

1 Einleitung

Der Zweck der DIGITALEN FABRIK ist die ganzheitliche Planung, Realisierung und Steuerung der Produktionsprozesse und -ressourcen in Verbindung mit dem Produkt. Darüber hinaus erwartet man von der DIGITALEN FABRIK die intelligente Vernetzung über die gesamte supply chain (Lieferkette). D.h. alle vor- und nachgelagerten Verbindungen in der Wertschöpfungskette (über die Fabrik hinaus) sollen digital vernetzt sein.

Unter dem Begriff DIGITALE PRODUKTION sammeln sich Hoffnungen und Herausforderungen, real ablaufende Prozesse in einer Produktion mit folgenden Stoßrichtungen zu optimieren:

- 1) **Auftragsplanung** durch Verwendung von Echtzeitdaten aus der realen Produktion
- 2) **Auftragsvorbereitung** durch Einsatz von Visualisierungs- und Simulierungstools für Prozesse und Produkte, um Fehler frühzeitig (vor Auftragsstart) zu erkennen
- 3) **Auftragsdurchführung** mit intelligent vernetzten Prozessketten

In den 1980er-Jahren wurde bereits zum ersten Mal mit dem CIM-Konzept versucht, diese Herkulesaufgabe zu lösen. Ab den 1990er-Jahren hat sich eine breite Ernüchterung Platz gemacht und CIM wurde allgemein als gescheitert angesehen. Im Jahre 2011 wurde nun mit INDUSTRIE 4.0 ein zweiter Anlauf, allerdings unter wesentlich besseren Rahmenbedingungen, gestartet.

Aufgrund meiner aktuellen Erfahrungen in 4.0-Projekten erlebe ich allerdings regelmäßig, dass bei einigen 4.0-Ansätzen aus Unkenntnis die gleichen Fehler aus der CIM-Ära wiederholt werden. Diese Irrwege rechtzeitig zu erkennen und zu vermeiden, ist ein wesentliches Ziel dieses Buches.

Um in Deutschland konkurrenzfähig produzieren zu können, muss der Weg zur digitalen Fabrik in fast jedem Unternehmen eingeschlagen werden.

Kürzere Durchlaufzeiten und höhere Liefertreue, geringere Losgrößen und größere Flexibilität, Qualitätsverbesserungen und höhere Transparenz der Produktion sowie mithin geringere Kosten sind wesentliche Verbesserungspotentiale bei der Realisierung der digitalen Produktion.

Inhalt dieses Buches ist mein jahrzehntelanges Praxiswissen, ausgehend von 1989, auf dem Weg zur digitalen Hochleistungsfertigung. Darüber hinausgehende Erfordernisse auf dem Wege zur DIGITALEN FABRIK werden nur angeschnitten. Zusätzliche Hilfe wurde mir zuteil durch weitere Experten ihres

Faches, die mich auf Teilstrecken der Digitalisierung und beim Erstellen dieses Buches intensiv unterstützt haben. Ohne deren Hilfe wäre dieses Buch nicht möglich geworden. Vielen Dank dafür!

Mein uneingeschränkter Dank gilt zum einen

allen Mitarbeitern und Kollegen der Maschinenfabrik Reinhausen, insbesondere meinen Weggefährten aus der Anfangszeit, die teilweise bis zum heutigen Tag mit mir unermüdlich an der DIGITALEN TRANSFORMATION der Fertigung arbeiten, und zum anderen allen meinen bisherigen Chefs, die mir immer den notwendigen Freiraum gegeben haben, um meine Talente zum Wohle der Firma auf meine „nicht einfache“ Art auszuleben.

Und selbstverständlich geht der Dank auch an meine Liebsten zuhause – an meine Frau Edith und meine wunderbaren Töchter Sandra und Carolin –, die mir immer die Kraft und die Zeit gegeben haben, mich meinem Ingenieurberuf mit großer Hingabe zu widmen.

Selbstredend geht der Dank auch an den Beuth Verlag und meine Lektorin Frau Kathrin Bandow, durch die das Buch überhaupt erst zustande gekommen ist.

Vielen Dank an alle – ich weiß das sehr zu schätzen.

2 Rückblick

Industrie 4.0, in Anlehnung an die drei vergangenen industriellen Revolutionen auch als die „Vierte industrielle Revolution“ bezeichnet, ist mittlerweile zu einem Synonym für die digitale Fabrik der Zukunft geworden.

Ursprünglich stammt der Begriff Industrie 4.0 aus einem ausgerufenen Zukunftsprojekt der High-Tech-Strategie der deutschen Bundesregierung aus dem Jahre 2011. Sie hat zum Ziel, die internationale Wettbewerbsfähigkeit der deutschen Industrie nachhaltig zu sichern. Durch diese Initiative soll gesichert werden, dass Deutschland international weiterhin eine führende wirtschaftliche Rolle einnimmt. Das ambitionierte Zukunftsprojekt Industrie 4.0 der Bundesregierung hat dem Entwicklungsprozess der deutschen Produktion zwar seinen Namen verliehen und eine öffentliche Diskussion angestoßen, aber die Anfänge der Industrie 4.0 reichen weiter in der Zeit zurück. Um den Kern dieser Industriellen (R)Evolution und ihre charakteristische grundlegende Unterschiedlichkeit zu den Vergangenen zu erfassen, ist ein kurzer Blick in deren Geschichte notwendig.

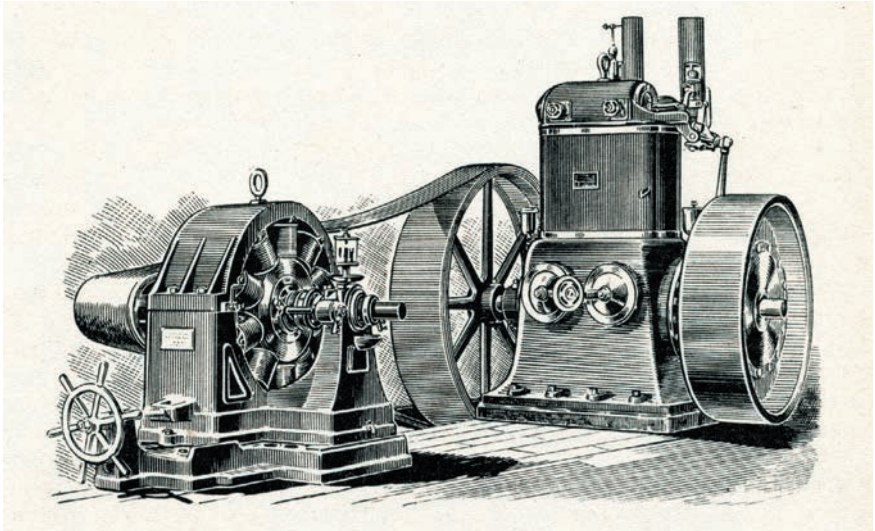
Elementare Kennzeichen einer Revolution sind laut Duden insbesondere eine „umwälzende, bisher Gültiges, [oder] Bestehendes [...] verdrängende grundlegende Neuerung“ und eine „tief greifende Wandlung“. In diesem Kontext versteht sich eine Revolution als eine fundamentale Veränderung, die jeden Teil der Gesellschaft unumgänglich betrifft und die Zukunft der Menschen nachhaltig gestaltet.

Wikipedia definiert „industrielle Revolution“ als tiefgreifende und dauerhafte Umgestaltung der wirtschaftlichen und sozialen Verhältnisse, Arbeitsbedingungen und Lebensumstände.

Um den Kern dieser nun erstmals vorausgesagten industriellen Revolution und ihre charakteristische grundlegende Unterschiedlichkeit zur Vergangenheit zu erfassen, ist ein kurzer Blick in deren Geschichte notwendig. Die Anzeichen der historischen drei industriellen Revolutionen aber waren bereits früh von den Betroffenen klar erkennbar.

2.1 Die erste industrielle Revolution

Während der ersten industriellen Revolution vollzog sich ab dem 18. Jahrhundert der historische Übergang von Muskel- zu Maschinenkraft. Die Dampfmaschine und der mechanische Webstuhl wurden erfunden und die Postkutsche wurde buchstäblich von Dampflokomotive und Dampfschiff überholt, was einen enormen Produktivitäts- und Logistikschock – nicht nur für die Industrie – mit sich brachte.



Quelle: © Juulijs/Fotolia

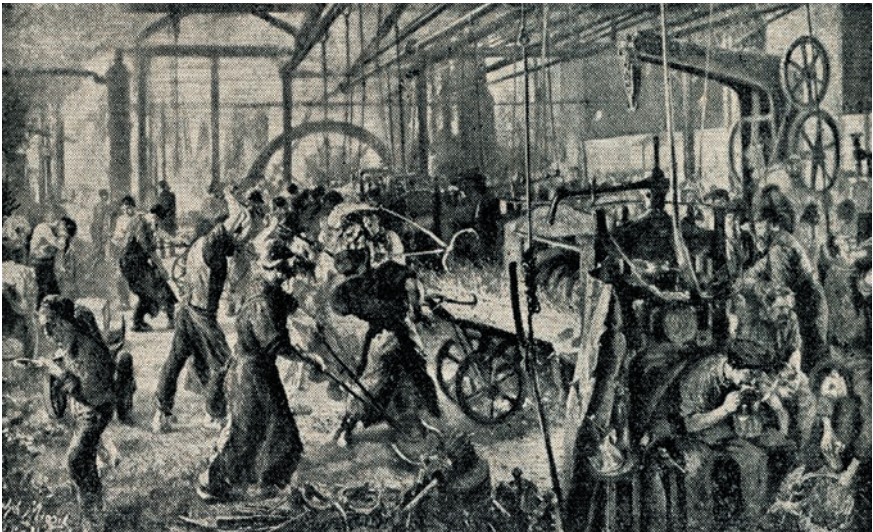
Bild 2.1: Dampfmaschine

Zur Übertragung der zentral erzeugten Kraft dienten Transmissionsriemen aus Leder. Die Transmissionswellen wurden bevorzugt an der Werkhallendecke angebracht, die durch die gesamte Halle verliefen. Für die Arbeiter in den Fabriken stellte die Transmission eine erhebliche Gefahr dar. Es kam häufig dazu, dass lose Kleidungsstücke oder lange Haare erfasst wurden, was zu schwersten bis tödlichen Verletzungen führte. Außerdem konnte es passieren, dass der Riemen von den Wellen und Laufrädern absprang und den in der Nähe stehenden Arbeitern durch die abrupt freiwerdenden Kräfte schwere Verletzungen zufügte.

Gewinner der ersten industriellen Revolution war die Klasse der Unternehmer. Mit Hilfe der Maschinen entstanden ökonomischere Produktionsbedingungen. Das erforderte allerdings von den Unternehmern hohe Investitionsbereitschaft. Durch die Entwicklung der Verkehrsmittel entstanden auch bessere Verkehrswege und damit ein wachsender Export. Der Beginn des Kapitalismus war damit eingeläutet.

Verlierer der ersten industriellen Revolution war die Klasse der Arbeiter. Immer mehr Menschen entschlossen sich, in die Stadt zu ziehen, um den Lebensunterhalt in einer Fabrik zu verdienen. Aber nicht alle hatten Glück in der Stadt, weil die Löhne niedrig blieben, und viele mussten in elenden Wohnungen leben.

Durch extrem gefährliche Arbeitsbedingungen in den Maschinenhallen verloren viele Menschen ihre Gesundheit oder sogar ihr Leben.



Quelle: © Juulij/Fotolia

Bild 2.2: Fabrikhalle im 18. Jahrhundert

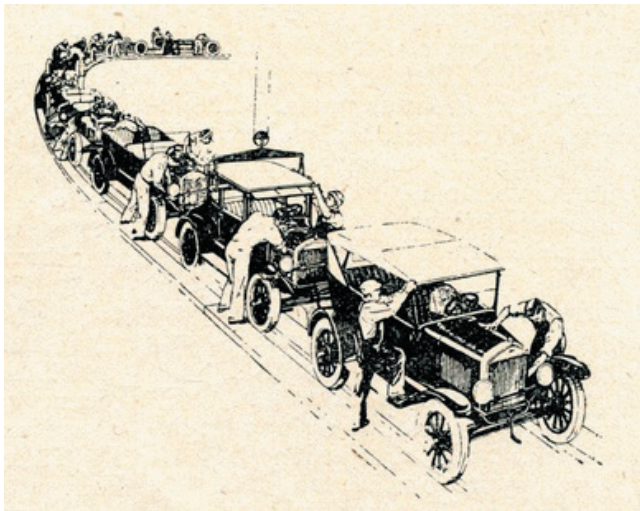


Quelle: Internet

Bild 2.3: Karikatur von 1896 auf die schlechten Arbeitsbedingungen in Unternehmungen aus Sicht der Arbeiterbewegung in der satirischen Zürcher Zeitschrift „Der neue Postillon“

2.2 Die zweite industrielle Revolution

Im bald folgenden frühen 20. Jahrhundert führte die Einführung des Fließbands und damit der arbeitsteiligen Massenproduktion zu einer zweiten industriellen Revolution. Als Grundvoraussetzung dazu war allerdings die vorher entwickelte Elektrotechnik notwendig. In den Schlachthöfen von Cincinnati wurden erstmals Transportbänder für die Fleischverarbeitung benutzt, was später auch von der Automobilindustrie adaptiert wurde. Prägend für diese Epoche waren Frederick W. Taylor (1856–1915) und Henry Ford (1863–1947). Henry Ford soll damals einmal gesagt haben: „Ich wollte eigentlich immer nur zwei Hände, bekommen habe ich aber immer den ganzen Menschen.“ Aktuell erleben wir zum Teil in unseren 4.0-Projekten Folgendes: „Wir brauchen immer den ganzen Menschen, bekommen aber gelegentlich nur dessen zwei Hände“, denn Bewahrer-Mentalitäten verweigern sich häufig neuen Innovationen.



Quelle: © Juulij/Fotolia

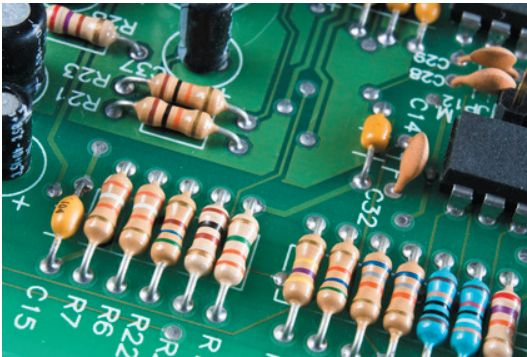
Bild 2.4: Fließband in der Automobilindustrie

Gewinner der zweiten industriellen Revolution war die Bevölkerung. Die Hochindustrialisierung ermöglichte Massenproduktion und damit Massenkonsum. Die Ausbildung des modernen Sozialstaates war eine Reaktion auf die Folgen der Industrialisierung. Sozialversicherung, Arbeitsschutz und Arbeitsrecht entwickelten sich allmählich. Steigender materieller Wohlstand kam langsam dazu.

Verlierer der zweiten industriellen Revolution war die Umwelt. Nachhaltige Umweltschädigung durch Luft- und Wasserverschmutzung sowie neue chemische Stoffe waren an der Tagesordnung. Richtlinien bzw. Grenzwerte waren noch nicht verfügbar.

2.3 Die dritte industrielle Revolution

In den 1970er-Jahren des 20. Jahrhunderts vollzog sich die letzte historische Revolution, auch digitale Revolution genannt, in der die Automatisierung und beginnende Digitalisierung Einzug in die Arbeitswelt und viele andere Lebensbereiche hielten. Der technische Wandel, der u. a. durch Mikrochips begann, veränderte viele private und betriebliche Gegebenheiten grundlegend. Die NC-Maschine, der Vorgänger der CNC-Maschine, ersetzte z. B. die Werkzeugmaschine, die noch von Hand gesteuert werden musste.



Quelle: © Daniel Etzold/Fotolia

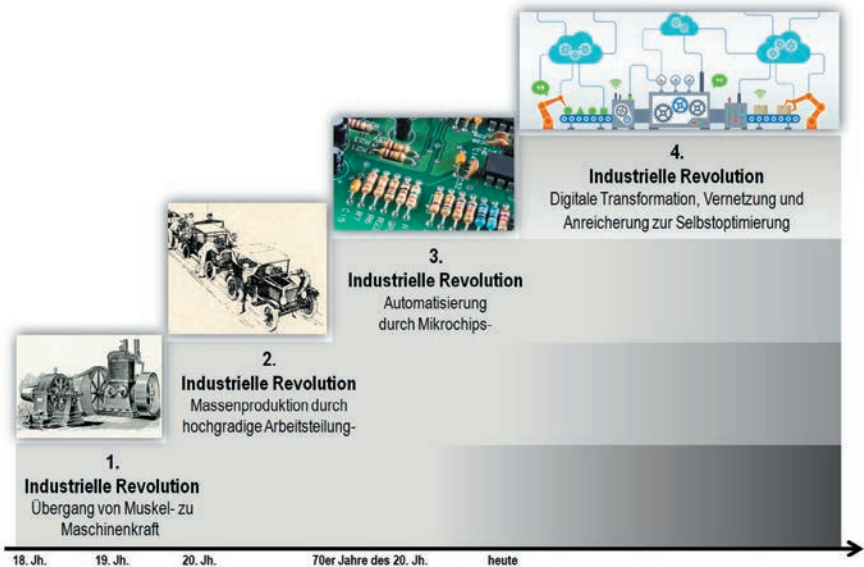
Bild 2.5: Mikrochip

Gewinner bzw. Verlierer können während der dritten industriellen Revolution nicht konkret aufgeteilt werden. Die Automatisierung, Informatisierung und Globalisierung konnten sowohl als Chance als auch als Risiko für Menschen, Kulturen und Staaten eingestuft werden. Wissenschaftlicher Fortschritt und aufkommende Computer-Technologie, vor allem die Entwicklung des Personal Computers (PCs), erzeugten hohen Konkurrenz- und Innovationsdruck. Zur gleichen Zeit veröffentlichte Herbert Freudenberger einen ersten Aufsatz über den neuen Begriff: Burnout-Syndrom.

Alle drei historischen Revolutionen stehen bereits in den Geschichtsbüchern und bilden den Wohlstand unserer Zeit. Allen drei historischen Revolutionen war eine grundlegende Veränderung der Produktionsbedingungen gemeinsam, deren Auswirkungen die ganze Gesellschaft spürbar beeinflussten.

2.4 Die vierte industrielle Revolution

Die heutige Ausgangssituation, in der sich moderne Unternehmen wiederfinden, ist um ein Vielfaches komplexer geworden. Wissenschaft und Technologie gewinnen immer mehr an Bedeutung, während die Globalisierung internationale Geschäftsbeziehungen mittlerweile selbstverständlich macht. Dies erfordert einen Wandel in der Produktion, eine durchgehende und übergreifende Vernetzung, die durch Nutzung des Internets im Zuge von Industrie 4.0 erreicht werden könnte. Unter dem Begriff Industrie 4.0 sammeln sich Hoffnungen und Herausforderungen für Produktion, Produkte, Dienstleistungen und Geschäftsmodelle der Zukunft. Ein Ziel von Industrie 4.0 ist es, die Flexibilität der Produktion so zu steigern, dass bei Bedarf die Losgröße Eins wirtschaftlich hergestellt werden kann und der Kunde ein individuell konfiguriertes Produkt erhält. Dazu ist es u. a. notwendig, die Rohdaten, die durch die Digitalisierung der Prozesse und Produkte in riesigen Mengen entstehen, zu sammeln und durch Mustererkennung zu veredeln. Dadurch kommt man zu neuartigen Erkenntnissen, die es ermöglichen, steigende Qualitätsanforderungen, kürzere Lieferzeiten, sich



Quelle: MR & Fotolia

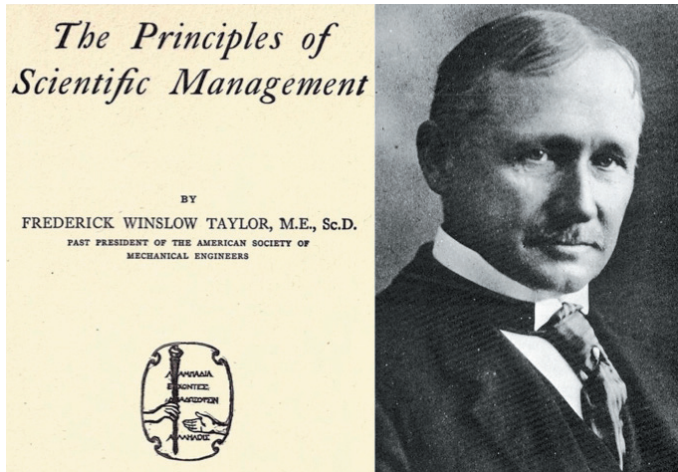
Bild 2.6: Die vier industriellen Revolutionen im Zeitablauf

verkürzende Produktlebenszyklen und eine wachsende Variantenvielfalt zu beherrschen. Die zukünftig noch stärker erforderliche Individualisierung von Erzeugnissen wird durch eine flexible und schlanke Produktion ermöglicht. In der Wertschöpfungskette der Industrie 4.0 verzahnen sich produzierende Unternehmen, deren Geschäftspartner, relevante Zulieferer und potentielle Kunden für eine größtmögliche Wertschöpfung. Einzelne Komponenten von Industrie 4.0-Technologien werden bereits heute vereinzelt in Unternehmen eingesetzt, es fehlt aber an flächendeckender Ausbreitung und Standards für deren Verwendung.

Alle vier industriellen Revolutionen verstehen sich so grundsätzlich als Katalysator der wirtschaftlichen und industriellen Entwicklung.

2.5 Vor der ersten industriellen Revolution

Bei Recherchen stößt man auf folgende interessante Erkenntnisse aus der Zeit vor der ersten industriellen Revolution: Die Zeit vor der Erfindung der Dampfmaschine war die hohe Zeit der Handwerkszünfte. Mit Ausnahme der Dombauhütten gab es wohl kaum einen Betrieb, in dem mehr als 20 Menschen zusammenarbeiteten. Der Ablauf war streng nach der Hierarchie „Meister – Geselle – Lehrling“ geregelt. Im Regelfall brüllte der Meister einmal laut seinen Auftrag in die Werkstatt und der Arbeitsplan war fertig. Mit dem Bau von ersten Fabrikhallen für Dampfmaschinen mussten plötzlich hunderte von Menschen zusammenarbeiten. Genau genommen wusste keiner, wie so etwas geht. Es gab hierzu weder ein Buch noch gab es an den Universitäten dafür einen Lehrplan. Erst mit dem Aufkommen der zweiten industriellen Revolution entstand eine erste Idee durch Frederick Winslow Taylor (1856–1915). Der US-Amerikaner brachte ein Buch mit dem Titel *Scientific Management* (deutsche Übersetzung: *Wissenschaftliche Betriebsführung*) heraus, das sich erstmals mit der Zusammenarbeit vieler Menschen beschäftigte. Als wesentliche Komponenten gelten die Trennung von ausführender und planender Arbeit (Arbeitsvorbereitung) und Zeitstudien zur Ablaufverbesserung und Ermittlung von Vorgabezeiten.



Quelle: Internet

Bild 2.7: Frederick Winslow Taylor

Doch trotz aller mittlerweile zahlreich verfügbarer Führungsliteratur und -seminare gelingt es den Menschen bis zum heutigen Tag nicht, vollkommen beschwerdefrei zusammenzuarbeiten. Durch i4.0 versucht man nun, die Maschinen so weit zu befähigen, dass deren Zusammenarbeit besser funktioniert als die zwischen den Menschen. Es ist zu erwarten, dass dies tatsächlich auch gelingt, denn der Selbstlernprozess von Maschinen nimmt ständig zu, und was Maschinen einmal gelernt haben, das vergessen sie nie mehr. Als Beispiel kann das Spiel „Go“ dienen. Go ist wegen seiner deutlich höheren Komplexität nicht mit Schach zu vergleichen und kann mit mathematischen Standardalgorithmen nicht durchgerechnet werden, sondern muss intuitiv gespielt werden. Vom 9. bis zum 15. März 2016 trat der stärkste Go-Spieler der Welt Lee Sedol gegen ein Programm namens AlphaGo an und verlor vier der fünf Partien gegen den Computer, der sich durch Selbstlernen immer weiter optimiert hat. Dieser Sieg gilt als weiterer Meilenstein im Bereich des Maschinenlernens und der Künstlichen Intelligenz.

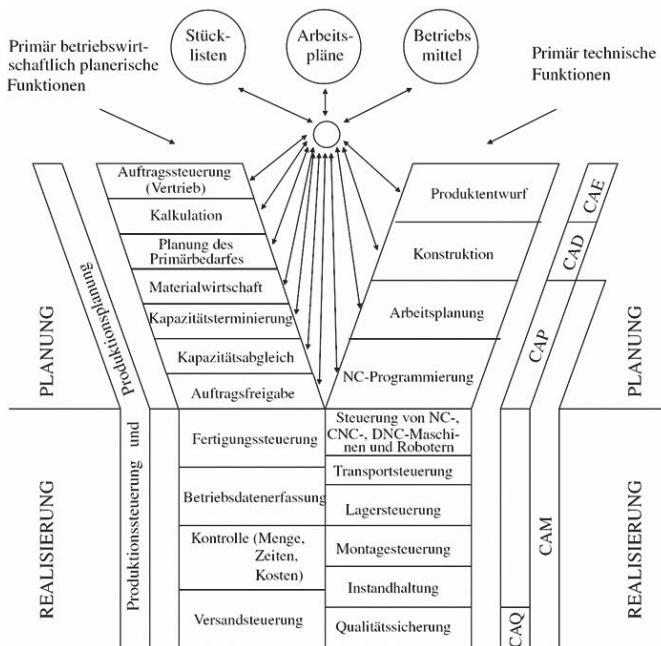
„Revolution ist das Feuer, an dem die einen verbrennen und die anderen ihre Suppe kochen.“

John Carrick

3 Die digitale Transformation

3.1 Post festum CIM

Kurz nach der dritten industriellen Revolution kam es in den 1990er-Jahren zu einer CIM-Euphorie. CIM (Computer Integrated Manufacturing) wurde zur bestimmenden Strategie vieler Industrieunternehmen. Durch CIM sollen sämtliche operativen Informationssysteme eines Produktionsbetriebs miteinander verknüpft werden. Dabei steht insbesondere die Verbindung zwischen betriebswirtschaftlichen und technischen Systemen im Vordergrund. Das Y-CIM-Modell von Prof. Dr. Dr. h. c. mult. August-Wilhelm Scheer zeigt die an der Integration beteiligten Komponenten beider Bereiche in anschaulicher Form. Es stellt einen Zusammenhang zwischen CAX- und PPS-Systemen her.



Quelle: Internet

Bild 3.1: Y-Modell, Quelle: Prof. Dr. Dr. h. c. mult. August-Wilhelm Scheer

Genau genommen ist die Digitalisierung mit Industrie 3.0 losgegangen und wurde durch CIM weiter angekurbelt. Die Vision von CIM war die menschenleere Fabrik, in der Roboter andere Roboter bauen. Für den einen war das eine Horrervision für den anderen galt CIM als Wegbereiter der Humanisierung von Arbeit. Trotz der damaligen Euphorie und des zweifellos richtigen Integrationsgedankens ist die Umsetzung der CIM-Vision gescheitert. Als Ursachen wurden langsame Computer, fehlende Schnittstellen und fehlende IT-Architektur angeführt.

Bei der Maschinenfabrik Reinhausen wurde 1989 inspiriert von der CIM-Begeisterung begonnen, alle Maschinen, Anlagen und Softwaresysteme in der NC-Fertigung Schritt für Schritt mit Schnittstellen auszustatten und zu digitalisieren. Nach ca. 13 Jahren intensiver Programmierarbeit mit prozeduralen Programmiersprachen spürte man die Hauptursache des CIM-Debakels immer stärker auch selbst. Mittlerweile war es zwar tatsächlich gelungen, die CAM-Programmierung vollständig zu digitalisieren, also zu 100 % papierlos zu machen. Die exponentielle Zunahme der Schnittstellenbandbreite war allerdings kaum mehr zu beherrschen (siehe Kapitel 3.2). Im Folgenden werden die näheren Hintergründe und der Ausweg aus dem Debakel ausführlich dargelegt.

Die Reifung der Digitalisierung in die digitale Transformation ist der Startpunkt und damit die Basis von Industrie 4.0.

Beide Begriffe unterscheiden sich wie folgt: Die **Digitalisierung** bedeutet, dass ein vorhandener bzw. etablierter Prozess papierlos gemacht wird, ohne dabei große Änderungen am Prozess selbst zu vollziehen. Ein alltägliches Beispiel dafür ist das Flugticket, das man für den Einstieg ins Flugzeug benötigt. Früher, und übergangsweise auch noch heute, musste man erst zum Schalter der Airline im Flughafen und dort das Ticket ausdrucken lassen, dieses dann die ganze Zeit bei sich behalten und dann zum Einstieg ins Flugzeug erneut vorzeigen. Heute funktioniert das mit einem digitalen Abbild des ursprünglichen Papiertickets, das man dann z. B. in der Cloud speichern und vom Smartphone aus abrufen und verwenden kann, das dann auch noch nach Jahren wiederfinden kann.

Die **Digitale Transformation** geht einen Schritt weiter, denn mit ihr ändert sich ein Prozess grundlegend und neue Geschäftsmodelle verdrängen ältere. Erst wird der Prozess papierlos (Digitalisierung), dann ändert sich der Prozess, weil nun Dinge möglich werden, die vorher nicht funktionierten. Beispielsweise wird das Lesen von Büchern zunehmend papierlos und im zweiten Schritt ändert sich das Kauf- und Nutzungsverhalten von Büchern. Auch Branchen wie die Automobilindustrie sind gerade in der Digitalen Transformation angekommen.

Beginn der gesamten Geschichte:

(vom Ende des Lochstreifens im Jahre 1990 bis zum Einzug unserer Lösung ValueFactoring® in die Public German Cloud auf der Hannover-Messe 2016)



© hainichfoto/Fotolia

Bild 3.2: 26 Jahre Entwicklungszeit vom Lochstreifen bis zur Cloud

Nach der Entmythisierung von CIM wurden im Unternehmen die unter diesem Schlagwort gemeinten Trends weiterverfolgt und im Rahmen des Aufgabenbereiches die CAM-Programmierung Schritt für Schritt auf papierlos umgestellt. Wesentliche Triebfeder waren Ineffizienzen beim Erstellen der NC-Programme und beim Rüstprozess der NC-Maschinen. Hierbei kommt insbesondere zum Tragen, dass – nicht nur bei der Maschinenfabrik Reinhausen – ein allgemein in der Fertigung mit NC-Maschinen vorzufindendes Problem ist, dass die unterschiedlichen, an einem Fertigungsprozess beteiligten Aggregate (CNC-Maschinen, Voreinstellgeräte, Lagersysteme etc.) proprietäre Datenformate verwenden und eine aggregatübergreifende Bereitstellung der Prozessdaten regelmäßig nicht möglich ist. Zeichnen sich moderne CNC-Maschinen zwar durch hohe Bearbeitungspräzision und -geschwindigkeit aus, so stellen diese in vielen Fällen doch Insellösungen mit entsprechenden Schnittstellenproblemen dar. Ein durchgängiger Datenfluss scheitert an der Vielzahl und Vielfalt der beteiligten Kommunikationsschnittstellen. So ist beispielsweise die Weitergabe von Werkzeugeinstelldaten in elektronischer Form, abhängig von den beteiligten Anlagen, nur bedingt möglich. Die Weitergabe der Informationen zwischen den Maschinen erfolgte in der Regel auf Papier und die generierten Werkzeugdaten mussten unter hohem Zeitaufwand