

- Der zweite Ansatz bildet die personelle Montage in der Weise nach, dass möglichst viele der für eine Objektmontage notwendigen Operationen räumlich an einem Arbeitsplatz zusammengefasst sind. Dabei steht im Mittelpunkt ein frei programmierbarer Bewegungsautomat (Industrieroboter). Er führt einerseits die notwendigen Handhabungsvorgänge durch, um die Teile mit speziellen Greifwerkzeugen von der Bereitstellungs- in die Fügeposition zu bringen und erledigt andererseits die Fügeoperationen selbst mit Hilfe auswechselbarer Werkzeuge oder durch Einlegen in Fügestationen.

Für die Montage zeichnet sich die Entwicklung hin zu adaptiven Systemen ab, diese kann eine verlangte Produktvariante mit der Stückzahl eins in kürzester Zeit bereitstellen [WGK04]. Je nach Stückzahlbereich und lokalen Lohnbedingungen wird dabei die wirtschaftlich günstigste Arbeitsteilung zwischen manuellen und automatischen Arbeitsvorgängen gewählt, was zu sogenannten hybriden Montagesystemen führt [LoWi12].

Eine neuere Entwicklung stellen sogenannte kollaborative Roboter dar, kurz Cobot genannt. Sie arbeiten ohne Schutzeinrichtungen direkt mit Menschen zusammen und verhindern durch eine entsprechende Sensorik Kollisionen. Erste Anwendungen finden sich in der Automobilindustrie.

Eine ausführliche Übersicht über Montagezellen und -systeme bietet [Fel14].

2.3.5 Mitarbeiterorientierung

Die bisher geschilderten Organisationsformen der Fertigung und Montage betonen in erster Linie die Sachbeziehungen zwischen Betriebsmittel, Material und Werker. Mit zunehmenden Ansprüchen des arbeitenden Menschen nicht nur im privaten, sondern auch im betrieblichen Bereich tritt ein weiterer wesentlicher Ordnungsgesichtspunkt hinzu, der den Menschen und die Art seiner Mitwirkung am Arbeitsprozess betrachtet.

So zeigten Untersuchungen, dass eine Hierarchie der allgemeinen menschlichen Bedürfnisse besteht (Motivationspyramide genannt), die von den physiologischen Grundansprüchen über das Sicherheitsbedürfnis und einen guten sozialen Kontakt bis zur Selbstachtung, Anerkennung durch andere und Selbstverwirklichung entsprechend den individuellen Fähigkeiten reicht, Bild 2.21 links [Mas54].

Mit zunehmender Befriedigung der Grundansprüche, eines längerfristig gesicherten Arbeitsplatzes und Einkommens sowie der Verstärkung sozialer Kontakte im Arbeitsleben bei komplexer werdenden Aufgabenstellungen wuchs auch das Bedürfnis nach größerer Selbstständigkeit im eigenen Arbeitsbereich, Bild 2.21 rechts. Die von F. W. Taylor in den USA begründete Arbeitsteilung in der industriellen Fertigung weist jedem Mitarbeiter eine genau umschriebene Tätigkeit auf längere Dauer zu [Tay03]. Dies führt durch die immer stärkere Zerlegung der Arbeit zu Arbeitsplätzen mit geringem Arbeitsinhalt sowie zu Monotonie, einseitiger Belastung und Taktbindung. Nur ein Produktwechsel, eine Umstellung des Arbeitsprozesses oder ein Arbeitsplatzwechsel fordert für den Mitarbeiter Änderungen in seinem Arbeitsablauf. Diese Arbeitsform kann also die angesprochenen Bedürfnisse der Werker nach Selbstständigkeit und Selbstverwirklichung mit der Möglichkeit, sich auch mit dem Ergebnis ihrer Tätigkeit zu identifizieren, nicht verwirklichen.

Konzepte die diese Nachteile vermeiden, lassen sich unter dem Begriff *Gruppenarbeit* zusammenfassen [AHB03]. Darunter versteht man die Zusammenarbeit mehrerer Menschen unter einer gemeinsamen Zielsetzung. Die Gruppe übernimmt eigenverantwortlich eine ganzheitliche Aufgabe teilweise oder vollständig in einem räumlich zusammengefassten Arbeitssystem. Die Gruppenmitglieder verteilen die Teilaufgaben innerhalb des Arbeitssystems selbstständig. Eine individuelle Ablaufkontrolle durch Vorgesetzte entfällt; an ihre Stelle tritt die ergebnisorientierte Kontrolle des gesamten Arbeitssystems (siehe auch Abschnitt 2.3.2).

Man unterscheidet verschiedene Formen der Gruppenarbeit, die Bild 2.22 am Beispiel einer Montageaufgabe skizziert. Dabei bildet die klassische *Arbeitsteilung* mit strikter Funktionstrennung den Ausgangspunkt für drei Arbeitsformen mit zunehmendem Autonomiegrad.

Um auf Maschinen- oder Personalausfälle möglichst rasch reagieren zu können, bilden die Betriebe schon immer sogenannte Springer aus, die innerhalb eines überschaubaren Teilbereiches mehrere Arbeitsplätze ausfüllen können. Erhebt man diese Ausnahmen zur Regel, entsteht die als *Arbeitsplatzwechsel* (engl. job rotation) bezeichnete Arbeitsform. Der einzelne Arbeitsplatz bleibt dabei unverändert. Auch bestimmte Funktionen wie Einrichten der Maschinen, Kontrolle und Reparatur von beanstandeten Produkten sind hiervon ausgenommen. Es findet aber bereits ein Abbau der Monotonie statt.

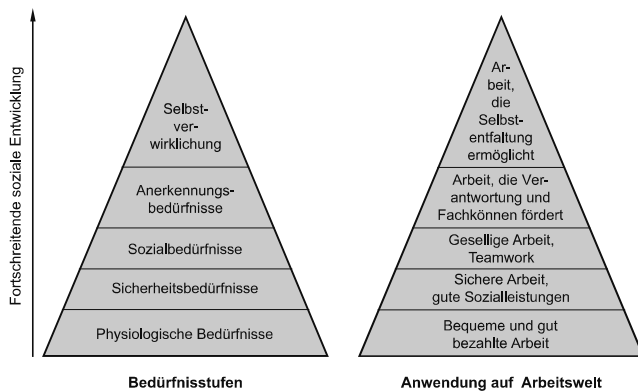


Bild 2.21 Motivationspyramide nach A. H. Maslow und ihre Anwendung auf die Arbeitswelt

Bei der *Arbeitserweiterung* (engl. job enlargement) versucht man demgegenüber, mehrere verschiedenartige Tätigkeiten zu einer neuen, inhaltlich erweiterten Aufgabe so zusammenzufassen, dass ein definiertes und prüfbares Arbeitsergebnis entsteht. Neben der Erhöhung der sogenannten Zykluszeit erweitern hierbei auch administrative und kontrollierende Tätigkeiten den Arbeitsablauf. Zusätzlich zur Verbesserung der Arbeitszufriedenheit erhofft man sich eine Identifizierung des Werkers mit „seinem“ Produkt. Voraussetzung hierfür ist eine angemessene Qualifikation des Arbeitnehmers.

Die *Arbeitsbereicherung* (engl. job enrichment) geht noch einen Schritt weiter in Richtung der sogenannten teilautonomen Arbeitsgruppe. Hierbei werden nicht nur die direkt produktiven Tätigkeiten, sondern auch alle übrigen indirekt produktiven Tätigkeiten, wie Qualitätsprüfung, Materialbeschaffung, Instandhaltung usw., einer Arbeitsgruppe übertragen. Damit kann diese Gruppe z. B. die komplette Montage eines Gerätes einschließlich Funktionsprüfung und Verpackung durchführen.

Diese Arbeitsform kommt den Bedürfnissen nach Selbstverwirklichung am nächsten. Sie stellt aber auch die höchsten fachlichen und menschlichen Anforderungen und ist bezüglich der Entlohnung nicht unproblematisch, weil die Einzelleistungen nicht immer eindeutig zu bewerten sind. Auch die Leistungsausbringung und Produktqualität erfüllt zunächst nicht immer die in diese Arbeitsform gesetzten Erwartungen. Die Gruppenarbeit findet speziell in der Bundesrepublik Deutschland eine breite Anwendung, insbesondere in Form von Fertigungs- und Montagesegmenten.

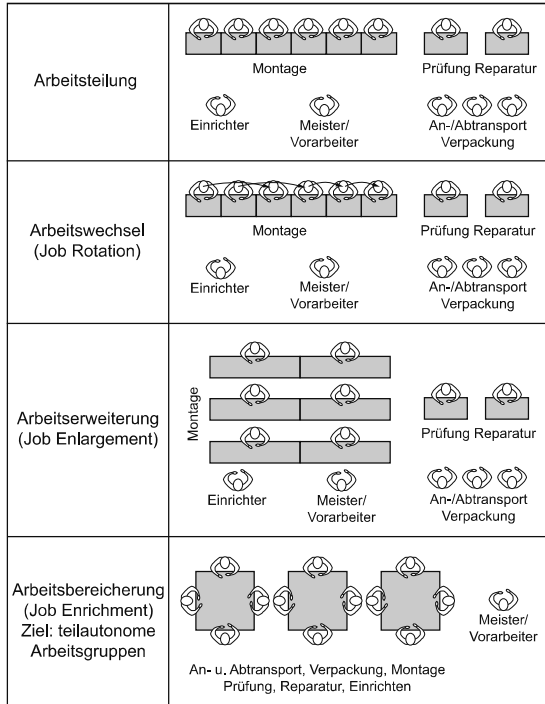


Bild 2.22 Formen von Arbeitsstrukturen (Bullinger)

2.3.6 Produktionssysteme

Der Beginn der Globalisierung in den 1980er-Jahren, ausgelöst durch den Containerverkehr und das Internet, verdeutlichte schnell, dass die funktionsorientierte Sicht auf die Produktion und die Begrenzung auf die eigene Fabrik nicht mehr passten. Es setzte sich die Erkenntnis durch, dass sich zum einen alle Aktivitäten kundenorientiert an dem Geschäftsprozess „Auftragserfüllung“ ausrichten müssen und zum anderen sämtliche nicht wertschöpfende Vorgänge zu vermeiden sind.

Der in diesem Zusammenhang häufig verwendete Begriff der schlanken Produktion (engl.: lean production) geht auf eine vergleichende Studie des MIT, Boston, über die Produktionskonzepte der japanischen, amerikanischen sowie europäischen Automobilindustrie zurück [WJ92]. Die schlanke Produktion ist kein geschlossenes, theoretisch begründetes Unternehmenskonzept, sondern die Quintessenz aus der Analyse erfolgreicher Unternehmen [WJ13]. Sie beruht im Wesentlichen auf dem im Folgenden erläuterten Toyota Produktionssystem (TPS).

Das Toyota Produktionssystem

Große Aufmerksamkeit erfuhr in diesem Zusammenhang das von der Toyota Motor Company kontinuierlich entwickelte Toyota-Produktionssystem TPS, das allerhöchste Produktqualität zu geringstmöglichen Kosten mit kürzesten und stabilen Lieferzeiten anstrebt. Die daraus abgeleiteten Ziele der Produktion sind:

- Produktivität durch Beseitigung jeglicher Art von Verschwendung;
- Qualität durch sichere Prozesse, die eine hohe Produktqualität ermöglichen;
- Flexibilität durch reaktionsfähige Arbeitsplätze und Mitarbeiter;
- Humanität durch maximale Einbeziehung des Mitarbeiterwissens.

Aus diesem Ansatz heraus haben sich fünf aufeinander bezogene Elemente des Toyota Produktionssystems entwickelt [Ohn86], die Bild 2.23 in Anlehnung an eine Darstellung von Oeltjensbruns [Oelt00] vereinfacht zusammenfasst, vgl. dazu ausführlich [Lik06, LH09].

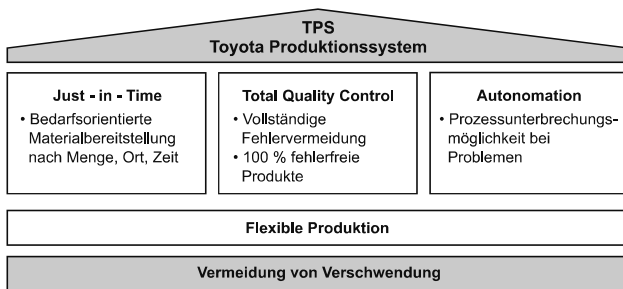


Bild 2.23 Elemente des Toyota Produktionssystems TPS (nach Oeltjensbruns)

Das Fundament von TPS bildet die Vermeidung jeglicher Verschwendung durch den minimalen Einsatz von Betriebsmitteln, Material, Teilen, Platz und Arbeitszeit. Der Prozess der kontinuierlichen Verbesserung (KVP) hat in diesem Zusammenhang eine besondere Bedeutung. Ziel ist es, durch die von den Mitarbeitern vorgeschlagenen und umgesetzten ständigen kleinen Verbesserungen der Prozesse und Abläufe eine stetige Steigerung von Produktivität und Qualität zu erreichen.

Mit der Flexiblen Produktion als zweitem übergeordneten Ansatz reagiert das Unternehmen auf Änderungen der Produkte sowie ihrer Absatzmengen und Varianten. Dies geschieht durch eine möglichst gleichmäßige Verteilung der Arbeit auf Basis einer ausgewogenen Folge von Produktvarianten mit großen und kleinen Arbeitsinhalten. Wichtig ist die rasche Reaktion auf Fehler mit dem Ziel ihrer dauerhaften Beseitigung durch breit qualifizierte Mitarbeiter, die je nach Bedarf einen oder mehrere Arbeitstakte beherrschen. Dies setzt die bereits beschriebene Gruppenarbeit voraus.

Mit seinem dritten Element Total Quality Control strebt das TPS eine vollständige Fehlervermeidung mit dem Ziel an, 100 % fehlerfreie Produkte im ausgepackten Zustand beim Kunden zu erreichen. Dies setzt eine durchgängige Betrachtung aller Geschäftsprozesse vom Marketing über die Produktentwicklung und den Vertrieb bis hin zur Auftragsabwicklung und dem Service voraus. Stabile, nach Regeln des Qualitätsmanagements gestaltete Prozesse, das interne Kunden-Lieferanten-Prinzip (nur 100 % Gutteile an den nächsten Arbeitsabschnitt) und kleine Regelkreise bewirken die frühestmögliche Entdeckung von Fehlern und ihre Beseitigung durch den Verursacher ohne Einschaltung einer zusätzlichen Qualitätsprüfung. Die Folgekontrolle durch den Ausführenden des nächsten Arbeitsschrittes vermeidet seltene Fehler.

Das vierte wesentliche Element des TPS-Systems zielt unter dem von Taiicho Ohno geprägten Begriff Just in Time (JIT) darauf ab, sämtliche zur Produktion notwendigen Faktoren „Gerade rechtzeitig“ bereit zu stellen [Ohn86]. Das unterstützt die Ziele niedrige Bestände, kurze Durchlaufzeiten und hohe Termintreue. Das JIT-Konzept betrachtet deshalb die gesamte Wertschöpfungskette vom Lieferanten über die eigene Produktion bis zur Auslieferung an den Kunden.

Das letzte Hauptelement des Toyota Produktionssystems bezeichnet das Kunstwort Autonomation. Es umschreibt die Eigenschaft eines automatischen Systems beim Auftreten von Problemen wie Maschinenstörungen, Qualitätsproblemen oder Montagefehlern entweder selbsttätig oder durch Eingriff der Werker sofort anzuhalten.

Mittlerweile haben praktisch alle Unternehmen der Automobilindustrie den Toyota-Ansatz aufgegriffen, z. B. in Form des Mercedes Produktionssystems MPS [Oelt00]. Einen systematischen Überblick mit Beispielen gibt Spath [Spa03]. Seit den 2000er-Jahren verbreitet sich der Ansatz zunehmend auch im Mittelstand.

Ganzheitliche Produktionssysteme

Die VDI-Richtlinie 2850 greift den TPS-Ansatz und firmenspezifische Produktionssysteme mittlerweile als allgemein anwendbares Konzept unter dem Begriff Ganzheitliches Produktionssystem GPS auf und beschreibt ihn wie folgt: „Ein GPS bildet ein unternehmensspezifisches, methodisches Regelwerk für die kontinuierliche Ausrichtung sämtlicher Unternehmensprozesse am Kunden, um die von der Unternehmensführung vorgegebenen Ziele zu erreichen“ [VDI12]. Bild 2.24 zeigt die wesentlichen Elemente eines GPS.

Zunächst sind die Ziele in einer Zielhierarchie zu definieren, um dann die betroffenen Unternehmensprozesse z. B. mithilfe der Wertstromanalyse zu analysieren und Schwachstellen aufzuzeigen. Der nächste wesentliche Schritt besteht in der Neugestaltung mit Hilfe einer oder mehrerer Gestaltungsprinzipien. Die Richtlinie weist schließlich auf bewährte Methoden und Werkzeuge zur Unterstützung der Umsetzung hin.

Methodisch erwähnenswert ist darüber hinaus die systematische Verknüpfung mit dem Business Exzellenz Modell EFQM (vgl. Abschnitt 8.8.1). Dies betont die Langfristperspektive zur nachhaltigen Verankerung in einer Organisation, vgl. dazu ausführlich [RS14].

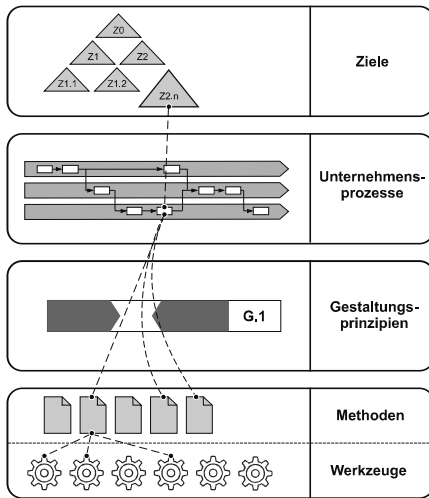


Bild 2.24 Aufbau und Struktur eines Ganzheitlichen Produktionssystems (VDI 2850)

2.3.7 Digitalisierung der Produktion

Mit der zunehmenden Verfügbarkeit von Rechner- und Speicherkapazitäten gewann die IT-gestützte Abwicklung, also die Digitalisierung der direkten und indirekten Produktionstätigkeiten, an Bedeutung. Hier sind mehrere Aspekte bzw. Entwicklungsschritte zu unterscheiden, die im Folgenden knapp erläutert werden.

Computer Integrated Manufacturing CIM

Mit der Verbreitung von rechnergestützten Systemen für die Konstruktion (CAD), zur Programmierung von NC-Maschinen, zur Produktionsplanung und -steuerung (PPS) sowie zur Qualitätssicherung (CAQ) entstand die Idee einer datentechnischen Verknüpfung entlang der Wertschöpfungskette. Seit Mitte der 1980er-Jahre wird unter dem Begriff CIM (Computer Integrated Manufacturing: rechnerintegrierte Produktion) ein Produktionskon-

zept verstanden, dessen Einrichtungen automatisiert und flexibel zugleich sind und das auf einer durchgängigen Verknüpfung des gesamten Material- und Informationsflusses beruht [Sch90]. Daraus sollte eine bessere Kundenorientierung und Reaktionsschnelligkeit bei niedrigeren Beständen resultieren [RSV92].

Die anfängliche Euphorie legte sich allerdings, da bei der Einführung von CIM Probleme verschiedenster Art auftraten. Die Gründe werden heute neben mangelnden technischen Standards vor allem in einer fehlenden ganzheitlichen Betrachtung von technischen, organisatorischen und personellen Aspekten gesehen. Erst die Reorganisation der Unternehmen nach Geschäftsprozessen [RSV92] hat eine neue Deutung von CIM ermöglicht [Schö16]. Auch hier gilt die Merkregel: Erst einen Prozess vereinfachen und verbessern und ihn dann automatisieren.

In der Bundesrepublik Deutschland erarbeitete der Ausschuss für wirtschaftliche Fertigung (AWF) eine betriebsübergreifende Empfehlung zur Definition des CIM-Begriffes [AWF85]. Tabelle 2.1 enthält die Definitionen, die gegenüber der AWF-Definition noch um die deutschen Begriffe für CIM, CAD, CAP, CAM und CAQ sowie den englischen Begriff für PPS ergänzt sind. Weiterhin wurde unter CAP noch die Aufgabe „Vorgabezeitermittlung“ eingefügt.

Die in Tabelle 2.1 definierten technischen Bereiche CAD, CAP, CAM und CAQ realisieren zunächst die technischen Funktionen eines Produktionsunternehmens, die von der Konstruktion (CAD) über die Arbeitsplanung (CAP) bis hin zur Fertigung und Montage (CAM) erforderlich sind, um ein Produkt herzustellen. EDV steht dabei für Elektronische Datenverarbeitung. Diese Aufgaben sind vorzugsweise geometrie- und funktionsorientiert und werden häufig unter dem Begriff CAD/CAM zusammengefasst. Die Produktionsplanung und -steuerung (PPS) befasst sich demgegenüber mit Aufträgen, Mengen, Terminen, Beständen und Durchlaufzeiten, ist also logistisch orientiert.

Es sind zahlreiche Darstellungen bekannt, die das Zusammenwirken dieser Teilfunktionen verdeutlichen, z. B. [AWF85, Sch90, RSV92].

Tabelle 2.1 Definition des CIM-Begriffes (erweitert nach AWF)

<p>Computer Integrated Manufacturing (CIM) Rechnerintegrierte Produktion beschreibt den integrierten EDV-Einsatz in allen mit der Produktion zusammenhängenden Betriebsbereichen. CIM umfasst das informationstechnologische Zusammenwirken zwischen CAD, CAP, CAM, CAQ und PPS. Hierbei soll die Integration der technischen und organisatorischen Funktionen zur Produkterstellung erreicht werden. Dies bedingt die gemeinsame, bereichsübergreifende Nutzung einer Datenbasis.</p>
<p>Computer Aided Design (CAD) Rechnerunterstützte Konstruktion ist ein Sammelbegriff für alle Aktivitäten, bei denen die EDV direkt oder indirekt im Rahmen von Entwicklungs- und Konstruktionstätigkeiten eingesetzt wird. Dies bezieht sich im engeren Sinne auf die graphisch-interaktive Erzeugung und Manipulation einer digitalen Objektdarstellung, z. B. durch die zweidimensionale Zeichnungserstellung oder durch die dreidimensionale Modellbildung.</p>
<p>Computer Aided Planning (CAP) Rechnerunterstützte Arbeitsplanung bezeichnet die EDV-Unterstützung bei der Arbeitsplanung. Hierbei handelt es sich um Planungsaufgaben, die auf Arbeitsergebnissen der Konstruktion aufbauen, um Daten für Teileanfertigungs- und Montageanweisungen zu erzeugen. Darunter werden verstanden: die rechnerunterstützte Planung der Arbeitsvorgänge und der Arbeitsvorgangfolgen, die</p>

Tabelle 2.1 Fortsetzung

Auswahl von Verfahren und Betriebsmitteln zur Erzeugung der Objekte, die Vorgabezeitermittlung sowie die rechnerunterstützte Erstellung von Daten für die Steuerung der Betriebsmittel des CAM.

Computer Aided Manufacturing (CAM)

Rechnergesteuerte Fertigung bezeichnet die EDV-Unterstützung zur technischen Steuerung und Überwachung der Betriebsmittel bei der Herstellung der Objekte im Fertigungsprozess. Dies bezieht sich auf die direkte Steuerung von Arbeitsmaschinen, verfahrenstechnischen Anlagen, Handhabungsgeräten sowie Transport- und Lagersystemen.

Computer Aided Quality Assurance (CAQ)

Rechnerunterstützte Qualitätssicherung bezeichnet die EDV-unterstützte Planung und Durchführung der Qualitätssicherung. Hierunter wird einerseits die Erstellung von Prüfplänen, Prüfprogrammen und Kontrollwerten verstanden, andererseits die Durchführung rechnerunterstützter Mess- und Prüfverfahren. CAQ kann sich dabei der EDV-technischen Hilfsmittel des CAD, CAP und CAM bedienen.

Produktionsplanung und -steuerung (PPS)

(engl.: Production Planning and Control) bezeichnet den Einsatz rechnerunterstützter Systeme zur organisatorischen Planung, Steuerung und Überwachung der Produktionsabläufe von der Angebotsbearbeitung bis zum Versand unter Mengen-, Termin- und Kapazitätsaspekten.

Digitale Fabrik

Der CIM-Ansatz entwickelte sich trotz gewisser Rückschläge weiter zur Digitalen Fabrik. Bild 2.25 deutet die produkt- und auftragsbezogene Prozesskette an, die sich in der Fertigung und Montage trifft. Zur reibungslosen Verknüpfung dienen zum einen das Produktdatenmanagement (PDM), das alle produktrelevanten Daten in sich vereint (s. Abschnitt 3.5), und zum anderen das logistische Ablaufmodell, dessen Stammdaten und Bewegungsdaten die Basis für die Auftragsabwicklung mit Hilfe von PPS-Systemen bilden (s. Abschnitt 6.3 und Kapitel 7).

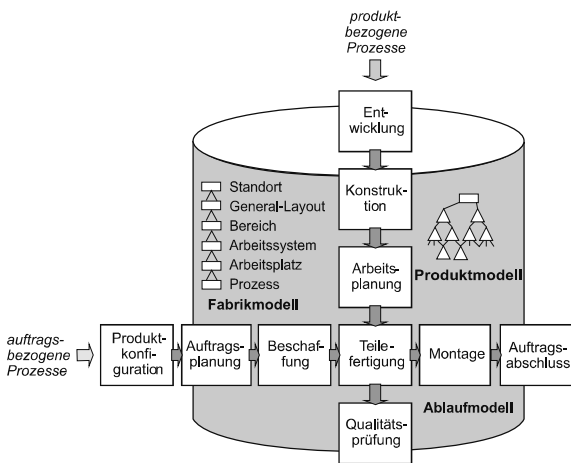


Bild 2.25 Funktionen und Teilmodelle der Digitalen Fabrik

Das Fabrikmodell diente zunächst nur der Kapazitätsbeschreibung der Fertigungsmittel. Durch die erheblichen Fortschritte in der Simulationstechnik, der 3D-Darstellung und der Virtuellen Realität hat sich seit Mitte der 1990er-Jahre das Konzept der Digitalen Fabrik entwickelt [Bra17]. Damit ist eine ablauffähige, im virtuellen Raum manipulierbare, geometrische Abbildung einer geplanten Fabrik mit ihren Prozessen, Betriebsmitteln, Menschen und Gebäuden möglich. Je nach Detaillierungsgrad werden Fertigungsvorgänge (z. B. in Umformpressen), kinematische Abläufe (z. B. von Robotern und Menschen), logistische Abläufe (z. B. in Transportsystemen) einschließlich ihrer Verknüpfungen modelliert, simuliert und sichtbar gemacht [Wes03, Kü06, Bra17]. Das soll Planungsfehler vermeiden, die Planungsdauer verkürzen sowie einen schnelleren Hochlauf der Fabrik ermöglichen. Als Vorreiter gilt die Automobilindustrie.

Industrie 4.0

Als nächster Entwicklungsschritt hat Mitte der 1990er-Jahre unter dem Begriff Industrie 4.0 die digitale Vernetzung industrieller Abläufe auf Basis sogenannter Cyber Physical Systems (CPS) in Echtzeit begonnen [ReiG17, VBH17]. Industrie 4.0 steht für die vierte industrielle Revolution nach Einführung der Dampf- und Wasserkraft Ende des 18. Jahrhunderts, der arbeitsteiligen Massenproduktion mit elektrisch angetriebenen Maschinen seit Beginn des 20. Jahrhunderts und der Automatisierung auf Basis speicherprogrammierbarer Steuerungen ab den 1970er-Jahren.

Cyber Physical Systems sind definiert als intelligente Objekte, die aus der Fusion eines mechatronischen Systems mit eingebetteter Software, Sensorik und Kommunikationselementen entstehen [WGP17]. Bild 2.26 vermittelt einen Eindruck der Elemente eines CPS. Der als Beispiel gewählte Elektromotor besteht im Kern aus mechanischen und elektrischen Funktionselementen, verfügt aber darüber hinaus über integrierte Sensoren z. B. für Temperatur oder Schwingungen. Eine ebenfalls integrierte Logik in Form eines integrierten (auch als *embedded* = eingebettet bezeichnet) elektronischen Bausteins überwacht die Sensorsignale. Dieser erkennt unzulässige Abweichungen und löst über eine Kommunikationsschnittstelle ggf. eine Aktion aus, z. B. ein Alarmsignal oder auch die Abschaltung des Motors. Ein weiteres fundamentales Merkmal eines CPS ist eine dem Objekt untrennbar zugewiesene individuelle und einmalige IP-Adresse, mit der das Objekt über eine Schnittstelle über ein Computernetz adressierbar ist und ebenso als Absenderadresse dient.

Verknüpft man nun die CPS-Objekte einer Produktionseinheit über geeignete Datennetze und genormte Protokolle, entstehen *cyberphysische Produktionssysteme* CPPS. Bild 2.27 zeigt hierzu eine exemplarische Anordnung [WGP17]. Das intelligente Werkstück kennt den geplanten Ablauf mit Soll-Termin, die eigene Historie und den aktuellen (technischen und logistischen) Zustand. Das zugehörige Spannzeug erkennt das Werkstück und prüft ggf. seine korrekte Identität, Spannkraft und Position. Das Werkstück ruft das für die nächste Operation notwendige Werkzeug aus dem Speicher der Drehmaschine ab. Die *embedded* Software der Drehmaschine prüft während des Drehvorgangs z. B. Temperatur oder Verformungen des Werkzeugs. Das veranlasst die Drehmaschine, bei Grenzwertüberschreitungen z. B. die Drehzahl oder den Vorschub anzupassen oder das Werkzeug zu wechseln. Das Werkstück kommuniziert aber auch mit dem Transportbehälter, in dem ein Fahrerloses Transportsystem (FTS) das Werkstück zum nächsten Arbeitsplatz oder zur Qualitätsprüfung bringt. In einem internen oder externen übergeordneten Liefernetzwerk kann auch ein Informationsaustausch mit Kunden und Lieferanten erfolgen. Wesentlich ist auch die dezentrale Datenhaltung innerhalb des Systems.

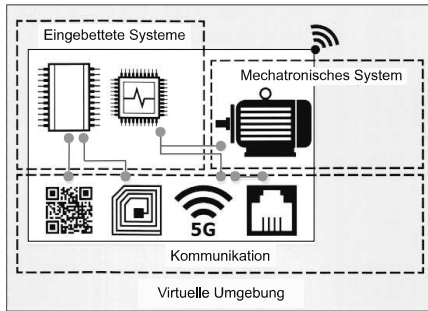


Bild 2.26 Elemente eines Cyber-physischen Systems (nach WGP)

CPS eröffnen durch Auswertung der echtzeitnah anfallenden Zustandsdaten vielfältige neue Möglichkeiten z. B. zur Selbststeuerung der Aufträge, der technologischen Prozessverbesserung, der vorbeugenden Instandhaltung von Maschinen durch Eigen- und Ferndiagnose sowie der logistischen Ablaufoptimierung.

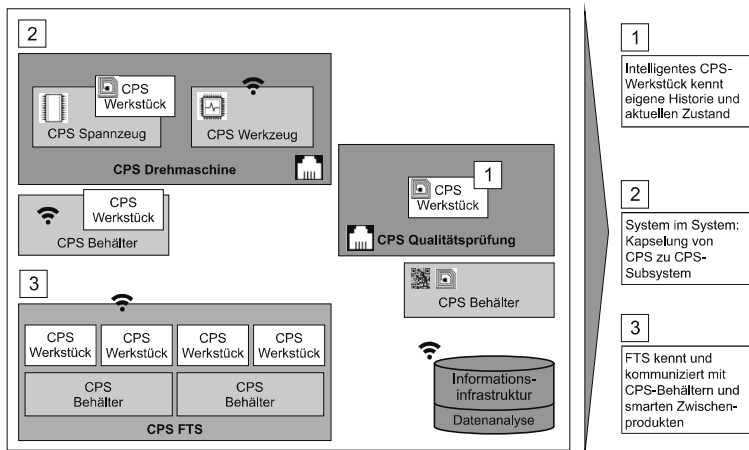


Bild 2.27 Cyber-physisches Produktionssystem (nach WGP)

In diesem Zusammenhang bildet der sogenannte Digitale Schatten die Basis der zugehörigen Methoden und Verfahren. Er ist definiert als „(.) hinreichend genaues Abbild der Prozesse in Produktion, Entwicklung und angrenzenden Bereichen mit dem Ziel, eine echtzeitfähige Auswertung aller relevanten Daten zu schaffen“. Der abgeleitete Digitale

Zwilling erstellt daraus mithilfe eines Prozessmodells und Simulation ein möglichst genaues digitales Abbild der Realität [WGP17].

Kritisch gesehen werden derzeit noch die flächendeckende Verfügbarkeit schneller Datenetze, die Entwicklung verbindlicher Normen und Übertragungsprotokolle, die Sicherheit gegen Systemausfälle und Cyber-Attacken, der Aufbau einer dezentralen Kommunikationsstruktur, die mangelnde Expertise vor allem im Mittelstand und nicht zuletzt die erforderlichen Investitionen.

■ 2.4 Unternehmensplanung

Schon immer haben erfolgreiche Unternehmen eine Unternehmensplanung durchgeführt, häufig jedoch ohne eine starke Formalisierung. Mit der zunehmenden Wandlung vom Verkäufermarkt zum Käufermarkt erkannte man ab den 1970er-Jahren, dass die Planung einzelner Bereiche, wie z. B. Produktion, Personal oder Finanzen, nicht mehr ausreicht. Vielmehr wurde eine integrierte Unternehmensplanung erforderlich, die alle Teilbereiche des Unternehmens in eine logische Beziehung zueinander setzt, um die Auswirkungen geplanter Maßnahmen auf übergeordnete Ziele (z. B. Umsatzrendite 10%) erkennen zu können.

Eine einheitliche Definition für Planung besteht bisher nicht. Charakteristische Aussagen sind:

- Treffen von Entscheidungen in der Gegenwart unter Berücksichtigung ihrer zukünftigen Auswirkungen;
- systematisches Durchdenken und Festlegen von Zielen, Verhaltensweisen und Maßnahmen für die Zukunft;
- Durchführung eines willensbildenden, informationsverarbeitenden und prinzipiell systematischen Entscheidungsprozesses mit dem Ziel, zukünftige Entscheidungs- oder Handlungsspielräume problemorientiert einzugrenzen und zu strukturieren.

Zusammenfassend ist die Planung durch drei Schritte charakterisiert: Ziele setzen, Annahmen festlegen, Maßnahmen bestimmen.

Planung ist systemindifferent und in allen Gesellschaftsformen anzutreffen. Kennzeichen der Planung zentral regierter Länder ist die normative Planung. Hier ist der Planungsträger auch Inhaber zentraler Kompetenzen und legt daher auch die Planungsannahmen fest. In demokratischen Ländern ist dagegen überwiegend eine dezentrale Planung ohne legislativen Charakter anzutreffen, bei der das einzelne Unternehmen von wahrscheinlichen Annahmen in einem Markt mit konkurrierenden Teilnehmern ausgeht. Es ist Aufgabe der Prognose, diese wahrscheinlichen Annahmen zu liefern.

Eine Übersicht zum prinzipiellen Aufbau der Unternehmensplanung leitet diesen Abschnitt ein. Darauf aufbauend erfolgt eine knappe Darlegung der wesentlichen Einzelaufgaben und Abläufe.