

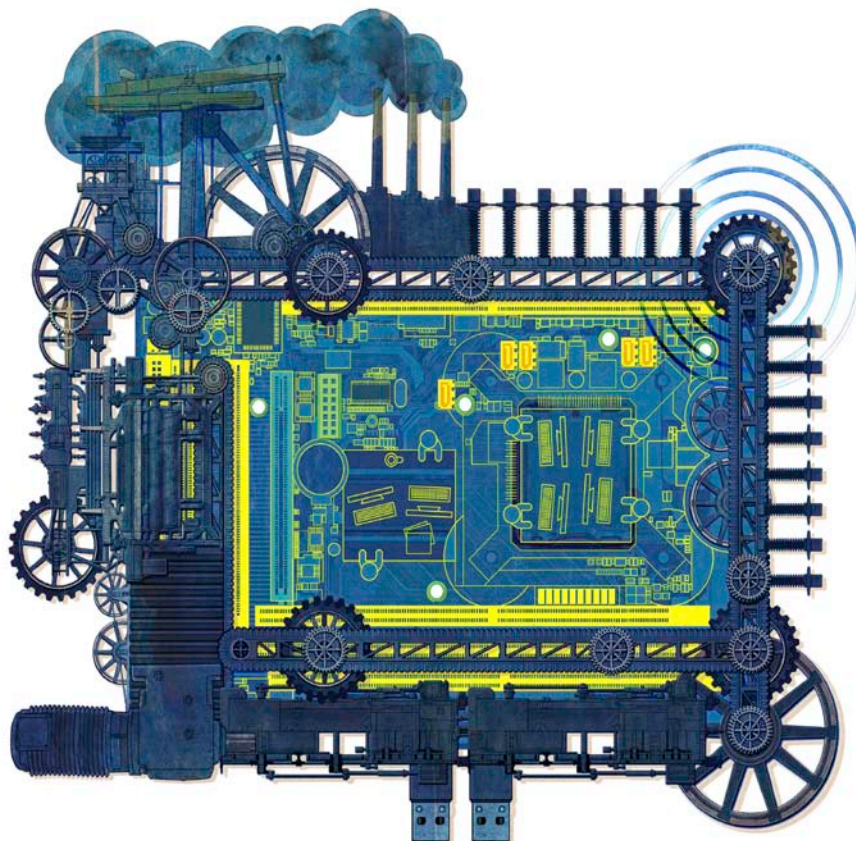
Industrie 4.0

Sind wir schon da?

Die Dampfmaschine markiert den Beginn der ersten industriellen Revolution. Sie hat nicht nur die Produktion, sie hat die Welt verändert.

Heute, rund 250 Jahre später, steht der Begriff „Vierte Industrielle Revolution“ für Veränderungen, die uns eine weitgehend autonom und dezentral agierende Produktion mit „cyber-physischen“ Systemen bringen wird.

Eine Reise durch die Zeit und die Produktionstechnik – wie sie war, wie sie sein wird, was wir dazu beitragen.



Illustrationen: Gorski

Die industriellen Revolutionen:

I. Es qualmt und hämmert

„Ich habe das Merkwürdigste gesehen, was die Welt dem staunenden Auge zeigen kann, ich habe es gesehen und staune immer noch.“ Heinrich Heine war 1828 beim Anblick Londons überwältigt. Menschenströme, rauchende Fabrikschornsteine, prachtvolle Bauten und ärmliche Arbeiterviertel – alles vereint in einer Stadt. Aber nicht nur der Anblick der rasant wachsenden Städte war neu. Auch die Geräusche waren es vielerorts: „Das Knarren der Räder, die ihre gezahnten Ränder gegeneinander reiben, das Zischen des Dampfes, der dem Kessel entweicht, das gleichmäßige Hämmern des Webstuhles ... dies sind die einzelnen Geräusche, die das Ohr treffen“, beschreibt der französische Politiker Alexis Tocqueville 1835 die englischen Städte. Auch den Geruch verschweigt er seinen Zeitgenossen nicht: „Inmitten dieser stinkenden Kloake hat der große Strom der menschlichen Industrie seine Quelle, von hier aus wird er die Welt befruchten.“

Treibende Kraft für die umwälzenden gesellschaftlichen Veränderungen ist die Produktionstechnik: Die erste industrielle Spinnmaschine „Spinning Jenny“ markiert ab 1764 den Beginn der rasanten technologischen Veränderungen. Sie wird kontinuierlich weiterentwickelt, bis 1830 mit dem „Selfaktor“ die erste Werkzeugmaschine ohne menschliche Antriebskraft Garn produziert – betrieben nur mit Wasser- oder Dampfkraft.

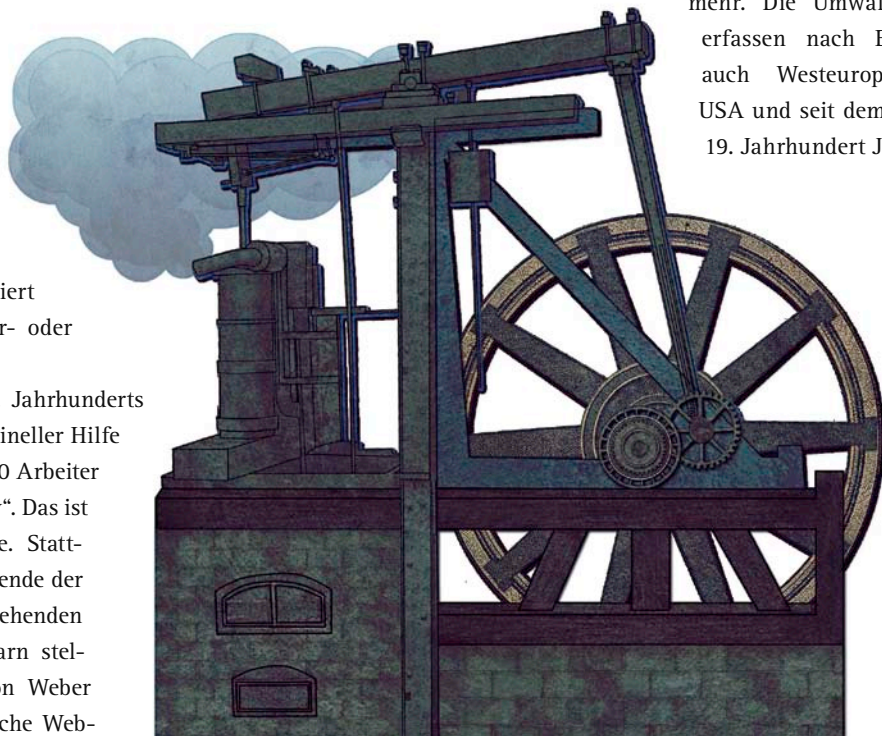
Schon zu Beginn des 19. Jahrhunderts kann ein Spinner mit maschineller Hilfe soviel Garn erzeugen wie 200 Arbeiter vor der Erfindung der „Jenny“. Das ist das Ende der Heimindustrie. Stattdessen finden sich bald Tausende der Maschinen in den neu entstehenden Spinnfabriken. Aus dem Garn stellen fast eine Viertel Million Weber Textilien her. Der Mechanische Web-

stuhl, 1784 erfunden, stürzt auch sie in Existenznöte. Viele kämpfen erbittert gegen die neue Maschine.

Die doppelt wirkende Dampfmaschine: universell einsetzbar

Die günstig produzierten Textilien machen 1830 mehr als die Hälfte der englischen Exporte aus, und in den 100 Jahren zwischen 1760 und 1860 steigt die Menge der in England verarbeiteten Baumwolle nahezu um das Hundertfünzigfache.

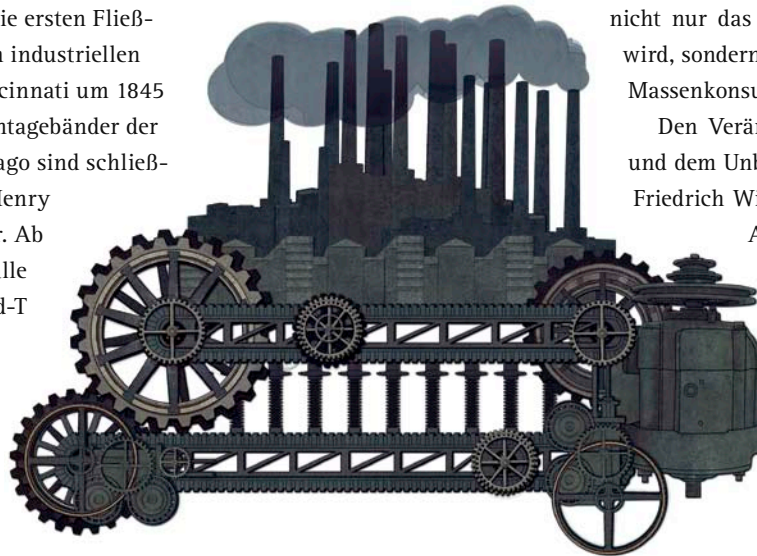
Die „doppelt wirkende Dampfmaschine“, von James Watt 1782 entwickelt, ist neben der Spinning Jenny und dem mechanischen Webstuhl die entscheidende produktionstechnische Errungenschaft. Sie ist universal: Sie treibt auch Mühlen, Walzwerke, Pumpen und andere Maschinen an. Sie befeuert die stark steigende Eisen- und Stahlproduktion, den massiven Ausbau der Infrastruktur und ist schließlich auch Voraussetzung für die erste Dampfeisenbahn. Mitte des 19. Jahrhunderts ist England kein Agrarstaat mehr. Die Umwälzungen erfassen nach England auch Westeuropa, die USA und seit dem späten 19. Jahrhundert Japan.



II. Autos im Minutentakt

In Deutschland treibt in der Phase nach der ersten industriellen Revolution vor allem eine starke Forschung die technologischen Entwicklungen weiter voran. Diese Forschung wird gegen Ende des 19. Jahrhunderts nicht nur an Hochschulen, sondern auch in Unternehmen verankert. Die Chemische Industrie und die Elektrotechnik entstehen, der Maschinenbau entwickelt sich weiter.

In Amerika markiert das Fließband einen zweiten bedeutsamen Technologieschub. Für amerikanische Historiker steht es für die zweite industrielle Revolution. Es ist das Sinnbild für Automatisierung und Massenproduktion. Die ersten Fließbänder werden in den industriellen Schlachthöfen in Cincinnati um 1845 eingesetzt; die Demontagebänder der Schlachthöfe in Chicago sind schließlich das Vorbild für Henry Fords Montagebänder. Ab 1913 rollt in Detroit alle drei Minuten ein Ford-T vom Band. Bis 1927 baut Ford 15 Millionen davon – die „Tin Lizzy“, die „Blechliesel“, ist



lange das meistverkaufte Auto der Welt. Erst 1972 muss sie den Titel an den VW Käfer abgeben.

Durch die Fließbandproduktion sinkt der Preis der Tin Lizzy auf nicht einmal die Hälfte: von zuvor 850 auf 370 Dollar. Dafür gibt es keine Extras. „Jeder Kunde kann ein Auto in jeder gewünschten Farbe haben, so lange es schwarz ist“, soll Ford gesagt haben. Nicht nur der niedrige Preis steigert den Absatz der Ford-Modelle, auch die vergleichsweise hohen Löhne und die Gewinnbeteiligung, die Ford seinen Arbeitern zahlt. Der Ford-T wird so auch für seine Erbauer erschwinglich. Kredite tragen dazu bei, dass nicht nur das Auto zum Massenprodukt wird, sondern dass aus Käufern langsam Massenkonsumenten werden.

Den Veränderungen der Arbeitswelt und dem Unbehagen gegenüber der von Friedrich Winslow Taylor eingeführten Aufteilung der Arbeit in kleinste, monotone Arbeitsschritte hat Charly Chaplin mit seinem Fließbandarbeiter in „Modern Times“ ein filmisches Denkmal gesetzt.

III. Digital ist besser

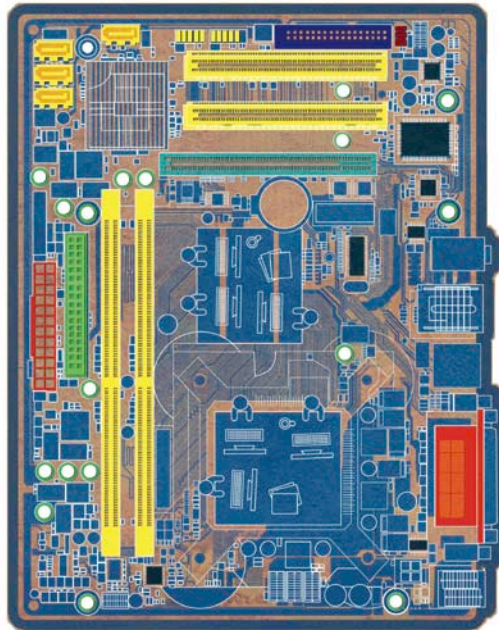
Wie sehr sich die Welt durch Computer, Mikroprozessoren und elektronische Datenverarbeitung verändert hat, haben wir selbst erlebt. Zumindest all jene, die sich noch an die Zeit vor 20 oder 30 Jahren erinnern können.

Die erste Speicherprogrammierbare Steuerung (SPS), die „Modicon 084“, ist noch etwas älter: Sie kommt 1969 auf den

Markt, der erste Mikroprozessor 1971. Dann betreten bereits die Helden des Computerzeitalters die Bühne: Im Dezember 1974 entwickeln die späteren Microsoft-Gründer Bill Gates und Paul Allen innerhalb weniger Wochen einen BASIC-Interpreter für den neuen Heimcomputer Altair 8800 – der gerade als Bausatz auf den Markt gekommen ist. BASIC in

seiner abgespeckten Form ist ideal für dessen extrem beschränkten Speicherplatz: Der Altair 8800 hat einen Arbeitsspeicher von 256 Byte, erweiterbar auf 64 KB. 1976 tüfteln Steve Jobs und Steve Wozniak an einem Computer für den Privatgebrauch, am Apple 1.

Rund 35 Jahre später arbeiten in Deutschland mehr als 60 Prozent aller Beschäftigten mit dem Computer (der üblicherweise mindestens einen eine Million Mal größeren Arbeitsspeicher hat), über 80 Prozent der Deutschen nutzen das Internet. Weltweit sind mehr als fünf Milliarden Handys in Betrieb. Smartphones, Tablet PCs und soziale Netzwerke dringen in jeden Winkel des Lebens. So drastisch sind die Verände-



rungen, dass es kaum auffällt, wie parallel dazu natürlich auch die Produktionstechnik revolutioniert wird. Einige

Stichworte: Computer Aided Manufacturing (CAM), Computerized Numerical Control – also computergestützte numerische Steuerung (CNC), die Digitale Fabrik, Simulationsverfahren. Insbesondere in der Automobilindustrie setzen sich schon früh zentral gesteuerte, vollautomatische Produktionsstrecken durch.

Diese Zeit des digitalen Wandels wird gelegentlich als „zweite Moderne“ bezeichnet oder als „digitale Revolution“. Wir schließen uns der Bezeichnung „dritte industrielle Revolution“ an – und noch während sie in vollem Gange ist, zieht nun bereits die vierte industrielle Revolution herauf.

IV. Das Produkt denkt mit

Der 19. Dezember 2011 ist gewissermaßen der Schicksalstag der vierten industriellen Revolution: An diesem Tag schreibt das Bundesministerium für Bildung und Forschung gemeinsam mit dem Bundeswirtschaftsministerium das Forschungsprogramm „Industrie 4.0“ aus. 400 Millionen Euro an Fördergeldern stehen zur Verfügung. Bis 2020 soll „Deutschland sich zum Leitanbieter für cyber-physische Systeme entwickeln“. Der Arbeitskreis, der die Initiative vorbereitet hat, spricht von einem Paradigmenwechsel in der Industrie und prägt in diesem Zusammenhang auch den Begriff der vierten industriellen Revolution.

Noch ist für die Menschheit außerhalb von Produktionstechnik und Logistik kaum erkennbar, warum intelligente „cyber-physische“ Systeme in einer dezentralen Produktion die Welt verändern, ja revolutionieren sollen. Allerdings: Die digitale Revolution hatte selbst einer ihrer Wegbereiter, IBM-Vorstandschef Thomas J. Watson, nicht kommen sehen. „Ich

glaube, dass es auf der Welt einen Bedarf von vielleicht fünf Computern geben wird“, soll er 1943 gesagt haben. Das erscheint uns, die wir ohne Mikroprozessoren nicht mehr das Haus verlassen, heute erstaunlich kurzsichtig. Nun also soll das digitale Zeitalter in der Industrie einer Epoche weichen, die natürlich noch immer digital ist, aber einen entscheidenden Schritt weitergeht, indem sie die virtuelle und die dingliche Welt weitgehend verschmilzt.

Wie soll das funktionieren? Was sehen die Wegbereiter der vierten industriellen Revolution, wenn sie in die Zukunft der Produktion schauen? Sie blicken in eine Fabrik, in der Bauteile und Maschinen als eben jene cyber-physischen Systeme Teil eines Informationsnetzes sind, das sich selbst steuert und überwacht, das kommuniziert und Entscheidungen trifft. Sie sehen Bauteile, die ihren Weg durch die Produktion finden, die mit Transportmodulen und Werkzeugmaschinen Details ihrer Fertigung abstimmen und ihre Herstellungs-

und Produktdaten sammeln, abgleichen und speichern. Das entstehende Bauteil wird ein aktiver Teil der Produktion. Damit wird sich auch die Arbeitswelt weiter verändern: Mehr hoch qualifizierte Mitarbeiter werden gebraucht, um Prozesse zu initiieren; weniger, um sie auszuführen.

In einer Welt, in der immer mehr Produkte individuell nach Kundenwünschen produziert und in immer größeren Warenströmen unterwegs sind, bergen diese Ideen auch jenseits der Fertigung immense Potenziale.

Wo die Zukunft begonnen hat

An einigen Hochschulen wird bereits an Industrie-4.0-Themen gearbeitet. So läuft an der Universität Bremen der Sonderforschungsbereich „Selbststeuernde Logistik“, außerdem entwickeln Forscher dort das „fühlende Bauteil“. An der Universität Paderborn werden in einem Sonderforschungsbereich „Selbstoptimierende Systeme im Maschinenbau“ entwickelt.

Auch Wissenschaftler des Produktionstechnischen Zentrums beschäftigen sich im Rahmen eines Sonderforschungsbereichs mit diesem Thema. Bereits seit 2005 erforschen und entwickeln sie „Gentelligente Bauteile im Lebenszyklus“. Diese „gentelligen Bauteile“ erfüllen die Anforderungen an cyber-physische Systeme, von denen in der Industrie-4.0-Ausschreibung die Rede ist – und gehen einen Schritt darüber hinaus. Professor Bernd Denkena vom Institut für Fertigungstechnik und Werkzeugmaschinen und Sprecher des Sonderforschungsbereichs, formuliert das darüber hinausgehende Ziel des SFBs so: „Wir wollen die physikalische Trennung von Bauteil und dazugehöriger Information vollständig aufheben.“

Im Idealfall ist es also das Bauteil selbst, dass in seinem Material Informationen enthält und Aufschluss gibt über seinen Belastungszustand oder seine Bauteilkennzeichnung. Ein paar Beispiele: Der Werkstoff eines Radträgers wird so legiert, das durch das Einbringen magnetischer Partikel der Belastungszustand im Bauteil selbst speicherbar und einfach

auslesbar wird. Mehr dazu auch auf Seite 32. In andere Bauteile wird über das Sinterverfahren an definierten Stellen Feimpulver anderer Materialien eingebracht; es ergibt sich eine kodierte Matrix im Bauteilinneren, die zukünftig als Identitäts-Check in einer autonom agierenden Fabrik ebenso wie beim Plagiatsschutz eingesetzt werden kann. Auch die Bauteiloberfläche lässt sich nutzen: Über Mikrostrukturen, die während der Fräsbearbeitung eingebracht werden, lässt sich ein Code auf das Bauteil schreiben, der dieses ein Bauteil unverwechselbar macht und zum Informationsträger erweitert.

Wo die vollständige Integration der Information in das Bauteil nicht zweckmäßig ist, nutzen die Wissenschaftler ausgefeilte Sensorikkonzepte: Werkzeugmaschinen werden über Mikrosensoren mit zusätzlichen sensorischen Fähigkeiten ausgestattet und können Informationen dort aufnehmen, wo dies bisher nicht möglich war. Sie werden zu fühlenden Maschinen, die den Werkstück- und Prozesszustand völlig autonom erfassen und entsprechende Reaktionsstrategien durchführen (Seite 31 und 33). Eine solche autonome, selbstparametrierende Prozessüberwachung ist eine der entscheidenden Voraussetzungen für Industrie-4.0-Konzepte. Denn wenn Systeme ihren Zustand nicht ausreichend kennen und entsprechend verwalten können, lässt sich auch keine Selbststeuerung realisieren.

Vielleicht blicken wir in 30 oder 40 Jahren zurück auf die Anfänge der Industrie-4.0-Forschung und können uns kaum noch erinnern an eine Welt, in der Produkte und Waren zentral gesteuert wurden und nicht klug und vernetzt waren.

Sicher ist: Im Frühsommer wird im Produktionstechnischen Zentrum Hannover die vierte industrielle Revolution ein Stück weiter vorangetrieben. Denn vom 27. bis 29. Juni 2012 laden die drei oben genannten Sonderforschungsbereiche aus Paderborn, Bremen und Hannover ein zum „First Joint Symposium on System-integrated Intelligence“. Dort werden Wissenschaftler aus aller Welt die neuen Herausforderungen an die Produktion diskutieren und ihre Lösungen vorstellen.

