



Bundesministerium  
für Bildung  
und Forschung



## Zukunftsbild „Industrie 4.0“





Bundesministerium  
für Bildung  
und Forschung

# Zukunftsbild „Industrie 4.0“



# Inhaltsverzeichnis

Zukunftsbild Industrie 4.0 - Kurzfassung.....	6
Einleitung .....	9
Das Zukunftsbild: Die Industrie im Jahr 2025.....	12
Individualisierte Produktion .....	13
Vernetzte Unternehmen.....	18
Wettbewerbsvorteile flexibler Wertschöpfungsnetzwerke.....	20
Nebeneinander von offenen und geschlossenen Produktionsnetzwerken .....	26
Arbeitskomfort durch intelligente Assistenzsysteme .....	28
Geschäftsfelder in der vernetzten Industrie .....	32
Impressum .....	35

## Zukunftsbild Industrie 4.0 - Kurzfassung

Das Zukunftsbild Industrie 4.0 zeigt eine mögliche Zukunft der industriellen Produktion aus der Perspektive des Jahres 2025 und blickt zurück auf die „Vergangenheit“ des Jahres 2012. Indem es relevante Entwicklungen und Konsequenzen für die Unternehmen und ihre Mitarbeiter anhand konkreter Anwendungsszenarien beschreibt, bietet es eine Grundlage für die breite fachliche und gesellschaftliche Diskussion.

Industrieunternehmen aus Deutschland erwächst in Asien und zunehmend auch in Südamerika starke Konkurrenz, die mittelfristig ihre internationale Wettbewerbspositionen gefährden kann. Unternehmen, etwa aus China, steigern ihre Produktivität und Innovationskraft, zugleich beschleunigen sich die Innovationskreisläufe in vielen Technologiefeldern, und die Märkte werden volatil. Die Unternehmen müssen in Deutschland zusätzlich auf weitere Herausforderungen Antworten finden: knappere Rohstoffe, steigende Energiepreise oder das zunehmende Durchschnittsalter der Beschäftigten.

Das produzierende Gewerbe benötigt Lösungen, um auf diese Herausforderungen wirksam zu reagieren. Die Technologie der cyber-physischen Systeme – oder kurz CPS – bietet das Potenzial für solche Lösungen. CPS sind Netzwerke kleiner mit Sensoren und Aktoren ausgestatteter Computer, die als sogenannte Eingebettete Systeme in Materialien, Gegenstände, Geräte und Maschinenteile eingebaut und über das Internet miteinander verbunden werden. In einem derartigen Internet der Dinge verbinden sich die physische und die digitale Welt. Anlagen, Maschinen und einzelne Werkstücke tauschen kontinuierlich Informationen aus. Sämtliche Produktions- und Logistikprozesse werden integriert. Aus dieser Schlüsseltechnologie leiten sich zahlreiche industrielle Anwendungen ab: In Zukunft werden viele Prozesse in Echtzeit über große Entfernungen gesteuert und koordiniert. Voraussetzung dafür ist die Standardisierung und Modularisierung vieler einzelner Prozessschritte und die Programmierung von virtuell bearbeitbaren Modellen dieser Module. Mit ihrer Hilfe werden künftig betriebliche Prozesse geplant, gesteuert und kontrolliert. Die Vernetzung schafft die Voraussetzung für den kontinuierlichen Austausch von Daten, aus denen automatisch situationsgerechte Prozessanpassungen abgeleitet werden. Der Einsatz von CPS erlaubt zudem die Dezentralisierung der Prozesssteu-

erung, die dann beispielsweise von den Werkstücken selbst übernommen wird, indem sie mittels eingebetteter Systeme Umgebungsdaten verarbeiten und daraus Steuerungsbefehle ableiten. Auf diese Weise wird Produktion erheblich flexibler werden. Flexibilität wird zusätzlich durch anwendungsoffen konstruierte Maschinen erreicht, die in direkter zeitlicher Abfolge unterschiedliche Funktionen ausführen oder Werkzeuge einsetzen. Ihre Umrüstung und Rekonfiguration erfolgen künftig kostenneutral, da der vielseitige Einsatz der Maschinen weitgehend automatisch organisiert wird. Der hohen Flexibilität in der Produktion liegen komplexe Rechenleistungen zugrunde, die auf den verschiedenen Steuerungsebenen im Unternehmen ablaufen und untereinander verbunden sind. Diese vertikale Integration aller Prozesse – von der Bearbeitung der Auftragseingänge, über das Ressourcenmanagement und die Fertigung bis hin zur Auslieferung – revolutioniert die industrielle Produktion: Die Prozessebenen des Unternehmens werden durchgängig miteinander verknüpft und können auf Grundlage der jeweils aktuellsten Prozessdaten immer wieder neu aufeinander abgestimmt werden.

Das Internet ermöglicht diese ständige Koordinierung auch zwischen weltweit verteilten Standorten und über Unternehmensgrenzen hinweg. Die horizontale Integration, also die Vernetzung zwischen mehreren Unternehmen, ist Ausgangspunkt der flexiblen Gestaltung ihrer gemeinsamen Wertschöpfungsprozesse. Unternehmen bilden künftig dynamische Netzwerke, aus denen heraus sie auftrags- und produktspezifisch ihre Kapazitäten zu virtuellen Produktionsgemeinschaften zusammenschließen. Eine zentrale Funktion solcher Wertschöpfungsnetzwerke ist die kontinuierliche Optimierung aller Prozesse auf Basis aktueller Daten aus den Märkten und aus der Produktion selbst. Die Optimierung erfolgt unter Berücksichtigung mehrerer Kennziffern gleichzeitig: Zeit, Qualität, Kosten, Ressourceneinsatz oder Energiekosten sind nur die wichtigsten. Das Ziel der Optimierung wird über den gesamten Produktlebenszyklus hin verfolgt. Digitale Produktgedächtnisse zeichnen in Zukunft Daten aus Fertigung, Logistik, Nutzung und Entsorgung auf und stellen sie für die Produkt- und Prozessoptimierung zur Verfügung.

Für die Mitarbeiter bedeutet der Einsatz der neuen Technologien einen Wandel ihrer Arbeitswelt und ihrer Aufgaben. In vielen Prozessen gewinnt die Automatisierung weiter an Bedeutung. In anderen Tätigkeiten werden Menschen künftig durch mobile Leichtbauroboter und intelligente Assistenzsysteme unterstützt. So haben die Beschäftigten überall und jederzeit Zugriff auf die für ihre Arbeit relevanten Informationen. Bei Bedarf können anwendungsspezifische Trainingsangebote aufgerufen werden, um jeden Mitarbeiter bei der Erfüllung seiner Aufgaben optimal zu fördern. Diese vielfältigen Entlastungen gehen mit einer hohen Reaktionsfähigkeit in der Planung des Personaleinsatzes einher. Die Produktionssteuerung wird viel adäquater auf die individuelle Situation eines Mitarbeiters eingehen, seinen Rhythmus berücksichtigen und auf seine kurzfristigen Anliegen zügig reagieren. Die Vereinbarkeit von Familie und Beruf wird durch die flexible Prozessvernetzung einfacher und verursacht keine zusätzlichen Kosten mehr. Letztere verstärkt und verbessert auch den Austausch zwischen den Mitarbeitern aus verschiedenen Unternehmensabteilungen, wodurch ein Klima des offenen Miteinanders und der Hilfsbereitschaft entsteht.

Aus Sicht der Unternehmer bietet die Umstellung auf vernetzte und flexible Produktionstechnologien viele Vorteile. Die Individualisierung der Produktion ermöglicht es den Betrieben in vielen Branchen, zu geringen Kosten eine hohe Zahl an Produktvarianten herzustellen und auf diese Weise individuelle Kundenwünsche zu bedienen. Flexibel können sie auf Marktentwicklungen, auf kurzfristig geänderte Produkthanforderungen oder auf schwankende Rohstoff- und Energiepreise reagieren. Selbst bei unvorhergesehenen Ereignissen oder Störungen, wie Stromausfällen oder Lieferungsverzögerungen, erfolgt die Anpassung schnell und präzise. Wartung und Reparatur von Anlagen sind erheblich vereinfacht: Eingebettete Systeme stellen vollständige Transparenz über den Zustand aller Maschinen her; diese bestellen ihre Ersatzteile selbstgesteuert, sobald Verschleißerscheinungen auftreten. Die hohe Anpassungsfähigkeit erhöht die Auslastung der Produktionskapazitäten; das flexible Ressourcenmanagement verbessert die Effizienz des Gesamtbetriebs. Die Kosten für Lagerhaltung und Fertigung sinken durch die wirksame Nutzung der vorhandenen Optimierungspotenziale. Fehler werden häufiger vermieden oder können

schneller behoben werden. Und nicht zu vergessen: Aus den neuartigen Anwendungen entwickeln sich innovative Geschäftsmodelle. Dabei werden die Unternehmen aus Deutschland auf ihren vorhandenen Stärken aufbauen und weiterhin Maschinen, Anlagen und Fabriken auf dem neuesten Stand der Technik in alle Welt verkaufen. Vor allem aber können sie ausgehend von diesen Technologien integrierte Systemlösungen und komplexe Anwendungen anbieten, die Maschinen und Dienste zu einem Leistungspaket verbinden und ihren langfristigen Erfolg auf den Weltmärkten in entscheidender Weise sichern.

**Erläuterung zum Prozess:** Ein Zukunftsbild stellt einen Zukunftsentwurf als Hypothese zur Diskussion. Es trifft keine programmatischen Festlegungen. Zukunftsbilder sind ein Instrument der Strategieentwicklung, mit deren Hilfe komplexe Zukunftsthemen in illustrativen Beschreibungen vorgestellt werden, die auch für Laien verständlich sind. Sie integrieren eine Vielzahl unterschiedlicher Aspekte zu einem konsistenten Gesamtbild und zeigen ausgehend von unterschiedlichen fachlichen Perspektiven, wie eine mögliche Zukunft aussehen könnte. Sie helfen, die Diskussion zu strukturieren und auf Kernfragen zu fokussieren und zugleich relevante Einzelaspekte im Gesamtzusammenhang möglicher technischer, wirtschaftlicher oder sozialer Entwicklungen zu bewerten. Die Ausführungen des vorliegenden Zukunftsbilds basieren vor allem auf Interviews mit Experten der Forschungsunion Wirtschaft-Wissenschaft und der BMBF-Referate 512 (Forschung für Produktion, Dienstleistung und Arbeit) und 514 (IT-Systeme). Die Aussagen aller Gesprächspartner wurden im Sinne eines aussagekräftigen Gesamtpapiers bewertet, stilistisch angepasst und eingearbeitet. Anschließend folgten mehrere Überarbeitungsrunden zur Präzisierung und Feinabstimmung verschiedener Einzelaspekte.

# Einleitung

Arbeit und Wohlstand in Deutschland beruhen in hohem Maß auf einem leistungsstarken Industriesektor, dessen Produkte weltweit nachgefragt werden. Das Zusammenspiel aus international agierenden Konzernen und einem breiten Spektrum mittelständischer Firmen wirkt als wichtiger Wachstumsmotor, mit dessen Hilfe das Beschäftigungsniveau im verarbeitenden Gewerbe seit zehn Jahren stabil geblieben ist. Fast die Hälfte der deutschen Exporte kommt aus dem produzierenden Gewerbe. Grundlage dieses Erfolgs sind vor allem das dynamische Innovationssystem, die sehr gute Ausbildung der Bevölkerung, die exzellente Qualität der Produkte und die hohe Produktivität der Unternehmen. Inzwischen gilt das deutsche Modell vielen Wirtschaftspolitikern gerade in den Ländern als Vorbild, die in den vergangenen Jahrzehnten stark auf die Entwicklung des Dienstleistungssektors gesetzt haben und neuerdings nach dem Wiederaufbau ihrer industriellen Produktion streben.

So gut die deutschen Hersteller heute dastehen, so schnell können sie von Wettbewerbern aus Amerika und Asien eingeholt und übertroffen werden. Sie müssen jeden Tag aufs Neue ihren erreichten Wettbewerbsvorsprung verteidigen. Und das heißt nicht nur, schneller, kostengünstiger und in Hinblick auf die Produktqualität besser als die Konkurrenz zu produzieren; sie müssen vielmehr auch in der Lage sein, immer wieder ganz neuartige Produktionsverfahren einzuführen. Zugleich sind viele Unternehmen mit einer zunehmend komplexen Wertschöpfung konfrontiert. Deren einzelne Schritte lassen sich nicht mehr als Kette beschreiben, sondern bilden ein Geflecht an Beziehungen, in dem sich einzelne Unternehmen auf spezielle Kompetenzen fokussieren. Auch die Unbeständigkeit der Märkte nimmt weiter zu. Die Vorhersehbarkeit von Entwicklungen als wichtige Voraussetzung der Produktionsplanung geht zurück. All dies stellt die Produktionssteuerung vor wachsende Herausforderungen.

Cyber-physische Systeme bieten innovative Lösungen für die Gestaltung von Produktions- und Wertschöpfungsprozessen und damit das Potenzial für die Bewältigung dieser Herausforderungen. Sie stehen für eine Spitzentechnologie der Zukunft, die alle wichtigen Infrastruktursysteme prägen wird – von der Energieversorgung über die Verkehrssteuerung bis hin zum Management urbaner Ballungsräume. In der industriellen Produktion haben cyber-physische Systeme das Potenzial, massive Effizienz- und Produktivitätssprünge zu bewirken, die für die Wettbewerbsfähigkeit deutscher Hersteller entscheidend sind.

Deutschland: leistungsstarker Industriesektor

Hohe Bedeutung für Deutschland

Erfolgsfaktoren:

- Export
- Qualifikation
- Innovationssystem
- Produktivität

Herausforderungen:

- Internationaler Wettbewerbsdruck
- Notwendigkeit kontinuierlicher Innovation
- Steigende Komplexität und Volatilität

Mögliche Lösung:

Cyber-physische Systeme

Cyber-physische Systeme beruhen auf zwei zusammenlaufenden Technologieentwicklungen: Auf der einen Seite ist dies die Basistechnologie der eingebetteten Systeme – hochleistungsfähige „Kleinstcomputer“, die in alle möglichen Materialien und Gegenstände integriert werden. Ausgestattet mit Sensoren und Aktuatoren können sie eine Vielzahl an Daten aus der natürlichen Umwelt erfassen, verarbeiten und auf dieser Basis ihre Umgebung zugleich beeinflussen. Auf der anderen Seite sind dies globale Datennetze, in denen Daten in großen Volumina und stetig steigender Geschwindigkeit verarbeitet werden.

Cyber-physische Systeme entstehen aus der Verknüpfung eingebetteter Systeme – und damit der Geräte, in die sie eingebaut sind – zu digitalen Netzwerken aus physischen Objekten wie Maschinen oder Produktbestandteilen. Werden diese mit IP-Adressen versehen, lassen sie sich im Internet repräsentieren, ansteuern und über Software-Applikationen bearbeiten. Das neue Internetprotokoll IPv6 wird die Zahl der verfügbaren IP-Adressen exorbitant vergrößern. Schon bald können Objekte in nahezu beliebig großer Zahl über das Internet miteinander vernetzt werden. Schlussendlich entsteht ein Internet der Dinge, in dem jedes technische Gerät mit jedem anderen Gerät in der Welt nahezu in Echtzeit Informationen austauscht.

In solch einem Netz sind jederzeit aktuelle Informationen über den Zustand von Maschinen und ihrer Umgebung abrufbar. Über große räumliche Distanzen hinweg können hochkomplexe technische Prozesse gesteuert werden. Mit Hilfe cyber-physischer Systeme wird sogar die Wertschöpfung über den gesamten Produktlebenszyklus kontrollierbar. Und noch mehr: Die vernetzte Produktion bietet nicht nur ein großes Potenzial mit Blick auf die globale Wettbewerbsfähigkeit der deutschen Industrie, sondern auch Antworten auf eine ganze Reihe aktueller Herausforderungen. Hierzu gehören die Verknappung natürlicher Ressourcen und Rohstoffe, das steigende Durchschnittsalter der Beschäftigten oder der Flächenverbrauch in urbanen Ballungsräumen, in denen die räumliche Trennung von Wohnquartieren und Gewerbegebieten zunehmend auf praktische Grenzen stößt.

Für das verarbeitende Gewerbe bedeutet die Einführung cyber-physischer Systeme einen Epochenbruch, der nur mit den drei großen industriellen Revolutionen vergleichbar ist, die den Weg in die moderne Industriegesellschaft geebnet haben: der Einführung der Dampfmaschine Ende des 18. Jahrhunderts, der Erfindung des Fließbands als Voraussetzung für die industrielle Massenfertigung Ende des 19. Jahrhunderts und schließlich der Entwicklung der elektronischen Steuerung als Treiber der Industrieautomatisierung in der zweiten Hälfte des 20. Jahrhunderts. Aus der nun anstehenden vierten Industrierevolution wird schon in einigen Jahren die „Industrie 4.0“ hervorgehen.

CPS – konvergierende Technologieinnovationen:

- eingebettete Systeme
- globale Datennetze

Vernetzung von Objekten bzw. Geräten zu einem Internet der Dinge

Informationsaustausch zwischen Objekten:

- über große räumliche Distanzen
- nahezu in Echtzeit

Antwort auf vier große Herausforderungen:

- Globaler Wettbewerb
- Ressourcenverknappung
- Demografischer Wandel
- Urbanisierung

Vierte industrielle Revolution: „Industrie 4.0“

Gegenwärtig ist die Realisierung der Industrie 4.0 noch ein Zukunftsprojekt; enorme technische und wirtschaftliche Herausforderungen sind zu bewältigen. Doch besitzt der Industriestandort Deutschland mit seiner Mischung aus öffentlich und privat finanzierter Forschung auf höchstem internationalem Niveau, mit hochinnovativen Anbietern von Produktionstechnologien, mit weltweit führenden Herstellern auf dem Gebiet der eingebetteten Systeme und der spezialisierten Unternehmenssoftware sowie einer dynamischen Branche für IT-Sicherheitstechnologien gute Voraussetzungen für eine wirtschaftliche Pionierrolle beim Aufbau der Industrie 4.0. In der Integration unterschiedlicher Technologie- und Branchenkompetenzen verfügen Ingenieure, Forscher und Unternehmer in Deutschland über langjährige Erfahrungen. Schon heute gehen 80 Prozent aller Innovationen in der Produktionstechnologie auf die Integration von Maschinenbau und Informations- und Kommunikationstechnologien zurück.

Enorme Herausforderungen, aber gute Voraussetzungen für Pionierrolle Deutschlands

Das Zukunftsbild „Industrie 4.0“ beschreibt eine mögliche Zukunft der industriellen Produktion aus der Perspektive des Jahres 2025 und blickt zurück auf die „Vergangenheit“ des Jahres 2012. Es dient der Unterstützung des gleichnamigen Zukunftsprojekts im Bedarfsfeld „Kommunikation“ der Hightech-Strategie, das von den Bundesministerien für Bildung und Forschung sowie für Wirtschaft und Technologie betreut wird. Seine Inhalte gehen zurück auf die Arbeit eines Expertengremiums der Forschungsunion Wirtschaft-Wissenschaft, auf Gespräche mit Experten sowie auf Publikationen zur Thematik. Das Zukunftsbild erhebt nicht den Anspruch, allseitige Zustimmung zu finden oder vollständig zu sein. Es ist auch nicht als Prognose oder Vorhersage zu verstehen. Vielmehr geht es der Frage nach: „Wie soll die Zukunft werden?“ – als Grundlage für eine strategische Entscheidungsfindung und als Anregung für eine konstruktive Auseinandersetzung auf breiterer Basis.

Eine mögliche Zukunft der industriellen Produktion im Jahr 2025

# Das Zukunftsbild: Die Industrie im Jahr 2025

# Individualisierte Produktion

## Kernbotschaften

1. Die Einführung der individualisierten Produktion erfordert Anlageninvestitionen, ermöglicht aber als zentralen Mehrwert das Bedienen individueller Kundenwünsche zu niedrigen Kosten.
2. Individualisierte Produktion basiert auf 5 Kernelementen: der kleinteiligen Standardisierung einzelner Prozessschritte, ihrer Modularisierung, ihrer rechnergestützten Modellierung, ihrer Vernetzung sowie ihrer automatisierten, flexiblen Kombination.
3. Individualisierte Produktion wird z. B. umgesetzt durch dezentrale Prozesssteuerung (Beispiel 1) oder durch flexible Maschinen (Beispiel 2).

Im Jahr 2025 läuft die Wirtschaft in Deutschland auf Hochtouren. Die Auftragsbücher der deutschen Industrie sind gut gefüllt, und die Chancen stehen nicht schlecht, dass die Deutschen auch in diesem Jahr wieder Exportweltmeister werden. Die günstige Konjunkturlage ist in nahezu allen Branchen spürbar, und gerade der traditionell leistungsstarke Mittelstand erlebt eine langanhaltende Wachstumsphase.

Viele Unternehmen ziehen große Vorteile aus den neuen vernetzten Produktions- und Fertigungstechnologien auf Grundlage cyber-physischer Systeme, die sie im Laufe des letzten Jahrzehnts eingeführt haben. Die hohen Investitionskosten der Umstellung waren der Grund, warum viele Firmen zunächst nur Teile ihrer Fertigung um IKT-Funktionalitäten erweitert haben. Viele haben ihre Anlagen nicht auf einen Schlag, sondern nur schrittweise vernetzt. Die neuen Technologien wurden zunächst in Fertigungsbereichen eingeführt, in denen sie schnell zu Effizienzgewinnen führten. Andere Firmen haben den Weg in die intelligent vernetzte Produktion gefunden, indem sie zunächst vernetzte Produktionsabläufe als Dienstleistung von Drittanbietern zugekauft haben. Mit ihren Investitionsentscheidungen haben die Unternehmen strategisch nicht auf schnelle Erträge, sondern auf eine langfristige Steigerung der Produktivität gesetzt. Im Jahr 2025 profitieren sie von hohen Reaktionsgeschwindigkeiten, geringen Fehlerraten, kurzen Leerlaufzeiten und der hohen Effizienz ihrer Produktion, die in vielen Branchen durch vernetzte Fabriken, Anlagen und Prozesse erreicht worden sind.

Verteidigung der Wettbewerbsposition, Vorteile für Mittelstand

Einführung vernetzter Produktion auf zwei Arten

- 1- Schrittweise Einführung (leichtere Finanzierbarkeit der Investitionen in KMU)
- 2- Einkauf externer Produktionskapazitäten von Drittanbietern

Mehrwerte:

- hohe Flexibilität,
- geringere Fehlerrate
- hohe Auslastung
- gesteigerte Effizienz

Die Produktionsvernetzung schreibt einen zentralen Trend der Industrialisierung fort, wonach die verstärkte Standardisierung von Produktionsprozessen die Nutzung von Skaleneffekten und damit die Senkung der Produktionskosten – auch bei langfristig steigendem Lohnniveau – erlaubt. Mittels der immer weiter gehenden Automatisierung haben Hersteller schon seit den 1980er Jahren ihre Prozesse an eigenen Standorten und bei Zulieferern immer genauer aufeinander abgestimmt. Doch bis 2025 haben cyber-physische Produktionssysteme die Möglichkeiten der industriellen Vernetzung um ein Vielfaches erweitert. Zugleich wurde ein früherer Nebeneffekt von Standardisierung und Automatisierung umgekehrt: die sinkende Produktvielfalt. Ganz gegen diesen Trend ist schon Ende des 20. Jahrhunderts in vielen Märkten die Nachfrage nach individuellen Produkten und Lösungen aufgekommen – und das sowohl bei Konsum- als auch bei Investitionsgütern. Früher war die Erfüllung kundenindividueller Anforderungen nur um den Preis höherer Produktionskosten möglich, etwa durch häufige Variantenwechsel oder durch die individuelle Ausführung einzelner Fertigungsschritte. Die vernetzten Produktionstechnologien ermöglichen eine individualisierte Produktion zu geringen Kosten. Im Kern beruht auch die individualisierte Produktion auf einer kleinteiligen Standardisierung vieler einzelner Prozessschritte. Die Standardisierung erlaubt eine rechnergestützte Modellierung und Modularisierung von Produktionsabläufen. Einzelne Prozessmodule können so wesentlich flexibler als früher miteinander kombiniert werden. Auch wenn nicht jeder Aspekt im Zusammenspiel von Produktionsabläufen am Rechner nachvollzogen werden kann, ist das Ausmaß der inzwischen modellierbaren Prozessvarianten so umfassend und die Entwicklungskosten so erschwinglich, dass nahezu alle wichtigen Industriebranchen davon Gebrauch machen. Das einst dominante Streben nach Skaleneffekten als Mittel der Kostensenkung hat damit an Bedeutung verloren. Darin liegt der qualitative Sprung der vierten industriellen Revolution.

Trend der Produktion: Standardisierung und Automatisierung > Erzielen von Skaleneffekten  
Problem: sinkende Produktvielfalt

Trend der Nachfrage: individuelle Produkte  
Problem: Kosten

Lösung: individualisierte Produktion auf Basis von 5 Kernelementen:

- Kleinteilige Standardisierung einzelner Prozessschritte
- Modularisierung
- Rechnergestützte Modellierung
- Vernetzung
- Automatisierte flexible Kombination

Folge: Streben nach Skaleneffekten hinfällig – kostengünstige individualisierte Produktion



Durch IT-Unterstützung wird die Fertigung flexibler. Eine individualisierte Produktion wird dadurch zu ökonomisch ähnlichen Bedingungen möglich wie eine Großserie.

### Beispiel 1: Dezentrale Produktionssteuerung

Der Effekt lässt sich am Beispiel eines mittelständischen Spezialfarbherstellers illustrieren, der im Jahr 2012 ein Geschäftsfeld mit individualisierten Farbprodukten aufgebaut hat. Frühzeitig hat er das Internet als Möglichkeit erkannt, neue Vertriebswege zu erschließen. Die Grundidee war denkbar einfach: Heimwerker können im Zuge der Bestellung auf der Firmen-Website aus einer breiten Palette von Grundfarben den gewünschten Farbton selbst konfigurieren. Die Speicherung der Daten stellt sicher, dass exakt die gleiche Farbmischung jederzeit reproduziert werden kann. Die einzelnen Online-Bestellungen, die sich in Hinblick auf Menge, Farbmischung und gewünschtes Untergrundmaterial erheblich unterscheiden, werden auf einem zentralen Server gesammelt, von der Produktionsplanungssoftware ausgewertet und gruppiert. Automatisch wird die optimale Reihenfolge der Auftragsbearbeitung ermittelt. Zu jeder Einzelbestellung wird ein Funkchip erstellt, der alle relevanten Informationen enthält und – auf einen Behälter aufgetragen – direkt mit eingebetteten Systemen entlang der Fertigungsstrecke kommuniziert. Der Chip übernimmt die weitere Produktionssteuerung, indem er mit dem zentralen Server kontinuierlich aktuelle Prozessinformationen austauscht. Die Produktionssteuerung kann das Behältnis über seinen Chip eindeutig identifizieren. Entsprechend der vorprogrammierten Mischung wird der Behälter an den jeweiligen Abfüllstationen mit den gewünschten Grundfarben befüllt. Die durch den Einsatz des cyberphysischen Systems mögliche Produktionsflexibilität versetzt die Firma in die Lage, in der gleichen Anlage eine hohe Variantenzahl an Farbprodukten herzustellen – bei einer großen täglichen Gesamtproduktion und zu niedrigen Stückkosten. Das Unternehmen hat das zugrunde liegende Fertigungsprinzip seit 2012 auf weitere Produkte ausgeweitet und sich auf dem Markt für Speziallacke etabliert.

Beispiel „Smart Factory“  
(Werbefilm HMI)

Dezentrale Steuerung realisiert über Funkchips bzw. vernetzte eingebettete Systeme

Leistungen:

- Eindeutige Identifizierung von Werkstücken
- Abrufen der Produktionsdaten vom Zentralserver
- Erheben von Daten aus der Produktionsumgebung
- Dezentrales Erzeugen von Steuerungsbefehlen

Mehrwerte:

- hohe Variantenzahl
- in kurzer Zeit
- zu niedrigen Stückkosten

Die einst dominante Logik in der Produktion ist mit der Dezentralisierung der Produktionssteuerung auf den Kopf gestellt worden: Noch vor 20 Jahren wurden Produktionsprozesse über eine zentrale Produktionssoftware geplant und gesteuert. Die Produktionsleiter mussten die Fertigungsvorgaben in das System eingeben, das anschließend den Maschinen die jeweiligen Steuerungsbefehle erteilte. Dieses zentralisierte System war unflexibel; für Änderungen in der Produktion musste beispielsweise die Fertigung gestoppt und neu programmiert werden. Dies trieb die Kosten der Produktion in die Höhe. Im Jahr 2025 ist das nicht mehr nötig. Es sind die Rohlinge selbst, die über die eingebetteten Funk-Chips ihre Verarbeitung steuern. Durch die Anbindung an das Internet kann die Fertigung selbst relativ kurzfristige Änderungswünsche der Kunden zu geringen Mehrkosten berücksichtigen.

### Beispiel 2: Flexible Maschinen

In der metallverarbeitenden Industrie haben flexible Fertigungsanlagen große Verbreitung erlangt. So hat ein Hersteller von Gehäusen für technische Geräte dank der intelligenten Anordnung seiner Anlagen die erforderliche Produktionsfläche stark verringern können. In der gleichen Fertigungsanlage kann er diverse Metall- und Blechsorten auf unterschiedliche Weise verarbeiten, umformen, fräsen, bohren, schleifen oder lackieren. Auf einer Fertigungsstrecke können Rohlinge in direkter Abfolge zu völlig verschiedenen Gehäusen verarbeitet werden. Ihre Steuerung erfolgt über extrem hitzebeständige Funkchips, die auch unter rauen Produktionsbedingungen zuverlässig funktionieren. Auf der Fertigungsstrecke ist nach wie vor auch eine klassische Serienproduktion möglich, doch ohne Aufwand können jederzeit Einzelfertigungen dazwischen geschoben werden. Cyber-physische Systeme nutzt das Unternehmen vor allem für ein flexibles Werkzeugmanagement der Maschinen: Roboter können hunderte verschiedene Bewegungen ausführen und in enger Abfolge unterschiedliche Werkzeuge einsetzen. Zum Beispiel erkennt der Fertigungsroboter anhand der Funk-Informationen des Gehäuserohlings, welchen Bohrkopf er an welcher Stelle verwenden muss. Er kann zwischen zahlreichen Bohrköpfen wählen und so kurz nacheinander Metallteile in unterschiedlicher Dichte und Härte bearbeiten. Gleichzeitig dokumentieren eingebettete Systeme in den Werkzeugen deren Abnutzung. Der Produktionsleiter weiß zu jedem Zeitpunkt, wie viele Gehäuse er in einer bestimmten Qualität noch mit demselben Bohrkopf verarbeiten kann. Die Durchlaufgeschwindigkeiten der einzelnen Rohlinge sind voneinander unabhängig: Bei Bedarf durchläuft ein später in die Produktion gestarteter Rohling die Fertigungsstrecke schneller und überholt andere Werkstücke. Unnötige Warteschleifen werden so vermieden. Zugleich kann sich die Produktion dadurch auch flexibler an den Arbeitsrhythmus der Monteure anpassen. Kommt ein Mitarbeiter in Verzug, erkennt die Anlage die Abweichung vom ursprünglichen Plan und verändert die Abläufe.

Nachteile zentraler Produktionssteuerung:

- zeitaufwendige Änderungen
- Inflexibilität

Weitere Mehrwerte dezentraler Steuerung:

- hohe Flexibilität
- Bedienen kurzfristiger Änderungswünsche

Beispiel industrielle Metallblechverarbeitung

Eine Fertigungsstrecke – viele verschiedene Verarbeitungsoptionen

Maschinen mit flexiblem Werkzeugmanagement

Dokumentation des Werkzeugverschleißes durch eingebettete Systeme

Variable Durchlaufgeschwindigkeiten der Rohlinge

Flexible Anpassung an konkrete Situation und Rhythmus der Mitarbeiter

Die dezentrale Produktionssteuerung und der flexible Einsatz von Maschinen und Werkzeugen entlang der Fertigungsstrecken sind möglich, weil die Produktionssysteme in den Fabrikhallen für unterschiedliche Anwendungen offen sind und in kurzer Zeit für die jeweiligen Aufträge und Projekte konfiguriert werden können. Obschon verschiedenste Waren nahezu gleichzeitig produziert werden, kommt es zu keinem Stillstand. Die Abläufe in den Fabriken wirken geschmeidig und flüssig. Dahinter stecken komplexe Rechen- und Koordinierungsleistungen, deren fehlerfreies Funktionieren eine der größten Errungenschaften der Industrie im Jahr 2025 darstellt. Sie basiert auf der punktgenauen Vernetzung aller Management- und Steuerungsebenen im Unternehmen: In aufwendigen Verfahren mussten früher Kundenaufträge in elektronische Steuerungsbefehle an die Maschinen übersetzt werden; heute werden die relevanten Daten automatisch von oben nach unten durchgereicht. Umgekehrt werden Daten aus der Produktion dazu genutzt, Fertigungsabläufe zu überwachen und bei Bedarf zu verändern. Je nach Ausmaß solcher Produktionsänderungen müssen verschiedene Entscheidungsebenen bis hin zum Management einbezogen werden. Durch die durchgängige Verknüpfung aller Prozessebenen des Unternehmens erfolgt dies äußerst zeitsparend. Ausgefeilte Softwarelösungen koordinieren die Prozesse und integrieren sie unter einer benutzerfreundlichen Oberfläche. Diese Koordinierung aller produktionsrelevanten Prozesse im Unternehmen funktioniert auch über mehrere Standorte: Im Internet der Dinge werden Maschinen und andere Produktionsressourcen an verschiedenen Fertigungsstätten miteinander verbunden. Selbst wenn die Fabriken eines Unternehmens weltweit verteilt sind, werden im Jahr 2025 Produktionsprozesse von der Konzeption über die Fertigung bis zur Auslieferung des Produkts umfassend miteinander vernetzt.

Vertikale Integration:  
Prozesskoordination über alle  
Steuerungsebenen hinweg

Weltweit vernetzte Produktionsprozesse (von Konzeption bis Auslieferung)

# Vernetzte Unternehmen

## Kernbotschaften

1. Produktionsrelevante Prozesse können über Unternehmensgrenzen hinweg miteinander vernetzt und aufeinander abgestimmt werden.
2. Aus den Prozessen heraus werden kontinuierlich aktuelle Daten erhoben, die eine flexible Feinsteuerung der Prozesse auf Basis situationsspezifischer Betriebsinformationen erlauben.
3. Die erhöhte Flexibilität erleichtert die schnelle Anpassung der Produktionsprozesse an Marktentwicklungen und kurzfristige Situationsänderungen.
4. Mehrwerte bestehen außerdem in der verbesserten Auslastung der Produktionsanlagen, einem minimierten Risiko von Konventionalstrafen, der erhöhten Effizienz des Ressourcenmanagements und Kostensenkungen in der Logistik.

Eine punktgenaue Koordinierung erfolgt nicht nur zwischen allen Prozessen innerhalb eines Unternehmens, sondern auch zwischen allen Betrieben, die an der Wertschöpfung beteiligt sind. Die Verfügbarkeit aktueller Daten aus allen produktionsrelevanten Prozessen erlaubt das schnelle und präzise Reagieren selbst auf unvorhergesehene Ereignisse außerhalb des eigenen Unternehmens. Werden etwa Lieferungen durch einen Verkehrsstau verzögert, empfangen Funkchips in den Transportpaletten aktuelle Informationen aus der Verkehrsleitzentrale, die sie direkt an die Produktionssteuerung weiterleiten. Der für die Produktionsplanung verantwortliche Mitarbeiter kann so auf Basis der Echtzeitdaten frühzeitig Planänderungen vornehmen. Mit Hilfe des Steuerungsprogramms sichtet er die Gesamtauftragslage und prüft, welche Aufträge vorgezogen werden können. Die Software ermittelt mehrere alternative Lösungen, zwischen denen der Produktionsleiter entscheiden muss. Trifft die verspätete Lieferung ein, kann er den ursprünglich geplanten Produktionsprozess wieder aufnehmen. Diese horizontale Produktionsvernetzung zeichnet sich durch ein hohes Maß an Flexibilität und Effizienz aus.

Während früher eher branchenspezifische Lösungsansätze der Vernetzung dominierten, erfolgt die Koordinierung im Jahr 2025 auf Basis branchenübergreifender Standards. Die Vernetzung und die situationsabhängige Steuerung der Produktionsressourcen haben den Auslastungsgrad von Fertigungsanlagen deutlich verbessert. Und zugleich erlaubt die Anpassungsfähigkeit der Produktion ein sehr flexibles Reagieren auf Marktentwicklungen. Die zügige Begrenzung oder Erweiterung von Kapazitäten nach Auftragslage kommt Branchen zugute, die in Märkten aktiv sind, in denen die Nachfrage sehr schnell zurückgehen und ebenso schnell wieder anziehen kann, etwa der Automobilindustrie.

Horizontale Integration: Koordinierte Prozesse zwischen Unternehmen

Verfügbarkeit aktueller Prozessdaten > schnelle Reaktion auf ungeplante Ereignisse

Branchenübergreifende Ansätze der Vernetzung

Verbesserte Auslastung von Fertigungsanlagen

Hohe Anpassungsfähigkeit an Marktentwicklungen

### Beispiel 3: Prozessvernetzung zwischen zwei Unternehmen

Die Koordinierung von Produktionsressourcen und betrieblichen Prozessen funktioniert auch über Unternehmensgrenzen hinweg. Dies machen sich der Produzent von Speziallacken und der Gehäusehersteller zunutze. Die für die Produktionssteuerung in beiden Unternehmen zuständigen Teams haben den gemeinsamen Produktionsprozess bis ins Detail miteinander abgestimmt. So sorgt ein ständiger Datenaustausch zwischen den beiden Firmen dafür, dass der Zulieferer von Speziallacken immer dann eine neue Lieferung verschickt, wenn die Lackieranlage des Gehäuseherstellers einen bestimmten Füllstand unterschreitet. Dieser wird von Sensoren erfasst und an eine unternehmensübergreifende Einheit der Produktionssteuerung gemeldet, die ihrerseits automatisiert eine Nachbestellung generiert und rechtzeitig die erforderliche Lieferung organisiert. Durch die Koordinierung können die beiden Hersteller Unterbrechungen der Gehäusefertigung von vornherein vermeiden. Das Risiko von Konventionalstrafen hat der Gehäusehersteller damit stark minimiert. Ebenso muss er dank der eng getakteten Logistikkette weniger Produktionsmaterial vorhalten und spart Lagerkosten. Die Vernetzung ihrer Produktion ermöglicht beiden Unternehmen, Fertigungsabläufe individuell feinzusteuern: Die Lackieranlage erhält vom Funkchip des Farbbehälters technische Informationen zu den idealen Verarbeitungsbedingungen des Speziallacks. Die Maschine gleicht diese mit den aktuellen Zustandsdaten des Gehäuserohlings ab. Stellt die Anlage fest, dass die Temperatur aus dem Umformungsvorgang nicht mit der vom Hersteller empfohlenen Verarbeitungstemperatur des Speziallacks übereinstimmt, hält die Anlage automatisch den Lackiervorgang an und wartet, bis der Rohling auf die richtige Temperatur abgekühlt ist. In der Zwischenzeit werden andere Aufträge vorgezogen. Früher waren solche Informationen nur über Kataloge und zentrale Server abrufbar und mussten sorgfältig von Hand in die Produktionsplanungssoftware eingegeben werden. Im Jahr 2025 läuft all dies automatisch ab.

Vernetzung, kontinuierlicher Datenaustausch und Prozessautomatisierung erleichtern Abstimmung zwischen Unternehmen

Mehrwerte:

- Effiziente, flexible Prozesskoordination
- Minimierung von Unterbrechungen
- Effektive Vermeidung von Konventionalstrafen
- Einsparung von Lagerkosten durch effizientes Ressourcenmanagement
- Situationsgenaue Feinsteuerung von Prozessen durch automatisierten Austausch anwendungsspezifischer Betriebsinformationen



Daten der Produktionsabläufe werden über Unternehmensgrenzen hinweg ausgetauscht, um die Produktion zu optimieren.

## Wettbewerbsvorteile flexibler Wertschöpfungsnetzwerke

### Kernbotschaften

1. Die Vernetzung ist auch für KMU erschwinglich. Sie gehören oft mehreren Unternehmensnetzwerken an, in denen auftragsspezifisch Produktionsgemeinschaften aus dem Pool der beteiligten Unternehmen gebildet werden.
2. In flexiblen Wertschöpfungsnetzwerken können die Prozesse anhand unterschiedlicher Kriterien, insbesondere Zeit, Qualität und Kosten optimiert werden – unter Berücksichtigung mehrerer Kennziffern gleichzeitig. Zielkonflikte zwischen Optimierungsstrategien (z. B. Energieverbrauch vs. Zeitplan) werden durch Entscheidung des Produktionsleiters aufgelöst.
3. Flexible Wertschöpfungsnetzwerke können den gesamten Produktlebenszyklus abdecken, indem digitale Produktgedächtnisse Daten aus Fertigung, Logistik, Nutzung und Entsorgung aufzeichnen und für die Produkt- und Prozessoptimierung zur Verfügung stellen.

Noch vor 15 Jahren war eine internetgestützte Vernetzung der Beteiligten eines Wertschöpfungsnetzwerkes allenfalls in der Zusammenarbeit von großen Konzernen mit ihren Zulieferern möglich. Inzwischen sind die Kosten für die Modellierung vieler Standardprozesse und ihre Verknüpfung über verschiedene Ebenen der Unternehmenssteuerung hinweg selbst für kleinere mittelständische Unternehmen erschwinglich geworden. Eine Basis-Software zur vertikalen und horizontalen Integration von Produktionsprozessen kann leicht auf die spezifischen Bedürfnisse kleiner Betriebe zugeschnitten werden. Einsatz finden sowohl kommerziell lizenzierte als auch Open Source-Lösungen. Zudem nutzen gerade kleinere Unternehmen im Jahr 2025 vielfältige Dienstleistungen, die über das Internet per Cloud Computing verfügbar sind. Aufbewahrung und Verarbeitung großer Datenmengen über dezentrale Speicher- und Rechnerkapazitäten sind allgegenwärtig. Firmen wickeln so beispielsweise ihr Rechnungswesen oder ihre Personalverwaltung ab und halten ihre Verwaltungskosten niedrig. All dies hat einen regelrechten Boom in der Entwicklung von Produktionsnetzwerken ausgelöst. Zahlreiche Unternehmen koordinieren ihre Produktionsressourcen und tauschen produktionsrelevante Daten über virtuelle Plattformen aus. Dieser Austausch ist auf Rahmenvereinbarungen gegründet, die die Unternehmen geschlossen haben, um Standardproduktionsvorgänge selbstgesteuert auszuführen und abzurechnen.

Kostengünstige Lösungen für KMU

Produktionsnetzwerke:  
Vertraglich geregelter Datenaustausch über gemeinsame virtuelle Plattformen



Beispiel Glasproduktion: Die Wünsche von Kunden und Geschäftspartnern können automatisch in den Produktionsprozess einfließen.

Je nach Auftrag formieren sich auf diese Weise virtuelle Ad-hoc-Organisationen aus dem Pool der an einem solchen Netzwerk beteiligten Unternehmen. Netzwerke können sich zwischen einem zentralen Auftraggeber und seinen Zulieferern und Dienstleistern bilden. Oft handelt es sich dann um ein Großunternehmen, das alle Abläufe koordiniert und für die Endmontage und den Kundenkontakt zuständig ist. Ebenso gut können auch mehrere gleichrangige Unternehmen ihre Fertigung über eine gemeinsame Projektplattform zu einem arbeitsteiligen Prozess zusammenschließen.

Auftragsspezifische Bildung virtueller Ad-hoc-Organisationen durch am Netzwerk beteiligte Firmen

Der besondere Nutzen vernetzter Produktion liegt aus Sicht der Unternehmen in der Möglichkeit, Produktions-, Logistik- und Geschäftsprozesse anhand unterschiedlicher Kriterien zu optimieren. Vor allem können bei der Optimierung von Produktionsvorgängen mehrere Kennzahlen gleichzeitig berücksichtigt und ihrem jeweiligen Optimum angenähert werden. Wichtige Optimierungskriterien sind eine hohe Sicherheit der Fertigungsprozesse sowie die zentralen Produktionskenngrößen Zeit, Qualität und Kosten. Von großer Bedeutung sind auch soziale oder ökologische Variablen, wie der Energie- und Materialverbrauch, der Personaleinsatz oder Nachhaltigkeit. Verändern sich wichtige Rahmenbedingungen des Fertigungsprozesses, ermittelt die Steuerungssoftware die günstigsten Alternativen unter Berücksichtigung aller Optimierungskriterien. Hersteller nutzen so beispielsweise günstige Stromtarife für energieintensive Fertigungen, die sie möglichst in Zeiten durchführen, in denen Solar- und Windkraftwerke wetterbedingt hohe Stromüberschüsse liefern. Mit Hilfe der Multiparameteroptimierung haben viele Unternehmen seit 2012 eine Produktivitätssteigerung von über 40 Prozent verwirklicht. Einige Vorreiterbranchen konnten die Effizienz ihrer Fertigung sogar um 50 Prozent steigern. Besonders spürbar hat die Optimierung in der vernetzten Produktion zur Senkung der Energiekosten beigetragen. Einige Unternehmen haben ihren Energieverbrauch um bis zu 60 Prozent reduziert.

Mehrwert: bedarfsorientierte flexible Optimierung von Wertschöpfungsprozessen anhand verschiedener Kriterien (Zeit, Kosten, Qualität, Ressourcenverbrauch etc.)

Steigerung der Produktivität um bis zu 50 %

Senkung des Energieverbrauchs um bis zu 60 %

Anders als noch im Jahr 2012 müssen Prozessoptimierungen nicht mehr mit zeitlichem Vorlauf geplant werden, sondern erfolgen unmittelbar im laufenden Fertigungsprozess. Kostenvorteile, die sich kurzfristig ergeben, werden auf diese Weise effizient genutzt. Wenn Kunden ihre Anforderungen plötzlich ändern, können die möglichen Prozessalternativen schnell ermittelt und von der Produktionssteuerung umgesetzt werden. Die Bedingungen, zu denen kurzfristig geänderte Kundenwünsche auch verwirklicht werden können, weist die Produktionssteuerung transparent und in nachvollziehbarer Weise aus. Auf dieser Basis können die Hersteller und ihre Kunden gemeinsam entscheiden, ob die Prozessänderung tatsächlich durchgeführt wird. Sogar wenn in enger zeitlicher Abfolge unterschiedliche Produkte hergestellt werden, kann die Fertigung für jedes einzelne Produkt nach anderen Kriterien optimiert werden. Bestimmte Zielkonflikte können jedoch nicht immer vermieden werden: So kann eine besonders günstige Lösung in der Logistik dem Ziel der Stromkostenoptimierung widersprechen. Dann ist die Entscheidung des Produktionsleiters gefragt: Wenn Energie der zentrale Kostenfaktor ist, werden meist niedrige Stromtarife den Ausschlag geben; gilt es Lager- und Logistikkosten zu senken, werden eher eng getaktete Prozessketten geplant. Solange Zielkonflikte ausbleiben, erfolgt die Optimierung im Jahr 2025 meist vollautomatisch.

In den Unternehmensnetzwerken übernehmen professionelle Teams das Plattform-Management. Die übergreifende Steuerungssoftware ist für sie das Werkzeug, mit dessen Hilfe sie die einzelnen Prozesse koordinieren. Die Aufgaben der Plattform-Teams gehen oft über die eigentliche Produktionssteuerung hinaus, vor allem wenn sie das gesamte Wertschöpfungsnetzwerk betreuen. Sie arbeiten mit Computer Aided Design-Anwendungen (CAD), ursprünglich Werkzeuge zur rechnergestützten Erstellung technischer Entwurfszeichnungen, mit denen im Jahr 2025 Produktionsprozesse bis ins kleinste Detail am Rechner geplant und getestet werden. Das Plattformteam erstellt aufbauend auf Empfehlungen des Steuerungsprogramms digitale Prozessmodelle, in denen sämtliche Produktionsressourcen und Fertigungsschritte genau aufeinander abgestimmt werden. In Szenarien prüft das Programm unterschiedliche Optimierungsvarianten im Wertschöpfungsnetzwerk auf Vor- und Nachteile und schafft so eine fundierte Entscheidungsbasis für das Plattform-Team. Die Arbeit mit der Planungssoftware ist dank der ansprechenden Benutzeroberfläche, deren 3-D-Design ursprünglich von Computerspielen inspiriert ist, sehr einfach. Das mit ihr gestaltete virtuelle Prozessmodell bietet ein haargenaues Abbild der Abläufe in der physischen Welt und wird später für die Feinsteuerung der Prozesse genutzt. Über das Prozessmodell verfolgt der Produktionsleiter unabhängig von der räumlichen Entfernung die konkrete Fertigung und greift bei Bedarf steuernd ein. Das virtuelle Prozessmodell wird überdies für das Controlling genutzt, indem der tatsächliche Fertigungsverlauf mit dem ursprünglichen Prozessmodell verglichen wird.

Prozessoptimierung zur Nutzung kurzfristiger Kostenvorteile während der Fertigung

Auflösung von Zielkonflikten durch Produktionsleiter

Professionelle Teams für das Plattform-Management

Design von Prozessen mit Hilfe virtueller Modelle

Einfache Bedienung der Planungssoftware

Prozesssteuerung und Controlling mittels Dual-Welt-Technologien

Das Management der Unternehmensnetzwerke über die virtuellen Plattformen profitiert stark von den vielfältigen Möglichkeiten eingebetteter Funkchips, den so genannten digitalen Produktgedächtnissen. Diese speichern Daten, die während des gesamten Prozesses von der Bestellung über die Fertigung bis zur Anlieferung beim Kunden nachverfolgt werden. Sie werden dazu genutzt, um Produkte und ihre Komponenten eindeutig zu identifizieren und jederzeit zu lokalisieren. Die Plattform-Teams können auf diese Weise Schwachstellen in den Lieferketten oder in den Fertigungsabläufen schnell aufdecken und beheben. Kommt es bei Produkten der gleichen Fertigungsreihe zu Funktionsstörungen, kann die Ursache, egal ob Materialfehler im Werkstück oder Schäden an den Maschinenwerkzeugen, punktgenau ermittelt werden. Das Plattform-Team kann daraus auf vermutlich ebenfalls betroffene Produkte schließen und diese schnell identifizieren. Teure Rückrufaktionen, die noch vor zwanzig Jahren auf Chargenebene erfolgen mussten, sind im Jahr 2025 nicht mehr notwendig.

Die Nutzungsmöglichkeiten der Vernetzung über cyber-physische Systeme gehen über die Produktion hinaus. Im Jahr 2025 ist in vielen Branchen die virtuelle Begleitung des gesamten Produktlebenszyklus üblich. Einzelkomponenten von Geräten und Maschinen sind mit digitalen Produktgedächtnissen ausgestattet, die deren „Historie“ von der Herstellung, über die Einsatzzeit bis zur Entsorgung im Detail dokumentieren. Auf dieser Basis bieten Hersteller vielfältige Dienstleistungen an, vor allem im Bereich Wartung und Reparatur von Anlagen. Zustand und Verschleiß von Komponenten werden während der gesamten Maschinenlaufzeit detailliert erfasst und der Wartungsbedarf dem Besitzer frühzeitig mitgeteilt. Auf dessen Wunsch können Ersatzteile sogar direkt vom Gerät bestellt werden.

Eindeutige Identifizierung und Lokalisierung von Produkten über digitale Produktgedächtnisse

Mehrwerte:

- Nachverfolgen der Produktions- und Logistikprozesse jedes Einzelprodukts
- Erheblich erleichterte Suche und Behebung von Fehlern
- Automatische Anforderung von Service (Wartung, Reparatur)

### Beispiel 4: Systemlösungen aus der Hand von Unternehmensnetzwerken

Im Jahr 2025 sind der Gehäusehersteller und die Firma für Speziallacke als Zulieferer Teil eines größeren Unternehmensnetzwerks, das sich um einen multinationalen Konzern gebildet hat. Das Netzwerk ist auf Herstellung und Vertrieb von Kontroll- und Wartungsrobotern spezialisiert. Ihm gehören unter anderem mehrere Software- und IT-Firmen, mehrere Logistikunternehmen und verschiedene Hersteller von automatischen Steuerungen und Sensoren an. Der Konzern verkauft seine Robotertechnik an einen breiten Kreis aus Industriekunden. Eine gemeinsame Plattform seines Netzwerks ist zuständig für die Verwaltung der Auftragseingänge und die Gesamtkoordination der Produktion. Das Plattform-Team arbeitet derzeit an einem Projekt für einen großen Chemiekonzern. Dieser benötigt für seine Werke in Europa Frühwarnsysteme und autonom agierende Roboter für Sicherheitsprüfungen, die für die Kontrolle von Röhren und Leitungen verschiedener Anlagentypen eingesetzt werden. Die Roboter müssen mit komplexen Sensorsystemen ausgestattet sein, die unter rauen Bedingungen, etwa extremen Temperaturen, einwandfrei funktionieren. Zudem soll die elektronische Steuerung energieautark funktionieren. Das Unternehmen für Speziallacke schlägt vor, die Robotergehäuse mit einer hitzebeständigen Schutzschicht mit speziellen Nanopartikeln auszustatten, die Umgebungsenergie, wie sie durch Extremtemperaturen entsteht, in Strom für eine autarke Versorgung der Steuerungssoftware umwandelt. Selbst wenn die Antriebsenergie aufgebraucht sein sollte, wäre der Roboter in der Lage, Informationen über seinen Zustand und seine Umgebung an die Sicherheitszentrale der Chemieanlage zu senden.

Ingenieure und Produktionsspezialisten aus den an der Plattform beteiligten Unternehmen bilden ein gemeinsames Projektteam, in dem entsprechend der Kundenwünsche ein virtuelles Modell des Roboters erstellt wird. Die Hersteller der Sensorsysteme wissen bald, dass sie die Fertigung ihrer Komponenten nach den üblichen Standardverfahren durchführen können. Für die Konzeption ihrer Produktion nutzen sie ein Baukastensystem, das komplett programmierte Fertigungsmodule bereitstellt, die nur noch für den jeweiligen Anwendungsfall spezifiziert werden müssen. Für den Lackspezialisten und den Gehäusehersteller sieht die Situation anders aus. Ihr Produkt ist neu, die Herstellungskosten sind hoch. Für sie ist es wichtig, die Beschichtung der Roboterhüllen so effizient wie möglich zu gestalten. Ihre Produktionstechnologen entwickeln ein bislang unbekanntes hocheffizientes Beschichtungsverfahren. Es gibt hierfür noch keine Prozessmodelle, die in das Steuerungsprogramm des Wertschöpfungsverbunds integriert werden könnten. Programmierer der am Netzwerk beteiligten IT-Dienstleister werden die erforderlichen Prozessmodule entwickeln. Ihre Aufgabe ist nicht

Konzeption und Koordinierung von Produktionsprozessen im Unternehmensnetzwerk

Einbettung einzelner KMU in größere Produktionsverbünde

Berücksichtigung der Kundenanforderungen

Produktkonzeption mit Hilfe virtueller Modellierung

Ermittlung der erforderlichen Produktionskapazitäten je Produktionspartner

Modellierung neuartiger Verfahren

Wettbewerbserfolg durch:

- Integrierte Systemlösungen aus Gerät und Service
- Integrierte Ansätze für Produktlebenszyklus inkl. Entsorgung



In Prozessmodellen werden Alternativen durchgespielt, um Störungen im Ablauf automatisch entgegenzuwirken oder Optimierungsmöglichkeiten zu finden.

einfach – sie müssen für einen bislang unbekanntem, noch nie in die Praxis umgesetzten Fertigungsablauf möglichst sämtliche Eventualitäten antizipieren. Nur dann kann die Produktion weitgehend selbstgesteuert gestaltet werden.

Das Netzwerk kann sich mit seinem Konzept gegen die Konkurrenten durchsetzen: Sein Angebot ist zwar teurer, aber es bietet eine innovative, maßgeschneiderte Lösung. Darüber hinaus bietet es ein umfangreiches Servicepaket an, das eine kontinuierliche Wartung der Geräte und regelmäßige Updates der Robotersoftware beinhaltet.

Das ausgewählte Unternehmensnetzwerk ist auch deshalb attraktiv, weil es einen integrierten Ansatz für alle Stationen des Produktlebenszyklus verfolgt. Beispielsweise sammelt das Netzwerk Daten, die während der Nutzung der Roboter anfallen, und nutzt sie für Verbesserungen des Produkts. Im Austausch für die Anwendungsdaten werden kostenlose Zusatzdienste, etwa die regelmäßige Reinigung von stark beanspruchten Robotern, bereitgestellt. Wird nach einigen Jahren der Austausch eines Roboters notwendig, nimmt das Netzwerk sein Produkt zurück. In speziellen Dekonstruktionsanlagen werden die Geräte in ihre Einzelteile zerlegt. Wiederverwertbare Komponenten werden entweder an die jeweiligen Zulieferer zurückgesendet oder direkt in neue Fertigungsprozesse eingebracht. Die Entsorgung der übrigen Komponenten übernehmen spezialisierte Dienstleister, die ebenfalls über die Plattform in das Wertschöpfungsnetzwerk eingebunden sind.

# Nebeneinander von offenen und geschlossenen Produktionsnetzwerken

## Kernbotschaften

1. Unternehmensnetzwerke haben große Verbreitung erlangt und prägen die deutsche Industrielandschaft. In ihnen herrscht hohe Transparenz und intensiver Wettbewerb.
2. KMU erhöhen ihre Wettbewerbschancen durch Beteiligung an mehreren Netzwerken.
3. Persönliche Vertrauensbeziehungen zwischen Geschäftspartnern sind weiterhin wichtig. Allerdings nutzen Unternehmen in einigen Branchen die Dienstleistungen von Kapazitätsbrokern, die als Service-Aggregatoren freie Kapazitäten zwischen Unternehmen und Netzwerken vermitteln.

Die deutsche Industrielandschaft ist im Jahr 2025 – auch im internationalen Vergleich – vielgestaltig und dynamisch. Sie ist vom Zusammenspiel großer multinationaler Konzerne und vieler kleiner und mittlerer Unternehmen geprägt, die zum Teil stark spezialisiert sind und ein hohes Innovationstempo vorlegen. Die Volkswirtschaft hat im vergangenen Jahrzehnt ein konstantes Wachstum durchlaufen. Im Hintergrund haben sich dabei einige beachtliche Veränderungen ergeben.

Viele Unternehmen sind an Netzwerken beteiligt, um zeitlich befristet Produktionskapazitäten auf virtuellen Produktionsplattformen zusammenzuführen. Im Kern basieren die Netzwerke auf gewachsenen Vertrauensbeziehungen zwischen den beteiligten Unternehmen und bleiben oft noch nach außen geschlossen. Immer wieder werden sie um neue Unternehmen ergänzt, die bislang unzureichend abgedeckte Spezialkompetenzen einbringen. Auf diese Weise pflegen die großen Hersteller zwar weiterhin ihre traditionellen Zulieferer, aber nutzen auch die Chance, regelmäßig ihr Netzwerk um neue Firmen zu erweitern. So können sie flexibel auf besondere Kundenwünsche in Einzelprojekten eingehen. Die höhere Transparenz in den Unternehmensnetzwerken hat den Wettbewerb in vielen Branchen intensiver als früher werden lassen. In geschlossenen Netzwerken können kleinere Unternehmen den Wettbewerb leichter bewältigen, als ihnen dies im offenen Wettbewerbsumfeld möglich wäre. Allerdings gehören viele Zulieferunternehmen gleich mehreren Netzwerken und Plattformen an und erhöhen so ihre Auftragschancen.

Die Flexibilität in der Vernetzung des gesamten Wertschöpfungsprozesses baut auf der hohen Geschwindigkeit des Datenaustauschs zwischen den beteiligten Unternehmen auf. Nur so können sie ihre Prozesse nahezu in Echtzeit untereinander koordinieren. Die Vernetzung setzt eine wirksame Bekämpfung zahlreicher Sicherheitsrisiken voraus: Industriespionage, Betrug, Manipulation und sogar terroristische Aktivitäten sind seit langem eine Bedrohung für vernetzte Systeme. Während geschlossene Netzwerke durch eigens konstruierte Sicherheitsarchitekturen ohne größere Schwierigkeiten geschützt werden können, arbeiten die in offenen Netzwerken

Zusammenspiel von Großkonzernen und innovativen KMU

Starke Verbreitung von Netzwerken und virtuellen Produktionsplattformen

Vertrauensbasierte Kooperation weiterhin wichtig

hohe Transparenz, intensiver Wettbewerb innerhalb der Netzwerke

Mehrfachmitgliedschaften

Vernetzung und Sicherheit

Datenaustausch in Echtzeit eher in geschlossenen Netzwerken

erforderlichen Sicherheitsanwendungen immer wieder zu Lasten der Echtzeitfähigkeit. Bevor Unternehmen ihre Server für Daten aus dem Internet der Dinge öffnen können, müssen diese in abgeschotteten Serverabteilungen auf Schadsoftware analysiert werden. Diese Datenquarantäne führt unweigerlich zu zeitlichen Verzögerungen und reduziert die Optimierungspotenziale einer Datenkommunikation in Echtzeit. Die Gestaltung eines Netzes, das einen schnellen und zugleich sicheren Datenaustausch zwischen allen Netzteilnehmern garantiert, bleibt auch im Jahr 2025 eine große Herausforderung.

Zeitaufwendigere Sicherheitslösungen für offene Plattformen

Den Schritt vom geschlossenen Netzwerk ins frei zugängliche Web wagt so mancher Unternehmer daher auch im Jahr 2025 noch nicht. Allerdings arbeiten viele Unternehmen mit unabhängigen Kapazitätsbrokern zusammen. Das vor vielen Jahren im Transportwesen entwickelte Konzept wird im Jahr 2025 auch für den Handel mit industriellen Leistungskapazitäten genutzt. Die Broker arbeiten im Prinzip als Service-Aggregatoren: Unternehmen können ihnen freie Kapazitäten in ihren Fertigungsanlagen oder in Hinblick auf ihr Personal melden. Die Broker sammeln die Informationen und vermitteln sie an Unternehmen, die aufgrund von Auftragsspitzen an die Kapazitätsgrenzen kommen. Sie haben die Möglichkeit, Produktionsanlagen für begrenzte Zeiträume „auszuleihen“ oder Fertigungsleistungen als Dienste Dritter hinzuzukaufen. Neben freien Fertigungskapazitäten vermitteln Broker auch Dienstleistungen, etwa im Bereich Wartung oder Softwareentwicklung. Viele Broker bieten ihren Kunden an, die Informationen über das Internet für automatisierte Anfragen bereitzustellen. Vor allem Hersteller von Standardprodukten wie Leiterplatten, Sensoren oder mobilen Endgeräten sehen hierin eine interessante Option.

Zusammenarbeit mit Kapazitätsbrokern

Die Möglichkeiten zur flexiblen Kombination von Produktionskapazitäten und Fertigungs-Know-how sind erheblich vielfältiger als vor zwanzig Jahren. Allerdings wird die in Hinblick auf Effizienz, Zuverlässigkeit und Verfügbarkeit gewinnbringende Koordinierungsleistung nur zum Teil selbststeuernden Softwarelösungen überlassen. Viele Unternehmen wollen langfristig bewährte Partnerschaften gerne auch dann fortsetzen, wenn dies in Hinblick auf die Kosten nicht die günstigste Lösung ist. Letztlich ist der Erfolg einer geschäftlichen Partnerschaft fast immer auf die vertrauensvolle Zusammenarbeit der Mitarbeiter aus den beteiligten Unternehmen gegründet, ein Parameter, der sich rechnerisch nicht optimieren lässt.

Geschäftliche Partnerschaften auf Basis persönlicher Kontakte weiter wichtig



Die Kompetenz der Mitarbeiter ist ein wichtiger Faktor in der Auswahl von Geschäftspartnern und der Pflege von Kooperationsnetzen

## Arbeitskomfort durch intelligente Assistenzsysteme

### Kernbotschaften

1. CPS als Grundlage der Vernetzung von Produktionsprozessen und der Entwicklung „intelligenter“ Maschinen bringen den Mitarbeitern in der Industrie viele Vorteile. Viele Arbeitsprozesse werden leichter und effizienter. Lernprozesse können situationsgerecht erfolgen.
2. Von Assistenzfunktionen profitieren gerade ältere Arbeitnehmer, deren Anteil an den Industriebeschäftigten zunimmt. Die Flexibilität der Prozesse trägt wesentlich zu einer besseren Vereinbarkeit von Familie und Beruf bei.
3. Die Mitarbeiter unterschiedlicher Kompetenzbereiche im Unternehmen interagieren im Alltag stärker miteinander, der Wissensaustausch ist intensiv, nicht zuletzt weil die jeweilige Expertise für die kundenfreundliche Gestaltung des Produktlebenszyklus wichtig ist.
4. Im Wettbewerb um Fachkräfte bieten die Unternehmen ihren Mitarbeitern viele Vorteile, darunter umweltfreundliche Fabriken in Siedlungsnähe, Beteiligung an dezentral in der Fabrik erzeugter Energie oder Weiterbildungsmöglichkeiten.

Cyber-physische Systeme haben die Produktionsautomatisierung stark vorangetrieben. In vielen Branchen – von der Konsumgüterindustrie bis hin zu Herstellern von Kleingeräten, Fahrzeugen oder Maschinenbauteilen – gilt der große Bewegungs- und Handlungsspielraum der Fertigungsroboter der jüngeren Generationen ebenso wie die Flexibilität der Produktionsnetzwerke als wesentliche Voraussetzung für die Wettbewerbsfähigkeit der Unternehmen.

Der allgegenwärtige Einsatz cyber-physischer Systeme prägt im Jahr 2025 den Arbeitsalltag vieler Menschen. Für jüngere Arbeitnehmer, die mit intelligenten Systemen aufgewachsen sind, ist der Umgang damit eine Selbstverständlichkeit. Für ältere Menschen jedoch, die sich dem Rentenbeginn nähern, war die Umstellung auf die neuen Maschinen und Anlagen nicht immer einfach. Der Eindruck einer zunehmenden Verdrängung des Menschen aus seinen Aufgabenfeldern hat mitunter Widerstände ausgelöst. Doch nach und nach haben die älteren Arbeitnehmer in der Produktion, aber auch in anderen Unternehmensbereichen gelernt, die Fähigkeiten intelligenter Systeme als Entlastung zu sehen und zu ihrem Vorteil zu nutzen.

So ermöglicht die intelligente Prozessvernetzung die flexible Steuerung des Personaleinsatzes. Vor allem ältere Mitarbeiter wissen das zu schätzen; sie erinnern sich noch an Zeiten, als flexible Arbeitszeitmodelle für viele Unternehmen ein ernstes betriebswirtschaftliches Problem darstellten. Im Jahr 2025 ist eine flexible Personaleinsatzplanung ganz einfach: Muss sich beispielsweise ein Mitarbeiter aus der laufenden Produktion unerwartet

CPS-gestützte Automatisierung als Garant der Wettbewerbsfähigkeit

Akzeptanz cyber-physischer Systeme bei älteren Arbeitnehmern

Flexible Arbeitszeiten durch Vernetzung: Vereinbarkeit von Familie und Beruf

um sein Kind kümmern, kann die Produktionssteuerung in kürzester Zeit eine Vertretung oder eine alternative Prozessvariante vorschlagen und den Mitarbeiter für die benötigte Zeit freistellen.

Die Beschäftigten in der Fertigung erleben auch den Einsatz cyber-physischer Systeme in ihrem Arbeitsumfeld als große Hilfe. Fertigungsroboter, Werkmaschinen und ganze Anlagen sind mit ihnen ausgestattet. Menschen arbeiten im Jahr 2025 in intelligenten Produktionsumgebungen, in denen sie über multimodale Assistenzsysteme direkt mit Maschinen interagieren und Informationen austauschen. Multimodal heißt, dass die Maschinen die Anweisungen der Arbeiter „verstehen“ – unabhängig davon, ob sie sprachlich oder mit Hilfe von Gesten erteilt werden. Der Austausch zwischen beiden erfolgt ganz intuitiv: Ein Monteur muss nur in eine bestimmte Richtung blicken und nach dem Stand der Fertigung fragen, damit das Assistenzsystem den Blick verfolgt, die Situation erkennt und einen aktuellen Lagebericht übermittelt.

### Beispiel 5: Mobile Serviceroboter in der Produktion

In der Fertigung des Gehäuseherstellers steuern cyber-physische Systeme auch den Einsatz frei beweglicher Roboter in der Fabrikhalle. Noch vor einigen Jahren waren Produktionsroboter wegen ihrer starren Bewegungsabläufe und der enormen Kraftentwicklung ihrer Glieder in eigenen Roboterzellen eingesperrt. Im Jahr 2025 bewegen sich die Mitarbeiter in ihrer unmittelbaren Umgebung. Möglich ist dies durch eine neue Leichtbautechnik und vor allem durch cyber-physische Systeme: Über Sensoren nehmen Roboter akustische und optische Daten auf, interpretieren sie und leiten daraus Handlungen ab. Faktisch können sie „hören“ und „sehen“: Sie erkennen die Arbeiter in ihrem Umfeld und passen sich in ihrem Verhalten an deren Bewegungen an. Wenn ihnen ein Arbeiter zu nahe kommt, weichen sie selbstgesteuert aus. Der Arbeiter kann einen Serviceroboter herbeiwinken und ihm sprachliche Befehle erteilen. Dieser reicht ihm Werkzeuge oder hilft beim Transport von schweren Werkstücken von einer Fertigungsstation zur nächsten. Der Serviceroboter assistiert dem Arbeiter in der Bearbeitung des Werkstücks, indem er das Gehäuse dreht und wendet, so wie es der Mitarbeiter gerade wünscht. Dieser kann vom Roboter zusätzliche Informationen aus der Produktionssteuerung abrufen, etwa Hinweise und Empfehlungen zur Verwendung von Spezialwerkzeugen, die nur selten zur Anwendung kommen

Assistenzfunktionen haben die zielgerichtete Suche und Verwendung von Informationen in allen Unternehmensbereichen erheblich verbessert. Die Mitarbeiter haben von Terminals, die an allen wichtigen Stellen in der Fabrikhalle installiert sind, oder von mobilen Geräten aus Zugang zu den für sie relevanten Informationen. In den meisten Fällen bevorzugen es Mitarbeiter, ihre Fragen direkt an einen Serviceroboter oder ein Assistenzsystem zu richten, der bzw. das die Antworten generiert oder Entscheidungsalternativen aufbereitet und auf Wunsch bewertet.

CPS-gestützte Maschinen als Unterstützung für den Mitarbeiter

Multimodale, intuitive Interaktion mit Maschinen und Produktionsumgebungen

Mobile Leichtbauroboter in der Fertigungshalle

Roboter als Assistent des Menschen

Relevante Informationen überall zugänglich

In früher körperlich oder kognitiv anstrengenden Aufgaben sind im Jahr 2025 intelligente Maschinen eine wertvolle Unterstützung für Arbeitnehmer. Mit ihnen können Produktionsabläufe so gestaltet werden, dass die Mitarbeiter nicht überlastet werden. Dies hat die Beschäftigungschancen älterer Arbeitnehmer deutlich erhöht: Seit einigen Jahren steigt in der Produktion der Beschäftigungsanteil der Mitarbeiter in der Altersgruppe über 50.

Erhöhter Beschäftigungsanteil  
älterer Arbeitnehmer

In einigen Branchen ist eine vollständige Automatisierung der Produktion nicht möglich und nicht sinnvoll. Die „Intelligenz“ der Maschinen ist immer auf vordefinierte Lösungsoptionen beschränkt. Alle Aufgaben, die nur mit Hilfe von Kreativität oder ästhetischem Empfinden gelöst werden können, sind ohne gut ausgebildete Fachleute und erfahrene Mitarbeiter nicht zu bewältigen. Im Entwurf von Produkten und in der Planung von Wertschöpfungsprozessen ist Kreativität ebenso notwendig, wie in der Installation und Konfiguration von Maschinen und Komponenten in spezifischen Anwendungen.

Kreativität des Menschen unverzichtbar

Innerhalb der Unternehmen und Unternehmensnetzwerke erleben die Mitarbeiter die vielfältigen Möglichkeiten vernetzter Arbeitsprozesse beim täglichen Austausch zwischen Unternehmensbereichen und weltweit verteilten Standorten. Dies machen sich die für das Innovationsmanagement zuständigen Strategieabteilungen zunutze, die gezielt das Know-how und die Kreativität der Mitarbeiter aus verschiedenen Regionen und Ländern zusammenführen. In vielen Firmen wird jedem Mitarbeiter monatlich ein bestimmtes Zeitbudget zugestanden, um Verbesserungsvorschläge zu entwickeln und sie den unmittelbaren Vorgesetzten, aber auch der Unternehmensführung zu unterbreiten. In firmeneigenen virtuellen Innovationsportalen können die Leiter unterschiedlicher Kompetenzfelder ihre Probleme vorstellen und um Lösungsvorschläge der Kollegen bitten. Ebenso können Mitarbeiter in eigener Initiative Ideen zur Verbesserung von Abläufen einbringen. Viele Firmen verpflichten ihr Management, Mitarbeitervorschläge sorgfältig zu prüfen und zu bewerten. Auf diese Weise wird sichergestellt, dass gute Ideen nicht im Sande verlaufen. Die Transparenz des Verfahrens stellt sicher, dass die Mitarbeiter am Erfolg der Umsetzung innovativer Ideen angemessen beteiligt werden.

Gezielte Einbindung der Mitarbeiter in das Innovationsmanagement

Vernetzte Produktion verlangt von den Mitarbeitern, über das eigene Kompetenzfeld hinauszudenken und ihre Arbeit im Zusammenhang der gesamten Produktion zu sehen. Die Mitarbeiter unterschiedlicher Fertigungsbereiche arbeiten eng zusammen, um einzelne Prozessschritte zu planen und nachzusteuern. Fachliche und soziale „Schnittstellenkompetenz“ ist daher das Zauberwort der Personalabteilungen. Das intensive Miteinander ist nicht auf die Fertigung allein beschränkt. Es schließt die Entwicklung, den Vertrieb und vor allem die Service-Abteilungen ein. Deren Erfolg beruht zu einem Großteil auf ihrer engen Anbindung an die Produktion. Während früher die Herstellung margenschwacher Produkte oft allzu schnell in Niedriglohnländer verlagert wurde, ist diese Strategie inzwischen als

Vernetzung der Mitarbeiter verschiedener Produktionsbereiche

Vernetzung zwischen Entwicklung, Vertrieb und Service als Erfolgsfaktor

Fehler erkannt worden: Die für viele komplexe Dienstleistungen benötigten Kompetenzen erfordern den regelmäßigen Austausch mit Erfahrungen aus der Produktionspraxis. Daher forcieren die meisten Unternehmen das Entstehen von Teamgeist und eines Gefühls gemeinsamer Verantwortung aller Mitarbeiter in Produktion, Service und Vertrieb.

Enge Anbindung des Service an die Produktion

Im Wettbewerb um Fachkräfte sind die Unternehmen bemüht, ihren Beschäftigten neben attraktiven Arbeitsbedingungen weitere Vorteile zu bieten. Hierzu zählen umweltfreundliche, leicht erreichbare Arbeitsstätten. Unternehmen machen sich daher die Vorteile ökologisch umfassend optimierter Produktionstechnologien zunutze: Die äußerst niedrigen Emissionswerte moderner Anlagen erlauben es bereits seit einigen Jahren, Fabriken im urbanen Umfeld zu errichten. In vielen Städten erlebt daher das einstige Miteinander von Wohnen und Arbeiten eine kleine Renaissance. Die Nähe der Fabrik zur eigenen Wohnung empfinden viele Mitarbeiter vor allem als Entlastung: Sie verbringen weniger Zeit mit dem täglichen Weg zur Arbeit und sparen Geld. Und im Alltag profitieren sie von kurzen Distanzen, die es ihnen erlauben, zur Mittagspause nach Hause zu gehen. Ein weiterer Vorteil der urbanen Produktion ist der Ausstattung von Fabriken mit dezentralen Energieproduktionsanlagen zu verdanken: Von den zeitweise auftretenden Energieüberschüssen profitieren die umliegenden Bewohner, indem sie den ungenutzten Strom zu besonders günstigen Tarifen erhalten. Was vor 15 Jahren noch als Ausdruck eines innovativen Unternehmertums galt, ist heute selbstverständlich.

Umweltfreundliche Produktion als Voraussetzung für Fabriken in Siedlungsnähe

Dezentrale Energieproduktion

Die Firmen unternehmen zudem intensive Anstrengungen in der betrieblichen Weiterbildung ihrer Fachkräfte. Studium und Ausbildung legen ein gutes Fundament, doch viele Spezialkenntnisse werden erst im Zuge der praktischen Tätigkeit erworben. Der Trend zur Spezialisierung in Aus- und Weiterbildung ist zwar weiterhin ungebrochen, doch liegen Spezialkompetenzen jetzt in den Schnittmengen der einst dominanten Fachrichtungen. Oft ist daher die Bildung integrierter Teams entscheidend. Der Umgang mit der Software für intelligente Maschinen prägt den Arbeitsalltag in vielen Berufen. IT-Kompetenzen benötigen etwa die Elektroniker für Automatisierungstechnik, die Elektroniker für Geräte und Systeme, die Mechatroniker oder die Produktionstechnologen. Ein ähnliches Bild bieten die Ingenieurwissenschaften, in denen der hohe Bedarf an transdisziplinärer Kooperation über Fachgebiete hinweg auch das Aufkommen neuer Masterstudiengänge begünstigt hat. In der Informatik hat sich die Zahl der produktionsbezogenen Spezialisierungsrichtungen in den letzten zehn Jahren deutlich erhöht. Umgekehrt gehören informationstechnische Lehrangebote im Jahr 2025 selbstverständlich zum Ingenieursstudium. In der Industrie des Jahres 2025 sind breite IT-Kenntnisse gefragt, um die Modellierung komplexer Prozesse und die domänenübergreifende Integration verschiedener Systeme bewältigen zu können.

Neue Ausbildungs- und Studiengänge

Verstärkter Bedarf an IT-Kenntnissen

## Geschäftsfelder in der vernetzten Industrie

### Kernbotschaften

1. Die Automatisierungsdividende wird vor allem genutzt, um Mitarbeiter stärker in der Kundenintegration einzusetzen.
2. Die vernetzte Industrie schafft viele neue Geschäftsmöglichkeiten – zum einen durch individualisierte Produkte und Angebote, die sich über den gesamten Produktlebenszyklus bis zur Entsorgung erstrecken, zum anderen für die Anbieter von Produktionstechnologien, inklusive Software- und Sicherheitsindustrie.
3. Industrie 4.0 begründet neue Leitmärkte für deutsche Exportunternehmen im Maschinen- und Anlagenbau.

Die Automatisierungsfortschritte der letzten Dekade haben nur wenige Unternehmen allein für Kostensenkungen genutzt. Stattdessen haben sie frei gewordene Kapazitäten verstärkt in der Kundenintegration eingesetzt. Im Jahr 2025 ist der intensive Austausch zwischen Industriekunden und Herstellern in vielen Branchen üblich. Innovationsprozesse laufen mit hoher Geschwindigkeit; neue Ideen werden im Vergleich zu früher schnell von Unternehmen aufgenommen und verarbeitet. Viele Firmen nehmen nicht nur Anregungen und Ideen ihrer Kunden auf, sondern beteiligen sie direkt an der Entwicklung neuer Produkte und Funktionalitäten.

Kundenintegration stark ausgebaut

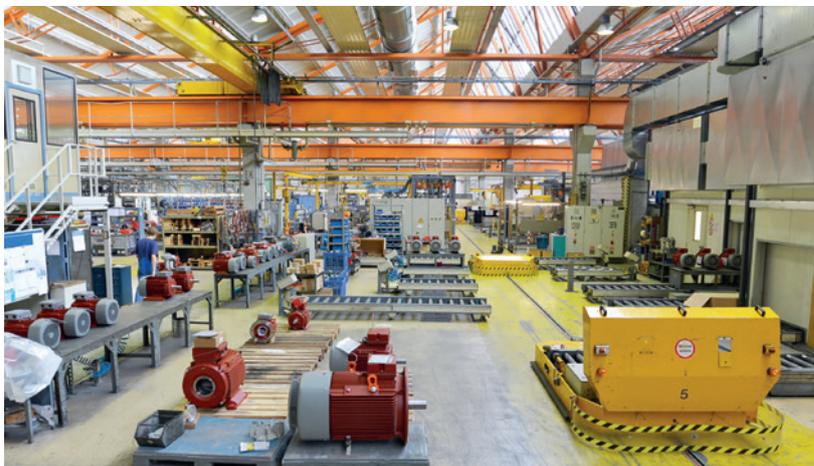
Die Individualisierung der Fertigung hat den Herstellern aus Deutschland zahlreiche neue Märkte erschlossen. Auf individualisierte Produkte gegründete Geschäftsmodelle waren vor wenigen Jahren noch weitgehend auf Industriekunden, besonders im Anlagen- und Großmaschinenbau, und im Konsumgüterbereich auf Premiumprodukte beschränkt. Im Jahr 2025 ist es in vielen Niedrigpreissegmenten selbstverständlich, individuelle Kundenwünsche zu bedienen. Viele Verbraucher machen von den Möglichkeiten Gebrauch, anhand einer Auswahl vorgegebener Parameter ihre Shampoos, Küchen, Kleidungsstücke oder Nahrungsmittel im Internet nach ihren individuellen Wünschen zu konfigurieren. Dank der hohen Variantenzahl, die intelligente Produktionsanlagen ermöglichen, folgen Hersteller mühelos dem unverändert starken Trend zu häufigen Modellwechseln und Markteinführungen.

Starke Verbreitung von individualisierten Produkten, da kostengünstig

Eine der großen Wachstumsbranchen in Deutschland bildet die Gesamtheit der IT-Unternehmen, darunter insbesondere IT-Dienstleister, Systemintegratoren und Softwareentwickler, die sich in Nischenmärkten auf die Modellierung branchenspezifischer Prozessmodule konzentrieren. Besonders erfolgreich sind Anbieter von Sicherheitslösungen für die digital vernetzte Welt. Die vernetzte Produktion hat sich nur durchsetzen können, weil zeitgleich komplexe Sicherheitsarchitekturen für immobile Netzteilnehmer wie Fabrikanlagen sowie ausgeklügelte Lösungen zum Schutz mobiler Endgeräte, von Cloud-Diensten und der Datenkommunikation über das Internet entwickelt worden sind. Die Branche hat vom hohen Niveau

Wachstumsbranche IT

Anbieter von Sicherheitstechnologien



Der intensive IT-Einsatz in der Produktion erfordert auch mehr IT-Kompetenzen im Betrieb.

der Sicherheitsstandards in Deutschland, gerade auch auf dem Gebiet des Datenschutzes, profitiert. Frühzeitig sind so Anreize für die notwendigen Investitionen in Sicherheitstechnologien gesetzt worden. Zusammen mit den skandinavischen Ländern ist Deutschland im Jahr 2025 führend in der Sicherheitstechnik für das Internet der Dinge.

Eine weitere Branche hat vom Wandel der Produktionstechnik profitiert: die Entsorgungswirtschaft. Auf Basis der digitalen Produktgedächtnisse hat sich ein lukratives Geschäft im Recycling entwickelt. Selbst komplizierte technische Geräte, wie Smartphones oder Computer, werden im Jahr 2025 zu geringen Kosten in ihre Komponenten zerlegt und entsorgt. Technologisch komplexe Verwertungsverfahren erlauben es, Wertstoffkreisläufe zu schließen und zu optimieren. Die damit verbundene Kostensenkung ist betriebswirtschaftlich effizient und zugleich ein wirksamer Beitrag zur sorgsamem Ressourcennutzung.

Entsorgungswirtschaft

Neben den Möglichkeiten der flexiblen Fertigung von Maschinenbauteilen ist es im Jahr 2025 ein übliches Geschäftsmodell, Maschinen in ihrer Grundkonstruktion möglichst anwendungsoffen zu konzipieren und erst über Software-Applikationen für bestimmte Anwendungen zu spezifizieren. Unternehmer, die eine Maschine erworben haben, können später Spezialfunktionalitäten über den App-Store des Maschinenbauers herunterladen. Apps sind denkbar für Steuerungs- oder Prüffunktionen, aber auch für die Gestaltung individueller Benutzeroberflächen. Weit über die früher üblichen After-Sales-Leistungen hinaus erzielt der deutsche Maschinenbau hier zusätzliche Einkünfte. Die deutsche Industrie hat ihre traditionelle Stärke, ein Gesamtpaket aus Produkt und begleitendem Service anzubieten, ausbauen können. Denn die Vernetzung mittels cyber-physischer Systeme hat den Spielraum für Systemlösungen massiv erweitert. Darüber hinaus sind deutsche Hersteller führende Anbieter für intelligente Fabriken und vernetzte Produktionsanlagen auf Basis cyber-physischer Systeme. Im Jahr 2025 ist Deutschland auf dem Weltmarkt der Leitanbieter von intelligenten Lösungen für das Internet der Dinge.

Anwendungsoffen konzipierte Maschinen: App-Stores für Spezifizierungssoftware

Intelligente Systemlösungen

Deutsche Anbieter führend bei intelligenten Fabriken und vernetzten Produktionssystemen



## Impressum

### **Herausgeber**

Bundesministerium für Bildung und Forschung Referat  
IT-Systeme  
53170 Bonn

### **Stand**

Oktober 2013

### **Gestaltung**

Projektträger  
im Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V.  
Softwaresysteme und Wissenstechnologien  
Rosa-Luxemburg-Str. 2  
10178 Berlin

### **Bildnachweis**

red150770 - Fotolia.com (Titelbild), industrieblick - Fotolia.com  
(Seiten 15, 25, 33), Kadmy - Fotolia.com  
(Seiten 19, 21), ehrenberg-bilder - Fotolia.com (Seite 27)

Diese Druckschrift wird im Rahmen der Öffentlich-keitsarbeit vom Bundesministerium für Bildung und Forschung unentgeltlich abgegeben. Sie ist nicht zum gewerblichen Vertrieb bestimmt. Sie darf weder von Parteien noch von Wahlwerberinnen/ Wahlwerbern oder Wahlhelferinnen/ Wahlhelfern während eines Wahlkampfes zum Zweck der Wahlwerbung verwendet werden. Dies gilt für Bundestags-, Landtags- und Kommunalwahlen sowie für Wahlen zum Europäischen Parlament. Missbräuchlich ist insbesondere die Verteilung auf Wahlveranstaltungen und an Informationsständen der Parteien sowie das Einlegen, Aufdrucken oder Aufkleben parteipolitischer Informationen oder Werbemittel. Untersagt ist gleichfalls die Weitergabe an Dritte zum Zwecke der Wahlwerbung. Unabhängig davon, wann, auf welchem Weg und in welcher Anzahl diese Schrift der Empfängerin/dem Empfänger zugegangen ist, darf sie auch ohne zeitlichen Bezug zu einer bevorstehenden Wahl nicht in einer Weise verwendet werden, die als Parteinahme der Bundesregie-rung zugunsten einzelner politischer Gruppen verstan-den werden könnte.



Bundesministerium  
für Bildung  
und Forschung

