

Produktionsautomatisierung - Einfluss von Information und Software

Dr.-Ing. habil. Andreas Nestler

1 Einleitung

Die Automatisierung der Produktion ist ein evolutionärer Prozess, in den die Menschheit schon Ende des 19. Jahrhunderts eingetreten ist. Mit der Entwicklung automatisierter Fertigungssysteme war nach *Spur* die Hilfswelt Automatisierung entstanden [SPU-98]. Die Vision selbsttätiger Verrichtung von Aufgaben ohne menschliches Zutun wird nach der mechanischen Automatisierung in letzter Zeit zunehmend durch informationstechnische Einrichtungen realisiert [SNI-99].

Automatisierung der Produktion ist mit der Ressource Information eng verbunden. Tätigkeiten mit Informationen sind integrierter Bestandteil der Produktion. Die Rolle der Information in automatisierten Produktionsprozessen wandelt das Fachgebiet der Ingenieurwissenschaften, das als Produktionsautomatisierung bezeichnet ist.

2 Einordnung und Definition der Produktionsautomatisierung

Produktion wird in erweitertem Sinn auf alle Leistungsprozesse orientiert, die zum Werden des Produktes beitragen. Der *Produktionsprozess* nach [HÜT-00] ist als Verbund aus Produktionstechnik, Produktionsorganisation und Produktionsinformatik definiert (Bild 2.1). Kritisch anzumerken ist, dass bei dieser Definition der Produktionsprozesse die Produktionsautomatisierung keine Berücksichtigung findet.

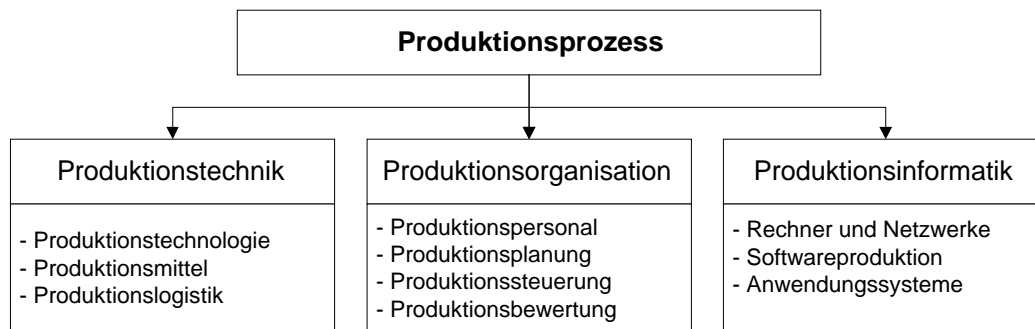


Bild 2.1: Produktionsprozess als Verbund aus Technik, Organisation und Informatik nach [HÜT-00]

Die *Produktionsinformatik* als jüngstes Gebiet der Produktionsprozesse beinhaltet die Anwendung der Informatik in der Produktion. Das betrifft mit dem Einsatz der Informationstechnik insbesondere die Anwendung von Softwaretechnologien und die Informationsverarbeitung mit Anwendungssystemen.

Die Automatisierung der Produktionsprozesse ist eine interdisziplinäre Aufgabe. Das Fachgebiet Produktionsautomatisierung vereinigt die dazu erforderlichen Bereiche. Produktionsautomatisierung ist ein Querschnittsgebiet der Produktionsprozesse, das die interdisziplinäre Ausprägung des Verbundes aus Produktionstechnik, -organisation und -informatik erweitert und den Aspekt der Automatisierung spezifiziert.

Definition Produktionsautomatisierung

Automatisierte Maschinen und Systeme sind nach *Spur* technisch nachgebildete menschliche Fähigkeiten, die funktionaler Bestandteil des Arbeitsmittels geworden sind. Aus zwei Perspektiven kann Automatisierung gedeutet werden [SPU-98]:

- als selbsttätiger Ablauf von Arbeitsgängen in Maschinensystemen und
- als Hilfwelt zur Entlastung des Menschen von Routinearbeit im Arbeitsprozess.

Diese technische Interpretation lässt sich auch auf Rechenmaschinen und Informationssysteme übertragen.

Eine einheitliche Definition des Begriffes *Produktionsautomatisierung* existiert nicht.

Die Fachwelt verwendet die Begriffe Produktionsautomatisierung und Fertigungsautomatisierung oft synonym. Dabei wird Produktionsautomatisierung hauptsächlich von Produktionstechnikern und im gesamten Bereich des produzierenden Gewerbes verwendet, während Fertigungsautomatisierung hauptsächlich von Fertigungstechnikern und im Bereich der verarbeitenden Industrie verwendet wird¹. Die folgende Definition versucht, eine Spezifizierung vorzunehmen [FIC-01] (Bild 2.2):

"Produktionsautomatisierung ist eine technische Wissenschaft, die Erscheinungen, Vorgänge und Gesetzmäßigkeiten bei der rationellen Gestaltung und zur Erleichterung menschlicher Arbeit in Produktentwicklungs- und Produktionsprozessen durch die Zwischenschaltung von technischen Einrichtungen zwischen Mensch und Prozess,

- welche menschliche physische und geistige Tätigkeit durch technische Funktionen der Einrichtungen ersetzen oder auch ergänzen und
- die selbsttätige Abläufe ermöglichen,

und vor allem die Strukturen, Eigenschaften und Zustandsformen dieser Erscheinungen und Vorgänge untersucht. Die materiellen Voraussetzungen der Produktionsautomatisierung werden durch die Automatisierungs- und Rechen-technik geschaffen."

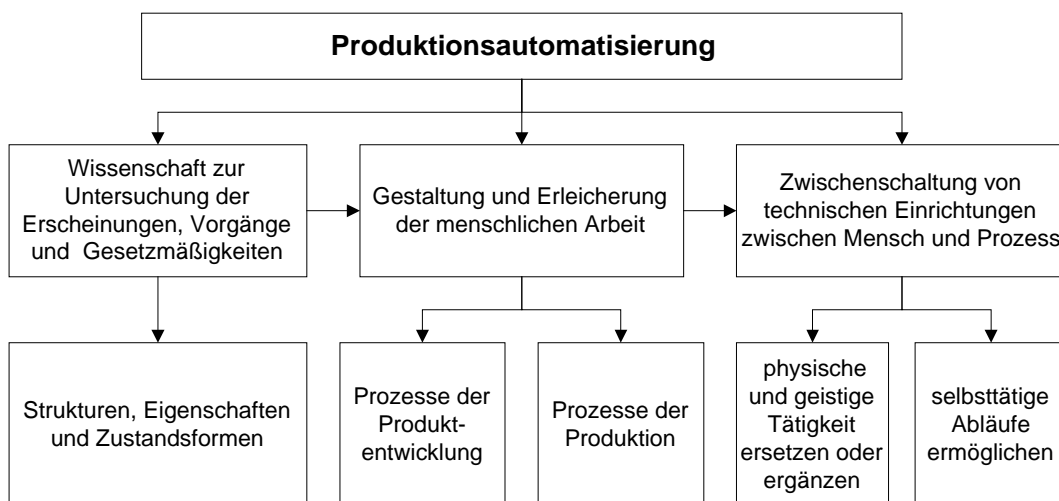


Bild 2.2: Definition Produktionsautomatisierung nach *Fichtner* [FIC-01]

¹ In Analogie zur Definition der Produktionstechnik: Während sich die industrielle Produktionstechnik auf den gesamten Bereich des produzierenden Gewerbes bezieht, findet die Fertigungstechnik dagegen ihre Anwendung vor allem in der verarbeitenden Industrie [LPT-95].

Die Anwendung der Automatisierungstechnik in der Produktion beschreibt dabei die interdisziplinäre Anwendung der Mess-, Steuerungs-, Regelungs- und Antriebstechnik, womit das Fachgebiet Automatisierungstechnik als Problemlöser in der Produktion fest eingebunden ist. Neben diesen traditionell stark ausgeprägten Bereichen erweitert sich das Fachgebiet in Verbindung mit Elektrotechnik, industrieller Informationstechnik und technischer Informatik.

Die Anwendung der Rechentechnik bzw. der Informationstechnik² in der Produktion beinhaltet immer umfassender Teilgebiete der Informatik³, die mit der Produktionsinformatik aufzubereiten und zur Produktionsautomatisierung einzusetzen sind. Gegenwärtig durchdringt insbesondere die Softwaretechnik die Informationsprozesse der Produktionsautomatisierung.

3 Situation des Fachgebietes

Die Situation des Fachgebietes soll anhand einer Situationsanalyse zur Lehre, der Markt- und Forschungssituation und der Hauptinhalte der Produktionsautomatisierung dargestellt werden.

3.1 Situationsanalyse zur Lehre

Die Ausbildung zum Fachgebiet Produktionsautomatisierung⁴ ist vielseitig und schwer zu klassifizieren. Eine Internet-Recherche erbrachte ein facettenreiches Lehrangebot. Die Lehrinhalte konzentrieren sich i.d.R. auf folgende Bereiche:

- Rechnereinsatz, Rechnersysteme,
- Softwaretechnologien, Software-Engineering,
- Datenbanken, technische Informationssysteme, Informationsmanagement,
- Netzwerke, Kommunikationstechnik,
- Wissensverarbeitung, Expertensysteme,
- Modellierung von Informationsprozessen, Produktmodellen,
- Systeme der Produkt- und Produktionsplanung,
- Prozessketten, Datenschnittstellen,
- CAD/CAM-Systeme, PPS, CIM,
- Flexible Automatisierungstechnik in der Fertigung und
- Prozesstechnik, Leitstände.

Die Recherche zeigt weiterhin, dass an deutschen Hoch- und Fachschulen die Produktionsautomatisierung mit den Studienformen *Studiengang* oder *Studienrichtung* sowie den Studieneinrichtungen *Institut*, *Lehrstuhl* und *Fachgebiet* vertreten sind. Die geringe Häufigkeit des Auftretens der Produktionsautomatisierung steht im Widerspruch zu den Herausforderungen des Marktes und den Forschungsaktivitäten. Für das Fachgebiet Produktionsautomatisierung besteht großer Nachholbedarf. Vorbilder mit interdisziplinären Studiengängen, z.B. an der

² Synonym für Informations- und Kommunikationstechnik (IuK-Technik)

³ theoretische Informatik, technische Informatik, praktische Informatik und angewandte Informatik.

⁴ Bezeichnungen mit weitgehend identischen Lehrinhalten sind z.B. Produktionsautomatisierung, -informatik, Fertigungsautomatisierung, -informatik sowie Industrielle Informationstechnik, Industrieinformatik und Maschinenbauinformatik.

Universität Stuttgart, können in hoher Qualität das notwendige Wissen der sich überschneidenden und tranchierenden Fachbereiche vermitteln. Nur so sind die vielschichtigen Kenntnisse über die Automatisierung der immer komplexer werdenden Produktionssysteme zukunftsorientiert vermittelbar.

3.2 Markt- und Forschungssituation

In den vergangenen Jahrzehnten vollzogen sich Entwicklungen, die teilweise zu grundsätzlich neuen Rahmenbedingungen der Produktion führten. Neue Märkte und Forschungsrichtungen bestimmen die Hauptinhalte der Produktionsautomatisierung.

Marktveränderungen

Der VDMA⁵ forciert speziell im Fachbereich Software die Zusammenarbeit des Maschinenbaus mit Softwarehäusern zur Sicherstellung eines nachhaltigen Unternehmenserfolges durch Softwareeinsatz in Produkten, Dienstleistungen und Prozessen der Investitionsgüterindustrie.

Der VDW⁶ bilanziert in den letzten Jahren die Dominanz der Produktion spanender Werkzeugmaschinen. 2002 betrug dieser Anteil 55%, ein hoher Anteil von 48,7 % machen numerisch gesteuerte Werkzeugmaschinen aus.

Die Produktionsautomatisierung im Maschinenbau erschließt neue Anwendungsfelder und Märkte vor allem durch intelligente Kombination von Kraft-, Arbeits- und Informationsfunktionen, wobei sich die Entwicklungsschwerpunkte weg von der Mechanik hin zu Elektronik und Software verlagern [SNA-97].

Der Markt der *Automatisierungstechnik* erweitert sich unter dem Einfluss der Mikroelektronik und Informationstechnologien aus der Industrie- und Anlagenautomatisierung in Richtung Produktautomatisierung, d.h. Produkte im Sinne von Komponenten für stationäre und mobile Prozesse. Nach [JAN-01] wird die neue Rolle der Automatisierungstechnik vor allem durch informationsbasierte individuelle Problemlösungen und durch die abzusehende Systemintegration unterschiedlicher moderner Technologien (Biotechnik, Systemtechnik, etc.) geprägt werden.

Für die Automatisierungsbranche werden die Bereiche Software und Service in der Automation werden immer wichtiger⁷. Der Trend in der Industrie entwickelt sich nach [LUS-02] in Richtung verteilter Automatisierungsstrukturen und Intelligenz, durchgängige Kommunikation, offene IT-Standards sowie unternehmensweite Informationsnetzwerke.

Im deutschen Markt der Branche für *Informationstechnik und Telekommunikation* kompensieren Software und informationstechnische Dienstleistungen die Verluste im Hardwaremarkt⁸.

In den genannten Branchen prägen wachsende Softwareanteile unter dem Einfluss der Informationstechnologien Veränderungen am Markt. Im Bereich der Anwendungssoftware hat Deutschland seine traditionell hohe Kompetenz zukünftig

⁵ Verband Deutscher Maschinen- und Anlagenbau e.V.; <http://www.vdma.org/software>

⁶ Verband Deutscher Werkzeugmaschinenfabriken e.V., <http://www.vdw.de>

⁷ ZVEI-Fachverband Automation, Zentralverband Elektrotechnik- und Elektroindustrie (ZVEI) e.V., <http://www.zvei.org/automation>

⁸ Bundesverband Informationswirtschaft, Telekommunikation und neue Medien e.V., <http://www.bitcom.org>

für softwareintensive Produkte, Prozesse und Dienstleistungen zu behaupten [BMBF-02].

Forschung

Aufgrund der weltweit veränderten Randbedingungen für eine wettbewerbsfähige Produktion wurde 1995 ein internationales Forschungs- und Entwicklungsprogramm *Intelligent Manufacturing Systems (IMS)*⁹ [IMS] zur Stärkung der Produktionsindustrie gegründet. Die IMS-Forschung entwickelte in den vergangenen Jahren vielfältige, neue Konzepte und führte sie teilweise ein. Sie orientieren sich vorzugsweise auf strukturelle Veränderungen der Organisation, die Einbeziehung der Ressource Mensch und auf Technologiepotentiale. Aus diesen Entwicklungen lassen sich Tendenzen erkennen, die für zukünftige Systeme und Prozesse in der industriellen Produktion bedeutungsvoll sind.

In der deutschen Fachwelt stark diskutierte Merkmale dieser innovativen Ansätze sind u.a. Kooperation, Dezentralisierung, Autonomie, Dynamik, Selbstorganisation, Kommunikation, Kreativität und Intelligenz (Bild 3.1).

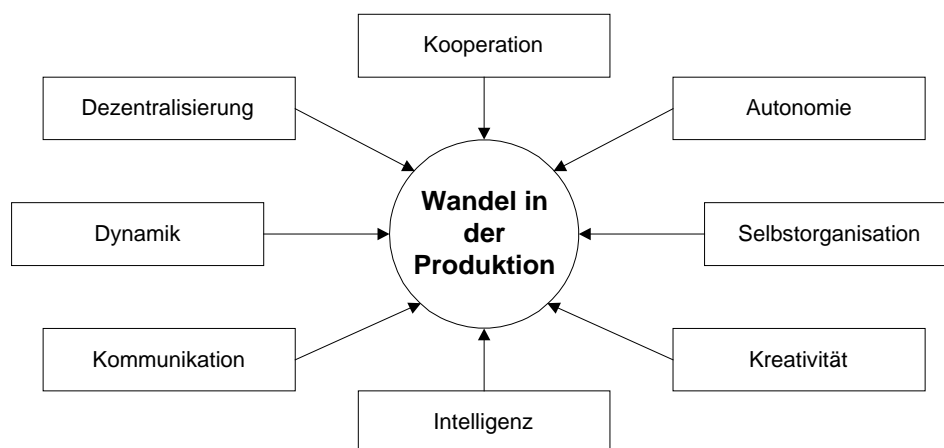


Bild 3.1: Eigenschaften für den gegenwärtigen Wandel in der Produktion

Unter Berücksichtigung internationaler Entwicklungen entstand das Leitbild für produzierende Unternehmen zur Gestaltung des Wandels¹⁰. Die Umsetzung der darin genannten Herausforderungen ist allgemein mit Forschungsbedarf für Strukturen, Komponenten und Prozesse verbunden. Dazu erfordert es im Rahmen der Produktionsautomatisierung vorrangig einer Umsetzungskompetenz für Informationen, Anwendungssysteme und softwareintensive Prozesse. Die Forschung im Bereich Software prägen die Paradigmenwechsel von der objektorientierten über die komponentenorientierten zur agentenorientierten Entwicklung [ITEA-01].

Die entscheidenden Wirkungen der Informations- und Kommunikationstechnik sowie der herausragende Rolle der Software wurde mit der Studie „IT-Forschung 2006“ für die Standortbestimmung in Deutschland vorgenommen [BMBF-02]. Im Bereich Software verweist die Studie auf Forschungsfelder, die auch im Maschinenbau/Produktionstechnik in den Vordergrund treten. Genannt werden u.a.:

⁹ IMS-Grossprojekte wie das amerikanische Next Generation Manufacturing Systems (NGMS), Holonic Manufacturing Systems (HMS) oder Bionic Manufacturing Systems (BMS) befassen sich mit zukünftigen Anforderungen an Produktionssysteme.

¹⁰ Rahmenkonzept „Forschung für die Produktion von morgen“. BMBF, Bonn, 1999

- Kombination der Produktionskompetenz mit der Erstellung hochwertiger, kundenangepasster Software-Speziallösungen,
- Untersuchungen zu neuen Anwendungssystemen infolge neuer Informationstechnologien und geänderter Firmenstrategien sowie
- Übertragung der Fähigkeiten zur qualitätssichernden Produktion auf Softwarekomponenten.

Der Kenntnisstand der Forschung bildet den Ausgangspunkt einer aktuellen Sicht auf das Fachgebiet Produktionsautomatisierung.

3.3 Produktionsautomatisierung als Wissenschaftsdisziplin

Die Etablierung der Produktionsautomatisierung als Wissenschaftsdisziplin begründet sich aus der Analyse der Lehre und Forschung. Die Situationsanalyse zeigt, dass die Beherrschung des Gebietes in seiner Komplexität "die akzeptable Zeit für die Integration eines durchschnittlich begabten Individuums in die Wissenschaft voll in Anspruch nimmt" [GUN-87]. Für Forschungsprojekte ist Interdisziplinarität Voraussetzung, um Komplexität der automatisierten Produktion erfassen zu können. Ob das wissenschaftliche Tätigkeitsfeld der Produktionsautomatisierung sich etablieren kann, hängt neben der Institution auch von personellen und materiellen Ressourcen ab. Argumente für eine Disziplinarität der Produktionsautomatisierung drücken folgende Merkmale aus:

- Entstehung neuen Wissens, z.B. aus der Entwicklung automatisierter informationeller und technischer Prozesse, Wissenszuwachs aus IuK-Techniken und der Evolution von Informationsprozessen,
- Gegenstandsorientierung, z.B. auf automatisierte Prozesse der industriellen Produktion und produktionsnahen Dienstleistungen einschließlich der Produkte,
- Terminologie, z.B. Schaffung vereinheitlichter Terminologien und Anpassung vorhandener zur Produktions- und Softwaretechnik.
- Die eingangs vorangestellte Definition der Produktionsautomatisierung erfährt zur Darstellung der Hauptinhalte eine Präzisierung und Erweiterung.

Die *Produktionsautomatisierung* ist eine Wissenschaftsdisziplin, welche die Erforschung selbsttätiger Vorgänge im Zusammenhang mit Systemen der industriellen Produktion zum Ziel hat. Damit ist Produktionsautomatisierung die Lehre über die Automatisierung von Prozessen der Produktion. Die Prozesse umfassen Arbeitsvorgänge in einer bestimmten Zeit, die eine Zustandsänderung erbringen und das Verhalten eines Systems beeinflussen.

Forschungsgegenstand ist die Automatisierung der Transformations-, Speicherungs- und Transportprozesse der Medien Energie, Stoff und Information in Verbindung mit Orientierungen auf Prozesse mit folgenden Merkmalen:

- Funktionen für Informationssysteme (z.B. CAx-System, Produkt- und Produktionsdatensystem) berücksichtigen eine umfassende Informationsversorgung technischer Systeme.
- Neben den zeitkritischen Prozessen (z.B. Betrieb) werden besonders die zeitunkritischen Prozesse (z.B. Entwicklung, Planung) einbezogen.

- Die technischen Prozesse werden stärker durch nichttechnische Prozesse ergänzt (z.B. Kommunikation, Kooperation).

Die Produktionsautomatisierung verwendet nichtautomatisierte (Methoden, Verfahren) und automatisierte Techniken (Werkzeuge, Anwendungen) aus interdisziplinären Fachgebieten. Dazu zählen etablierte Ingenieurwissenschaften und übergreifende Fachverbände wie Mechatronik, Adaptronik oder Bionik.

Produktionsautomatisierung nutzt immer umfassender Teilgebiete der Informatik in der Produktion. Im Teilgebiet der angewandten Informatik für die Produktion lässt sich die Produktionsinformatik einordnen. Dabei werden fundierte Kenntnisse über das Anwendungsgebiet mit den Kenntnissen aus der Informatik verbunden. Dies führt zu einer Erweiterung des Begriffes Produktionsautomatisierung. Dominierten darunter bislang Innovationen in der Produktionstechnik und -organisation mit rechen technischer Unterstützung, so sind künftig in umfassender Weise die Informatik mit dem Automatisierungsmittel Software für die Informationsprozesse der Produktion einzubeziehen.

4 Konsequenz

Die *Grundordnung der Produktionsautomatisierung* unterliegt einer Bedeutungsänderung, die aus der Zielsetzung der evolutionären Eigenschaft zur Wandelbarkeit der Produktionsprozesse - z.B. durch Erhöhung der Reaktionsfähigkeit, ausgewogene Ganzheitlichkeit oder marktorientierte Prinzipien - resultiert. Damit wandelt sich die Produktionsautomatisierung u.a.

- von der überwiegend technischen zur organisatorisch-humanen Orientierung,
- von funktionalen Systemen zu prozessorientierten Systemen und
- von reaktiven Prozessen zu proaktiven Prozessen.

Die Beherrschung der Ressourcen Wissen und Information ist für die Produktionsautomatisierung zu einem zentralen Inhalt geworden.

Aus den Anforderungen des Marktes und den dringlichen Forschungsaufgaben erwächst die Aufgabe, zukunftsorientierte Strategien für die Wissenschaftsdisziplin abzuleiten, die *Produktionsautomatisierung* genannt wird.

Zukunftsorientierte Strategien der Produktionsautomatisierung entstehen unter dem Einfluss des Wandels des unternehmerischen Umfeldes. Konzepte zur Erreichung der Zielstellungen der automatisierten Produktion sind vielfältig und komplex (Bild 4.1). Sie sind insb. auf erfolgreiche Leistungsprozesse in der Produktion u.a. durch angepasste Organisationsstrukturen, Kreativität und Handlungsfreiheit und Angemessenheit der Mittel und Methoden ausgerichtet.

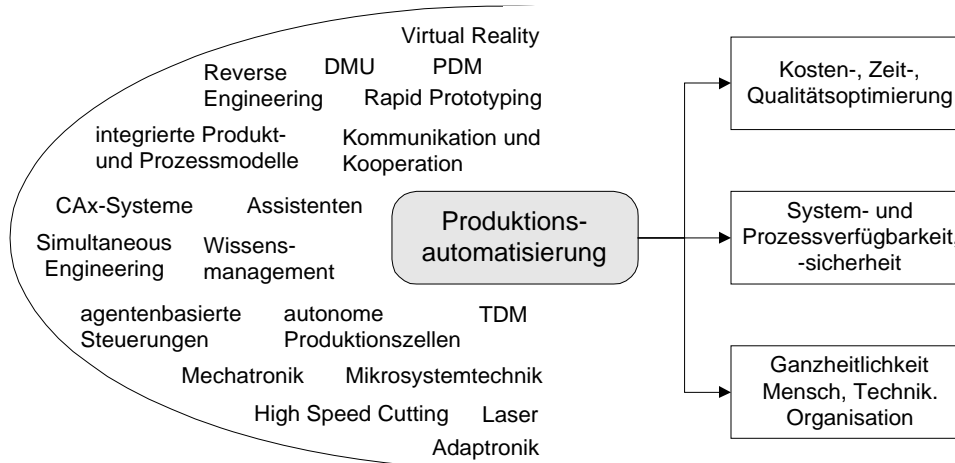


Bild 4.1: Konzepte der Produktionsautomatisierung zur Erreichung von Zielen

Die Situation der Wissenschaftsdisziplin Produktionsautomatisierung prägen stark die etablierten Fachbereiche Prozessautomatisierung und Fertigungsautomatisierung. Diese durchdringen sich zunehmend und erweitern außerdem ihre Inhalte unter dem Einfluss der Informationstechnik in Richtung Unternehmensautomatisierung.

Der Markt verlangt zunehmend individuelle Komponenten für vernetzte Strukturen. Die Forschung zur Produktionsautomatisierung unterstützt den Wandel der Produktion mit der Umsetzung völlig neuer Eigenschaften für Produktionssysteme und -prozesse. Das verlangt vorrangig Umsetzungskompetenz für Informationsprozesse und Software.

5 Handlungsbedarf

Der Handlungsbedarf der Produktionsautomatisierung soll unter dem Aspekt der aktuellen *Treiberfunktion der Softwaretechniken* dargestellt werden. Die zusammenfassende Betrachtung leitet sich aus dem Blickwinkel Produktion und Information ab.

- Wirkungsfelder

Die Produktionsautomatisierung wirkt in allen auf die Produktion bezogenen Unternehmens- und Dienstleistungsprozessen. Integraler Bestandteil aller Felder ist die Automatisierung der produktionstechnischen Informationsprozesse.

Tendenziell verliert die Komponente Technik relativ an Bedeutung, die Organisation und der Mensch treten in den Vordergrund. Während die Technik an Grenzbereiche geführt wird, bilden die Organisation unternehmensweiter automatisierter Prozesse und die Kompetenz des Menschen umfassende Gestaltungsräume.

Informationen haben gegenüber Stoffen und Energien einen dominierenden Einfluss auf die Automatisierung der Produktionssysteme und -prozesse erlangt. Während die Automatisierung der Energie- und Materialflüsse einen hohen technischen Stand aufweisen, liegen Potentiale in der Gestaltung automatisierter Informationsflüsse.

- Anwendungssoftware

Software kommt in allen Phasen vom Entwurf über die Realisierung bis zum Betrieb einer automatisierten Lösung zum Einsatz. Die Produktionsautomatisierung bedient Automatisierungsvorgänge maßgebend mit Anwendungssoftware, die ganz wesentlich durch aktuelle Entwicklungen der Softwaretechnik geprägt wird.

Mit der Realisierung von Automatisierungslösungen sind neue Eigenschaften der Anwendungssoftware zu erfüllen. Deren Vielschichtigkeit erfordert umfassende Kenntnisse zu Einsatzmöglichkeiten geeigneter Basistechnologien sowie zu Integration und Plattformen für automatisierungsgerechte Prozesse.

- Softwaretechnik

Aus der Anwendung neuer Softwaretechniken bei der Automatisierung von Informationsprozessen resultieren zunehmend die potentiellen Wirkungsfelder der Produktionsautomatisierung (Bild 5.1). Neue Softwaretechnologien ermöglichen durch ihren Einsatz in der Produktion erweiterte Innovationsfelder, die i.d.R. andersartige technische Komponenten sowie bedeutende Veränderungen der Produktionsstrukturen und der Rolle des Menschen in der Produktion nach sich ziehen.

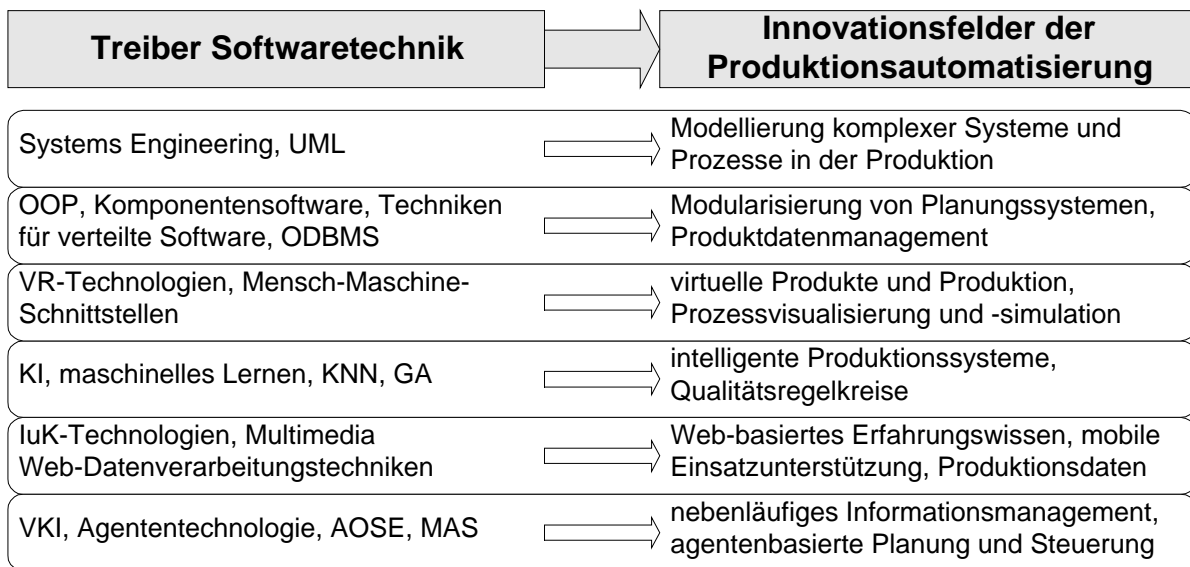


Bild 5.1: Innovationsfelder der Produktionsautomatisierung durch Softwaretechnik

Die Treiberfunktion neuer Softwaretechniken schaffen Voraussetzungen, die ganzheitliche Betrachtung von komplexen industriellen Informationsprozessen in der Produkt- und Prozessentwicklung bei der Herstellung von Sachgütern und/oder Dienstleistungen zu verwirklichen.

Das Manko der Produktionsautomatisierung besteht darin, dass sie bisher unter den Bedingungen der neuen Informations- und Kommunikationstechnologien erforderliche Eigenschaften für eine wandlungsfähige Produktion noch nicht ausreichend erbringt. Dazu ist Handlungsbedarf insbesondere für intelligente Prozesse und verteilte Systeme erforderlich.

Literatur

- [BMBF-02] IT-Forschung 2006. Förderprogramm Informations- und Kommunikationstechnik. BMBF, Bonn, März 2002
- [FIC-01] Fichtner, D.: Produktionsautomatisierung. Vorlesungsskript. TU Dresden, 2001
- [GUN-87] Guntau, M.; Laitko, H.: Entstehung und Wesen wissenschaftlicher Disziplinen. In: Guntau, M.; Laitko, H. (Hrsg.): Der Ursprung der modernen Wissenschaften. Studien zur Entstehung wissenschaftlicher Disziplinen. Berlin: Akademie Verlag 1987, S. 17-89.
- [IMS] IMS - Intelligent Manufacturing Systems. <http://www.ims.org>
- [ITEA-01] Technology Roadmap on Software Intensive Systems. ITEA Office Association, Eindhoven, March 2001
- [JAN-01] Janschek, K.: Perspektiven der Automatisierungstechnik - Sichten und Einsichten. at Automatisierungstechnik 49 (2001) H.9, S.387-389
- [LUS-02] Lust, K.-H.: Statement anlässlich der Pressekonferenz zur SPS/IPS/DRIVES am 26.11.2002 in Nürnberg. <http://www.zvei.org>
- [MÜL-02] Müller, M.: Automation - Darstellung Branche des Komponenten-, System- und Anlagengeschäftes. Ausschuss für Unternehmens- und Marktstatistik, DIW Berlin, 2002, www.dstatg.de
- [SNA-97] Spur, G.; Nackmayr, J.: Optionen künftiger Produktionssysteme im Maschinenbau. In: Spur, G.: Optionen zukünftiger industrieller Produktionssysteme. Forschungsberichte der Interdisziplinären Arbeitsgruppen. Berlin-Brandenburgische Akademie der Wissenschaften. Berlin: Akademie-Verlag, 1997
- [SPU-98] Spur, G.: Technologie und Management. Zum Selbstverständnis der Technikwissenschaften. München, Wien: Carl Hanser Verlag 1998, ISBN 3-446-21033-4
- [WES-02] Westkämper, E.: Neue Strategien der Produktion als Antwort auf Veränderungen. IPA/IFF Stuttgart, 2002