

Beuth Hochschule

BEUTH HOCHSCHULE FÜR TECHNIK BERLIN
University of Applied Sciences



Fernstudium

Industrial Engineering und Management

Produktion

Produktionsautomatisierung

Kurseinheit 94A

Automatisierungstechnik in der Fertigung

Dipl.-Ing. Jörg Bartenschlager

Fernstudieninstitut

© Alle Rechte vorbehalten; Vervielfältigungen sind nicht gestattet!

**Beuth Hochschule für Technik Berlin, Fernstudieninstitut
Luxemburger Straße 10, 13353 Berlin, (030) 45 04 2100**

<http://www.beuth-hochschule.de/fsi>

Druck: Zentraldruckerei der Beuth Hochschule für Technik Berlin

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	I
1 Fertigungsautomatisierung	1.1
1.1 Historische Entwicklungen, von der Ersten Industriellen Revolution bis hin zu I 4.0.....	1.1
1.1.1 Erste Industrielle Revolution	1.1
1.1.2 Zweite Industrielle Revolution	1.4
1.1.3 Dritte Industrielle Revolution / Digitale Revolution	1.6
1.1.4 Industrie 4.0 / Internet der Dinge	1.6
1.2 Automatisierte Bearbeitung durch numerisch gesteuerte Fertigungsmaschinen.....	1.9
1.2.1 CNC-Fräs- und Drehmaschinen.....	1.13
1.2.2 CNC-Blechbearbeitung.....	1.21
1.2.3 CNC Lasertechnik.....	1.22
1.2.4 Generative Fertigungsverfahren / Rapid Technology.....	1.24
1.2.5 CNC-Erodieren und Wasserstrahlschneiden.....	1.26
1.2.6 CNC-Messtechnik.....	1.28
1.3 Automatisierter Informationsfluss	1.29
1.3.1 Kommunikationsebenen in der Prozessautomatisierung	1.34
1.3.2 Vom Sensor bzw. Aktor zur ersten Kontrollinstanz/ AS-Interface/Feldebene...	1.36
1.3.3 Profibus und Interbus	1.42
1.3.4 Industrial Ethernet / PROFINET	1.46
1.3.5 Visualisierung und OPC	1.48
1.4 Übungsaufgaben	1.50
2 Grundlagen der Handhabungstechnik	2.1
2.1 Der Begriff Handhaben.....	2.1
2.2 Funktionen des Handhabens	2.4
2.3 Symbolische Darstellung von Handhabungsaufgaben	2.5
2.4 Handhabungseinrichtungen	2.6
2.4.1 Manipulatoren	2.8
2.4.2 Teleoperatoren	2.8
2.4.3 Balancer	2.9
2.4.4 Einlegegeräte.....	2.10
2.4.5 Spezialgeräte/-maschinen	2.10
2.4.6 Industrieroboter.....	2.11
2.5 Übungsaufgaben	2.12

3	Grundlagen der Robotertechnik.....	3.1
3.1	Geschichtliche Entwicklung des Robotereinsatzes	3.1
3.2	Definitionen des Industrieroboters	3.2
3.3	Systemkomponenten eines Industrieroboters.....	3.3
3.4	Kenngrößen eines Industrieroboters	3.6
3.4.1	Mechanische Systemgrenzen	3.7
3.4.2	Raumaufteilung	3.7
3.4.3	Belastungskenngrößen.....	3.8
3.4.4	Kinematische Kenngrößen	3.10
3.4.5	Genauigkeitskenngrößen	3.10
3.5	Einsatzbereiche und Anwendungsbeispiele von Industrierobotern	3.11
3.6	Übungsaufgaben.....	3.14
4	Kinematik des Roboters.....	4.1
4.1	Achsen.....	4.1
4.2	Freiheitsgrade	4.3
4.3	Bauarten, Arbeitsräume und Einsatzbereiche	4.8
4.3.1	Lineararm-Roboter/Portalroboter	4.9
4.3.2	Schwenkarm-Roboter	4.10
4.3.3	Knickarm-Roboter	4.11
4.4	Übungsaufgaben.....	4.12
5	Greifer	5.1
5.1	Funktionen des Greifers	5.2
5.2	Teilsysteme von Greifern	5.3
5.2.1	Das Trägersystem (Flansch).....	5.3
5.2.2	Das Antriebssystem	5.4
5.2.3	Das kinematische System.....	5.5
5.2.4	Das Wirk- bzw. das Haltesystem	5.5
5.2.5	Das Steuerungs- und Sensorsystem.....	5.6
5.2.6	Das Schutzsystem.....	5.6
5.3	Einteilung der Greifer	5.7
5.3.1	Gliederung nach dem Wirkprinzip	5.9
5.3.2	Gliederung nach Anzahl der Greifobjekte.....	5.9
5.3.3	Gliederung nach der Anzahl der Wirkorgane.....	5.11
5.4	Flexibilität von Greifern.....	5.11
5.4.1	Greiferwechselsysteme.....	5.13
5.5	Übungsaufgaben.....	5.14

6	Roboter-Steuerung.....	6.1
6.1	Grundlagen	6.2
6.2	Koordinatensysteme und –transformationen	6.7
6.2.1	Grundlagen.....	6.8
6.2.2	Roboter-Koordinatensysteme	6.15
6.3	Steuerungsarten.....	6.22
6.3.1	Punktsteuerung.....	6.24
6.3.2	Multipunktsteuerung	6.24
6.3.3	Bahnsteuerung.....	6.26
6.4	Programmierung von Industrierobotern	6.33
6.4.1	Verfahren zur Roboterprogrammierung	6.33
6.5	Übungsaufgaben	6.36
7	Lösungshinweise zu den Übungsaufgaben.....	7.1
7.1	Lösungshinweise zu Kapitel 1	7.1
7.2	Lösungshinweise zu Kapitel 2	7.3
7.3	Lösungshinweise zu Kapitel 3	7.5
7.4	Lösungshinweise zu Kapitel 4	7.6
7.5	Lösungshinweise zu Kapitel 5	7.8
7.6	Lösungshinweise zu Kapitel 6	7.8
8	Anhang	8.1
8.1	Zusammenstellung von Webseiten (Stand Februar 2015).....	8.1
8.1.1	Roboterhersteller.....	8.1
8.1.2	Handhabungseinrichtungen.....	8.1
8.1.3	Automatisierung allgemein.....	8.1
8.1.4	Greifer	8.2
8.1.5	Produkt- und Firmensuche	8.2
8.2	Überblick über die Roboter der Firma KUKA	8.3
8.2.1	Niedrige Traglasten (3 bis 15 kg)	8.3
8.2.2	Mittlere Traglasten (30 bis 60 kg)	8.3
8.2.3	Hohe Traglasten (125 bis 350 kg).....	8.4
8.2.4	Sonderbauformen	8.4
	MITSUBISHI-Robotics	8.5
8.3	Scara-Roboter RH 20F der Firma Mitsubishi.....	8.16
9	Sachwortverzeichnis.....	9.1

1 Fertigungsautomatisierung

Nach dem Durcharbeiten dieses Kapitels sollen Sie

- die historische Entwicklung im Bereich der Automatisierungstechnik von der Ersten Industriellen Revolution bis hin zu Industrie 4.0 beschreiben können,
- die Begriffe CNC-Maschine, Bearbeitungszentrum, Fertigungszelle und Flexibles Fertigungssystem definieren und im Bereich der Fertigungstechnik einordnen können,
- die Gliederung der Fertigungsverfahren in die verschiedenen Hauptgruppen und verschiedene CNC-Fertigungsverfahren beschreiben können,
- den Informationsfluss in automatisierten Anlagen am Beispiel verschiedener Bussysteme erläutern können und
- die Kommunikationspyramide erläutern können.

1.1 Historische Entwicklungen, von der Ersten Industriellen Revolution bis hin zu I 4.0

In der zweiten Hälfte des 18. Jahrhunderts fand eine tiefgreifende und dauerhafte Umgestaltung der sozialen und wirtschaftlichen Umstände statt. Arbeitsbedingungen und Lebensumstände der Menschen änderten sich von „Ackerbau und Viehzucht“ zur „Industrialisierten Gesellschaft“ nachhaltig. In diesem Kapitel soll kurz diese historische Entwicklung am Beispiel der Fertigungsautomatisierung aufgezeigt werden.

1.1.1 Erste Industrielle Revolution

Wichtige Wurzeln unserer heutigen Fertigungsmöglichkeiten liegen in der zweiten Hälfte des 18. Jahrhunderts mit dem Beginn der Industrialisierung. Grundlegende Voraussetzungen für diese Industrialisierung waren - neben dem politischen Umbruch in Europa - die Fortschritte in den Naturwissenschaften, die ausgehend z. B. von *Aristoteles* (Hebelgesetze, ca. 350 v.Chr.), *Archimedes* (Auftrieb, ca. 250 v. Chr.) über *Galilei* (Fallgesetze, ca. 1590 n. Chr.) und *Newton* (klassische Mechanik, Infinitesimalrechnung ca. 1670 n. Chr.) gemacht wurden. Sie schufen den theoretischen, naturwissenschaftlichen Hintergrund bzw. die Basis für alle späteren Erfindungen.

Es sind wohl die drei Hauptprozesse

- Revolution in der Energieerzeugung,
- Revolution durch die Mechanisierung von bisheriger Handarbeit und
- Revolution im Bereich der Stahlproduktion,

die man als technischen Kerngehalt der Ersten Industriellen Revolution betrachten kann.

Die **Revolution der Energieerzeugung** ist die Erfindung der Dampfmaschine – einer der Meilensteine der Technikgeschichte. Die Dampfmaschine wird sehr häufig als das Symbol der Ersten Industriellen Revolution betrachtet. *Thomas Newcomen* (1663 -1729) konstruierte 1712 die erste Dampfmaschine. Sie diente zum Abpumpen von Wasser in einem Bergwerk. *James Watt* (1726 – 1819) – oft fälschlich als Erfinder der Dampfmaschine bezeichnet – verbesserte den Wirkungsgrad der Newcomenschen Maschine erheblich. Seine Konstruktion ermöglichte den Betrieb eines Schwungrades und gilt als eines der Musterbeispiele für die Umwandlung einer geradlinigen in eine kreisförmige Bewegung mit Hilfe von Drehge lenken.

Hiermit stand dem Mensch erstmals eine Maschine zur Verfügung, die - im Vergleich zu ihm oder einem Tier – ein wesentlich größeres Arbeitsvermögen hatte. Gleichzeitig konnte man die Arbeit aus dieser Maschine im Prinzip rund um die Uhr nutzen; die Maschine ermüdete nicht.

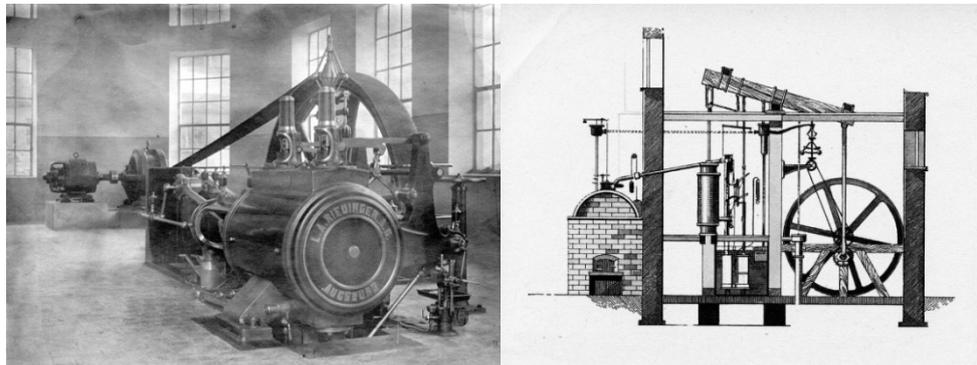


Bild 1.1: Dampfmaschine und Funktionsprinzip
(Quelle Bild links: www.gaswerk-augsburg.de,
Archiv Gaswerksfreunde Augsburg e.V.
Quelle Bild rechts: © Juulijis - Fotolia.com)

In einem Dampfkessel wird Wasserdampf erzeugt, der mit leichtem Überdruck ($\approx 0,5$ bar) - bei geöffnetem Einlass- bzw. Auslassventil und geschlossenem Ausgleichsventil - auf die Oberseite des Kolbens strömt. Weil der entspannte Dampf unter dem Kolben aus dem letzten Arbeitstakt im Kondensator abgekühlt wird, entsteht gleichzeitig unter dem Kolben ein Unterdruck. Somit wird der Kolben nach unten bewegt und verrichtet Arbeit. Der entspannte „Unterdruckdampf“ unter dem Kolben wird durch das geöffnete Auslassventil zum Kondensator gedrückt. Kurz vor Erreichen der unteren Kolbenstellung werden Auslass- und Einlassventil geschlossen und das Ausgleichsventil geöffnet. Der Druck ober- und unterhalb des Kolbens gleicht sich aus und ein Schwungrad zieht den Kolben nach oben. Der Arbeitstakt kann somit von neuem beginnen. Eine weitere Pumpe entfernt das Kondensat aus dem Kondensator. Der Wirkungsgrad solcher Maschinen lag bei ca. 2 %. (<http://www.deutsches-museum.de/information/jugend-im-museum/erfinderpfad/antriebe/dampfmaschine/> aufgerufen am 21.02.2015 16:00 Uhr)

Ungefähr zeitgleich zur Verfügbarkeit von maschineller Energie wurden auch wichtige Produktionsprozesse mechanisiert und damit die **Revolution durch Mechanisierung bisheriger Handarbeit** eingeläutet. So baute der Engländer *Richard Arkwright* zwischen 1769 und 1775 eine Flügelspinnmaschine, und 1764 erfand der englische Weber *Hargreaves* den Wagenspinner, der 1825 von *Richard Roberts* vervollständigt wurde. Den ersten mechanischen Webstuhl baute 1834 *Cartwright*. Eine weitere wichtige Erfindung in der Mitte des 19. Jahrhunderts war die Fräsmaschine mit stählernen Zahnrädern. Da das Drehen, Bohren, Hobeln und Stoßen schon mechanisiert war, konnte man jetzt auch flache Teile (z. B. für Nähmaschinen oder Gewehre) mit großer Passgenauigkeit fertigen. Somit waren Maschinen zur Produktion und Energie zum Antrieb dieser Maschinen vorhanden.

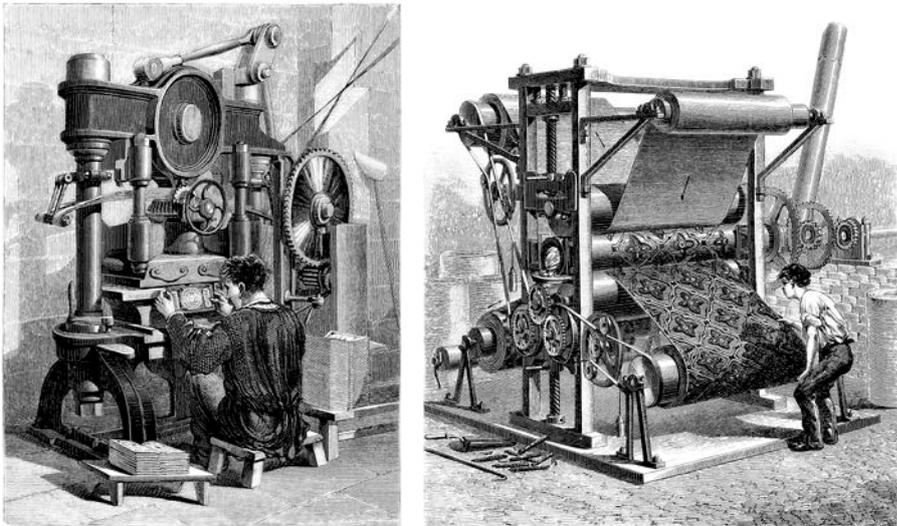


Bild 1.2: Mechanischer Webstuhl

Bild links: © Juulijis – Fotolia.com

Bild rechts: © Erica Guilane-Nachez - Fotolia.com

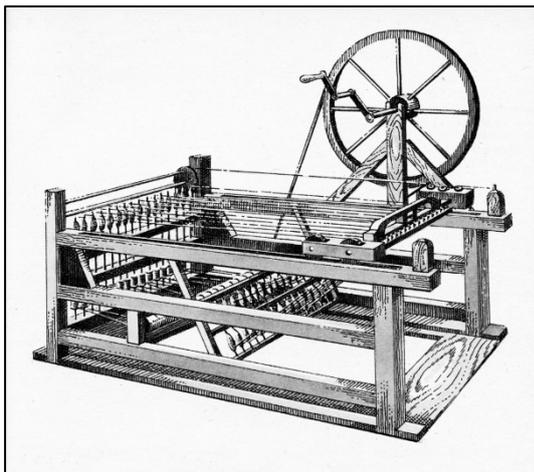


Bild 1.3: Spinning Jenny

© Juulijis - Fotolia.com

Auch im Bereich der Werkstoffe wurden große Fortschritte erzielt. Alte Verfahren zur Stahlherstellung wurden im Laufe des 19. Jahrhunderts von neueren abgelöst (Frischherd-Verfahren → Puddel-Verfahren → Bessemer-Verfahren → Siemens-Martin-Verfahren). Diese Verfahren waren energie-

tisch wesentlich günstiger und erzeugten qualitativ höherwertigen Stahl. In Europa entstanden große Hüttenindustrien (z. B. Ruhrgebiet, Belgien, England), die den immer größer werdenden Bedarf an Stahl abdeckten.

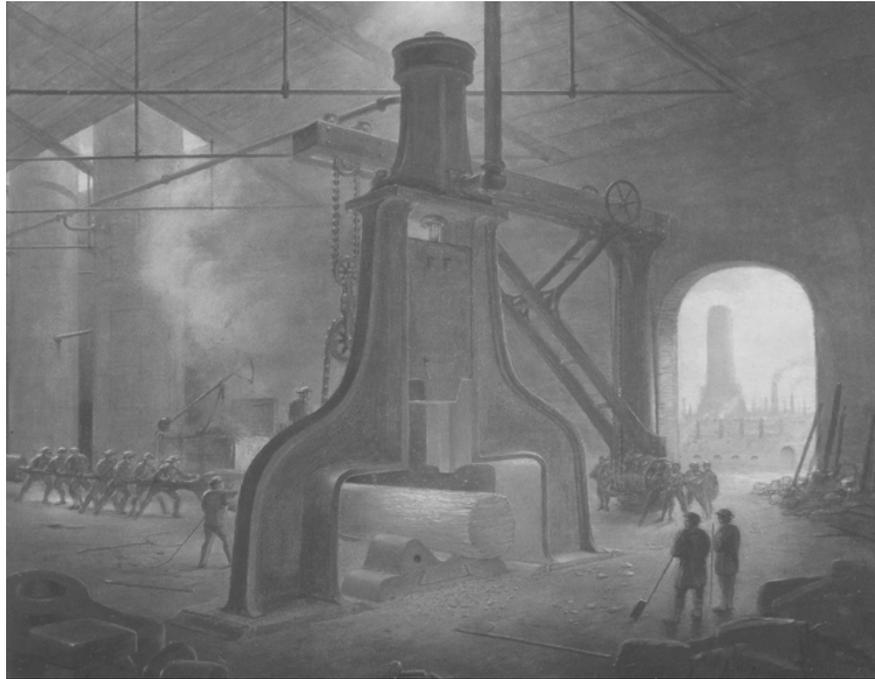


Bild 1.4: Schmieden einer Schiffskurbelwelle mit dem Dampfhammer, ca. 1845

1.1.2 Zweite Industrielle Revolution

Schon in der ersten Hälfte des 19. Jahrhunderts wurden industrielle Produkte in Fabriken hergestellt. Im typischen Produktionsablauf wurden die vorgeformten Werkstücke (eine Art Halbzeug) zuerst durch Maschinen spanend vorbearbeitet, um dann per Hand durch hochqualifizierte Facharbeiter fertiggestellt zu werden. Hierdurch entstanden keine Serien gleicher Produkte, sondern im Grunde genommen immer noch Einzelteile. Durch den Mangel an qualifizierten Facharbeitern, die die notwendige „Nacharbeit“ erledigten, erfolgte in der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts ein wichtiger Schritt hin zu heutigen Produktionsmethoden, in dem man häufig benötigte Teile (z.B. Schrauben) normierte und die Vielfalt der Produkte einschränkte, in dem sie typisiert wurden; d. h. eine Firma stellte nur noch wenige Typen ihrer Maschine her (z. B. Drehmaschinen nach Leistung / Größe gestuft). Dies hatte zur Folge, dass auch ein Austauschen von defekten Baugruppen möglich war, da nicht mehr eine Einzelmaschine in „Sonderfertigung“ ausgeliefert wurde, sondern ein bestimmter Typ.

Ein weiterer wichtiger Schritt hin zur heutigen Fertigungstechnik war die Entwicklung von Einzelantrieben. Bis zum Beginn des 20. Jahrhunderts wurden mit Hilfe von Transmissionstrieben in Fabrikhallen die Antriebsenergie für den jeweiligen Arbeitsplatz zur Verfügung gestellt (Bild 1.2). Durch die Verfügbarkeit der elektrischen Energie und die Entwicklung von Elektromotoren war man in der Lage, die Antriebsenergie direkt an der Maschine ohne Transmission zur Verfügung zu stellen.



Bild 1.5: Fabrikationshalle mit Transmissionsantrieben

Eine weitere historisch bekannte Rationalisierungsmaßnahme – basierend auf den Überlegungen von F. W. Taylor (1856 – 1915) und Henry Ford (1863 – 1947) - ist die Einführung der Fließbandfertigung bei der *Ford Motor Company* ca. 1914 (Bild 1.6). Der Produktionsprozess wurde in kleinste Schritte zerlegt; jeder Arbeiter war Spezialist, d. h. er führte nur wenige Handgriffe durch. Automatisiert war der Transport des allmählich werdenden Autos auf einem Band. Dadurch wurde die Zeit für eine Chassismontage von 12.5 h auf 1.5 h gesenkt. Die Fließbandfertigung war in den zwanziger Jahren des 20. Jahrhunderts gang und gäbe. Bei dieser Art der Rationalisierung ist festzustellen, dass die Flexibilität allerdings gleich Null ist.



Bild 1.6: Fließbandmontage (FORD)
© akg images

1.1.3 Dritte Industrielle Revolution / Digitale Revolution

„Die digitale Revolution basiert auf der Erfindung des Mikrochips (Integrierter Schaltkreis) und dessen stetiger Leistungssteigerung (Moore'sches Gesetz), der Einführung der flexiblen Automatisierung in der Produktion und dem Aufbau weltweiter Kommunikations-Netze wie dem Internet.“
(Quelle: http://de.wikipedia.org/wiki/Digitale_Revolution; aufgerufen am 13.2.2015; 17.00 Uhr)

Diese ganzen Entwicklungen sind möglich gewesen, da es parallel dazu weitere Entwicklungen gab, die diese oben genannten Prozesse positiv beeinflussten. So sind die Fertigungsmaschinen hinsichtlich Genauigkeit und Steifigkeit wesentlich verbessert worden. Daneben hatten die riesigen Fortschritte im Bereich der Computertechnologie (Prozessoren, Datennetze etc.) wiederum Auswirkungen auch auf die Steuerungstechnik (SPS, Controller etc.). Bahnsteuerungen für mehrere Achsen sind heute Standard bei CNC-Maschinen.

Nach dem 2. Weltkrieg – ca. 90% der Industrie war zerstört - bis in die 70er Jahre war ein Großteil der industriellen Produktion auf Großserien ausgelegt. Es wurden standardisierte Produkte erzeugt, die eine sehr lange Produktlebenszeit hatten. Heute werden Fertigungskonzepte verlangt, mit denen immer kleinere Losgrößen mit hoher Produktqualität immer schneller gefertigt werden können. Der Hersteller muss schnell auf Veränderungen am Markt reagieren können und das Produkt produzieren, welches der Käufer abnimmt. Daneben muss der Preis des Produktes mit anderen Herstellern oft weltweit konkurrieren. Die Produktlebenszeiten vieler Produkte werden immer kürzer. Daneben sollen immer häufiger die Produkte auf einer Maschine gefertigt werden, so dass sog. Bearbeitungszentren, die mehrere Fertigungsverfahren (z. B. Drehen, Fräsen, Bohren) beherrschen, stärker aufkommen.

Neben der Steigerung der Produktivität ist zunehmend auch die Flexibilität wichtig. Im Bereich der Massenfertigung wurden Fließbänder und Transferstraßen (teilweise mit Sondermaschinen speziell für ein Produkt) unter dem Gesichtspunkt möglichst hoher Stückzahlen eingesetzt. Hier ist eine Entwicklung weg von den Sondermaschinen erkennbar. Durch die kurzen Produktlebenszeiten amortisieren sich Sondermaschinen nicht mehr; die Folgeprodukte müssen mit der gleichen Maschine herstellbar sein.

1.1.4 Industrie 4.0 / Internet der Dinge

Die Bezeichnung „Industrie 4.0“ soll – in Anlehnung an die Bezeichnungen WEB 2.0 und 3.0 – den Bezug zur Ersten bis Dritten Industriellen Revolution herstellen.

„Das Zukunftsprojekt Industrie 4.0 zielt darauf ab, die deutsche Industrie in die Lage zu versetzen, für die Zukunft der Produktion gerüstet zu sein. Industrieproduktion wird gekennzeichnet sein durch starke Individualisierung der Produkte unter den Bedingungen einer hoch flexibilisierten (Großserien-) Produktion, die weitgehende Integration von Kunden und Geschäftspartnern in Geschäfts- und Wertschöpfungsprozesse und die Verkopplung von Produktion und hochwertige Dienstleistungen.“

(Quelle: Bundesministerium für Bildung und Forschung; <http://www.bmbf.de/de/9072.php>, aufgerufen am 13.2.2015; 14.00 Uhr).

„Digitalisierung verändert unsere Welt. Das Internet und moderne Technologien prägen zunehmend die produzierende Industrie. Wir stehen vor einem entscheidenden Wandel – an der Schwelle zur Industrie 4.0.“

(Quelle: Plattform I4.0, <http://www.plattform-i40.de/>, aufgerufen am 14.2.2015, 10.00 Uhr)

„Das Ziel ist die intelligente Fabrik (Smart Factory), die sich durch Wandlungsfähigkeit, Ressourceneffizienz und Ergonomie sowie die Integration von Kunden und Geschäftspartnern in Geschäfts- und Wertschöpfungsprozesse auszeichnet. Technologische Grundlage sind Cyber-physische Systeme und das Internet der Dinge“.

(Quelle: http://de.wikipedia.org/wiki/Industrie_4.0, aufgerufen am 14.2.2015 um 17.00 Uhr)

„Ein **cyber-physisches System** bezeichnet den Verbund informatischer, softwaretechnischer Komponenten mit mechanischen und elektronischen Teilen, die über eine Dateninfrastruktur, wie z. B. das Internet, kommunizieren. Ein cyber-physisches System ist durch seinen hohen Grad an Komplexität gekennzeichnet. Die Ausbildung von cyber-physischen Systemen entsteht aus der Vernetzung eingebetteter Systeme durch drahtgebundene oder drahtlose Kommunikationsnetze. Die Begriffsbildung folgt dem Bedarf an einer neuen theoretischen Grundlage für die Erforschung und Entwicklung großer, verteilter, komplexer Systeme, wie zum Beispiel der Weiterentwicklung des deutschlandweiten Stromnetzes, hin zu einem intelligenten Stromnetz, oder die Konstruktion neuartiger Industrieproduktionsanlagen, die sich hoch dynamisch an die jeweiligen Produktionserfordernisse anpassen können.“

(Quelle: http://de.wikipedia.org/wiki/Cyber-physisches_System, aufgerufen am 14.2.2015 um 17.00 Uhr)

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die zukünftige Industrieproduktion durch eine große Individualisierung (bis hin zur Losgröße 1) der Produkte unter den Bedingungen einer hoch flexiblen Produktion gekennzeichnet sein wird. Die im Bereich Industrie 3.0 schon vorhandene Automatisierungstechnik wird durch Einführung von Verfahren der Selbstoptimierung, Selbstkonfiguration, Selbstdiagnose und Kognition intelligenter werden und die Menschen bei ihrer zunehmend komplexen Arbeit besser unterstützen (Smart Factory).

„Das Internet, mobile Computer und **Cloud Computing** bieten das Potenzial, den industriellen Prozess einmal mehr entscheidend zu verändern. Dank leistungsfähiger Kleincomputer, die als **eingebettete Systeme** in Objekte integriert werden, können Produkte und Maschinen selbstständig Informationen austauschen. Der industrielle Prozess wird nicht mehr zentral aus der Fabrik heraus organisiert, sondern dezentral und dynamisch gesteuert.“

(Quelle: <http://www.plattform-i40.de/hintergrund/rueckblick>, aufgerufen am 14.2.2015 um 17.15 Uhr)

Eine typische I4.0 Produktion sähe somit wie folgt aus:

„Ein Bauteil im Auto ist künftig so ausgestattet, dass es kontinuierlich Daten über seinen Zustand sammelt und mitteilen kann, wenn ein Austausch nötig wird – und das, bevor es zum Ausfall kommt. Das Produkt sendet selbstständig eine Mitteilung an den Hersteller, dass Ersatz gefertigt werden muss. Die Bestellung enthält neben genauen Angaben zum Fahrzeugtypen auch die Information, wohin das Bauteil anschließend versandt werden muss. In der Fabrik wird der Auftrag bearbeitet, die Maschinen konfigurieren sich selbst so, dass das passende Teil gefertigt wird und schicken es schließlich auf die Reise an den richtigen Zielort. Der Termin in der Werkstatt ist dann bereits vereinbart – auch darum hat sich das Auto gekümmert.“

„Die Vision zeigt, dass Industrie 4.0 ganz neue Anforderungen an Produktionssysteme und Maschinen stellt. Sie müssen anpassungsfähig sein, da die zu fertigenden Produkte ständig wechseln können. Im Ergebnis heißt das: Die Produktion wird individueller, flexibler und schneller.“

(Quelle: <http://www.plattform-i40.de/hintergrund/visionen>, aufgerufen am 14.2.2015 um 17.30 Uhr)

Betrachtet man nun zusammenfassend die Entwicklung der Produktivität und der Flexibilität in der industriellen Fertigung nach dem 2. Weltkrieg, so kann man sie grob in 6 Schritte einteilen (Bild 1.7).

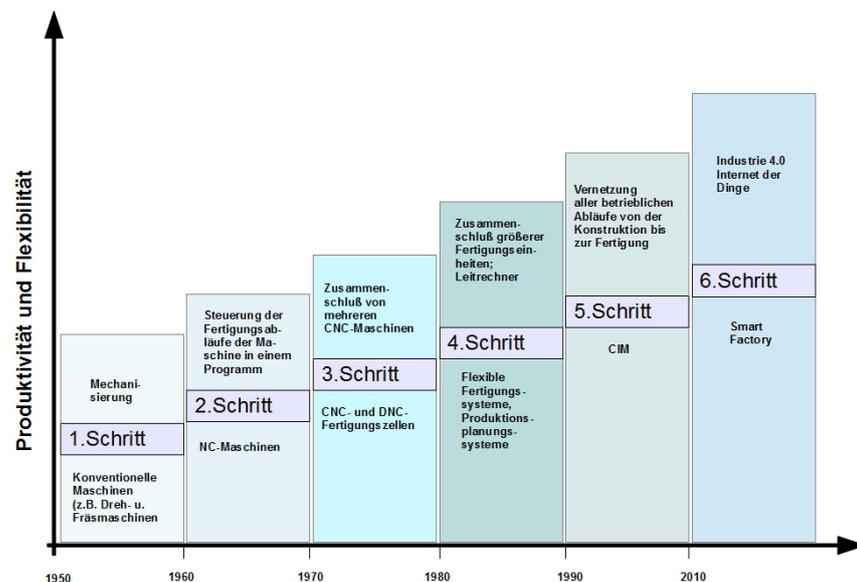


Bild 1.7: Entwicklung der Produktivität und der Flexibilität

In den ersten beiden Phasen war die Steigerung der Produktivität vorrangiges Ziel der Veränderungen. Man erzielte große Fortschritte bei der Spindel- und der Schnittleistung. Gleichzeitig wurde durch automatischen Werkstück- und Werkzeugwechsel rationalisiert. Hierdurch sanken die Nebenzeiten (z. B. Rüstzeiten), und die Hauptnutzungszeiten stiegen an. Die Nebenzeiten waren allerdings immer noch relativ hoch. In der dritten und vierten Phase wurden durch Verlagerung der Rüstzeiten in die Hauptzeiten, durch unterbrechungslosen Programmwechsel, automatische Werkzeugverwaltung, automatische Werkstück- und Werkzeugzubringung etc. auch die Nebenzeiten drastisch verkürzt. Durch diese Maßnahmen minimierten sich

die Stillstandszeiten der teuren Maschinen. Des Weiteren können Nacht- und Wochenendschichten fast ohne Personal gefahren werden.

In der fünften Phase begann die Vernetzung des Betriebes über Computer; als Schlagwort gilt CIM (**C**omputer **I**ntegrated **M**anufacturing). Die Maschinen fertigen zwar äußerst schnell, aber neben dem Materialfluss kommt zusehends auch ein großer Daten- bzw. Informationsfluss (Arbeitspapiere, Zeichnungen etc.) zum Tragen. CIM versucht, bisherige manuelle Tätigkeiten zur Informationsübertragung zu eliminieren.

In der sechsten Phase – an deren Beginn wir im Moment stehen – entsteht die Smart Factory. Das Bestreben ist, dass alle „Dinge“ intelligent werden (Internet der Dinge und Dienste). Die Informationen, die für das jeweilige „Ding“ wichtig sind, werden über Barcodes oder RFID-Chips durch Scanner und Computer abrufbar und für den Produktionsprozeß nutzbar. Auf diese Weise kommunizieren die smarten „Dinge“ miteinander.

1.2 Automatisierte Bearbeitung durch numerisch gesteuerte Fertigungsmaschinen

In einem ersten Schritt wird bei der Fertigungsautomatisierung der eigentliche Bearbeitungsvorgang automatisiert. Hier begann in der Mitte des 20. Jahrhunderts die Entwicklung der **CNC-Maschine** (Bild 1.8) für ein spezielles Fertigungsverfahren (z. B. Drehen oder Fräsen). In der Weiterentwicklung wurden immer mehr Fertigungsverfahren auf den CNC-Betrieb umgestellt (z. B. Stanzen, Biegen, Laserschneiden etc.). Bei der klassischen CNC-Maschine handelt es sich um eine Stand-alone-Maschine, an der Werkzeug-, Werkstück- und Programmwechsel (d. h. Informationsfluss) manuell durchgeführt werden.

Wird an einer CNC-Maschine der Werkzeug-, Werkstück- und Programmwechsel automatisch durchgeführt und ist eine 4D bzw. 5D-Steuerung vorhanden, um eine 4 bzw. 5 Seiten Bearbeitung zu ermöglichen spricht man von einem **Bearbeitungszentrum** (Bild 1.8). Die benötigten Werkzeuge sind in einem Werkzeugspeicher untergebracht und werden durch entsprechende Anweisungen im Programm automatisch in die Arbeitsspindel eingewechselt. Meist können alle anfallenden Zerspanungsarbeiten (Drehen, Fräsen, Bohren, Gewindeschneiden etc.) am Werkstück auf dem Bearbeitungszentrum durchgeführt werden.

Wird das Bearbeitungszentrum so erweitert, dass z. B. über einen Palettenspeicher ausreichend Teile für die Bearbeitung zur Verfügung stehen, um für einen zeitlich begrenzten bedienerlosen Betrieb gerüstet zu sein, spricht man von einer Fertigungszelle (Bild 1.8). Meist ist hier auch schon eine Maßüberwachung der gefertigten Teile integriert.

Es ist festzustellen, dass die Grenze zwischen Bearbeitungszentrum und Fertigungszelle immer stärker verwischt, da viele Hersteller ihre Bearbeitungszentren modular bis zur Fertigungszelle erweiterbar anbieten.

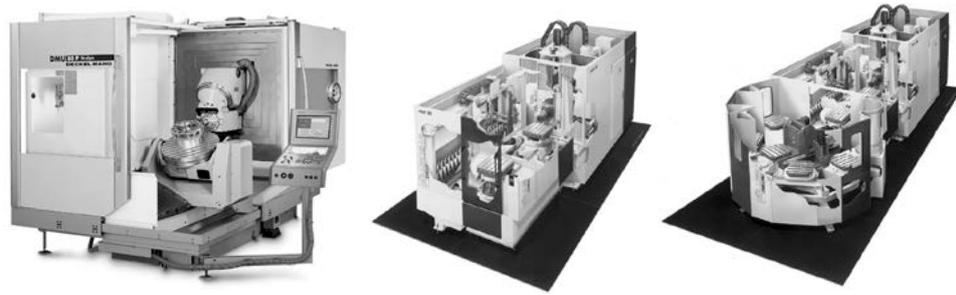


Bild 1.8: Von der CNC-Maschine über das Bearbeitungszentrum zur Fertigungszelle

Flexible Fertigungssysteme FFS (Bild 1.9) bestehen grundsätzlich aus den folgenden Komponenten:

- Mehrere CNC-Maschinen mit automatischen Werkzeugwechslern und großen Werkzeugspeichern,
- automatische Be- und Entladung der Werkstücke,
- automatischer Werkstücktransport und
- einem übergeordneten Leitsystem.

FFS sind somit in der Lage, unterschiedliche Werkstücke (d. h. mit unterschiedlichen Bearbeitungsverfahren), in beliebiger Reihenfolge (d. h. wechselnde Losgrößen) automatisch zu fertigen. Das Fertigungsprinzip besteht häufig darin, dass mehrere sich ergänzende und sich ersetzende Maschinen gekoppelt werden, um bei Ausfall einer Maschine produktiv zu bleiben (Bild 1.10).

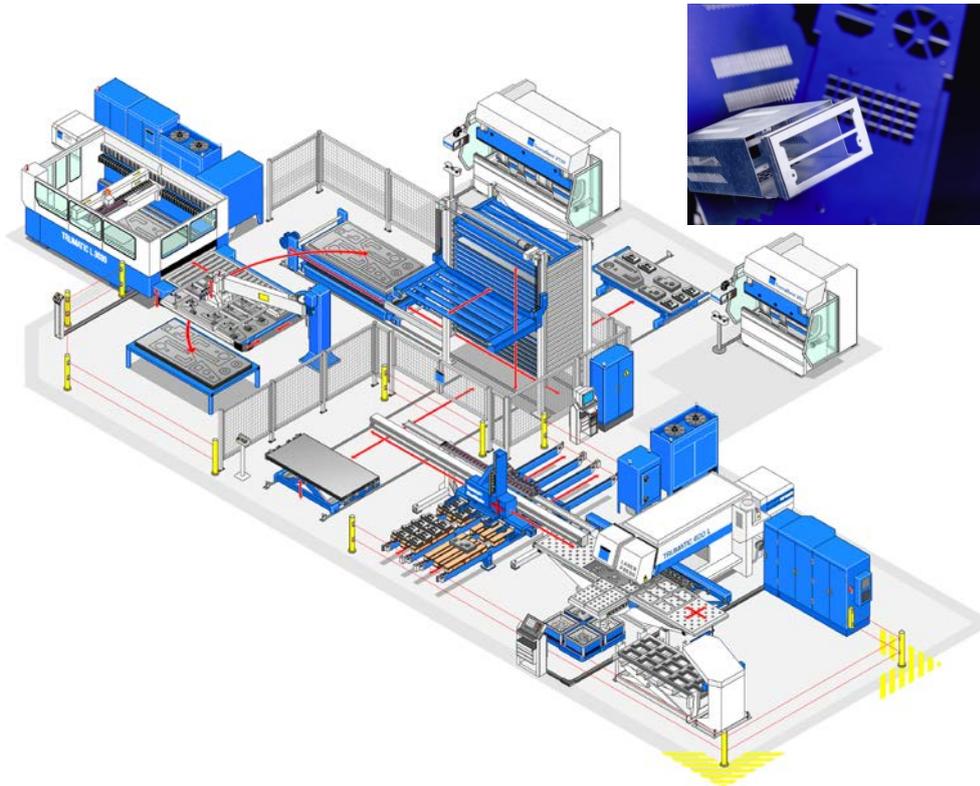


Bild 1.9: Flexibles Fertigungssystem zur Blechbearbeitung (Fa. TRUMPF); (Blechlager, Laserschneiden, Stanzen, Biegen im vollautomatischen Betrieb) wird z.B. zur Fertigung von PC-Gehäusen eingesetzt

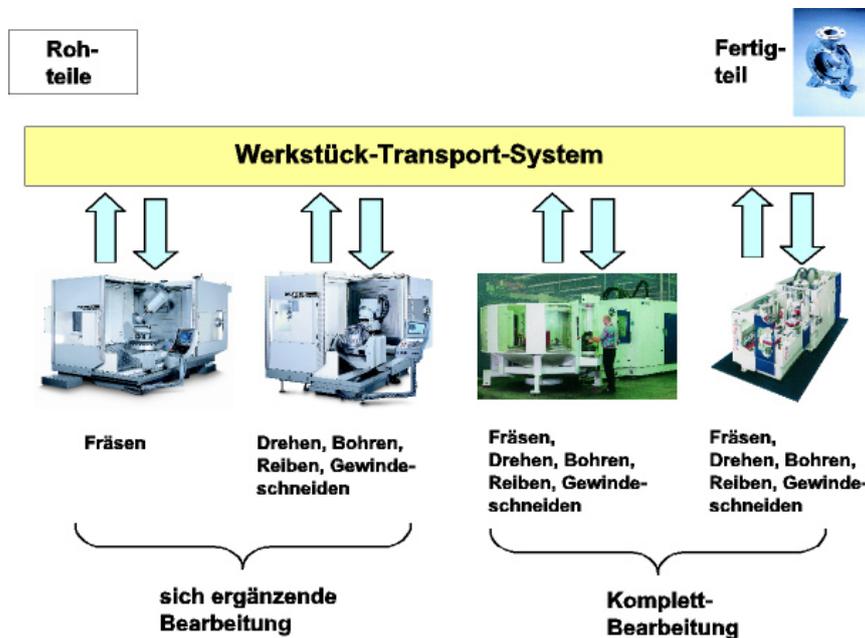


Bild 1.10: Fertigungsprinzip mit verketteten Maschinen

Das ausführliche Behandeln der Thematik Fertigungsautomatisierung mit weiteren Themen wie Werkstücktransport und Handhabungssysteme, Werkzeugverwaltung, FFS Leitrechner, flexible Taktstraßen usw. würde den Rahmen dieser Kurseinheit bei weitem sprengen. Deswegen werden in den folgenden Kapiteln die CNC-Maschinen – die ja die wichtigsten Bausteine

der FFS darstellen - und die Industrieroboter – als Vertreter der automatischen Handhabung - und deren Kommunikation behandelt.

Bei der Herstellung eines Produktes findet man häufig folgendes grundsätzliche Schema:

- Design des Produktes (Zweck, Form, Funktion)
- Planung und Durchführung des Fertigungsprozesses
- Qualitätskontrolle des Produktes (schon während des Designs und der Fertigung)
- Controlling (Personalkosten, Betriebsmittelkosten, Werkstoffkosten)
- Umweltverträglichkeit des Produkte (Entsorgung der beim Produktionsprozess angefallenen Abfallprodukte)

Die Fertigung des Produktes stellt einen Teil des Herstellungsprozesses dar. Sie liegt zwischen der Beschaffung der notwendigen Güter und dem Absatz des gefertigten Produktes.

Nach DIN 8580 umfasst die Fertigung alle Arbeitsvorgänge, die ein Werkstück vom Rohzustand in den planmäßig bestimmten Endzustand verändern.

Fertigungsverfahren

Durch bestimmte Fertigungsverfahren beschreibt man die Art und Weise der Veränderungen, die am Werkstück durchgeführt werden. Nach DIN unterscheidet man 6 Hauptgruppen mit folgenden Merkmalen.

Tabelle 1.1: Einteilung der Fertigungsverfahren nach DIN 8580

Hauptgruppen

HAUPTGRUPPEN					
1 URFORMEN	2 UMFORMEN	3 TRENNEN	4 FÜGEN	5 BESCHICHTEN	6 STOFFEIGENSCHAFTEN ÄNDERN
DEFINITION					
Fertigen eines festen Körpers aus formlosem Stoff	Bildsames Ändern der Form eines festen Körpers	Formändern eines festen Körpers durch örtliches Aufheben des Zusammenhaltes	Zusammenbringen von Werkstücken	Aufbringen einer fest haftenden Schicht aus formlosem Stoff	Verändern der Eigenschaften des Werkstückwerkstoffes; z. B. Diffusion, chem. Reaktionen, Gitterversetzungen
DIE FORM DES WERKSTÜCKES WIRD DURCH DAS VERFAHREN					
geschaffen	geändert			beibehalten	
DER ZUSAMMENHALT DER STOFFTEILCHEN BZW. BESTANDTEILE WIRD DURCH DAS VERFAHREN					
geschaffen	beibehalten	vermindert oder aufgehoben	vermehrt		beibehalten, vermindert, vermehrt
Beispielhafte Fertigungsverfahren					
Gießen , Sintern, Spritzgießen	Walzen, Tiefziehen, Abkanten, Gesenkbiegen,	Fräsen, Drehen, Schleifen, Strahlschneiden	Verschrauben, Schweißen, Kleben	Lackieren, Galvanisieren, Aufdampfen	Härten, Glühen, Anlassen, Entkohlen, Aufkohlen, Nitrieren

Im Zuge der Automatisierung hat die CNC-Maschine in fast allen Fertigungsverfahren Einzug gehalten. Es sind CNC-Maschinen entwickelt worden, deren Steuerungen speziell für das jeweilige Fertigungsverfahren angepasst wurden. Diese Maschinen stellen häufig die Basis einer modernen, flexiblen Fertigung dar. Da diese Maschinen oft im vollautomatischen Betrieb arbeiten müssen, sind die Steuerungen häufig mit Zusatzfunktionen wie Werkzeugüberwachung, Temperaturkompensation etc. ausgerüstet.

1.2.1 CNC-Fräs- und Drehmaschinen

Heutige **Fräsmaschinen** sind bis zu einer mittleren Baugröße fast alle mit Bahnsteuerungen für mindestens drei Achsen und automatischen Werkzeugwechselsystemen ausgerüstet.

Mit **Bearbeitungszentren** (mind. 3 NC-Achsen) können alle Zerspanungsaufgaben in einer Aufspannung durchgeführt werden (Fräsen, Bohren, schräges Bohren, Gewindeschneiden etc.). Sie sind mit einem automatischen Werkstückwechselsystem (meist als Palettenwechsler) ausgerüstet, um die Stillstandzeiten möglichst gering zu halten. Die 5-Seiten-Bearbeitung ist durch eine **horizontal-vertikal schwenkbare Spindelachse** möglich (Bild 1.11). Sie ermöglicht einmal Bearbeitungen in der x-y-Ebene und einmal Bearbeitungen in der x-z- Ebene.



Bild 1.11: 5-achsige CNC-Fräsmaschine mit B- und C-Drehachse
(Quelle: Europa-Verlag)

Sollen Werkstücke an fünf Seiten in einer Aufspannung bearbeitet oder 5-achsige Konturen hergestellt werden, braucht man 5-Achs-CNC-Fertigungsmaschinen. Zusätzlich zu den linearen X-Y-Z-Achsen stehen zwei Drehachsen zur Verfügung. Eine schwenkbare X-Achse wird als A-Achse und eine schwenkbare Z-Achse als C-Achse bezeichnet. Analog hierzu gibt es 5-Achsen-Fräsmaschinen, bei denen um die Y- (sog. B-Achse) und die Z-Achse geschwenkt werden kann. Speziell bei diesen Maschinen mit Drehbewegungen um die Y-Achse (sog. B-Achse) unterscheidet man zwei Ausführungen. Einmal wird die Drehachse durch Drehung des Werkzeuges (sog. Schwenk-Fräskopf) erzeugt, zum anderen kann der Werkstücktisch um die Y-Achse gedreht werden.