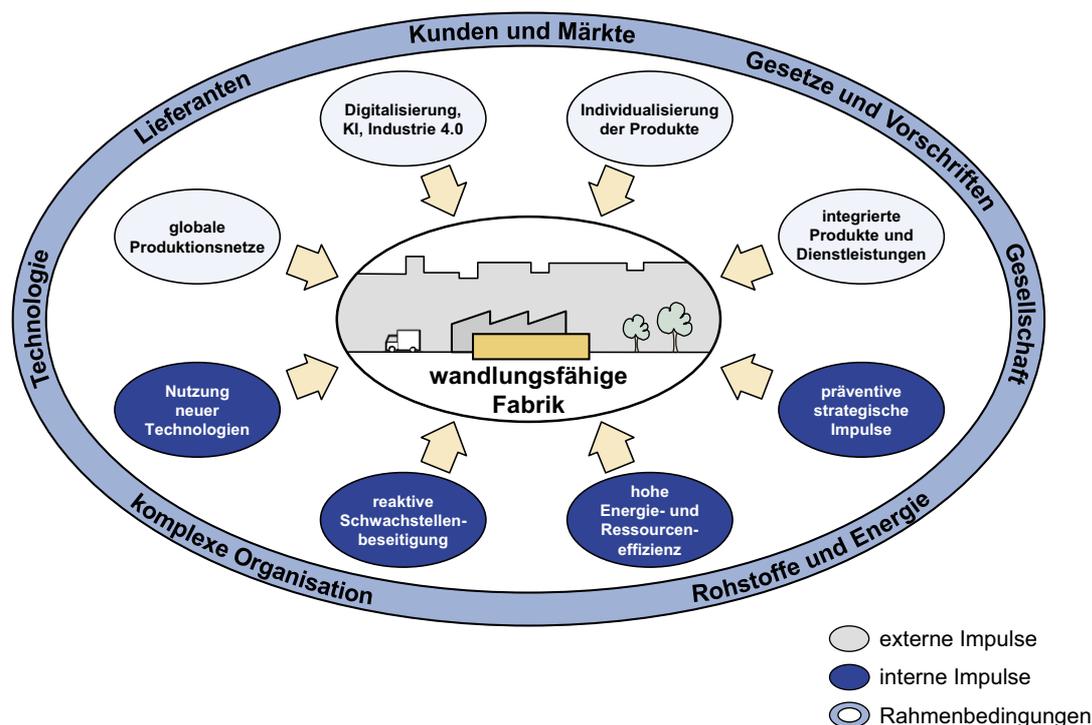


Bild 1.8 Externe und interne Veränderungstreiber von Produktionsunternehmen

auch, neue Herausforderungen der Energie- und Ressourceneffizienz aufzugreifen, aber auch Potenziale neuer Technologien zu nutzen.

Für die Fabrikplanung ist es demnach wichtig, die Einflüsse bzw. die Veränderungstreiber klar zu klassifizieren und die daraus resultierenden Anforderungen sowie Anpassungen durchzuführen [Kle14]. Anpassungen, die in weiter Zukunft notwendig wären, lassen sich wegen der Unberechenbarkeit und der Instabilität des Umfeldes schwer abschätzen [Fel04; Heg07; WieP02a]. Durch die direkte Ausprägung dieser Veränderungstreiber auf das Fabrikssystem oder einzelne Fabrikobjekte ist eine Anpassung innerhalb dieses Systems notwendig. Kann eine Fabrik nicht auf diese Veränderungstreiber reagieren, so wird sie mit hoher Sicherheit ihre Zukunftsfähigkeit aufs Spiel setzen.

Starke Impulse kommen seit Beginn der 2010er-Jahre aus der Informatik durch die Digitalisierung nahezu aller Geschäftsprozesse, das rasche Vordringen der Künstlichen Intelligenz (KI) mit selbstlernenden kognitiven Systemen sowie die Vernetzung aller Fabrikobjekte. Der Begriff *Industrie 4.0* fasst als übergreifender kontemporärer Trend der Digitalisierung in der Produktionstechnik verschiedenste Themengebiete von Veränderungen der Arbeitsbedingungen der Mitarbeiter [Brz15] über Real Time Data und Big Data [Tsc15] bis zur Smart Factory zusammen [Dom14].

Als wesentlicher Bestandteil von Industrie 4.0 gelten die *Cyber-physischen Produktionssysteme* (CPPS) (siehe Abschnitt 2.4). Bei diesen werden die real existierenden Systembestandteile durch zugehörige virtuelle Abbilder ergänzt und somit ein neuer Grad der Vernetzung inner- und außerhalb der Fabriken erreicht. Insbesondere für Deutschland als proklamierten Leitanbieter für CPPS stellt dieser Trend eine Chance zur Entwicklung von Wettbewerbsvorteilen im internationalen Wettbewerb dar.

Wissenschaft und Praxis verknüpfen diese Digitalisierung eng mit der Idee einer hochflexiblen und gleichzeitig effizienzgetriebenen Produktion. Drei Leitgedanken tragen diese Vision [Kag13]:

- Es erfolgt eine *horizontale Integration* über Produktionsstandorte hinweg zu Wertschöpfungsnetzwerken, was einzelne Prozessschritte, zwischen denen inner- und außerhalb von Unternehmen Abhängigkeiten herrschen, in einem engmaschigen Informationsfluss hält. Frühwarnsysteme identifizieren so die Engpässe anhand aktueller Informationen. Nachfolger können sich so frühzeitig auf die resultierenden Lieferverspätungen vorbereiten [Kau14].
- Die *vertikale Integration* durch vernetzte Produktionssysteme ermöglicht die Integration verschiedener IT-Systeme über die jeweiligen Automatisierungsebenen hinweg. Einerseits sammeln diese IT-Systeme Daten bottom-up aus dem Shopfloor und der jeweiligen Pro-

duktions-IT und verdichten diese. Dies schafft eine Basis, einzelne Fabrikprozesse hinsichtlich der Ziele zu verbessern [Schl14]. Andererseits ermöglicht die vertikale Integration auch automatisierte Top-down-Prozesse zur verbesserten Planung und Steuerung der Auftragsabwicklung.

- Die *digitale Durchgängigkeit* des Engineerings über die gesamte Wertschöpfungskette bezieht sich auf den Lebenszyklus von Produkten und Produktionsmitteln. Alle Daten rund um das Produkt stehen allen Beteiligten über alle Wertschöpfungsstufen hinweg im sogenannten *Digitalen Backbone* (auch Design Chain [Denn18]) zur Verfügung. Lokale Daten werden standardisiert und in cloudbasierten Schnittstellen eingepflegt, wo sie die beteiligten Fabrikplaner in Echtzeit analysieren. Basierend darauf resultieren Hinweise zur Qualitäts- und Effizienzsteigerung in der Produktion z. B. durch marginale Anpassung im Produktdesign [Mei19].

Die Digitalisierung stellt sich bereits als großer Gewinn für Unternehmen heraus. Während noch abzuwarten bleibt, ob sich im Betrieb einer Fabrik dieser Trade-off im Sinne der ökologischen Nachhaltigkeit auszeichnen kann, sind die technischen Möglichkeiten zur optimierten Planung von Prozess und Gebäude bereits umfangreich vorhanden und im Einsatz. Mit *Building Information Modeling* (BIM) steht den Planern ein mächtiges Werkzeug zur Verfügung, das vernetztes und interdisziplinäres Arbeiten begünstigt und Variantenbetrachtungen sowie Simulationen in jedweder Hinsicht vereinfacht (siehe Abschnitt 2.4.3.2). Auch Untersuchungen hinsichtlich der Nachhaltigkeit eines Projektes bzw. Projektbestandteiles lassen sich somit schneller und kostengünstiger realisieren als zuvor und ermöglichen die integrierte Betrachtung von Prozess und Bauwerk schon vor Baubeginn.

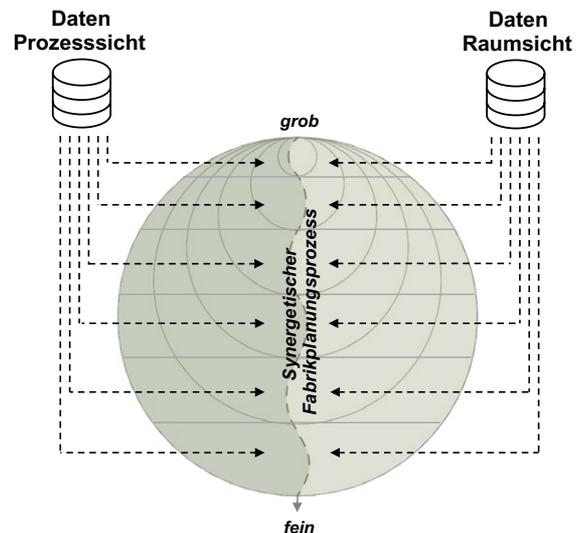
### 1.1.4 Lösungsansatz für die Fabrikplanung

Die Ausführungen verdeutlichen die Notwendigkeit einer integrierten Prozess- und Raumbetrachtung in der Fabrikplanung. Je nach Ausgangssituation ist das Planungsteam für eine intensive Zusammenarbeit aus diesen Fachexperten zusammenzustellen:

- Die *Prozessplanung* (unter anderen Produktions-, Technologieplanung) übernimmt dabei zu Beginn der Fabrikplanung eine federführende Rolle, indem sie zunächst die Prozessketten einer Fabrik lückenlos beschreiben kann. Damit ist der Kern einer Fabrik – die Wertschöpfung – bekannt.

- Hieraus lassen sich aus einer organisatorisch-technischen Sichtweise Anforderungen an die gesamte Infrastruktur ableiten, die die *Raumplanung* (unter anderen Architektur, Sondergewerke) frühzeitig aufnehmen, diskutieren und mit entsprechenden Konzepten mittragen muss.

Das gemeinsame Planungsteam schärft diese Anforderungen aus verschiedenen Blickwinkeln und entwickelt Lösungen, die schrittweise an Detaillierungsgrad gewinnen, bis aus einer Idee eine funktionstüchtige und zukunftsrobuste Fabrik entsteht. Die aus der Planung der beiden Domänen kommenden Daten und Informationen reichern sich über den Planungsverlauf an und ermöglichen so, dass in der Prozessentwicklung der zugehörige Raum von Anfang an mitgedacht wird und mögliche Veränderungen vorgedacht sind. Diese beidseitige Abhängigkeit beschreibt die Notwendigkeit einer Synergetischen Fabrikplanung: Die Kernidee einer kontinuierlichen Verknüpfung der domänenspezifischen Planungsinhalte sorgt für eine weitreichende und integrierte Sicht auf die Fabrik (vgl. Bild 1.9). Diese Idee formt die Leitplanken des vorliegenden Handbuchs. Die auf dem Umschlag sinnbildlich dargestellte schrittweise Ausplanung einer Fabrik mit einem dahinterliegenden synergetischen Planungsansatz verdeutlicht dies ebenso wie das Schalenmodell der Synergetischen Fabrikplanung. Abschnitt 1.2 beschreibt den Grundansatz der Synergetischen Fabrikplanung und seine Aspekte im Detail.



**Bild 1.9** Vereinfachtes Schalenmodell der Synergetischen Fabrikplanung

# Index

## Symbole

3D-Druck 152  
3D-Gebäuedokumentation 523

## A

ABC-Analyse 234  
additive Fertigung 152  
Advanced Planning and Scheduling-Systeme (APS) 476 ff.  
Agile Manufacturing 90  
Agilität 114  
Angebotseinholung 453  
Anlauf 467  
Anlaufphasen einer Fabrik 25  
Anmutung 323, 357  
APS-System 476 ff.  
Arbeitsplatzgestaltung  
– arbeitsphysiologische 428  
– bewegungstechnische 429  
– sicherheitstechnische 429  
Arbeitsbereich  
– räumliche Gestaltungsfelder und -elemente 406  
Arbeitsbereichsgestaltung 406  
Arbeitsbewertung 496  
– analytische 496  
– Methoden 496  
– REFA 496  
– summarische 496  
Arbeitsformen 80  
Arbeitsgestaltung 504  
– altersgerechte 504  
– altersgerechte 504  
Arbeitsorganisation  
– menschenzentrierte 473  
arbeitsphysiologische Arbeitsplatzgestaltung 428  
Arbeitsplatz  
– räumliche Gestaltungsfelder und -elemente 427  
Arbeitsplatzgestaltung 426 ff.  
Arbeitsschutz 432  
Arbeitsstation 112  
Arbeitsstättenrichtlinien 434  
Arbeitsstättenverordnung 433  
Arbeitsstrukturierung 491  
Arbeitszeitgestaltung 499

Arbeitszeitmodelle 499  
Architekturtheorie  
– Formfindung 65  
Arten der Veränderungsfähigkeit 112  
Assemble-to-Order 47, 255 f., 375  
Ästhetik 357  
atmende Fabrik 44  
atmende Produktion 258  
Aufgabenübersicht des Projektmanagements 446  
Auftragsabwicklungsart 253 ff.  
– Assemble-to-Order 47, 255 f., 375  
– Engineer-to-Order 48, 255 ff., 376  
– Make-to-Order 47, 255 f., 375  
– Make-to-Stock 47, 255 f., 375  
– Purchase-to-Order 48, 255 ff.  
Auftragsart 257  
Auftragsserzeugung 479  
Auftragsfertigung 47  
Auftragsfreigabe 479  
Auftragsnetz 254  
Ausbau 323, 351  
Ausführung 25  
Ausführungsplanung 403  
Ausführungsvorbereitung 25  
Ausgangssituation 23  
Auslässe 341  
Automatisierungsstufen von Einzelmaschinen 385  
Axiome der Kommunikation 171

## B

B2C-Markt 41  
Balanced Scorecard 33  
Balance von Einheit und Vielfalt 358  
Barcode-Identifizierung 240  
Bauantrag 404  
Bauformen 312  
– Grundrissfigur 314  
– Schnittprofil 313  
– Verknüpfungsprinzip 315  
Bauherrenstellvertretung 448  
Baunutzungskosten 461  
Bebauung  
– Gesetze und Auflagen 224  
Bedarfsprofil 289

Bedürfnispyramide 493f.  
 Behaglichkeit 417f.  
 Beleuchtung 414  
 Belichtung 411f.  
 Bereich 113  
 Bereitstellungsdiagramm 381  
 Bereitstellungsflächen 291  
 Bereitstellungskonzept 292  
 Beschaffung 211ff., 217, 270  
 Beschaffungsmodelle 373  
 Beschaffungsprogramm 475  
 Beschichten 263  
 Beschreibungssystematik der Organisationsformen der  
 Produktion 96  
 Bestand  
 – Arbeitsstation 378  
 – gestörter 381f.  
 – idealer Mindestbestand (Produktion) 380  
 – Lager 383  
 – Montage 382  
 – Transport 381  
 Bestellgrößenbestimmung 295  
 Betreibermodelle 39  
 Betriebseinrichtungen 216, 237  
 Betriebsmittel 210, 383  
 Betriebsmittelplanung 273  
 Bevorratungsstrategie 47, 255 *siehe auch*  
*Auftragsabwicklungsart*  
 bewegungstechnische Arbeitsplatzgestaltung 429  
 Bewertung 302  
 – Beschaffungsentscheidung 218  
 – Geschäftsfeld 207  
 – Standort 208, 226f.  
 – Standortentscheidung 208  
 – Verbesserungsmaßnahme 206  
 Big Data 150  
 Blockchain 154  
 Böden 351  
 Bodenbeschaffenheit 224  
 Brandschutz 317, 420, 521  
 Building Information Modeling (BIM) 14  
 Bürokonzepte 409  
 Business Club 409

## C

CAFM (Computer Aided Facility Management) 512  
 CAFM-Software 519  
 changeability 96  
 circularity 126  
 CO<sub>2</sub>-Bilanzierung 133  
 – Datenerfassung 134  
 Computer Integrated Manufacturing (CIM) 149  
 Cradle-to-Cradle-Ansatz 126  
 Cradle-to-Gate-Ansatz 131  
 Cradle-to-Grave-Ansatz 131f.  
 Cyber-physische Produktionssysteme (CPPS) 13, 150  
 Cyber-physische Systeme (CPS) 149, 274

## D

Data Mining 150  
 Datenaufnahme 235  
 Datenbedarfsliste 235  
 Datenmanagement 476  
 Datenmodelle  
 – Gebäudedaten 513  
 Datenquellen 241  
 Datenstruktur 155, 513f.  
 Decken 354  
 Deming-Zyklus 87  
 demografische Entwicklung 61  
 Design Chain 152  
 Detailplanung 24, 371  
 Deutsche Gesellschaft für nachhaltiges Bauen 141  
 DGNB 141  
 Dienstvertrag 457  
 Digitale Fabrik 156  
 Digitalisierung 13, 108, 387 *siehe auch* *Industrie 4.0*  
 DIN 276  
 – Kostengliederung 460  
 DIN 276 – Kostenplanung im Hochbau  
 – Aufbau 509  
 Disposition 257, 481  
 – bedarfsorientierte 257, 373  
 – erwartungsorientierte 258, 373ff.  
 – verbrauchsorientierte 257, 373ff.  
 Dispositionslogik 257  
 Distribution 270  
 Doppelständerpresse 387  
 Drei-Säulen-Modell 125  
 Durchlaufdiagramm 79, 377f.

## E

Ebenen der Marktleistung 112  
 Ebenen der Produktionsleistung 112  
 Economies of Scale 37  
 Economies of Scope 37  
 Effizienzstrategie 126  
 Eigenfertigungsplanung 476  
 Eigenfertigungsplanung und -steuerung 479  
 Eigenfertigungssteuerung 476 *siehe auch*  
*Fertigungssteuerung*  
 Eigenproduktion 213, 219  
 Eignungsprüfung des heutigen Standortes 205  
 eingebettete Software *siehe auch* *Embedded Software*  
 Einkanalkansystem 347  
 Ein-Säulen-Modell 125  
 Einzelbeschaffung 374  
 Einzellieferung 376  
 Einzelvergabe 456  
 Elektrosicherheit 438  
 Embedded Software 274, 388, 393, 397  
 emotionale Qualität 359  
 emotionale und soziale Aspekte 28  
 End of Production (EOP) 468  
 Energiegewinnung 336

- Energieoptimierung eines Gebäudes 312  
 Energieprofil 146  
 Energiewertstrom 139  
 Engineer-to-Order 48, 255ff., 376  
 Entgeltformen 497  
 Entgeltgestaltung 495  
 Entscheidungsebene  
 – globale 209  
 – lokale 220  
 – regionale 219  
 Entwicklungskonzept  
 – städtebauliches 224  
 Entwurfsplanung 403  
 EOP 468  
 Erdkanäle 535  
 Erfolgsfaktoren der Produkte 193  
 Ergonomie 273, 427  
 Erholungsbereich 419  
 ERP-System 478  
 Ersatzflächenverfahren 290  
 Erschließung 320  
 Erstellung eines Generalbebauungsplans 319  
 Erweiterungsplanung 30  
 Explosionsschutz 317
- F**
- Fabrik 42, 113  
 – Anlaufphasen (Serienfertigung) 25  
 – funktionale 8, 45  
 – Schlüsselfaktoren 196  
 – segmentierte 9, 45  
 – Veränderungsarten 105  
 Fabrikdesign 24  
 Fabriklebenszyklus 7  
 Fabrikmonument *siehe auch Monument*  
 Fabrikobjekte  
 – Gliederung 116  
 Fabrikorganisation 253  
 Fabrikplanung 29  
 – Anlass 29  
 – Planungsfälle 15, 29, 188, 235, 464  
 – Strategiebasis 35  
 – synergetische 15ff. *siehe auch Synergetische Fabrikplanung*  
 Fabrikstrategie 34, 197  
 Fabriktypen 44, 211  
 – Morphologie 42, 46  
 Fabrikvision 32  
 Facility Management 473, 507  
 – Aufgaben 508  
 – Datenklassen 513  
 – Datenmodell 518  
 – Historie 507  
 – Prozessmodellierung 519  
 – Software 512  
 fahrerloses Transportfahrzeug (FTF) 402  
 fahrerloses Transportsystem (FTP) 151, 154
- Faktoren der Generalbebauung 318  
 Farbgestaltung 431  
 Farbkonzept 432  
 Farbwirkung  
 – psychologische 431  
 Fassadensysteme 336  
 Feinlayout 402  
 Feinterminplan 451  
 Fertigungsart 464  
 Fertigungseinrichtung  
 – Veränderungsfähigkeit 388  
 Fertigungsinsel 81, 206  
 Fertigungsmittel 384  
 Fertigungsprogramm 475  
 Fertigungssegment 83  
 Fertigungssteuerung  
 – Aufgaben 480  
 – Konfiguration 479, 482ff.  
 – steuerungsrelevante Merkmale 482  
 – Steuerungsverfahren 480  
 – Wirkzusammenhänge 480  
 Fertigungssystem  
 – flexibles 84, 386  
 Fertigungsverfahren 206  
 Flächenbedarf 377  
 Flächenbestimmung 293  
 Flächenbilanz 238  
 Flächendimensionierung 377  
 Flächengliederung 286  
 – Generalbebauung 321  
 Flächenmodule 295  
 Flächennutzungsplan 224  
 Flexibilität 97, 113f., 206  
 – Ansätze in der Fabrikplanung 101  
 – Gliederung 97ff.  
 – Montage 100f.  
 – Teilefertigung 99f.  
 Flexibilitätstypen 97  
 flexible Fertigungssysteme 84, 386  
 Fließmontage 392  
 Flucht- und Rettungswege 424  
 Fördermittelauswahl 398  
 Fordismus 78  
 Formfindung (Architekturtheorie) 65  
 form follows function 65  
 form follows performance 66  
 fraktales Unternehmen 95  
 Freifläche 222ff., 321  
 frei verkettete Montage 95  
 Fremdbezugsplanung 475  
 Fristenplan 254  
 FTF 402  
 Fügen 263, 267  
 Führung  
 – situative 495  
 – Zielorientierung 495  
 function follows form 65  
 funktionale Fabrik 8, 45

funktionale Flächenermittlung 290  
 Funktionsschema 297

## G

garantierter Maximalpreis 456  
 Gate-to-Gate-Ansatz 131f.  
 Gebäudedokumentation 515  
 Gebäudehülle  
 – Merkmale 335ff.  
 Gebäudezustandskontrolle 521  
 Gefährdung von Bauwerken 438  
 Gefahrstoffschutz 436  
 Gemeinschaftsraum 410  
 Gen-Code für ein Objekt 201  
 GENEering 23, 199ff.  
 Genehmigungsplanung 403  
 Generalbebauung  
 – Faktoren 318  
 Generalbebauungsplan 317  
 Generalunternehmer 456  
 Geschäftsart  
 – logistische 36  
 Geschäftsfeld 207, 216f.  
 Gesetze und Auflagen für Bebauung 224  
 Gestaltungsfelder  
 – der Fabrik 41  
 – der Fabrik (Fabrikorganisation) 253  
 – der Veränderungsfähigkeit 112  
 Gewerke 454  
 Gliederung der Fabrikobjekte 116  
 Globales Varianten-Produktionssystem (GVP) 213ff.  
 – Gestaltungsprinzipien 214  
 GPS (ganzheitliches Produktionssystem) 8, 90  
 Green Building Factory 534  
 Greenhouse Gas Protocol (GHG) 133  
 Green Washing 125, 148  
 Grenzwertorientierung 51, 149f.  
 Groblayout 298  
 Groblayoutplanung 23, 296  
 Grobterminplan 451  
 Grobterminplanung  
 – Produktionseinrichtungen 452  
 Großraumbüro 409  
 Grundlagenermittlung 22, 221, 232  
 Grundrissfigur 314  
 Grundstück  
 – Bodenbeschaffenheit 224  
 – geometrische Eigenschaften 223  
 – Hindernisse und Bebauung 224  
 Gruppenarbeit 80, 207, 492  
 GVP (Globales Varianten-Produktionssystem) 213ff.

## H

Haftungsfragen 457  
 hancho 492  
 Handhaben 269

Händlerplattformen 138  
 Handlungsfelder 203  
 Handlungskompetenz 488  
 Hannoveraner Lieferkettenmodell 476  
 Haupteinflussmatrix 236  
 Hauptgeschäftsprozesse 40  
 Haupttrassen 341  
 haustechnische Ausrüstung 322  
 Heat-Map 245  
 HOAI 21  
 Hochbau  
 – Kosten 459  
 Hochlauf 467  
 Hochlaufbetreuung 25, 466f.  
 Hochregallager 282  
 Hochtechnologiefabrik 43  
 Hülle 322

## I

Ideal-Groblayout 299  
 Ideallayout 298  
 Industrial Internet of Things (IIoT) 150  
 Industrie 4.0 13, 108, 148f., 274, 387 *siehe auch Digitalisierung*  
 Industrieloft 410  
 Informationsaufnahme 235  
 – Methoden 236  
 Informationsflussdiagramm 174  
 Internationalisierungsstrategie 205, 211  
 Internet of Things (IoT) 150

## J

JIS 88  
 JIT 88  
 Job Enlargement 81  
 Job Enrichment 81  
 Job Rotation 80

## K

Kälteschutz 437  
 Kanban 481  
 Kapazitätsbedarf 288  
 Kapazitätsplanung 452  
 Kapazitätsprofil 289  
 Kapazitätssteuerung 480  
 Kapitalwert 305  
 Kennlinie 378f. *siehe auch Produktionskennlinie*  
 KEP 254 *siehe auch Kundenentkopplung*  
 Kerne 355  
 Kernprozess  
 – logistischer 253ff., 270, 373, 376  
 Kern- und Supportprozesse 203  
 Kippunkt 124  
 kollaborative Robotik 153  
 Kombibüro 409

- Kommissioniersystem 396  
 Kommunikation 169, 406  
 – Axiome 171  
 Kommunikationsfluss 246  
 kommunikationsfördernde Strukturmerkmale 408  
 Kommunikationsmedien 173  
 Kommunikationsmodell 170  
 Kompetenz 211, 216f., 487  
 – Standort 217  
 Kompetenzdimensionen 488  
 Kompetenzentwicklung 473  
 Komplettieren 381  
 Komplexitätsbeherrschung 10  
 Konsignationskonzept 373, 376  
 Konsignationslager 373, 376  
 Konsistenzstrategie 126  
 – Umsetzung 132  
 Konzeptplanung 253  
 Kooperationsbeziehung 214  
 Kostenanschlag 459  
 Kostenberechnung 459  
 Kostenermittlung 458f.  
 Kostenfeststellung 460  
 Kostengliederung nach DIN 276 460  
 Kosten im Hochbau 459  
 Kostenmanagement 461  
 Kostenrahmen 460  
 Kostenschätzung 459  
 Kreislaufwirtschaft 126  
 Kühltunnel 535  
 Kundenauftragsentkopplungspunkt (KEP) 253f., 481  
 Kundenentkopplung 48  
 Kundenentkopplungspunkt 47  
 kundenindividuelle Fabrik 44  
 kundenindividuelle Produktion 90  
 kundenneutrales Lager 376  
 kundenspezifische Einmalfertigung 48  
 künstliche Beleuchtung 414  
 künstliche Intelligenz 152  
 KVP 87
- Layoutarten 297  
 Lean Production (schlanke Produktion) 84f., 205  
 Lebenszyklus 7  
 – Fabrik 7  
 Leistungsbereitschaft 500  
 Leistungsfähigkeit 210  
 Leistungsphasen  
 – der Objektplanung 21  
 – der Produktionsplanung 21  
 – der Synergetischen Fabrikplanung 22, 29  
 Leitfaden Ressourceneffizienz 140  
 Leitungsnetz 341  
 Lernarrangements 490  
 Lernformen 490  
 Lichtlenkung 416  
 Liefermodelle 376  
 Lieferung 270  
 Line-Back-Verfahren 291  
 Logistik  
 – Teil- und Elementarprozesse 280  
 Logistikeinrichtung  
 – Veränderungsfähigkeit 397  
 Logistikeinrichtungen 397  
 Logistikflächen  
 – Dimensionierung 479  
 Logistikmittel 279, 394  
 Logistikprofil Standort 189  
 logistische Geschäftsarten 36  
 logistische Modelle 376  
 – Bereitstellungsdiagramm 381  
 – Durchlaufdiagramm 79, 377f.  
 – Produktionskennlinie 378f.  
 – Servicegradkennlinie 382  
 – Transportkennlinie 381  
 – Trichtermodell 377  
 logistischer Kernprozess 253ff., 270, 373, 376  
 logistisches Standortprofil 190  
 logistische Zielgrößen 379  
 Losgrößenbestimmung 295  
 Low-Cost-Fabrik 44  
 Lüftungssystem 347

## L

- Lageplan 237  
 Lager  
 – Bestandsreichweite 293  
 – kundenneutrales 376  
 Lagerauslastung 294  
 Lagerbauarten 281  
 Lagerbereich 293  
 Lagerdimensionierung 257ff., 294  
 Lagerfertigung 47  
 Lagerflächen 293  
 Lagerkennzahlen 294  
 Lagermodell 294  
 Lärmschutz 436  
 Laserscanning 233  
 Laserscanning-Systeme 239

## M

- Make-to-Order 47, 255f., 375  
 Make-to-Stock 47, 255f., 375  
 Marktkomplexität 211  
 Marktkopplung 258  
 Marktleistung 36, 112  
 marktnahe Komplettierung 213, 217ff.  
 Maslow-Pyramide 493  
 Mass Customization 44, 90ff.  
 Massenproduktion 77  
 Materialeffizienz 131  
 Matrixproduktion 95  
 Media Richness Theory 173  
 Medien  
 – Ver- und Entsorgung 221

Medienführung 342  
 Megatrends 11  
 Meilenstein 450  
 mengenflexibles Produktionskonzept 49  
 Mengenhub 259  
 Mengen- und Variantenflexibilität 48  
 Merkmale einer Gebäudehülle 336 f.  
 MES-System 478  
 Metaziele der Fabrik 32  
 Metaziele des Standorts 197  
 Mindestluftraum 430  
 Mindestraumhöhe 430  
 MIPS 142  
 Mitbestimmung 435  
 Modernisierungsfelder einer Produktion 206  
 modulare Montage 95  
 Montageanlagen 279  
 Montagearbeitsplatz 390  
 Montageeinrichtung  
 – Veränderungsfähigkeit 393  
 Montagemaschine 390  
 Montageprogramm 475  
 Montagestation 266  
 Montagesysteme 277  
 Montageverfahren 265  
 Monument 23, 301, 334, 339, 387 f., 393, 397, 422  
 Morphologie der Fabriktypen 42, 46  
 Motivation 204, 493  
 – Inhaltstheorie 493  
 – Prozesstheorie 494 f.  
 Motivationstheorie 495  
 Multimomentaufnahme 241

## N

Nachhaltigkeit 122  
 – Begriffe 123  
 – Gestaltungsparameter 128  
 – Historie 122  
 Nachhaltigkeitsbewertung 141  
 natürliche Belichtung 412  
 Nearshoring 10  
 Nennleistung 468  
 Netzwerk 113  
 Neuplanung 30  
 nichtmonetäres Zielsystem 305  
 nivellierende Produktion 259  
 Normstrategien 216  
 Nutzungskosten 447, 460  
 Nutzwertanalyse 226, 303

## O

Objektanalyse 23  
 Objektdaten 232  
 Objektkosten 447  
 Objektschutz 316  
 ökologischer Fußabdruck 142

ökologischer Rucksack 142  
 One-Piece-Flow 81  
 Optimierungspotenzial  
 – Abschätzung 206  
 Ordnungsraster 318

## P

Partizipation 56  
 partizipative Fabrik 58  
 PDCA-Zyklus 87  
 Personalentwicklung 487  
 Plan for every part  
 – Datenbasis (PFEP) 292  
 Planungsfall 15, 29, 188, 235, 464  
 Planungswerkzeuge  
 – digitale 447  
 Plattform-Ökonomie 40, 138  
 PPS 473 f.  
 – Aufgaben 475  
 – Grundlagen 474  
 – Konfiguration 473  
 – Lauf 477  
 – Regelkreis 474  
 – Steuerungsverfahren 482  
 Primärerhebung 235  
 Prioritätsregeln 481  
 Production on Demand 47  
 Produkt  
 – Erfolgsfaktoren 193  
 Produktion 270  
 – kundenindividuelle 90  
 – Modernisierungsfelder 206  
 – Referenzprozesse 270, 376 f.  
 – verteilte 213  
 Produktionsbedarfsplanung 475  
 Produktionscontrolling 474 ff., 484  
 Produktionsflächen  
 – Dimensionierung 479  
 Produktionskennlinie 378 f.  
 – ideale Kennlinie 380  
 – Parameter 380  
 Produktionskonfiguration 254  
 Produktionskonzept 77  
 – mengenflexibles 49  
 Produktionsleistung 112, 487  
 Produktionsmodelle 375  
 Produktionsnetz 207, 213, 218  
 Produktionsnetzwerk 9  
 Produktionsplanung und -steuerung (PPS) 473 f.  
*siehe auch PPS*  
 Produktionsprinzipien 260  
 Produktionsprogrammplanung 475 *siehe auch Programmplanung*  
 Produktionssegmente 259  
 Produktionsstandort 41  
 Produktionsstufen  
 – Bildung von 213

Produktionsstufenkonzept 90, 93 ff., 213 ff.  
 Produktionssystem  
 – cyber-physisches 150  
 Produktlebensweg 131  
 Produktmodularisierung 8  
 Produktportfolio 211  
 Produktreife 211  
 Produktstrukturanalyse 254  
 Produktvielfalt 234  
 Programmplanung 475  
 Projektabschluss 468  
 Projektbeschluss 22  
 Projekthandbuch 458  
 Projektkonstellationen 455  
 Projektkosten 447  
 Projektmanagement 26  
 – Aufgabenübersicht 446  
 – Stolpersteine 445  
 Projektorganisation 446  
 Projektplanerstellung 450  
 Projektraum  
 – virtueller 517  
 Projektteamregeln 449  
 Projekttreffen  
 – Leitungsaufgaben 449  
 Prozessanalyse 23  
 Prozessbegleiter 450  
 Prozessbegleitung 28, 450  
 Prozessdaten 232  
 Prozessketten 140  
 Prozesskettenmodell 240  
 Prozesskettenplan 271, 376  
 Prozessmodelle 373  
 psychologische Farbwirkungen 431  
 Public Private Partnership 224, 456  
 Pull-Prinzip 258 f., 375  
 Purchase-to-Order 48, 255 ff.  
 Push-Prinzip 259, 375

## Q

Qualifikation 487

## R

Radio Frequency Identification (RFID) 240  
 Raumausstattung 430  
 Raumbuch 22 ff., 155, 166, 309, 454, 515 *siehe auch*  
*Raumspiegel*  
 – Planungsdaten 516  
 Raumspiegel 24, 307 f., 515 f., 541 *siehe auch Raumbuch*  
 reaktionsschnelle Fabrik 43  
 reales Groblayout 300  
 Realisierungsüberwachung 25  
 Realisierungsvorbereitung 24  
 Reallayout 301  
 Real-Time Locating-System 241, 246  
 Reboundeffekt 126 f.

Referenzprozesse  
 – der Produktion 270, 376 f.  
 – Kompletieren 270, 381  
 – Lagern 270  
 – Lagern/Puffern 382  
 – Produzieren 270, 378  
 – Puffern 270  
 – Transportieren 270, 380  
 Refurbishing 127  
 Reihenfolgebildung 480  
 Reihenfolgeregeln 481  
 Rekonfigurierbarkeit 113 f.  
 Rekreationsbereich 419  
 Remanufacturing 127  
 Reorganisationsplanung 30  
 Reshoring 10  
 Resilienz 114  
 Ressourcendimensionierung 288  
 Roboterbauformen 393  
 Robustheit 114  
 Routenzugsystem 399  
 – Kriterien 400  
 RTLS 241, 246  
 Rückbau 30  
 Rückverlagerung 10

## S

Sägezahn-Kurve 294  
 Sankey-Diagramm 245  
 – Informationsfluss 174  
 Säulenmodell 125  
 schlanke Produktion 84 f., 205  
 Schließmanagement 521  
 Schlüsselfaktoren der Fabrik 196  
 Schnittprofil 313  
 Schutzfunktion 334  
 SCOR-Modell 478  
 segmentierte Fabrik 9, 45  
 Sekundärerhebung 235, 241  
 Selbstorganisation 56  
 Selbststeuerung 154  
 Sender-Empfänger-Modell 171  
 Serienfreigabe 464  
 Servicegradkennlinie 382  
 Shopfloor-Management 135 f. *siehe auch Lean Production*  
 Sicherheitsbestand 383  
 Sicherheitsfarbe 432  
 sicherheitstechnische Arbeitsplatzgestaltung 429  
 Single-Piece-Flow 81  
 Software, eingebettet *siehe auch Embedded Software*  
 Solarkamin 536  
 SOP 464, 467  
 soziotechnischer Ansatz 28  
 Spaghetti-Diagramm 245  
 Spannungsfelder in einem Fabrikplanungsprojekt 445  
 Spannweite 329  
 Spezifikation 454

städtebauliches Entwicklungskonzept 224  
 Standardteilemanagement 191, 293, 373ff.  
 Standort  
 – Eignungsprüfung 205  
 Standortauswahl 208  
 Standortbewertung 209, 224ff.  
 Standortfaktoren 209, 219  
 Standortkompetenz 217  
 Standortplanung 203  
 – Vorgehensmodell 207  
 Standortprofil  
 – logistisches 190  
 Standortsuche 203  
 Staplerarten 395  
 Start of Production (SOP) 464, 467  
 Stoffstromanalyse 139  
 Strahlenschutz 438  
 strategisches Zuliefernetzwerke 9  
 Strukturdesign 24  
 strukturelle Ordnung 358  
 Strukturentwicklung 23, 283  
 Strukturform 326  
 Strukturierungsoptionen 285  
 Strukturmerkmale  
 – kommunikationsfördernde 408  
 Strukturplanung 252  
 Strukturstückliste 214, 254  
 Strukturvarianten 285  
 Stückgüter-Fördermittel 395  
 Stückgut-Lager 280  
 Suffizienzstrategie 127  
 synchrone Produktionsprozesse 374ff.  
 Synergetische Fabrikplanung 15ff.  
 – Prozessmodell 21  
 – Schalenmodell 22  
 System 113  
 Szenarioerstellung 194  
 – Grobszenarien 196

## T

Tageslicht 411  
 Taylorismus 78  
 Teambildung 447  
 Teambüro 409  
 Teamleiter 492  
 Technikzentralen 339  
 Technische Regeln für Arbeitsstätten (ASR) 401  
 Technologieattraktivität 215  
 Technologiedifferenzierung 215, 272  
 Technologiekompetenz 215  
 Technologieplanung 272  
 Technologieportfolio 216  
 Teil- und Elementarprozesse der Logistik 280  
 temporäre Fabriken 104  
 Total Cost of Ownership 217  
 Total Landed Costs 208  
 Toyota Produktionssystem (TPS) 85

TPM 87  
 TPS 85  
 Tragglieder 331  
 Tragsystem 326  
 Tragwerk 322  
 Transportfahrzeug  
 – fahrerloses 402  
 Transportkennlinie 381  
 Transportplanung 398  
 Transportsystem  
 – fahrerloses 151, 154  
 Trennverfahren 262  
 Treppen 356  
 Trichtermodell 377  
 Tritt- und Absturzsicherheit 436  
 turbulentes Handlungsumfeld 7  
 Turbulenz 7, 102

## U

Umfeldanalyse 192  
 Umformverfahren 262  
 Umplanung 30  
 Umrüstbarkeit 112ff.  
 Umwelt 225  
 Umzugsumfang 464  
 Unternehmenskultur 62  
 Urformverfahren 262

## V

variantenflexible Fabrik 44  
 Variantenmontage 47  
 Variantenproduktion 79  
 Veränderungsarten  
 – Fabrik 106  
 Veränderungsausmaß 110  
 Veränderungsfähigkeit 96, 111f., 115  
 – Arten 112ff.  
 – Fertigungseinrichtungen 388  
 – Gestaltungsfelder 112  
 – Logistikeinrichtung 397  
 – Montageeinrichtungen 393  
 – Morphologie 108  
 – Systematik 104  
 – systemtheoretische Herleitung 104  
 Veränderungsfokus 109  
 Veränderungsfreiheitsgrad 110  
 Veränderungspotenzial 110  
 Veränderungstreiber 12, 109, 193, 204, 512  
 Vergabeformen 455  
 Verkehrswege 401  
 Verkehrswegesystem 401  
 Verkehrsweggestaltung 401  
 Verknüpfungsprinzip 315  
 vernetzte Fabrik 45  
 Vernetzungsfähigkeit 115  
 Versand 270

Vertragsgestaltung 453  
Vertragslager 373, 376  
Ver- und Entsorgung 221 f., 226, 310  
Vibrationschutz 438  
virtuelle Realität 157 ff.  
virtuelles Unternehmen 45  
Vision 197  
Visionsfindung 197  
Vorauswahl 208  
Vorgehensmodell der Standortplanung 207  
Vorratsbeschaffung 373  
VUCA 7, 102

## W

Wände 353  
Wandlungsbefähiger 105  
wandlungsfähige Gebäude 359  
Wandlungsfähigkeit 113 f., 203, 222  
– Industrie 4.0 108  
wandlungsträge Fabrik 3  
Wandlungstreiber  
– Standortebene 204  
Wärmeempfinden des Menschen 437  
Wärmeschutz 437  
Werkstattsteuerung 476, 479

Werkstückmerkmale 268  
Werkvertrag 455 ff.  
Werkzeugmaschinen  
– Aufbau von 385  
– Einteilung von 275  
– Elemente von 276  
Wertkette 42, 51  
Wertstromanalyse 217, 243  
Wettbewerbsstrategie 33, 204 f.  
Workshop  
– Ziel- und Projektdefinition 189

## Z

Zelle 113  
Zellenbüro 409  
Zielfelder der Fabrikplanung 32  
Zielfestlegung 22, 197  
Zielkaskadierung 31  
Ziel- und Projektdefinitionsworkshop 189  
Zonierung 318  
Zuliefernetzwerk  
– strategisches 9  
Zweikanalsystem 348  
Zwischengalerien 410