

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 CO₂ 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 6,5 und als sehr hoch ein Wert von etwa 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-

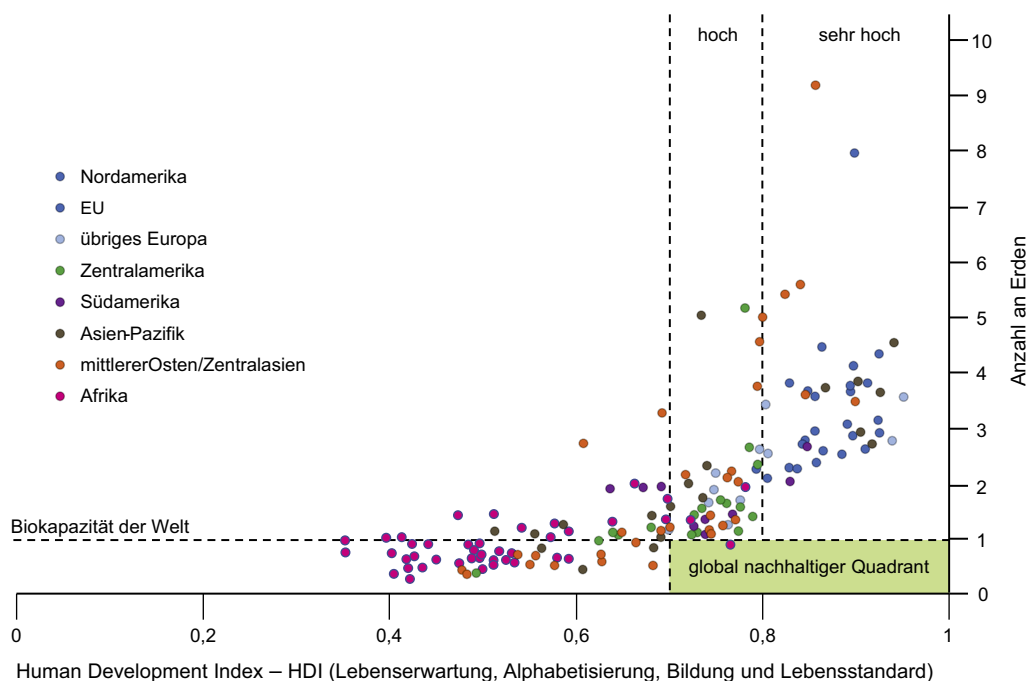


Bild 1.3 Ecological Footprint and Human Development (Global Footprint Network)

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 CO₂-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 Modularen 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.

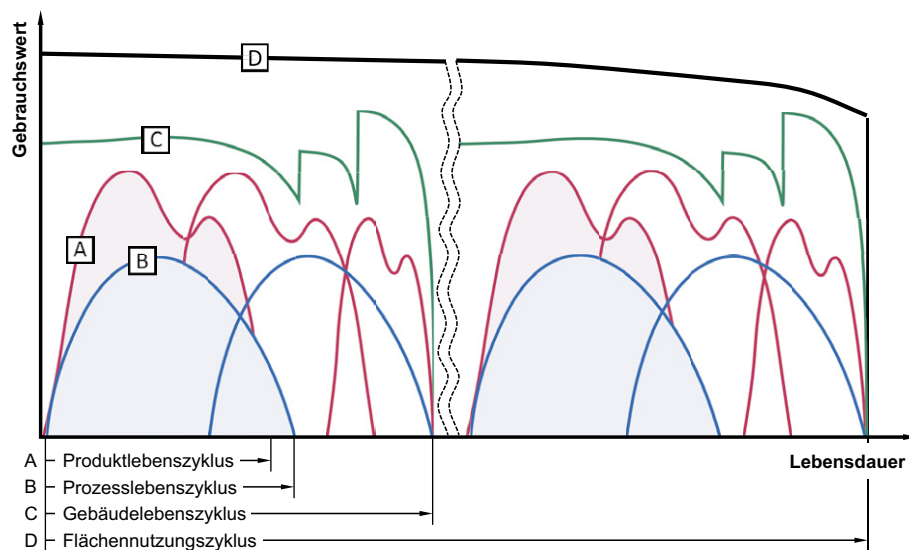


Bild 1.4

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

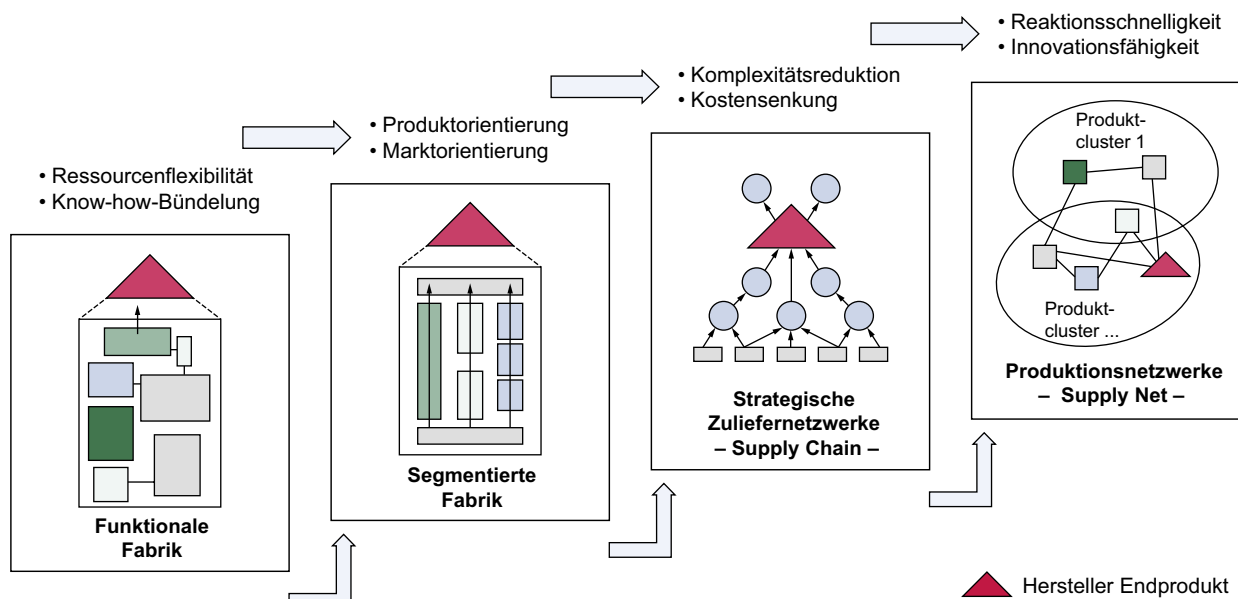


Bild 1.5 Von der funktionalen Fabrik zum Standort im Produktionsnetzwerk

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 zu dem 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

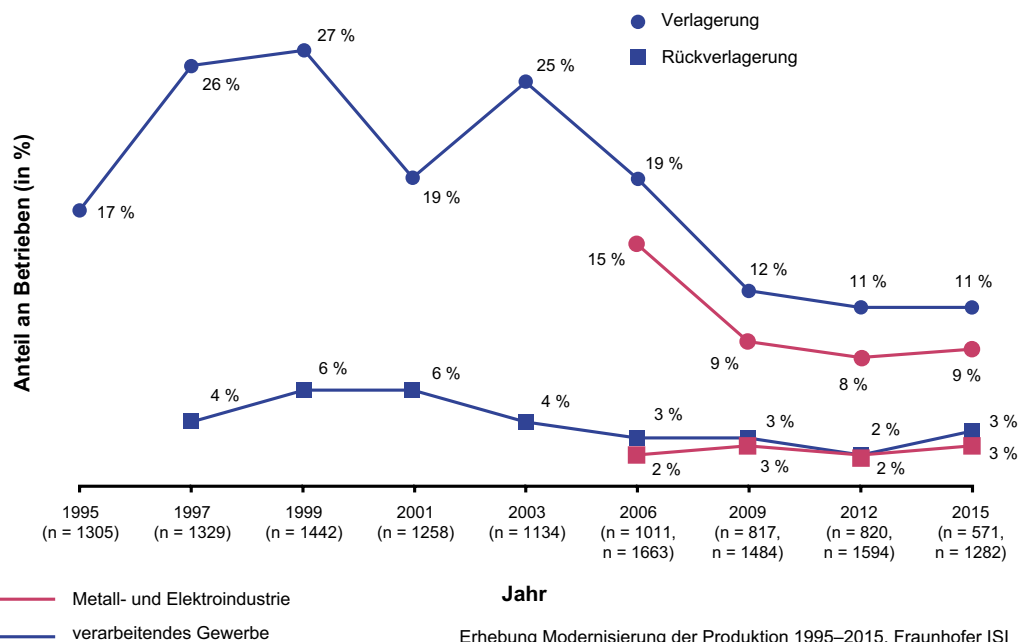
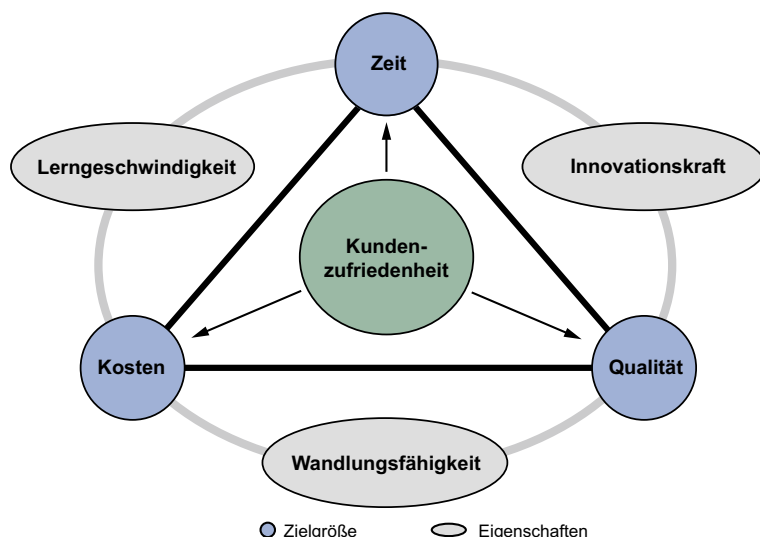


Bild 1.6 Produktionsverlagerungen und Rückverlagerungen im Zeitvergleich (Kinkel)

**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 hervorstechende 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 CO₂-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

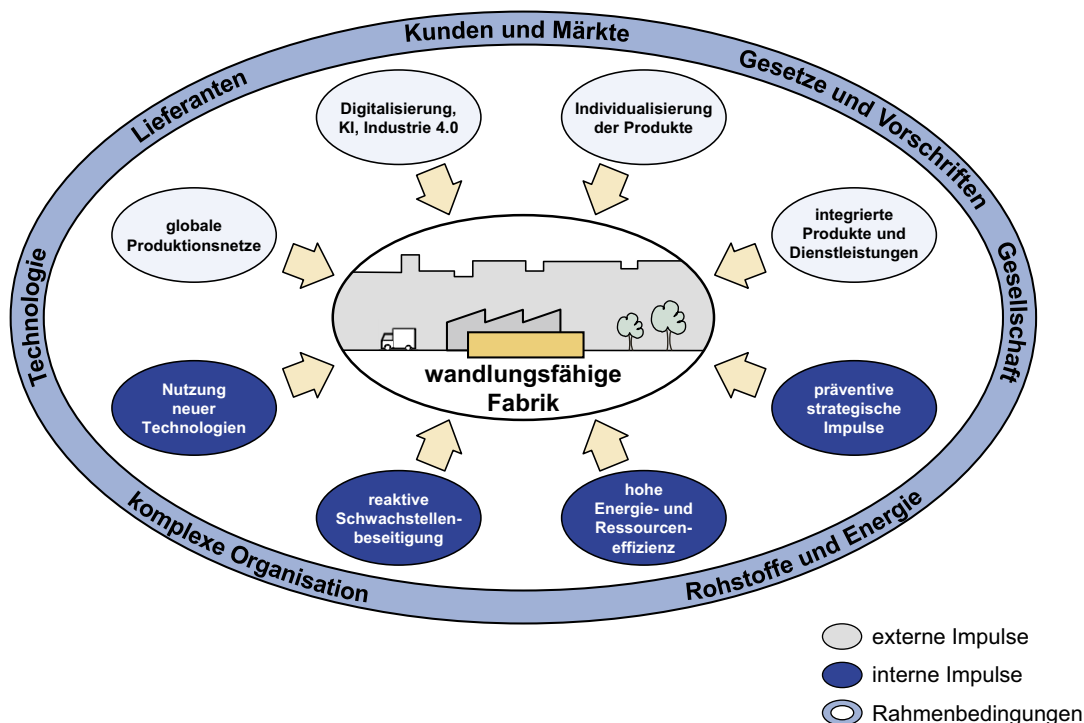


Bild 1.8 Externe und interne Veränderungstreiber von Produktionsunternehmen

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 umfänglich 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.

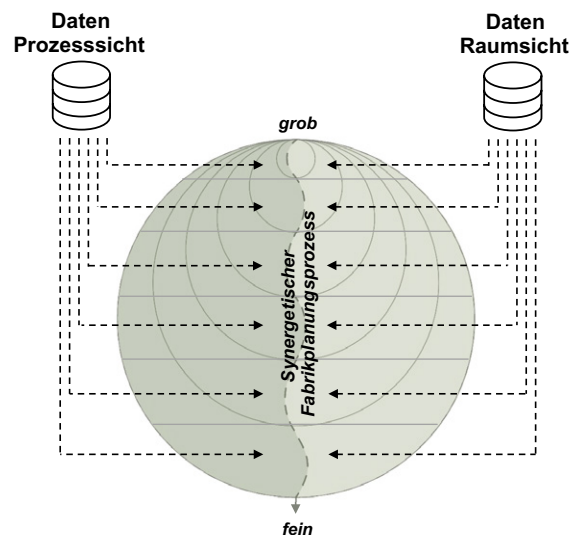


Bild 1.9 Vereinfachtes Schalenmodell der Synergetischen Fabrikplanung

Index

Symbole

3D-Druck 152
3D-Gebäudedokumentation 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
– alternsgerechte 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
Auftragserzeugung 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
 CO₂-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, 255 ff., 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 15 ff. *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, 482 ff.
 – 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, 113 f., 206
 – Ansätze in der Fabrikplanung 101
 – Gliederung 97 ff.
 – Montage 100 f.
 – Teilefertigung 99 f.
 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 222 ff., 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

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

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

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, 373 ff.
 Standort
 – Eignungsprüfung 205
 Standortauswahl 208
 Standortbewertung 209, 224 ff.
 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 374 ff.
 Synergetische Fabrikplanung 15 ff.
 – 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
 Umlanung 30
 Umrüstbarkeit 112 ff.
 Umwelt 225
 Umzugsumfang 464
 Unternehmenskultur 62
 Urformverfahren 262

V

variantenflexible Fabrik 44
 Variantenmontage 47
 Variantenproduktion 79
 Veränderungsarten
 – Fabrik 106
 Veränderungsausmaß 110
 Veränderungsfähigkeit 96, 111 f., 115
 – Arten 112 ff.
 – 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
Vibrationsschutz 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