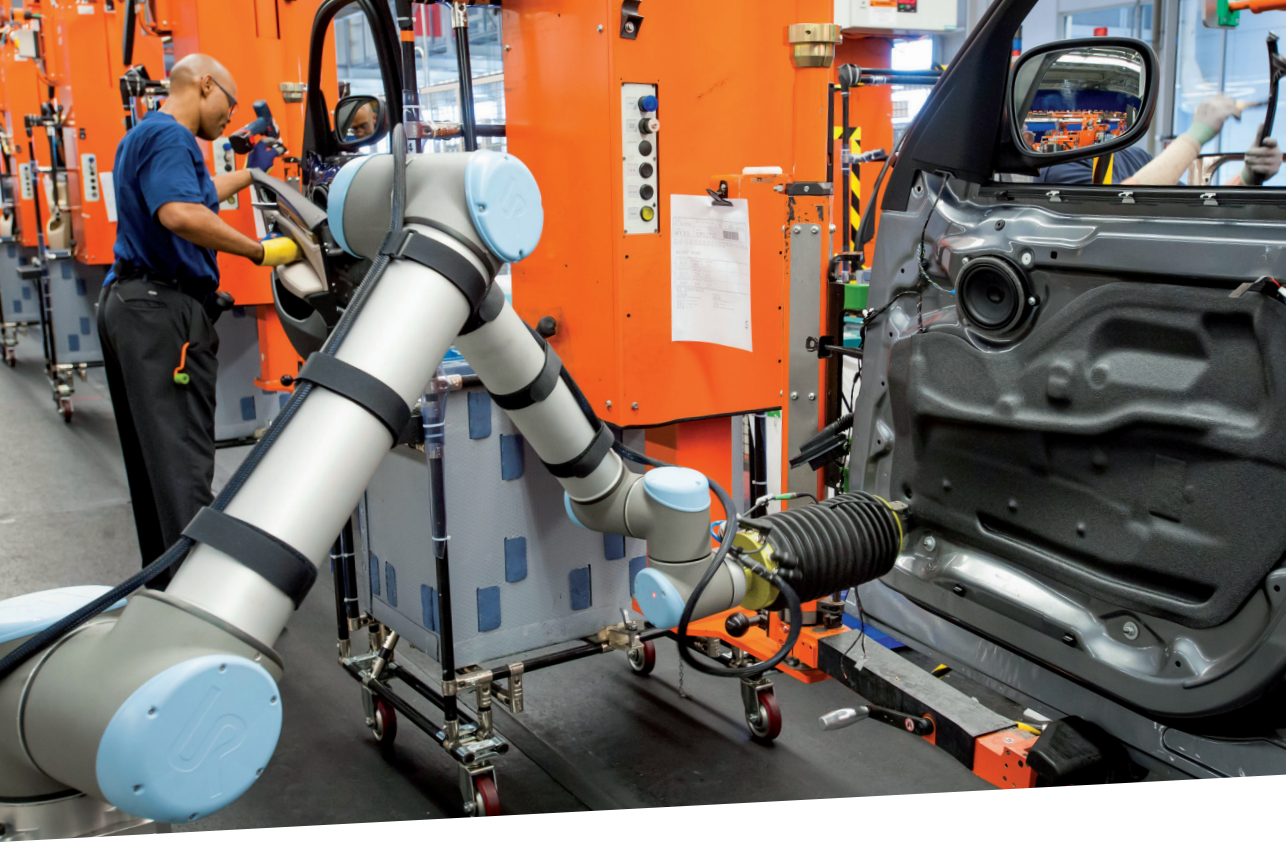




Christoph E. Mandl

Auf der Suche nach Industrie-4.0-Pionieren

Die vierte industrielle Revolution im Werden

Auf der Suche nach Industrie-4.0-Pionieren

Christoph E. Mandl

Auf der Suche nach Industrie-4.0-Pionieren

Die vierte industrielle Revolution im Werden

OGB VERLAG

Die Inhalte in diesem Buch sind vom Autor und vom Verlag sorgfältig erwogen und geprüft, dennoch kann eine Garantie nicht übernommen werden. Eine Haftung des Autors beziehungsweise des Verlages und seiner Beauftragten für Personen-, Sach- und Vermögensschäden ist ausgeschlossen.

Verlag des Österreichischen Gewerkschaftsbundes GmbH
Johann-Böhm-Platz 1
1020 Wien
Tel. Nr.: 01/662 32 96-0
Fax Nr.: 01/662 32 96-39793
E-Mail: office@oegbverlag.at
Web: www.oegbverlag.at



Mit freundlicher Unterstützung der Kammer für Arbeiter und Angestellte Wien

Umschlaggestaltung: Thomas Jarmer
Umschlagfoto: Copyright © Bayerische Motoren Werke Aktiengesellschaft
Lektorat: Mag.^a Evelyn Beyer

Medieninhaber: Verlag des Österreichischen Gewerkschaftsbundes GmbH, Wien
© 2017 by Verlag des Österreichischen Gewerkschaftsbundes GmbH, Wien
Hersteller: Verlag des ÖGB GmbH, Wien
Verlags- und Herstellungsort: Wien
Printed in Austria
ISBN 978-3-99046-271-3

Inhalt

Vorwort	7
1. Losgröße-1-Fertigung im Büromöbelbau: Nowy-Styl-Group-Werk Jasło	15
2. Automatisierung der Ventilmontage: Festo-Technologiefabrik Scharnhausen	35
3. Maßgeschneiderte Brillen: Horizons Optical	47
4. Die Virtualisierung der Chirurgie: Avinent Digital Health	57
5. Wenn das Produkt die Fertigung steuert: Siemens-Elektronikwerk Amberg	67
6. Die virtuelle Fertigung: Electrolux-Werk Rothenburg	85
7. Kollaborative Roboter: BMW-Werk Spartanburg	97
8. Losgröße-1-Montage von Werkzeugmaschinen: Deckel Maho Pfronten	115
9. Wie revolutionär ist die vierte industrielle Revolution?	125
Epilog: Mitbestimmung in den Zeiten von Industrie 4.0	137
Danksagung	149
Hyperlinks zu Videos	153
Bildnachweise	155
Über den Autor	157
Register	159

Vorwort

Interessantes kommt mitunter auf leisen Sohlen. Anfang 2016 fragt mich Gerald Wödl vom Verlag des Österreichischen Gewerkschaftsbundes, ob ich interessiert wäre, ein Buch über Industrie 4.0 herauszugeben. Nun ist eine der großen Errungenschaften moderner Kommunikationstechnologien, dass man im Unterschied zu einem Telefonat auf eine Anfrage via E-Mail nicht sofort antworten muss. Ich überlege daher ein paar Tage. Dann schlage ich Gerald Wödl vor, nicht ein weiteres Buch zu produzieren, in dem dieses Thema aus unterschiedlicher, vor allem wissenschaftlicher Perspektive von Fachleuten wiedergekaut wird, sondern einen Reisebericht zu diesem Thema zu erstellen. Die Idee, die ich dem Verlag des ÖGB erfolgreich schmackhaft machen kann, ist, Produktionsbetriebe in aller Welt zu besuchen, welche als Pioniere im Bereich Industrie 4.0 gelten, mit Menschen in diesen Betrieben über ihre Erfahrungen mit Industrie 4.0 zu sprechen, mir ein Bild zu machen und über all dies zu berichten. Gesagt, getan – ein Jahr später ist diese Reise beendet und das Resultat in ihren Händen. Aber noch bevor die Reise beginnt, geschieht Bemerkenswertes: Beim Jahrestreffen 2016 des Weltwirtschaftsforums stellt Klaus Schwab, Präsident ebendieses Forums, sein Buch „Die vierte industrielle Revolution“ vor. In diesem viel beachteten und kontrovers diskutierten Buch schreibt Klaus Schwab einleitend: *„Die größte und wichtigste der vielen verschiedenen, faszinierenden Herausforderungen, denen wir gegenwärtig gegenüberstehen, ist das Verständnis und die Gestaltung der neuen technologischen Revolution, die mit nichts Geringerem als einem tiefgreifenden Wandel der menschlichen Zivilisation einhergeht. Wir stehen am Anfang einer Revolution, die unsere Art zu leben, zu arbeiten und miteinander zu interagieren grundlegend verändern wird. Aufgrund ihrer enormen Tiefen- und Breitenwirkung sowie ihrer Komplexität ist das, was ich als die Vierte Industrielle Revolution bezeichne, ein in der Geschichte der Menschheit beispielloser Vorgang.“*

„Nehmen wir die unbegrenzten Möglichkeiten“, so führt er weiter aus, „die sich daraus ergeben, dass Milliarden von Menschen über mobile Endgeräte miteinander verbunden sind: Rechenleistung, Speicherkapazität und der Zugang zu Wissen stehen in einem bislang ungekannten Umfang zur Verfügung. Oder denken wir an die erstaunliche Gleichzeitigkeit bahnbrechender technischer Innovationen bei neuen Technologien, in so breit gefächerten Gebieten wie

Künstlicher Intelligenz, Robotik, Internet der Dinge, selbstfahrenden Kraftfahrzeugen, 3D-Druck, Nanotechnologie, Biotechnologie, Materialwissenschaft, Energiespeicherung und Quantenrechner, um nur einige zu nennen.“

Ziemlich konträr dazu ist in Tageszeitungen zu lesen: *„Intelligente Roboter werden massenhaft Jobs vernichten. Manche Experten sehen durch die digitale Revolution in Deutschland zehn Millionen Beschäftigte bedroht.“* In englischsprachigen Zeitungen tönt es Anfang 2016 so: *„Robots will have taken over most jobs within 30 years. The rise of robots could lead to unemployment rates greater than 50 per cent. We are approaching a time when machines will be able to outperform humans at almost any task.“*

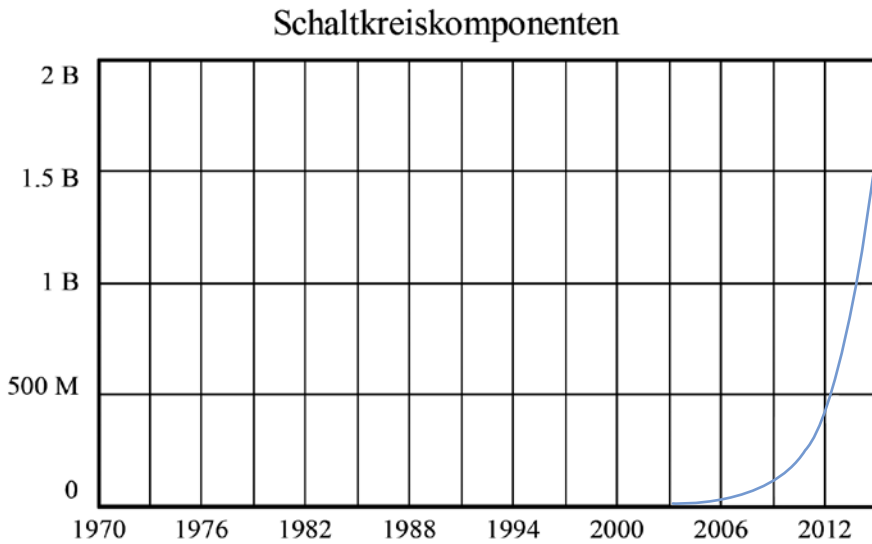
Was davon stimmt? Umberto Eco sagte mal in einem Interview: *„Das Mittelalter kenne ich gut bis ins Innere, unsere Zeit heute dagegen kenne ich nur aus dem Fernsehen.“* Hörensagen ist meine Sache nicht. Ich will von Augenzeugen wissen, wie sie dies in Industriebetrieben selbst erleben. Welche Technologien sind die Treiber der gepriesenen und gleichzeitig gefürchteten Entwicklung? Welche wirtschaftlichen und sozialen Auswirkungen hat dies?

Als erste industrielle Revolution gilt bekanntlich die tiefgreifende und dauerhafte Umgestaltung der wirtschaftlichen und sozialen Verhältnisse, der Arbeitsbedingungen und Lebensumstände, die in der zweiten Hälfte des 18. Jahrhunderts beginnt und verstärkt im 19. Jahrhundert zur Industriegesellschaft führt. Basis dieser Entwicklung sind grundlegende technische Erfindungen, insbesondere die Dampfmaschine, der Fliehkraftregler als erster Schritt zur Automatisierung, die Dampflokomotive, der mechanische Webstuhl und die Spinnmaschine.

Die sogenannte zweite industrielle Revolution, datiert auf die Jahrzehnte um 1900, ist charakterisiert durch intensivierte Mechanisierung, den weitverbreiteten Gebrauch von Elektrizität und die Massenproduktion von Gütern mit ihrem neuartigen Organisationsprinzip, dem Taylorismus.

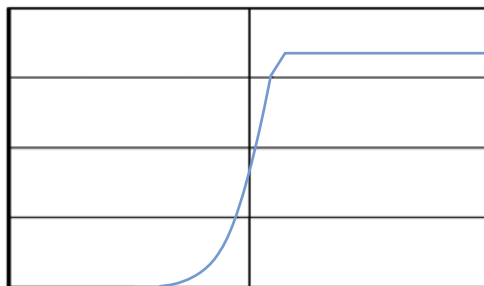
Die berühmte, von Gordon Moore, Mitgründer der Firma Intel, erkannte Gesetzmäßigkeit, wonach sich seit den 1970er-Jahren die Anzahl der Schaltkreis-komponenten auf einem integrierten Schaltkreis alle 18 Monate verdoppelt – das entspricht einer jährlichen Wachstumsrate der Rechnerleistung von rund 60 % (!) bei in etwa konstanten bis fallenden Kosten –, wird als technologischer Kern einer neuen, dritten industriellen Revolution angesehen. Diese kontinuierliche, sich immens beschleunigende elektronische Innovation der letzten 45 Jahre führt dazu, dass die Anzahl der Schaltkreis-komponenten pro integrierten Schaltkreis insgesamt um den Faktor 1,5 Milliarden zunimmt. Das mensch-

liche Gehirn besteht aus rund 86 Milliarden Nervenzellen, aber die Evolution des Gehirns dauerte doch um einiges länger. Wenn die Hersteller integrierter Schaltkreise mit derselben Beschleunigung wie in den letzten Jahrzehnten weiter innovieren, dann könnte im Jahr 2025 ein integrierter Schaltkreis aus ungefähr ebenso vielen Schaltkreiskomponenten bestehen, wie es Nervenzellen im menschlichen Gehirn gibt. Aber noch sind wir nicht soweit und es gibt derzeit Hinweise, dass diese Entwicklung an ihre physikalischen Grenzen stößt und sich daher das Wachstum verlangsamt.



Quelle: eigene Darstellung

Generell gilt die Binsenweisheit, dass es in einer endlichen Welt kein unbegrenztes Wachstum, schon gar nicht ein unbegrenztes exponentielles Wachstum geben kann, sodass jedes Wachstum sich einmal einschleift – je rascher das Wachstum, in desto kürzerer Zeit und umso abrupter, wie etwa so:



Quelle: eigene Darstellung

Ob es sich tatsächlich um eine Revolution handelt, wird meist erst mit einem gewissen zeitlichen Abstand zu den Geschehnissen erkennbar. Während der rasche Wirtschaftswandel im Zeichen des technischen Fortschritts in etwa um 1780 beginnt, wird erst rund 50 Jahre später, um 1830, der Begriff der industriellen Revolution als Analogie zur Französischen Revolution gebräuchlich. Erst ab da werden die Veränderungen der gewerblichen Produktionsformen als epochal ähnlich bedeutsam angesehen wie der politische Wandel in Frankreich. Die Frage, ob wir heute in der vierten, dritten, zweiten oder gar noch ersten industriellen Revolution leben, ist daher eine eher akademische Frage. Mich interessiert auf meiner Reise nämlich nicht, wie die aktuelle Entwicklung heißt – darüber mögen Wirtschaftshistoriker debattieren –, sondern welche Auswirkungen die sich beschleunigenden Veränderungen der Produktionsformen heute haben.

Die neue Produktionsform, da ist man sich in Deutschland ziemlich einig, heißt Industrie 4.0. In den USA sieht man dies anders. Dort dominieren zwei Begriffe: Smart Manufacturing sowie Advanced Manufacturing. Auf europäischer Ebene wiederum nennt man die Sache Factory of the Future (FoF). Unter Industrie 4.0, so die gängige Ansicht, versteht man die Verzahnung industrieller Produktion mit moderner Informations- und Kommunikationstechnik, also die Verschmelzung von IT-Technologien mit Produktionstechnologien. Etwas anders und doch dasselbe meinent wird Smart Manufacturing so beschrieben: Smart Manufacturing ist eine Form der Fertigung, die Computersteuerung gepaart mit hoher Anpassungsfähigkeit mit dem Ziel der Optimierung von Konzeptentwicklung, Produktion und Logistik einsetzt. Advanced Manufacturing schließlich wird beschrieben als die Nutzung innovativer Technologien, um Produkte oder Fertigungsprozesse zu verbessern. Klingt alles nicht sehr revolutionär, oder doch?

Ganz neu ist die Sache nicht. Bereits im Jahr 1973 wird das Konzept des Computer Integrated Manufacturing (CIM) geboren. Darunter versteht man die Integration des gesamten Fertigungsunternehmens durch integrierte System- und Datenkommunikation gepaart mit einer Verbesserung der organisatorischen Leistungsfähigkeit. Ende der 1980er-Jahre, Anfang der 1990er-Jahre verschwindet der Begriff CIM zwar vom Radarschirm der Industrie, aber die informationstechnische Integration verschiedener Informationsinseln wie Konstruktion, Arbeitsvorbereitung, Produktionsplanung und -steuerung sowie Betriebsdatenerfassung geht stetig und ohne große mediale Aufmerksamkeit voran. Was in den 1980er-Jahren freilich noch in den Kinderschuhen steckt, ist die Verbindung zwischen der informationstechnischen und der

Maschinen-Ebene. Computerized-Numerical-Control (CNC)-Maschinen gibt es zwar bereits, aber noch sehr teuer und solche Maschinen sind daher aus Gründen der Wirtschaftlichkeit nicht verbreitet einsetzbar. Dasselbe gilt für Industrieroboter. Der 3D-Druck wird überhaupt erst 1983 erfunden, führt 1986 zur ersten Patentanmeldung und erst in den 1990er-Jahren zur Nutzung in der Fertigung. In Verbindung mit den ebenfalls neu auftauchenden Technologien wie insbesondere Touchscreen, Internet, Tablet-PC, WLAN, Sensoren, kollaborative Roboter, Graphical User Interface, Computertomographie, 3D-Scanner, Magnetresonanztomographie, Raycasting, Digitalkamera, Augmented Reality, Manufacturing Execution System, Digital Twins, Bilderkennung und GPS kann erst im 21. Jahrhundert begonnen werden, die informationstechnische mit der fertigungstechnischen Welt so zu verbinden, wie dies zu Zeiten von CIM nicht annähernd möglich ist.

Bei meiner weltweiten Suche nach Pionierunternehmen im Sommer 2016 erfahre ich, was Rainer Drath, Program Manager Integrated Engineering bei ABB, im Jahr 2014 provokant vermutet: *„Bemerkenswert ist die Tatsache, dass erstmalig eine industrielle Revolution ausgerufen wird, noch bevor sie stattgefunden hat.“* Es ist in der Tat nicht ganz einfach, echte Pionierunternehmen zu Industrie 4.0, Smart Manufacturing und Advanced Manufacturing zu finden. Als besonders hilfreich stellen sich dabei Netzwerke, Informationsdienste und Fachzeitschriften heraus, insbesondere:

- ◇ Advanced Manufacturing Partnership (AMP)
- ◇ Alliance Industrie du Futur
- ◇ Community Research and Development Information Service (CORDIS)
- ◇ Digital Manufacturing and Design Innovation Institute
- ◇ European Factories of the Future Research Association (EFFRA)
- ◇ Industrie 4.0 Österreich
- ◇ MIT Technology Review
- ◇ Plattform Industrie 4.0
- ◇ Smart Manufacturing Leadership Coalition (SMLC)

Viele der hunderten Firmen, die ich genauer unter die Lupe nehme, erfüllen die strengen technologischen Auswahlkriterien meiner Suche nicht. Denn allein die weitgehende Automatisierung mit Industrierobotern, wie sie vor allem in der Automobilindustrie im Bereich Rohbau und Lackierung gang und gäbe ist, genügt nicht. Auch die extensive Digitalisierung vor allem durch Enterprise-Resource-Planning (ERP)-Software ist nicht umfassend genug. Es geht vielmehr

um konkrete neue Verknüpfungen neuer Technologien, die bereits neuen Nutzen in konkreten Fertigungsprozessen und darüber hinaus stiften. Deshalb sind weder Hersteller von dafür genutzten Produkten von Interesse, es sei denn, sie verwenden ihre Produkte in der eigenen Fertigung, noch Demonstrationsfabriken noch Konzeptpapiere. All dies gibt es zahlreich, aber bewähren und Erfahrung damit sammeln, das ist nur unter Echtbedingungen in Realzeit in Fertigungen möglich. Diesen Lackmustest bestehen global erst wenige Produktionsstätten.

Natürlich gibt es sie, diese Vorreiter-Produktionsstätten – überschaubar an der Zahl, aber doch. Nicht alle diese Unternehmen kann ich im Rahmen der knapp bemessenen Recherchezeit besuchen. Und nicht alle Unternehmen wollen besucht werden, sei es aus Gründen der Geheimhaltung, sei es aus Gründen der verfügbaren Kapazität – schließlich erwarte ich ja, mit Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern der Fertigung während ihrer Arbeitszeit zu sprechen. Entscheidend für die Auswahl der Industrie-4.0-, Smart-Manufacturing- oder Advanced-Manufacturing-Pionierunternehmen ist letztendlich die größtmögliche Unterschiedlichkeit sowohl bezüglich eingesetzter Technologien als auch bezüglich hergestellter Produkte, um die industrielle Revolution, sofern es denn eine ist, in ihrer ganzen Vielfalt wahrzunehmen und besser zu verstehen.

Die interessantesten Videos von Industrie-4.0-Pionieren, die ich im Netz gefunden habe, sind im Kapitel „Hyperlinks zu Videos“ dieses Buches aufgelistet. Sie bilden eine gute Ergänzung zu den folgenden Reiseberichten.

Ausgangshypothese meiner Recherche ist, dass die unmittelbar Beteiligten sich selbst nicht als in einer industriellen Revolution befindlich betrachten (was vermutlich auch bei der ersten industriellen Revolution nicht anders war). Deshalb frage ich meine Gesprächspartnerinnen und Gesprächspartner auch nicht danach, was sie denn so von der vierten industriellen Revolution halten. Vielmehr erforsche ich die Veränderungen und ihre Auswirkungen aus Sicht der unmittelbar Beteiligten mittels Fragen wie: Was ändert sich gerade bei ihnen und weshalb? Wie verändern sich die Arbeitsbedingungen und Lebensumstände im Unternehmen, bei Kundinnen und Kunden sowie Zulieferinnen und Zulieferern? Welche neuen Themen und Interessenskonflikte tauchen auf? Welche alten Probleme verschwinden? Welche Bedeutung bzw. Relevanz haben bei diesen technologischen Veränderungen Mitbestimmung bzw. Partizipation?

Auf meiner Reise spreche ich mit Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern, die mit Robotern zusammenarbeiten, begleite Werksleiterinnen und Werksleiter durch Losgröße-1-Fertigung und sehe mit Staunen, was mit 3D-Druck und Raycasting

möglich geworden ist. Neue Technologien sind, wie dies schon in früheren industriellen Revolution der Fall war, die Treiber, aber welche Veränderungen der wirtschaftlichen und sozialen Verhältnisse, der Arbeitsbedingungen und Lebensumstände heute sichtbar werden, steht im Zentrum meines Reisebereichs.

Wien, im Mai 2017

1. Losgröße-1-Fertigung im Büromöbelbau: Nowy-Styl-Group-Werk Jasło

Jasło ist eine kleine Stadt im Südosten von Polen. Auf einer Landkarte findet man dieses Städtchen nicht sofort, steht es doch im Schatten der wesentlich bekannteren Stadt Krakau. Hilfreich ist, auf einer Landkarte zunächst das Dreiländereck Polen, Ukraine und Slowakei zu finden, denn nahe diesem Dreiländereck liegt Jasło. Mit seinen rund 36.000 Einwohnerinnen und Einwohnern ist Jasło nicht besonders auffällig, wäre dort nicht das neue Werk des im Jahr 1992 gegründeten Unternehmens Nowy Styl, welches nunmehr zu den drei größten Büromöbelherstellern Europas zählt. Dieses Werk zu besuchen, bin ich unterwegs.

Die Fahrt dorthin ist so komplikationslos, dass es fast schon wieder beachtenswert ist. Neue Autobahnen, welche mit noch wenig Verkehr gut zu befahren sind, und vor allem LKWs im Grenzverkehr zwischen Polen und der Slowakei sind schon das Bemerkenswerteste dieser Fahrt. Dabei erinnere ich mich, wie ich – es muss wohl in den 1980er-Jahren gewesen sein – den eisernen Vorhang überquerte, um nach Bratislava zu gelangen. Deutsche Zeitungen, welche ich am Rücksitz meines Autos achtlos hingelegt hatte, wurden von den Grenzbeamten der damaligen Tschechoslowakei unverzüglich konfisziert. Bei meiner Fahrt im Jahr 2016 war von dergleichen Kontrollen nichts mehr zu spüren. Zu bemerken war die Grenze zur Slowakei sowie einige Stunden später die Grenze nach Polen schon, aber Kontrollen, nein, die gab es nicht. Das Schengener Abkommen ist für jemanden, der im kalten Krieg aufgewachsen ist, immer noch eine der größten politischen Errungenschaften Europas.

Nowy Styl also. Auf der Suche nach Industrie-4.0-Vorreitern in der Holzindustrie stößt man unweigerlich auf dieses Unternehmen. Doch die Geschichte von Nowy Styl und seinen beiden Gründern, den Brüdern Krzanowski, ist an sich schon beeindruckend und zu einem besseren Verständnis lohnend vorzuschicken. Anfang der 1990er-Jahre ist Polen im Umbruch. Der Kommunismus war zusammengebrochen und Polen auf dem Weg in eine Marktwirtschaft. Adam Krzanowski ist 1990 24 Jahre alt und sein Bruder Jerzy eben erst 20 Jahre. Adam befindet sich gerade in den USA und Jerzy in Israel – beide nutzen ihre soeben gewonnene Reisefreiheit, um ihre unternehmerische Ader,

die sie schon früher mit dem Import von Jeans zeigten, in einem anderen Land zu erproben. Jerzy wird Koch in einem koscheren Restaurant in Israel, während Adam in New York eine Stelle beim Stuhlhersteller Whyte Company annimmt. Der Besitzer dieses Unternehmens Henry Stern, ein gebürtiger Ukrainer nahe der polnischen Grenze und Auschwitz-Überlebender, wird so eine Art Mentor für Adam.

1992 beschließen die beiden Brüder in ihrem Heimatort in Polen eine Stuhlfabrik nach dem Vorbild der White Company zu gründen. Henry Stern beteiligt sich mit 40 % am notwendigen Startkapital. Was aber noch viel wichtiger ist: Henry Stern verschafft ihnen Zugang zu Lieferanten in Italien, die bereit sind, ihnen Ware zu liefern ohne die üblichen Konditionen von Zahlung zuerst und Warenlieferung danach. Nowy Styl, also neuer Stil, wird gegründet und mit sieben Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern und drei Stuhlmodellen geht es los. Ein Jahr später, 1993, produziert Nowy Styl mit bereits 100 Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern sieben verschiedene Stuhlmodelle. 1995 beginnt Nowy Styl nach Osteuropa zu exportieren. 1996 zeigt Nowy Styl seine Produkte erstmals in Deutschland. In 2000 verkauft Nowy Styl seinen millionsten Stuhl. 2002, nur zehn Jahre nach der Gründung, beschäftigt Nowy Styl 4.000 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter und die Produktionsstätten umfassen ca. 170.000 m². Im selben Jahr wird der zwanzigmillionste Stuhl auf den Markt gebracht. Im Jahr 2007 wird der fünfzigmillionste Stuhl produziert und das Sortiment auf Büromöbel und Büroeinrichtungen generell ausgeweitet. Schließlich im Jahr 2008 wird darüber entschieden, weswegen ich in 2016 nach Jasło komme: Die modernste Büromöbelfabrik Europas soll gebaut werden. Doch kurz nachdem das Projekt startet, wird es auch schon wieder gestoppt und vorläufig auf Eis gelegt, denn die Wirtschaftskrise trifft auch Nowy Styl im Jahr 2008 voll. Die Umsätze brechen um 20 % ein und Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter werden als Folge davon gekündigt. Erst 2011 wird das Projekt wiederaufgenommen und schließlich 2015 fertiggestellt. Heute gehört die Nowy Styl Group zu den drei größten Herstellern von Büromöbeln in Europa mit einem Umsatz von über € 300 Millionen und rund 6.000 Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern. 2015 wird Adam Krzanowski zum Unternehmer des Jahres 2014 in Polen gewählt. Eine bemerkenswerte Erfolgsgeschichte, die sich in dieser Form typischerweise eher in den USA abspielt als in der Europäischen Union.

Als ich in der Früh in der neuen Büromöbelfabrik in Jasło eintreffe, werde ich schon von Dariusz Frydrych, Vorstand Fertigung und Produktion, sowie weiteren Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern erwartet. Das erste, das in der Vorstellungsrunde erstaunt, ist die Tatsache, dass die Projektleiterin des neuen Werkes

eine Frau, nämlich Maria Lasek, ist und dass die Werksleiterin ebenfalls eine Frau namens Wioletta Krajewska ist. Die beiden sind es auch, die mir im Laufe des Tages am meisten erzählen, sowohl über die Geschichte des Projektes als auch über die derzeitige Situation des neuen Werkes.

Wenn man sich dem Werk nähert, so sind es zwei Dinge, die sofort auffallen: Das eine ist, dass das Werk im wahrsten Sinn des Wortes in der grünen Wiese steht. Dies ist auch daran erkennbar, dass die Straße, die zu dem Werk führt, in meinem Navigationsgerät noch nicht vorhanden ist. Das zweite ist, dass das Werk beachtliche Ausmaße hat. Die Grundfläche beträgt rund 24.000 m², davon sind 20.000 m² Produktionsfläche inklusive Verpackung und Kommissionierung. Dies entspricht etwa drei Fußballfeldern. Im Vergleich zur Größe dieser Produktionsstätte ist der Parkplatz für Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter recht überschaubar. Dies liegt, wie sich später herausstellen sollte, nicht daran, dass das Werk besonders gut an das öffentliche Verkehrsnetz angeschlossen ist, sondern daran, dass in Relation zur Größe des Werkes vergleichsweise wenig Personen darin arbeiten. Doch dazu später mehr.



Kehren wir zurück zum Jahr 2008. In diesem Jahr wird der Beschluss gefasst, in Jasło ein neues Werk zur Herstellung von Büromöbeln inklusive Bürostühlen zu bauen und das in die Jahre gekommene und bereits zu kleine Werk für Büromöbel im benachbarten Krosno zu ersetzen. Geplant werden ursprünglich zwei getrennte Produktionslinien, davon eine für kleinere Losgrößen und die andere für größere Losgrößen. Bevor die Sache jedoch wirklich ins Rollen kommt, schlägt die Wirtschaftskrise bei Nowy Styl voll zu und das Projekt wird gestoppt. Erst 2011 wird das Projekt wiederaufgenommen. Als Projektleiterin setzt der Vorstand von Nowy Styl Maria Lasek ein, die bis zu diesem Zeitpunkt als Managerin im Einkauf tätig ist. Sie selbst, so erzählt sie mir, versteht zunächst gar nicht, wieso gerade sie als Projektleiterin für das bislang größte

Projekt von Nowy Styl vorgesehen ist. Allerdings, so meint sie selber, war vermutlich ihre große Erfahrung in Verhandlungen mit Lieferanten ein wichtiges Kriterium, denn eine der zentralen Fragen des Projektes war die Auswahl des bestgeeignetsten Maschinenherstellers sowie natürlich auch die Ausschreibung der Arbeiten für die Produktionshalle.

Im Jahr 2011 werden gleich zu Beginn des Projektes einige entscheidende Weichen gestellt. Zunächst wird festgelegt, dass von den ursprünglich geplanten zwei Produktionslinien abgegangen wird zugunsten einer Produktionslinie, welche die Möglichkeit bieten sollte, hochflexibel und trotzdem hocheffizient zu produzieren. Die zweite Entscheidung ist, dieses Projekt zu einem Viertel im Rahmen des von der Europäischen Union Polen zur Verfügung gestellten Strukturfonds zu finanzieren. Dies, so Maria Lasek, erfordert, im Informationssystem des Projektes zwei unterschiedliche Darstellungen zu wählen, nämlich einerseits für Nowy Styl selbst und andererseits für den europäischen Strukturfonds.

Ausgangspunkt der Produktion sind beschichtete Spanplatten. Diese kommen sowohl in unterschiedlichen Stärken als auch in verschiedenartigen Far-



ben und Oberflächen. Diese beschichteten Spanplatten, welche unter anderem von österreichischen Lieferanten an Nowy Styl geliefert werden, sind der Anfangspunkt der Produktion wie auf dem Foto ersichtlich.

Endprodukte der Produktion sind die montagefertigen Einzelteile eines Büromöbels, wie im Foto unten ersichtlich. Dies bedeutet, dass aus einer großen An-

zahl von Platten in Standardgröße, die sich sowohl in Stärke als auch Beschichtung unterscheiden, eine ungleich größere Zahl von Einzelteilen hergestellt wird, die anschließend zusammengebaut die unterschiedlichen Büroschränke, Bürotische und Schreibtische ergeben, welche die Fertigprodukte dieser Nowy-Styl-Fabrik darstellen.



Die Schwierigkeit eines solchen Produktionsprozesses liegt nicht so sehr in der Bearbeitung der Teile, wie dies etwa bei der Metallbearbeitung typischerweise der Fall ist, sondern in der Notwendigkeit, den unterschiedlichen Bedürfnissen der Kundinnen und Kunden in Bezug auf Größe, Farbe sowie Ausstattung der angebotenen Büromöbel Genüge zu tun. Am Beispiel eines einfachen Bürokastens wird dies klar: Um einen Büroschrank für unterschiedliche Kundinnen- und Kundenbedürfnisse anzubieten, muss dieser in unterschiedlichen Abmessungen, sowohl was Höhe, Breite als auch Tiefe anbelangt, produzierbar sein. Darüber hinaus müssen unterschiedliche Optionen für die Vorderfront, d.h. unterschiedliche Türtypen, angeboten werden. Außerdem muss dieser Büroschrank in unterschiedlichen Farben bzw. Oberflächen zur Verfügung stehen. Wird ein bestimmtes Modell in zehn verschiedenen Tiefen, zehn verschiedenen Breiten, zehn verschiedenen Höhen, zehn verschiedenen Farben sowie fünf verschiedenen Vorderfronten angeboten, so ergibt dies allein für diesen Büroschrank $10 \times 10 \times 10 \times 10 \times 5 = 50.000$ mögliche Varianten, die bei Bedarf gefertigt werden. Dabei ist noch gar nicht berücksichtigt, dass, wie mir ein Mitarbeiter von Nowy Styl erklärt, die Standardstärke der Spanplatte für Büroschränke in Polen eine andere ist als in Deutschland. Dies erhöht die Variantenzahl nochmals um den Faktor zwei, womit für ein und dasselbe Modell 100.000 verschiedene Produktvarianten herstellbar sein müssen.

Diese sogenannte kombinatorische Komplexität ist typisch für die industrielle Fertigung von Büromöbeln. Traditionellerweise wird dieses Problem so gelöst, dass für die am meisten nachgefragten Maße und Beschichtungsarten die Endprodukte in einer entsprechend großen Losgröße, zum Beispiel fünf

oder zehn oder auch 40 Stück, gefertigt werden und dann im Fertigwarenlager so lange gelagert werden, bis sie verkauft werden. Eine solche klassische Produktionsphilosophie führt dazu, dass die meistgekauften Produkte günstig herzustellen und auch prompt lieferbar sind. Die selten gefragten Produkte werden hingegen einzeln gefertigt, was in der Fertigung einen erheblichen Mehraufwand bedeutet und darüber hinaus auch mehr Zeit benötigt.

Was die Kosten zusätzlich erhöht, ist der Ausschuss beim Rohmaterial, also bei den beschichteten Spanplatten im Standardmaß. Denn bei der Produktion der am meisten nachgefragten Produkte kann der Verschnitt aus den Spanplatten aufgrund der größeren Stückzahlen minimiert werden. Bei Einzelfertigungen hingegen müssen auftragsbezogen die notwendigen Elemente aus einer Standardplatte erstellt werden, wodurch die Möglichkeiten der Verschnittoptimierung deutlich eingeschränkt sind. Das Resultat ist einerseits hoher Ausschuss bei Einzelfertigung, andererseits eine Unzahl von Spanplatten verschiedenster Größe, die für zukünftige Einzelfertigungen zur allfälligen Verwendung gelagert werden.

Als daher 2011 die Brüder Krzanowski entscheiden, die Fertigung in der neuen Fabrik in Jasło so auszurichten, dass in Losgröße 1 zu Kosten traditioneller Massenfertigung produziert wird, ist dies ein risikofreundlicher Schritt. Denn zu diesem Zeitpunkt gibt es kein Vorbild, an dem sich Nowy Styl orientieren kann. Motivation für diesen Schritt ist die kontinuierlich steigende Nachfrage nach individualisierten Büromöbeln und natürlich auch die Tatsache, dass die technologischen Möglichkeiten vorhanden sind, auch wenn diese noch nicht woanders umgesetzt sind.

Das Projekt, so erzählt mir Maria Lasek, sprengt alle bisherigen Projekte bei Nowy Styl in Bezug auf seine Komplexität. Das Geld der Europäischen Union, welches im Rahmen des Strukturfonds zur Verfügung gestellt wird, ist an die Einhaltung eines strikten Terminplans gebunden. 2011 verlangt die EU eine Fertigstellung und Inbetriebnahme des neuen Werkes bis spätestens September 2015. Aus diesem Grund beschließt Nowy Styl, das Projekt in seiner internen Planung bis Jänner 2015 fertigzustellen, sodass letztlich die Inbetriebnahme vor dem von der EU verlangten Termin erfolgt. Die Losgröße-1-Fertigung im neuen Werk in Jasło wird vom Vorstand von Nowy Styl zum Projekt mit höchster Priorität deklariert, nicht nur um den Terminvorgaben der Europäischen Kommission Genüge zu tun, sondern auch, weil das Projekt für Nowy Styl existenziell ist. Denn mit der Inbetriebnahme des neuen Werkes wird das alte Werk in Krosno geschlossen, um eine Parallelität von zwei Werken, die dieselben Produkte herstellen, von vornherein auszuschließen. 6.000 verschiedene

Aufgaben inkludiert der Projektplan und für jede dieser Aufgaben gibt es eine klar verantwortliche Person, die auch regelmäßig über den Fortschritt der Aufgabe in einem eigens dafür erstellten Computerprogramm berichten muss.

Maria Lasek schildert mir als ehemalige Projektmanagerin erstaunlich unaufgeregt, dass das Projekt sowohl im Termin- als auch Kostenrahmen blieb – bei einem Gesamtvolumen von rund € 40 Millionen. Noch 2011 ist indes alles andere als sicher, ob das Projekt erfolgreich abgeschlossen werden kann, ob es im Rahmen des vorgesehenen Budgets und der vorgesehenen Zeit abgeschlossen werden kann. Auch ist 2011 ist noch unklar, wer die Lieferanten der erforderlichen Maschinen, der erforderlichen Software und der erforderlichen Werkshalle sein werden.

Was war das Schwierigste im Rahmen des gesamten Projektes, frage ich. Die Auswahl des bestgeeignetsten Lieferanten der Holzbearbeitungsmaschinen sowie die Etablierung einer offenen Kommunikationskultur innerhalb des Projektteams, sodass allfällig auftauchende Probleme sofort sichtbar wurden und gemeinsam gelöst werden konnten, antwortet mir Maria Lasek.

Nach diesen Erläuterungen durch Maria Lasek zeigt mir Wioletta Krajewska das Werk. Der erste Eindruck von innen bestärkt den Eindruck von außen: Die Halle ist riesig. Was indes noch beeindruckender ist, ist die Tatsache, wie wenig Menschen im Produktionsbereich der Halle tätig sind. Etwa zwei Drittel der Halle dienen dem Lager der verschiedenen beschichteten Spanplatten sowie der eigentlichen Produktion, ein Drittel der Halle dient der Verpackung und Kommissionierung. An einem Ende der Halle werden die beschichteten Spanplatten in Standardgrößen angeliefert. Am anderen Ende werden die verpackten und kommissionierten Produkte in LKWs verladen.

Im Wesentlichen besteht die gesamte Produktionsanlage aus dem Rohwarenlager, zwei CNC-gesteuerten Sägen, der CNC-gesteuerten Maschine, welche die Kantenumleimer anbringt, der CNC-gesteuerten Maschine, welche bohrt, fräst sowie Holzdübel und Schraubenmuttern anbringt, und schließlich der Sortieranlage am Ende der Produktion, welche sämtliche einzeln gefertigten Teile so sortiert, wie sie für ein bestimmtes Produkt für eine bestimmte Kundin bzw. einen bestimmten Kunden zusammengehören. Zwischen den drei Maschinen gibt es je ein Pufferlager und der gesamte Transport aller Teile, beginnend vom Rohwarenlager bis zur Sortiermaschine am Ende der Fertigung, erfolgt über Förderbänder sowie über Förderkräne, welche die Platten ansaugen und weiterbefördern.

Aber der Reihe nach. Mit dieser Anlage werden die Rohplatten zur Sägemaschine transportiert:



Unmittelbar nach den Sägen wird jedes Teil mit einem Barcode auf der Oberseite eindeutig identifiziert, wodurch alle nachgelagerten Maschinen, welche diesen Barcode lesen, erkennen, um welches Teil es sich handelt und wie es zu bearbeiten ist. Jedes Teil wird sodann einzeln und eindeutig identifiziert in das Pufferlager zwischen Säge und Kantenumleimer mittels CNC-gesteuerter Förderbänder und Förderkräne eingelagert:



Beim Kantenumleimer wird zunächst der Barcode gelesen und dann der exakt passende Kantenumleimer auf allen vier Seiten der zugeschnittenen Spanplatte angebracht.



Danach kommt jede Platte wiederum eindeutig identifiziert in das zweite Pufferlager. Aus diesem Pufferlager werden die Teile, die bis zu diesem Zeitpunkt unabhängig voneinander und in beliebiger Reihenfolge gefertigt werden, so entnommen, dass jeweils alle Teile, welche zu einem bestimmten Büromöbel gehören, hintereinander automatisch zur letzten Maschine transportiert werden. Diese Maschine bohrt, fräst und setzt Holzdübeln sowie Schraubenmuttern ein. Auch an dieser Maschine wird jedes Teil durch den Barcode eindeutig identifiziert, sodass die CNC-Steuerung die korrekten Arbeiten ausführt. Im Fertigwarenlager werden danach die Teile, die zu jeweils einem Büromöbel gehören, getrennt von anderen Büromöbelteilen automatisch abgelegt. Erst jetzt werden die Teile eines Büromöbels zum ersten Mal von einer Mitarbeiterin oder einem Mitarbeiter in die Hand genommen.



Auch die nun erfolgende Verpackung ist teilweise automatisiert. Für jedes Büromöbel werden die minimal erforderlichen Abmessungen des Verpackungskartons rechnerisch ermittelt und anschließend dieser Karton von einer CNC-gesteuerten Maschine ausgeschnitten und gefalzt. An den Verpackungsarbeitsplätzen wird sodann jedes Produkt, bestehend aus seinen Spanplatten-Teilen, seinen metallischen

Zubehörteilen und seiner Kartonverpackung, entsprechend einer Verpackungsanleitung, welche an jedem Verpackungsarbeitsplatz auf einem Touchscreen grafisch dargestellt ist, verpackt.



Die Verpackung und Kommissionierung erfolgt nunmehr manuell. Im Produktionsbereich hingegen sind die dort tätigen Personen ausschließlich mit der Überwachung und Bedienung der Maschinen betraut. Die Bearbeitung der Spanplatten-Teile selbst erfolgt durch CNC-gesteuerte Maschinen. Ungewöhnlich ist, dass die Bearbeitungsreihenfolge der einzelnen Teile nicht Produkt für Produkt erfolgt, sondern dass diese Reihenfolge sich aus der computergesteuerten Optimierung des gesamten Prozesses und der Minimierung des Ausschusses in der Sägerei ergibt.

Das gesamte Produktionssystem wird im Tagesrhythmus geplant. Dies bedeutet, dass in der Sägerei nur Spanplatten geschnitten werden, die am selben Tag den gesamten Produktionsprozess durchlaufen und somit spätestens am Ende des Tages verpackungsfertig sind. Dies ermöglicht, dass der Zuschnitt der Spanplatten über den gesamten Tag optimiert wird und dass die Reihenfolge, in der die einzelnen Stücke während des Tages gefertigt werden, ausschließlich unter dem Gesichtspunkt der Prozessoptimierung und Abfallminimierung computergesteuert erfolgt.

Während ich beeindruckt dem Produktionsgeschehen zusehe, sind nur einige wenige Arbeiterinnen und Arbeiter im Produktionsbereich. Sie gehen herum, sehen sich mitunter etwas auf den Touchscreens an oder tätigen Eingaben an einem der Touchscreens. Physisch tätig sind nur ein Arbeiter am

Anfang des Produktionsprozesses, der mittels eines Gabelstaplers die Rohplatten auf die am Touchscreen angezeigten Plätze ablegt, sowie die Arbeiterinnen und Arbeiter im Verpackungs- und Versandbereich. Sämtliche Informationen, die die Maschinen benötigen, werden vom IT-System, in dem alle Auftragsdaten, alle Daten zur Steuerung der CNC-Maschinen sowie alle Produktionsplanungsdaten hinterlegt sind, verwaltet. Dieser, der eigentlichen Produktion vorgelagerte Prozess entsteht in den Büros im ersten Stock des Werkes.

Während wir durch die Produktionshalle gehen, informiert mich Wioletta Krajewska, dass sämtliche Arbeiterinnen und Arbeiter der alten Fabrik nun in diesem Werk arbeiten – allerdings mussten sie erheblich umlernen. Abgesehen von den Arbeiten in Verpackung und Versand sind die Arbeiterinnen und Arbeiter in der Produktion, sieht man vom einzigen Gabelstaplerfahrer ab, nicht mehr mit manuellen Arbeiten wie Sägen, Bohren, Fräsen oder dem Anbringen von Kantenumleimer befasst, sondern mit dem Überwachen der Maschinen und dem Eingreifen bei Störfällen. Mit der gleichen Anzahl von Personen in der Produktion werden nunmehr dreimal so viele Büromöbel pro Tag produziert als in der alten Fabrik. Darüber hinaus kann nunmehr wegen der Losgröße-1-Produktion jede mögliche Produktvariante innerhalb derselben Lieferzeit den Kundinnen und Kunden zugesagt werden. Dies war in der vorherigen Fabrik nur für einige wenige besonders nachgefragte Produkte möglich.

Die Anforderungen an die Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter in der Produktion bezüglich Umstellung von der Produktion in der alten Fabrik auf die ab Sommer 2015 völlig neue Arbeitsweise in der neuen Produktion muss enorm gewesen sein. Davon ist allerdings bei meinem Besuch ein Jahr später nichts mehr zu spüren. Beim Umhergehen in der riesigen Produktionshalle wirken alle Arbeiterinnen und Arbeiter sehr gelassen bei ihrer Tätigkeit. Gefragt, wo es ihnen denn besser gefiele, ob in der alten Fabrik oder in der neuen, erhalte ich die Antwort, dass es in der alten Fabrik schon irgendwie besser gewesen sei, aber dass sie nicht zurückwollen.

Die papierlose Fabrik – hier bei Nowy Styl ist sie weitgehend realisiert. Denn in der eigentlichen Produktion gibt es keine Arbeitspläne und Fertigungsstücklisten mehr. Diese sind natürlich digital vorhanden, aber werden den CNC-gesteuerten Maschinen sowie den Transportgeräten direkt elektronisch übermittelt. Da jedes Teil in der Fertigung mit einer maschinenlesbaren Barcode-Etikette versehen und damit eindeutig identifizierbar ist, muss jede Maschine und jedes Transportgerät nur diesen Barcode lesen, um hernach die entsprechenden Tätigkeiten teilespezifisch auszuführen.

Geändert hat sich nicht nur die Arbeit in der Produktion selbst, sondern ebenso in der Arbeitsvorbereitung sowie im Produktdesign. Die Großraumbüros, in denen die Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter sitzen, fallen alleine schon dadurch auf, dass an jedem Arbeitsplatz zwei große Bildschirme unmittelbar nebeneinanderstehen, mit deren Hilfe designt, geplant und die Arbeit der CNC-Maschinen vorbereitet wird. Ein Gutteil der erforderlichen Arbeitsvorbereitung, etwa das Herstellen der Arbeitspläne und der Fertigungsstücklisten, wird von einem sogenannten Konfigurator automatisiert durchgeführt. Für jedes Büromöbel existiert ein generischer Arbeitsplan mit Fertigungsstückliste, von dem, entsprechend der jeweiligen kundenspezifischen Variante, Arbeitsplan sowie Fertigungsstückliste automatisch generiert werden. Dies umfasst auch alle Detaildaten für die CNC-gesteuerten Maschinen inklusive der Schnittoptimierung für die Säge.

Wenn die Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter in der Arbeitsvorbereitung deutlich weniger zu tun haben als früher und die Anzahl dieser Personen gegenüber der alten Fabrik gleichgeblieben ist, wie sieht dann der neue Tätigkeitsbereich dieser Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern aus, frage ich. Die wichtigste Veränderung, so wird mir erklärt, besteht darin, dass diese Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter nunmehr wesentlich mehr am Design neuer Produkte arbeiten. Dies nicht nur deshalb, weil der Markt stetig und vermehrt neue Büromöbel verlangt, sondern auch, weil das Produktdesign die detaillierten generischen Arbeitspläne und Stücklisten beinhaltet, die im Konfigurator genau und fehlerfrei spezifiziert werden müssen. Fehler, die dabei passieren, führen unweigerlich zu fehlerhaften Arbeitsplänen oder fehlerhaften Fertigungsstücklisten. Erkennbar werden solche Fehler allerdings erst beim Verpacken, denn die CNC-Maschinen führen die Aufträge, die ihnen elektronisch übermittelt werden, aus, ohne dass ein Mensch eingreift. In der früheren Produktionsweise konnte eine Mitarbeiterin oder ein Mitarbeiter erkennen, wenn Arbeitspläne fehlerhaft sind, wie etwa falsch positionierte Bohrlöcher, oder wenn ein Kantenumleimer nicht zur Beschichtung des Teils passt. In dieser hochautomatisierten Fertigung jedoch, in der die Teile in einer für beobachtende Personen nicht mehr nachvollziehbaren Reihenfolge bearbeitet werden, kann ein Fehler während der Produktion nicht mehr festgestellt werden.

Um daher Fehler im Konfigurator bei der Erstellung eines neuen Produktes oder bei Veränderung eines bestehenden Produktes absolut auszuschließen, wird jeweils ein Prototyp in der Fertigung produziert. Aufgrund des Losgröße-1-Konzeptes ist dies in dieser Produktion auch kein besonderes Problem, wird doch ein Prototyp einfach wie ein normaler Auftrag behandelt und abgewickelt.

Dadurch kann erkannt werden, welche Fehler im Konfigurator gegebenenfalls noch vorhanden sind, bevor dann der Prototyp als neues oder auch geändertes Produkt im IT-System als serienreif gespeichert wird.

Die Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter in der gesamten Fertigung sind so geschult, dass Rotationen problemlos möglich sind, sie können an den verschiedenen Arbeitsplätzen arbeiten. Dementsprechend ist auch das Bonussystem auf Teambasis konzipiert und berücksichtigt Qualitätskriterien, Kriterien betreffend Liefertermintreue sowie Kriterien betreffend Kosten und Abfallreduktion.

Da die neue Fabrik ab dem ersten Tag der Inbetriebnahme vollständig die alte Fabrik ersetzen sollte und keine Parallelproduktion vorgesehen war, mussten alle Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter vor Produktionsbeginn entsprechend eingeschult werden. Dies erfolgte direkt beim Lieferanten der Maschinen. Trotzdem, so die Werksleiterin, benötigte es rund ein halbes Jahr, bis das gesamte Fertigungskonzept mit den neuen Maschinen und den umgeschulten Personen reibungslos funktionierte.

Das gute Zusammenwirken zwischen dem Lieferanten der Maschinen, dem Lieferanten des gesamten IT-Systems sowie dem internen Projektmanagement von Nowy Styl und der Personalabteilung von Beginn des Projektes im Jahr 2011 bis zur Inbetriebnahme im Sommer 2015 war nicht nur beeindruckend komplex, sondern offensichtlich auch hervorragend gut. Denn nicht nur waren die Maschinen sowie das erforderliche IT-System völlig neu, es musste darüber hinaus auch sichergestellt werden, dass die Schnittstellen zwischen den CNC-Maschinen und dem das Gesamtsystem steuernde IT-System problemlos funktionieren und außerdem von den Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern entsprechend bedient werden können.

Auf meine Frage, ob es nicht einfacher gewesen wäre, das IT-System und die Maschinen aus einer Hand zu beziehen, erfahre ich, dass es bewusste Investitionspolitik bei Nowy Styl sei, sich nicht einem einzigen Lieferanten auszuliefern. Es sei wichtig, so höre ich, dass einerseits alle Maschinen von einem Lieferanten stammen, aber dass andererseits das IT-System von einem anderen Lieferanten ist, um bei zukünftigen Investitionen so flexibel zu bleiben, dass Maschinen anderer Hersteller, aber auch Software anderer IT-Systemanbieter eingesetzt werden können. Das Know-how zur Integration der Maschinen mit dem IT-System muss bei Nowy Styl und nicht bei den Lieferanten liegen, so Dariusz Frydrych. Die strategische Bedeutung dieses Know-hows für Nowy Styl wird in den Gesprächen mit den Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern deutlich. Zwar kauft Nowy Styl die einzelnen Komponenten von nur zwei Lieferanten.

Aber erst durch die von Nowy Styl und dem Projektmanagement konzipierte Integration dieser Komponenten zu einem digitalisierten und automatisierten Produktionssystem wird die Losgröße-1-Fertigung in beeindruckender Form ermöglicht.

Neue, moderne Maschinen und IT-Systeme zu kaufen kann im Grunde jeder Büromöbelhersteller, der über entsprechendes Kapital verfügt. Aber alle diese Komponenten zu einem integrierten, hochautomatisierten Fertigungssystem zusammenzufügen, sodass Losgröße-1-Fertigung nicht nur als erstrebenswertes Konzept vorhanden ist, sondern tatsächlich realisiert wird und funktioniert, das verschafft Wettbewerbsvorteile.

Alle Veränderungen und das damit verbundene Umlernen im Produktdesign, in der Arbeitsvorbereitung und in der Produktion wird jedoch, so erfahre ich, noch übertroffen von den Veränderungen, die die Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter im Bereich Wartung und Reparatur erlebten. Die Wartungsabteilung ist nämlich die einzige, die in der neuen Fabrik personell aufgestockt wurde und zwar um das Fünffache von zwei auf nunmehr zehn Personen. Deren Wartungs- und Reparaturaufgaben inkludieren das gesamte Gebäude mit seiner Infrastruktur, insbesondere Elektrik, Wasser, Pneumatik und den großen Ventilatoren zum Absaugen der Späne, sowie alle Maschinen in der Fertigung. Das Einzige, das die Abteilung für Wartung und Reparatur nicht zu betreuen hat, sind das IT-System und die Schnittstellen zu den CNC-Steuerungen. Die Elektronik der Maschinen selbst hingegen ist im Verantwortungsbereich der Wartungsabteilung.

Wie kritisch die Aufgabe der Wartungsabteilung ist, erkennt man daran, dass keine Maschine redundant ausgelegt ist, d.h. der gesamte Produktionsvorgang ist sequenziell, nicht parallel. Wenn nur eine Maschine stillsteht, ist die gesamte Fertigung blockiert. Die rasche Behebung einer Maschinenstörung ist daher kritisch für die Produktivität der gesamten Fertigung, denn eine temporäre Überbrückungslösung in dem komplexen Fertigungsprozess einzurichten, ist praktisch nicht möglich.

Die Inbetriebnahme des Werkes, so erklärt mir der Leiter der Wartungsabteilung, war mühsam, da zunächst häufig Elektronikfehler auftraten. Die Sache wird indes dadurch erleichtert, dass alle Maschinen mit einem Selbstdiagnose-Modul ausgestattet sind. Besonders störanfällig waren die Sensoren. Vor allem sie sind es, die den Wartungsaufwand gegenüber den Maschinen in der alten Fabrik stark vergrößern. Darüber hinaus haben die Maschinen eine Art Eigenleben, das den zehn Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern der Wartungsabteilung

einiges an Erfahrung abverlangt, was anfangs in nur geringem Ausmaß vorhanden war. Ein Jahr nach Inbetriebnahme ist Reparatur und Wartung aber bereits Routine. Störfälle gibt es, aber nicht mehr in dem Ausmaß, dass sie die Produktivität der Fertigung insgesamt beeinträchtigen.

Einfache Wartungsarbeiten werden nunmehr von den Menschen, die die Maschinen bedienen, selbst vorgenommen. Die Wartungsabteilung ihrerseits hat die meisten Wartungsaufgaben, welche ursprünglich beim Lieferant lagen, bei sich konzentriert. Dies ist notwendig, weil der Lieferant seinen Hauptsitz in Deutschland hat und daher bei zeitkritischen Reparaturen und Störfällen nicht rasch genug vor Ort sein kann. Aus demselben Grund verfügt die Wartungsabteilung auch über ein Ersatzteillager ausfallsgefährdeter Maschinenkomponenten. Bei Inbetriebnahme im Sommer 2014 war die Wartungsabteilung zu rund 20 % ihrer Kapazität mit Reparaturarbeiten befasst. Nun ist dieser Anteil auf 5 % zurückgegangen.

Dass die Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter stolz auf das Geleistete sind, ist spürbar. Die Büromöbelfabrik erwirtschaftet, so Dariusz Frydrych, bereits Gewinne, obwohl sie noch nicht in ihrer vollen Kapazität, d.h. im Mehrschichtbetrieb eingesetzt wird. Bei Investitionskosten von € 40 Millionen macht es einen erheblichen Unterschied, ob die daraus resultierenden Abschreibungen und damit Fixkosten auf mehr oder weniger Umsatz umgelegt werden. Mit ihrer Losgröße-1-Produktion bei gleichzeitig hoher Flexibilität und Anpassung an Wünsche von Kundinnen und Kunden wirkt diese Fabrik gut gerüstet, um im Wettbewerb der Büromöbelhersteller zu bestehen. Seit Inbetriebnahme des Werkes wird, so erfahre ich, vermehrt der arabische Raum bedient, nicht zuletzt deswegen, weil die Fabrik mit kurzen und verlässlichen Lieferzeiten bei gleichzeitig hoher Anpassungsfähigkeit an Wünsche von Kundinnen und Kunden reüssieren kann.

Unter dem Titel „Ende der Gemütlichkeit“ steht im Der Spiegel 8/2015: *„Wir hatten unsere historischen fünf Minuten, sagt Krzanowski, und wir haben sie genutzt. Die Brüder sind Pioniere in einem Industriezweig, der viel zum polnischen Wirtschaftswunder der vergangenen Jahre beigetragen hat. ... Die polnische Möbelindustrie steigert Jahr für Jahr den Umsatz, die Exporte wuchsen allein 2014 um 14 Prozent, ein Drittel der Ausfuhren geht nach Deutschland.“*

Die neue Fabrik, so erfahre ich, ist bei jungen Absolventinnen und Absolventen der Hochschulen im Umkreis von Jasło und Krosno sehr beliebt. Weder an ihren Schulen noch bei anderen Arbeitgebern der Gegend können sie eine so moderne Fertigung kennenlernen und darin mitarbeiten. Aber dies hat auch

seine Schattenseiten. Nach ein paar Jahren Mitarbeit bei Nowy Styl zieht es auch immer wieder einige der Jungen in die großen Städte Polens, nach Warschau und Krakau etwa. Nowy Styl setzt jedoch auf hohe Kontinuität im Personal, weil das Know-how, das sich neue Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern in den ersten paar Jahren aneignen, für Nowy Styl wichtig ist. Für Nowy Styl ist dieses Dilemma eine neue Erfahrung: Viele gut Ausgebildete möchten ihre ersten Spuren bei Nowy Styl verdienen, aber einige möchten ihr gewonnenes Wissen dann in den großen Städten bei anderen Firmen einbringen. Er habe aber auch erfahren, so Dariusz Frydrych, dass Leute zurückkommen und bei Nowy Styl wieder arbeiten. *„Das freut uns sehr“*, so Frydrych.

Handwerkliches Geschick, das wird mir deutlich vor Augen geführt, ist im neuen Werk nicht mehr gefragt. Die Interaktion mit den Maschinen erfolgt nicht mehr wie mit einer traditionellen Säge, einem Bohrer oder einer Fräsmaschine. Interaktionen mit diesen selbstdiagnostizierenden CNC-gesteuerten Maschinen erfolgen via Touchscreen. Die Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern in dieser Fabrik haben gelernt, auf diese neue Art die Maschinen zu bedienen und deren Anzeigen zu verstehen.

Neu ist aber auch, dass nun Produktdesign und Arbeitsvorbereitung alleine die Abläufe in der Fertigung steuern. Während in der alten Fabrik die Arbeiterinnen und Arbeiter noch selbst Einfluss auf Arbeitsabläufe hatten und unsinnige Anweisungen korrigieren konnten, ist dies nun kaum mehr möglich. Aus diesem Grund wurde bei Nowy Styl ein spezielles Organisationshandbuch geschaffen, das Codebook genannt wird. Im Codebook wird detailliert dargelegt, worauf im Produktdesign und in der Arbeitsvorbereitung zu achten ist, wenn Daten im IT-System verändert werden, welche Auswirkungen dies in welchem Bereich haben kann und mit wem solche Veränderungen abgestimmt werden müssen. In diesem hochvernetzten System, in dem die Fertigung wie ein einziger Roboter funktioniert, können sonst Dinge passieren, die nicht vorhersehbar sind, und deshalb ungewollte Konsequenzen zeitigen. Ohne dieses vernetzte Denken, zu dem die Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter des neuen Werkes fähig geworden sind, könnte das Werk wohl nicht funktionieren.

Gegen Ende meines Besuches sehe ich an der Wand eines der Großraumbüros des Bereiches Produktdesign und Arbeitsvorbereitung folgenden Spruch, überraschenderweise auf Deutsch:

Es ist nicht genug, zu wissen,
man muss auch anwenden;
es ist nicht genug, zu wollen,
man muss auch tun.

Johann Wolfgang von Goethe

Diesen Satz, so muss ich gestehen, hatte ich bislang nirgendwo je gelesen und kannte ihn auch nicht. Erst ein kurzes Suchen im Web machte mir deutlich, dass dies eines der berühmten Zitate Goethes aus seinem Werk Wilhelm Meisters Wanderjahre ist. Noch im Nachhinein klingt dieses Zitat bei mir nach. Es ist wie ein Resümee meiner Eindrücke bei Nowy Styl und die knappste und stimmigste Beschreibung der Unternehmenskultur, wie ich sie bei Nowy Styl kennengelernt habe. Es ist aber letztlich auch eine stimmige Beschreibung der Partnerschaft zwischen den zwei Lieferanten der Maschinen und des IT-Systems aus Deutschland und dem Unternehmen an der östlichen Außengrenze der EU.

Erkenntnisse im Überblick

- ◆ Als Projektleiterin setzt der Vorstand von Nowy Styl eine Frau ein, die bis zu diesem Zeitpunkt als Managerin im Einkauf tätig ist. Ihre hohe Sozialkompetenz sowie ihre große Erfahrung in Verhandlungen mit Lieferanten sind wesentliche Kriterien.
- ◆ Die Schwierigkeit des Produktionsprozesses liegt in der Notwendigkeit, den unterschiedlichen Bedürfnissen von Kundinnen und Kunden in Bezug auf Größe, Farbe sowie Ausstattung der angebotenen Büromöbel Genüge zu tun.
- ◆ Für ein und dasselbe Modell müssen 100.000 verschiedene Produktvarianten herstellbar sein.
- ◆ Die Fertigung in der neuen Fabrik in Jasło ist so ausgerichtet, dass in Losgröße 1 zu Kosten traditioneller Massenfertigung produziert wird.
- ◆ 6.000 verschiedene Aufgaben inkludierte der Projektplan und für jede dieser Aufgaben gab es klare Verantwortliche, die regelmäßig über den Fortschritt in einem eigens dafür erstellten Computerprogramm berichten mussten.
- ◆ Das Projekt wird sowohl im Termin- als auch Kostenrahmen fertig – bei einem Gesamtvolumen von rund € 40 Millionen.
- ◆ Das Schwierigste des Projektes war die Auswahl des bestgeeignetsten Lieferanten der Holzbearbeitungsmaschinen sowie die Etablierung einer offenen Kommunikationskultur innerhalb des Projektteams, so dass auftauchende Probleme sofort sichtbar wurden und gemeinsam gelöst werden konnten.

- ◆ Sämtliche Arbeiterinnen und Arbeiter der alten Fabrik arbeiten nun im neuen Werk – allerdings mussten sie erheblich umlernen.
- ◆ Abgesehen von den Arbeiten in Verpackung und Versand sind die Arbeiterinnen und Arbeiter in der Produktion (sieht man vom einzigen Gabelstaplerfahrer ab) nicht mehr mit manuellen Arbeiten wie Sägen, Bohren, Fräsen oder dem Anbringen von Kantenumleimer befasst, sondern mit dem Überwachen der Maschinen und dem Eingreifen bei Störfällen.
- ◆ Mit der gleichen Anzahl von Personen in der Produktion werden nunmehr dreimal so viele Büromöbel pro Tag produziert als in der alten Fabrik.
- ◆ Wegen der Losgröße-1-Produktion kann jede mögliche Produktvariante innerhalb derselben Lieferzeit den Kundinnen und Kunden zugesagt werden.
- ◆ In der Produktion gibt es keine physischen Arbeitspläne und Fertigungsstücklisten mehr. Diese sind nur digital vorhanden und werden von der Arbeitsvorbereitung direkt den CNC-gesteuerten Maschinen elektronisch übermittelt.
- ◆ Ein Gutteil der Arbeitsvorbereitung, etwa das Herstellen der Arbeitspläne und Fertigungsstücklisten, wird von einem sogenannten Konfigurator automatisiert durchgeführt.
- ◆ In dieser hochautomatisierten Fertigung, in der die Teile in einer für beobachtende Personen nicht mehr nachvollziehbaren Reihenfolge bearbeitet werden, kann ein Fehler während der Produktion nicht mehr festgestellt werden.
- ◆ Die Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter in der gesamten Fertigung sind so geschult, dass Rotationen problemlos möglich sind. Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter können an den verschiedenen Arbeitsplätzen arbeiten. Dementsprechend ist auch das Bonussystem auf Teambasis konzipiert und berücksichtigt Qualitätskriterien, Kriterien betreffend Liefertermintreue, Kosten und Abfallreduktion.
- ◆ Erst durch die vom Projektmanagement konzipierte Integration aller zugekauften Komponenten zu einem digitalisierten und automatisierten Produktionssystem wird die Losgröße-1-Fertigung ermöglicht.
- ◆ Die Wartungsabteilung ist die einzige, die in der neuen Fabrik personell aufgestockt wurde – und zwar um das Fünffache.

- ◆ Keine Maschine ist redundant ausgelegt, d.h. wenn nur eine Maschine stillsteht, ist die gesamte Fertigung blockiert.
- ◆ Einfache Wartungsarbeiten werden von den Menschen, die die Maschinen bedienen, selbst vorgenommen.
- ◆ Handwerkliches Geschick ist im neuen Werk nicht mehr gefragt, denn die Interaktionen mit den CNC-gesteuerten Maschinen erfolgen via Touchscreen.

2. Automatisierung der Ventilmontage: Festo-Technologiefabrik Scharnhausen

Unweit des Flughafens Stuttgart befindet sich die im Jahr 2015 in Betrieb gegangene Technologiefabrik Scharnhausen der Festo AG & Co KG. Sie ist das Vorzeigewerk von Festo bezüglich Digitalisierung und Automatisierung. Begonnen hatte indes alles ganz anders. Im Jahr 1925 gründen Gottlieb Stoll und Albert Fezer ihr Unternehmen Fezer und Stoll. Der Marken- und spätere Firmenname Festo erinnert noch daran, setzt er sich doch aus den Nachnamen seiner Gründer zusammen. Die ersten 30 Jahre bleibt Festo allein auf die Konstruktion von Holzbearbeitungsmaschinen spezialisiert. Aber im Jahr 1955 startet jener neue Geschäftsbereich, in welchem Festo heute eines der weltweit führenden Unternehmen ist: die Pneumatik.

Als Pneumatik wird der Einsatz von Druckluft zur Verrichtung mechanischer Arbeit bezeichnet. Neben Verbrennungs- und Elektromotoren ist Druckluft eine weitere Möglichkeit, Maschinen anzutreiben. Vor allem wenn es darum geht, auf kleinstem Raum Kraft zu übertragen oder in Bewegung umzuwandeln, ist Druckluft diesen Motoren überlegen. Druckluft wird etwa zum Antrieb von Hämmern und Bohrern, bei Brems- und Fahrwerkssystemen von Kraftfahrzeugen, in der Fördertechnik, aber auch in Abfüllanlagen für Getränke sowie zur Sortierung von Gemüse oder Reis verwendet. So wie man in der Elektrotechnik Transistoren und elektronische Schaltungen benötigt, so benötigt man in der Pneumatik Ventile und Ventilinseln. Damit beginnt die Geschichte des Unternehmens Festo, wie man es heute noch kennt.

Während einer USA-Reise Anfang der 1950er-Jahre lernt Kurt Stoll, ältester Sohn von Gottlieb Stoll, die industrielle Nutzung von Pneumatik kennen und bringt das Wissen in die Firma ein. Festo erkennt dieses Potenzial und kann bereits 1956 den ersten Katalog mit eigenen Pneumatik-Produkten, insbesondere Ventilen und Zylindern, auf den Markt bringen. In den 1980er-Jahren entwickelt Festo die weltweit erste Ventilinsel, eine Zusammenfassung mehrerer Ventile auf einer gemeinsamen Platte, um neuartige Funktionen, wie etwa Proportionalventile oder servopneumatische Steuerungen für die Automatisierung, zu realisieren. Heute gehört Festo zu den weltweit führenden Unternehmen bei der Nutzung von Druckluft in der Steuerungs- und Automatisierungstechnik. Es

überrascht daher nicht, dass Festo ihr Wissen und ihre Produkte zur Automatisierung der eigenen Fertigung nutzt. Dies war eine der Überlegungen bei der Planung und beim Bau der Technologiefabrik Scharnhausen.

Im Jahr 2011 beginnt die Planung der Technologiefabrik. Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter aus Einkauf, Entwicklung, Informationstechnologie, Logistik, Produktion und Personalwesen erarbeiten miteinander das Konzept der Technologiefabrik, um die Fertigung von Ventilen und Ventilinseln vom Rohling bis zum fertigen Produkt in einem Werk zusammenzuführen. Wesentlichste Ziele bei der Konzeption der neuen Fertigung sind Kosten, Liefertreue und Qualität. Die gesamte Technologiefabrik wird als dreidimensionales Modell mit allen Maschinen, Transporteinrichtungen und Pufferlagern zunächst erstellt, um damit den Materialfluss in der Konzeptionsphase genau zu analysieren. Dieses Modell ist auch heute noch zu besichtigen.

Nach dreijähriger Planungsphase und Bauzeit geht die Technologiefabrik 2015 in Betrieb. Die Zahlen sprechen für sich: Auf vier Ebenen bei einer gesamten Nutzfläche von 66.000 m² arbeiten 1.200 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter an der Fertigung von Ventilen und Ventilinseln. Integriert in das neue Werk ist eine 220 m² große Lernfabrik sowie spezielle Besprechungsräume, genannt Ideenschmieden – doch dazu später mehr.



Ein Mitarbeiter, der an der Planung der neuen Technologiefabrik wesentlich mitgewirkt hat, erklärt mir gleich zu Beginn meines Besuches eine der größten Herausforderungen, der sich Festo gegenübersteht: Die Vielfalt an möglichen Produktvarianten, welche in der Technologiefabrik hergestellt werden können, ist enorm. Rund 10^{40} – also eine Eins mit 40 Nullen – Produktvarianten können von manchen Produkten gefertigt werden. Dies bedeutet natürlich nicht, dass alle diese Varianten in gleichem Ausmaß nachgefragt werden. Im Gegenteil, wie fast überall in der Wirtschaft konzentrieren sich 80 % der Nachfrage auf



20 % der möglichen Produkte, das sogenannte Paretoprinzip oder auch 80-zu-20-Regel. Die Konsequenz davon ist jedoch, dass von Serienfertigung bis zu Einzelfertigung alles

abgedeckt werden muss. Um den sehr unterschied-

lichen Wünschen der Kundinnen und Kunden Rechnung zu tragen, sind die Produkte so ausgelegt, dass aus denselben Grundelementen unterschiedliche Ventilanordnungen montiert werden können.

Die Fabrik ist auf vier Ebenen angeordnet, wobei die für mich interessanten Aspekte auf Ebene 3 und Ebene 4 zu besichtigen sind. Resultat der auf Ebene 2 erfolgten Zerspanung sind Halbfertigprodukte, die in großer Serie gefertigt werden können, weil dabei die Variantenvielfalt noch vergleichsweise klein ist. Erst auf Ebene 3 und Ebene 4 wird in der Montage aus den wenigen Halbfertigprodukten die enorme Vielfalt an Ventilen und Ventilinseln hergestellt. Während in der Zerspanung bereits in der früheren Fabrik am alten Standort schon vor 2015 die Fertigung unter Nutzung entsprechender CNC-Maschinen weitestgehend automatisiert erfolgte, konzentrierte man sich bei der Planung der Technologiefabrik auf die Digitalisierung und Automatisierung der Ebene 3.

Ebene 4:

Montage, Betriebsmittelbau

Ebene 3:

Montage, Automation

Ebene 2:

Wareneingang, Zerspanung

Ebene 1:

Umkleidebereiche, Betriebssport

Drei Aspekte sind für Festo bei jeder Investitionsentscheidung in der Fertigung maßgeblich: Werden die Kosten reduziert? Wird die Liefertreue erhöht? Wird die Qualität gesteigert? Hinzu kommt außerdem für die Technologiefabrik noch ein weiterer, ganz wesentlicher Aspekt: Kann die Investition zur Automatisierung der eigenen Fertigung als Demonstrations- bzw. Pilotprojekt für Kundinnen und Kunden von Festo dargestellt werden? Dies ist deswegen ein zentraler Treiber bei Investitionsüberlegungen, weil sich Festo mit ihren Ventilen und Ventilinseln als wesentlicher Global Player im Bereich Automatisierungstechnik sieht.

Bei der Planung der Technologiefabrik war die globale Wettbewerbsfähigkeit oberstes Ziel. Dazu gehören auch: intelligente Automation mit Festo-Produkten, enge bereichsübergreifende Zusammenarbeit, schlanke Produktion, energieeffiziente und nachhaltige Fabrik sowie die Lernfabrik zur Qualifizierung der Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter.

Der erste Aspekt, den ich bei meinem Gang durch die Technologiefabrik sehe, ist ein kollaborativer Roboter bzw. eine Mensch-Roboter-Kooperation.



Um die Neuartigkeit und Bedeutung kollaborativer Roboter richtig zu würdigen, muss man sich die Bauart und Funktionsweise herkömmlicher Industrieroboter vor Augen führen, wie sie vor allem in der Automobilindustrie zum Einsatz kommen: Herkömmliche Industrieroboter sind im Unterschied zu Werkzeugmaschinen in der Lage, ähnliche Bewegungen wie der menschliche Arm auszuführen, und sind daher in Verbindung mit der übertragenen Kraft imstande, vor allem in der Montage von schweren Teilen Arbeiten auszuführen, die der Mensch nicht bewerkstelligen kann, weil die Armmuskeln hierfür zu schwach sind oder weil die Arbeiten ergonomisch zu belastend sind.

Allerdings sind solche Industrieroboter nicht ungefährlich, denn sie führen ihre Bewegungen in immer wiederkehrender, fix vorprogrammierter Art und Weise aus, egal ob sich im Bewegungsbereich des Industrieroboters ein Mensch befindet oder nicht. Aufgrund der großen Kraft, mit der Industrieroboter ihre Bewegungen ausführen, kann diese Bewegung auch durch Muskelkraft des Menschen nicht gestoppt werden. Dies kann zu erheblichen bis hin zu tödlichen Verletzungen von Menschen führen, wenn sie einem solchen Roboterarm im Weg stehen. Deshalb werden Industrieroboter und Menschen in der Fertigung strikt voneinander getrennt. Industrieroboter operieren in einem Bereich, der entweder durch Gitter von den Arbeiterinnen und Arbeitern abgetrennt oder überhaupt durch ein Gehäuse vom Rest der Fertigung abgekapselt ist. Die Sicherungsmaßnahme besteht darin, dass das Öffnen der Türe zu einem Roboterbereich zur sofortigen Stromunterbrechung der Roboter führt, sodass diese sofort stillstehen. Eine solche notwendige Trennung von Industrierobotern und Menschen erweckt nicht nur den falschen Eindruck von menschenleeren Fabriken, sondern führt dazu, dass Roboter und Menschen grundsätzlich nicht zusammenarbeiten können, d.h. dass eine unmittelbare Übergabe von Werkstücken, die von Industrierobotern bearbeitet werden, an Menschen nicht möglich ist.

Mit der Entwicklung sogenannter kollaborativer Roboter kann nunmehr ein grundsätzlich anderer Fertigungsablauf realisiert werden. In der Technologiefabrik übernimmt ein solcher Roboter Tätigkeiten der Vormontage, die für den Menschen extrem monoton sind: Der Roboter greift ein Gehäuse, fügt Ventilpatronen und Gestell zusammen und übergibt das Bauteil schließlich an einen Menschen zur weiteren Bearbeitung. Diese Zusammenarbeit ist für den Menschen gefahrlos. Sensoren überwachen alle Aktionen des Roboters. Sobald ihm eine Mitarbeiterin oder ein Mitarbeiter zu nahekommt, verlangsamt er seine Bewegungen oder hält komplett an. Dank diverser Sicherheitsmechanismen muss der Roboter nicht hinter Gitter, sondern arbeitet Seite an Seite mit

den Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern. Die Personen, die davor diese Tätigkeit ausgeübt haben, sind nunmehr in einem anderen Bereich der Montage tätig. In Kapitel 7 über das BMW-Werk Spartanburg berichte ich noch ausführlicher über die Entstehungsgeschichte und den Einsatz kollaborativer Roboter.

Das Prunkstück an Automatisierung in der Technologiefabrik ist die automatisierte Montage von Magnetventilen. Auf einer Länge von 30 m sind bis zu acht Produktionszellen hintereinander angeordnet, in denen die Bewegungsabläufe zur Montage der einzelnen Ventile gesteuert und ausgeführt werden. Dazu gehören das Sprühhfetten der Gehäuse, das Einpressen der Patronen und das Montieren der Dichtungen. Zum Umrüsten muss kein Zeitfenster mehr eingeplant werden, denn das System rüstet innerhalb der Taktzeit von selbst um.

Diese Anlagen produzieren jeweils über 50 individuelle Varianten unterschiedlicher Baugrößen, wobei 20 Varianten bereits über 80 % des Gesamtvolumens ausmachen. Die anschließende Montage der Ventile zu Ventilinseln erfolgt indes weiterhin manuell. Ausgehend von den Halbfertigprodukten werden in den vollautomatisierten Montagestraßen ca. vier Magnetventile pro Minute gefertigt. Um den komplizierten Montageprozess effizient zu bewältigen, wird dieser in Einzelschritte zerlegt und das Produkt von Montageschritt zu Montageschritt entweder über ein Förderband oder mittels eines kleinen Industrieroboters weiterbefördert.



Der Eindruck einer menschenleeren Fabrik auf obigem Foto täuscht. An- und Ablieferung der Vormaterialien sowie der Fertigteile erfolgt durch Menschen. Auch die Montage all jener Produkte, die von den automatisierten Montagestraßen nicht gefertigt werden, erfolgt an manuellen Arbeitsplätzen. Die automatisierten Montagestraßen werden von Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern betreut, die die Anlage bedienen, befüllen und optimieren. Ein Stillstand dieser Montageanlage ist kostspielig und führt dazu, dass pro Minute um vier Stück weniger gefertigt werden können als geplant.



Der Bereich, der gerade durch die Automatisierung wesentlich mehr ins Zentrum der Aufmerksamkeit rückt und auch deutlich personalintensiver geworden ist, ist die Instandhaltung. Laut Festo ist dies jener Bereich mit dem größten Know-how-Engpass, insbesondere was die Instandhaltung elektronischer Steuerung anbelangt. Rund 35 Personen arbeiten im Bereich Werksengineering in der Instandhaltung. Preis der Automatisierung ist allerdings, dass ein Störfall in einer solchen automatisierten Montagestraße in aller Regel zum Stillstand der Montagestraße führt und nicht durch das Umgehen des Problems weiterhin montiert werden kann. Deshalb ist die Instandhaltung ausgesprochen zeitkritisch und erfordert von den Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern einiges an diagnostischem Wissen, um die Ursache einer Störung möglichst rasch zu erkennen und zu beseitigen. Auch die Logistik der Ersatzteile für die Instandhaltung ist deutlich komplizierter als die Logistik der Roh- und Zulieferteile für die Fertigung der Ventile selbst.

Zur Unterstützung der Instandhaltung kommt deshalb ein mobiles Instandhaltungssystem zum Einsatz. Mittels Tablet-PC mit WLAN können vor Ort die erforderlichen Informationen zur Diagnose und Störungsbehebung abgerufen werden.

All diese Digitalisierungs- und Automatisierungsvorhaben wurden auch begleitend evaluiert. Die Auswirkungen auf Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter der Technologiefabrik wurden minutiös analysiert – mit bemerkenswerten Erkenntnissen: Während die Führungskräfte und die Fachkräfte die großen Vorteile bei Kosten, Liefertreue, Qualität und Schutz der Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter (Ergonomie) sehen, reduziert sich für jene, die mit kollaborativen Robotern zusammenarbeiten, der Handlungsspielraum. Es macht, so berichten Betroffene, schon einen Unterschied, ob nun eine Kollegin bzw. ein Kollege zuarbeitet oder ein Roboter. Unter Kolleginnen und Kollegen kann die Arbeit besser abgestimmt werden und man kann sich untereinander verständigen – Aspekte, die bei einem kollaborativen Roboter wegfallen. Zwar sei ein kollaborativer Roboter verlässlicher, aber eben auch unflexibler als der Mensch.

Für Fachkräfte hingegen, sei es in der Maschinenbedienung, sei es in der Instandhaltung, sei es in der Ersatzteillogistik, nehmen die Anforderungen durch Digitalisierung und Automatisierung deutlich zu. Diagnostisches Know-how sowie Problemlösungskompetenz bei der Bedienung, Betreuung und Wartung automatisierter Abläufe ist gefragt. Hinzu kommt, so mein Ansprechpartner im Unternehmen, dass soziale Kompetenz nicht nur wünschenswert, sondern notwendig wird, weil Einzelne gar nicht mehr alles an Wissen haben, um auftretende Probleme zu lösen. Die Zusammenarbeit zwischen den Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern in der Technologiefabrik verlagert sich von der manuellen zur intellektuellen Zusammenarbeit. Routinearbeit hingegen besteht vor allem in der Interaktion zwischen Mensch und Maschine via Touchscreen und bringt daher ein gewisses Maß an sozialer Isolation mit sich. Dies scheint der Preis dafür zu sein, dass monotone, weil hochgradig repetitive Tätigkeiten zunehmend an Maschinen übertragen werden.

Diese stetige Weiterentwicklung in Richtung Digitalisierung und Automatisierung erfolgt, so ist mein Eindruck, im guten Einvernehmen zwischen den betroffenen Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern, dem Betriebsrat, den Fachkräften und Führungskräften. Festo, das wird mir gegenüber betont, ist trotz ihrer Größe mit weltweit rund 18.700 Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern und einem Umsatz von rund € 2,64 Milliarden im Jahr 2015 nach wie vor ein Familienunternehmen, nunmehr in dritter Generation. Ein wichtiges Element der Unter-

nehmenskultur ist, dass keine Mitarbeiterin und kein Mitarbeiter je gekündigt wird, wenn ihr bzw. sein Arbeitsplatz durch Automatisierungsinvestitionen von Maschinen übernommen wird. Umgekehrt wird seitens der Geschäftsleitung von allen Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern erwartet, dass sie sich an neue Gegebenheiten anpassen können und zur Umschulung bzw. Weiterbildung bereit sind. Dies führt dazu, dass sich weder der Betriebsrat noch unmittelbar Betroffene gegen Automatisierungsinvestitionen und die dadurch bedingten Veränderungen am Arbeitsplatz querlegen. Vor allem zwei Einrichtungen sind es, die Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter bei dem Einstieg, dem Umstieg und der Weiterführung von Automatisierungsmaßnahmen unterstützen: die Lernfabrik und die Ideenschmieden.

Zentral in das Werk integriert ist die Lernfabrik. Auf einer Fläche von 220 m² sind vier Bereiche untergebracht: die Raummodule für Zerspanung, für Montage, für Querschnittsthemen und Prozesse sowie die Mediathek mit PC-Lernplätzen. Anschlüsse für Strom, Druckluft und das Netzwerk stehen über abklappbare Medienspangen für die Versuchsaufbauten zur Verfügung. Für einen optimalen Lerneffekt sind die Lernstände mit Originalkomponenten und -software aus der Produktion ausgestattet. Die Lernfabrik ist als Prozessbegleiter der Technologiefabrik konzipiert. Pilottrainings, Produktschulungen oder Prozessqualifizierungen erfolgen hier. Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter lernen etwa durch ein Planspiel, wie man Wertströme optimiert und in Prozessen denkt.

Fertigungsgerechtes Konstruieren ist zwar bereits ein Schlagwort aus den 1990er-Jahren, hat aber gerade wegen der Automatisierung nichts an Aktualität eingebüßt, im Gegenteil. Am Standort der Technologiefabrik sind zwar alle Bereiche, welche für die eigentliche Fertigung notwendig sind, konzentriert. Die Produktentwicklung befindet sich allerdings an einem anderen Standort in ca. 8 km Entfernung von der Technologiefabrik. Um der Tatsache Rechnung zu tragen, dass Entwicklungsingenieurinnen und -ingenieure mit der Fertigung eng zusammenarbeiten müssen, wenn die Überleitung von der Entwicklung in die Produktion reibungslos funktionieren soll, wurden sogenannte Ideenschmieden in der Technologiefabrik als spezielle Besprechungsräume konzipiert. Jeweils ein grüner, roter, blauer sowie schwarz-weißer Raum sind um einen zentralen Kaffeebereich angeordnet.

Diese Ideenschmieden bieten Rückzugsmöglichkeiten und geschützte Bereiche, sodass sich Intuition und Inspiration im Alltag entfalten können. An interaktiven Medienwänden können mehrere Personen gleichzeitig wirken. Die erarbeiteten Materialien können in den Ideenschmieden aufbewahrt werden.

Metaplanwände mit Notizen und Zeichnungen sowie Hefte und Modelle lassen sich geordnet unterbringen, sodass Arbeitsprozesse zu einem anderen Zeitpunkt an derselben Stelle fortgeführt werden können.

In den Gesprächen bei Festo wird deutlich, dass Lernen und Automatisierung als untrennbar miteinander verbunden gesehen werden. Es ist das im positiven Sinne Familiäre, das in der Technologiefabrik erfahrbar ist. Trotz kontinuierlicher Anstrengungen, die Automatisierung voranzutreiben und in der Welt der Pneumatik zu den globalen Vorreitern der Steuerung und Automatisierungstechnik zu gehören, ist deutlich, dass dies nicht gegen den Widerstand der Belegschaft und des Betriebsrates geschieht, sondern als gemeinsames Vorhaben gesehen wird. Alle Vorhaben, die ich kennengelernt habe, werden zwar von der Geschäftsleitung unterstützt, aber inhaltlich sind diese Vorhaben viel zu komplex, um von der Geschäftsleitung alleine getragen zu werden. In der Planung und Weiterentwicklung der Technologiefabrik sind Expertinnen und Experten aller Fertigungsaspekte erforderlich, um etwas zu konzipieren, das sich in der Realisierung auch tatsächlich bewährt.

Drei Jahre, von 2012 bis 2015, hat der Prozess benötigt, bis die Technologiefabrik in Betrieb gehen konnte. Aber dieser Prozess der Digitalisierung und Automatisierung erfolgt auch jetzt noch kontinuierlich und ist mit dem stetigen Aktualisieren von Know-how verbunden. Ohne Bereitschaft der Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter zum Umlernen geht es nicht. Und ohne entsprechendes Know-how in der Instandhaltung, um Störungen so rasch wie möglich zu diagnostizieren und zu beheben, geht es schon gar nicht. Die ständig präsente Frage, mit der Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern in der Technologiefabrik befasst sind, lautet: Wie können wir die Produkte, die wir für unsere Kundinnen und Kunden herstellen, nutzen, die eigene Fertigung noch kostengünstiger, noch liefertreuer und noch qualitativer zu machen, um weiterhin wettbewerbsfähig zu bleiben?

Erkenntnisse im Überblick

- ◆ Die Vielfalt an möglichen Produktvarianten, die in der Technologiefabrik hergestellt werden können, ist enorm. Rund 10^{40} – also eine Eins mit 40 Nullen – Produktvarianten können von manchen Produkten gefertigt werden.
- ◆ Drei Aspekte sind für Festo bei jeder Investitionsentscheidung in der Fertigung maßgeblich: Werden die Kosten reduziert? Wird die Liefertreue erhöht? Wird die Qualität gesteigert?

- ◆ Bei der Planung der Technologiefabrik war die globale Wettbewerbsfähigkeit oberstes Ziel. Dazu gehören auch: intelligente Automation mit Festo-Produkten, enge bereichsübergreifende Zusammenarbeit, schlanke Produktion, eine energieeffiziente und nachhaltige Fabrik sowie die Lernfabrik zur Qualifizierung der Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter.
- ◆ Ein kollaborativer Roboter übernimmt Tätigkeiten der Vormontage, die für Menschen extrem monoton sind: Der Roboter greift ein Gehäuse, fügt Ventilpatronen und Gestell zusammen und übergibt das Bauteil schließlich an einen Menschen zur weiteren Bearbeitung.
- ◆ Die automatisierten Montagestraßen werden von Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern betreut, die die Anlage bedienen, befüllen und optimieren.
- ◆ Der Bereich, der durch die Automatisierung deutlich personalintensiver geworden ist, ist die Instandhaltung. Dies ist jener Bereich mit dem größten Know-how-Engpass, insbesondere was die Instandhaltung elektronischer Steuerung anbelangt.
- ◆ Während die Führungskräfte und die Fachkräfte die großen Vorteile von Digitalisierungs- und Automatisierungsvorhaben bei Kosten, Liefertreue, Qualität und Schutz der Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter (Ergonomie) sehen, reduziert sich für jene, die mit kollaborativen Robotern zusammenarbeiten, der Handlungsspielraum.
- ◆ Unter Kolleginnen und Kollegen kann die Arbeit besser abgestimmt werden und man kann sich untereinander verständigen – Aspekte, die bei einem kollaborativen Roboter wegfallen. Zwar ist ein kollaborativer Roboter verlässlicher, aber auch unflexibler als der Mensch.
- ◆ Diagnostisches Know-how sowie Problemlösungskompetenz bei der Bedienung, Betreuung und Wartung automatisierter Abläufe ist gefragt.
- ◆ Soziale Kompetenz ist nicht nur wünschenswert, sondern notwendig, weil Einzelne gar nicht mehr alles an Wissen haben, um auftretende Probleme zu lösen. Die Zusammenarbeit zwischen den Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern in der Technologiefabrik verlagert sich von der manuellen zur intellektuellen Zusammenarbeit.
- ◆ Routinearbeit besteht vor allem in der Interaktion zwischen Mensch und Maschine via Touchscreen und bringt daher ein gewisses Maß an sozialer Isolation mit sich.
- ◆ Ein wichtiges Element der Unternehmenskultur ist, dass keine Mitarbeiterin und kein Mitarbeiter je gekündigt wird, wenn ihr bzw. sein

Arbeitsplatz durch Automatisierungsinvestitionen von Maschinen übernommen wird. Umgekehrt wird seitens der Geschäftsleitung von allen Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern erwartet, dass sie sich an neue Gegebenheiten anpassen können und zur Umschulung bzw. Weiterbildung bereit sind.

- ◆ Vor allem zwei Einrichtungen sind es, die Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter bei dem Einstieg, dem Umstieg und der Weiterführung von Automatisierungsmaßnahmen unterstützen: die Lernfabrik und die Ideenschmieden.
- ◆ Um der Tatsache Rechnung zu tragen, dass Entwicklungsingenieurinnen und -ingenieure mit der Fertigung eng zusammenarbeiten müssen, wenn die Überleitung von der Entwicklung in die Produktion reibungslos funktionieren soll, wurden sogenannte Ideenschmieden in der Technologiefabrik als spezielle Besprechungsräume konzipiert.

3. Maßgeschneiderte Brillen: Horizons Optical

Im Juli 2008 startet das Forschungs- und Entwicklungsprojekt „Business Models for User Centred Products“, kurz Made4U. Ziel ist die Erforschung der wichtigsten technologischen Komponenten sowie der wesentlichen Komponenten geeigneter Geschäftsmodelle für die Produktion und den Vertrieb personalisierter Brillen. 14 europäische Partner arbeiten während einer Zeitspanne von vier Jahren mit bis zu 50 Personen an diesem Projekt, welches seitens der Europäischen Kommission mit rund € 5,4 Millionen gefördert wird. Rund ein Jahr nach dem Abschluss dieses Projektes startet ein weiteres, darauf aufbauendes und wiederum von der Europäischen Kommission gefördertes Projekt namens „Flexible and on-demand manufacturing of customised spectacles by close-to-optician production clusters“, kurz Optician2020. Meine Aufmerksamkeit erregt folgender Hinweis, den ich bei meiner Recherche im Netz finde: *„Optician2020 makes the connected Industry 4.0 paradigm a reality in the optical sector.“* Also setze ich mich ins Flugzeug nach Barcelona, wo ich Juan-Carlos Dürsteler, Chief Innovation Officer bei Horizons Optical, den Kopf hinter den beiden Projekten Made4U und Optician2020 treffe.

Um die Neuartigkeit des Ansatzes von Juan-Carlos Dürsteler zu verstehen und was dies mit Industrie 4.0 zu tun hat, muss ich etwas ausholen:

Traditionellerweise sind optische Brillen ein Massenprodukt. Brillenfassungen werden in großer Stückzahl in unterschiedlichen Größen und in verschiedensten Designs sowie Farben vor allem in Asien gefertigt. Entsprechend der augenärztlichen Verschreibung werden dann von einer Augenoptikerin bzw. einem Augenoptiker die Brillengläser in die ausgewählte Brillenfassung eingesetzt. Für ältere Menschen reicht indes eine einzige Brille oftmals nicht aus, weil es unterschiedlicher Dioptrien für Fernsicht, Nahsicht und auch Zwischentfernungen bedarf. Die technische Antwort auf diese Anforderung ist das Gleitsichtglas, ein spezielles Brillenglas mit unterschiedlichen Dioptrien zur Fern- und Nahkorrektur von Fehlsichtigkeit. Im Gegensatz zu Bi- und Trifokalgläsern bietet ein Gleitsichtglas eine stufen- und übergangslose Möglichkeit, in allen Distanzen zwischen dem individuellen Fern- und Nahpunkt scharf zu sehen. Gleitsichtgläser gibt es seit den 1960er-Jahren. Aber erst seit dem Jahr 2000 ist es dank entsprechender CNC-Maschinen möglich, individuelle Gleit-

sichtgläser, die persönliche Eigenheiten der Brillenträgerin bzw. des Brillenträgers berücksichtigen, anzufertigen.

Individuelle Gleitsichtgläser haben den großen Vorteil, dass sie für die Trägerin bzw. den Träger ein deutlich größeres Gesichtsfeld ergeben, in welchem sie bzw. er scharf sieht. Allerdings gilt dies nur, wenn das Gleitsichtglas korrekt zum Auge positioniert ist. Sowohl die Distanz der Pupille zum Glas als auch die Position des Zentrums des Gleitsichtglases zur Pupille müssen auf Zehntelmillimeter genau stimmen. Andernfalls geht der Vorteil des individuellen Gleitsichtglases verloren, ja kann sich sogar gegenüber einem nicht individuell gefertigten Gleitsichtglas verschlechtern. Keine Standard-Brillenfassung ist imstande, die erforderliche Passgenauigkeit für ein individuelles Gleitsichtglas zu gewährleisten. Dies ist der Ausgangspunkt des Projektes Made4U.

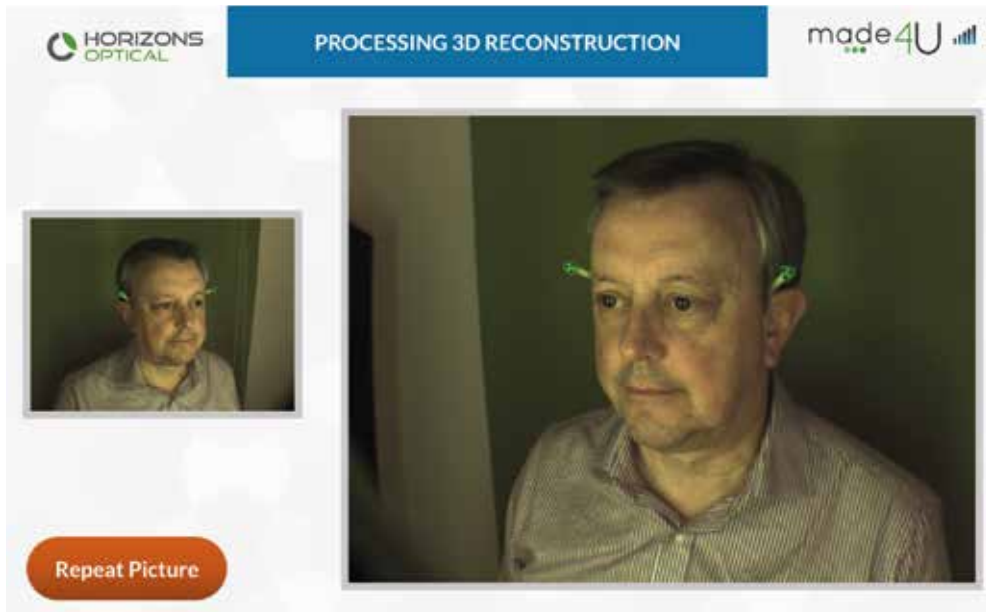
Juan-Carlos Dürsteler entspricht nicht unbedingt dem stereotypischen Bild eines Spaniers. Dies liegt wohl zu einem gewissen Teil daran, dass sein Vater aus Winterthur in der Schweiz stammt, zum Teil vielleicht auch daran, dass er von seiner Ausbildung her theoretischer Physiker mit Schwerpunkt Optik ist. Sein Doktorat erwarb er im Fachgebiet Computergrafik an der Technischen Universität in Barcelona. Sein jüngstes, in den USA registriertes Patent lautet „Finished ophthalmic lens and corresponding methods“. Seit er bei Indo – Industrias de Optica S.A., nunmehr Indo Optical, dem größten spanischen Hersteller von Brillengläsern (auch von Gleitsichtgläsern) arbeitet, beschäftigt ihn die Frage, wie die zu personalisierten Gleitsichtgläsern passenden individuellen Brillenfassungen zu konkurrenzfähigen Bedingungen vermessen und gefertigt werden können. Rund 15 Jahre und zwei EU-geförderte Forschungsprojekte später gibt es darauf eine Antwort und die lerne ich bei Horizons Optical in Sant Cugat del Vallès, einem Vorort von Barcelona, kennen. Bei dieser Firma, einem Tochterunternehmen von Indo Optical, sitzt nicht nur Juan-Carlos Dürsteler und sein Innovationsteam, sondern diesem angeschlossen ist auch ein Brillengeschäft, in dem man individuelle Brillenfassungen mit den zugehörigen Brillengläsern kaufen kann. Denn auch, wenn die ursprüngliche Motivation für individuelle Brillenfassungen die Passgenauigkeit mit den individuellen Gleitsichtgläsern war, so haben sich die individuellen Brillenfassungen insofern davon emanzipiert, dass sie – egal mit welchen Brillengläsern – optimal zur Kopfform der jeweiligen Person passen, und damit den massengefertigten Brillenfassungen überlegen sind.

Wie sieht also diese neue Welt des Brillenkaufs und der Produktion bei Horizons Optical aus? Zu Beginn muss die Kopfform genau vermessen werden.

Wesentlich sind dabei sowohl der Abstand der Pupillen voneinander als auch die Nasenform sowie die Position der Ohren gegenüber den Augen und der Nase. Mit vorgefertigten Brillenfassungen ist dies natürlich kein Thema, weil es bei jenen darum geht, verschiedene Brillenfassungen im Fachgeschäft zu probieren und jene Brillenfassungen auszuwählen, die am besten passen. Das wirklich Neuartige beim Erstellen einer individuellen Brillenfassung besteht somit darin, dass die gesamte Kopfform mittels eines 3D-Scanners auf Zehntelmillimeter genau vermessen wird. Hierzu ist es notwendig, sich in einem bestimmten Abstand vor den 3D-Scanner zu stellen.



Nachdem man den 3D-Scanner auf die richtige Augenhöhe eingestellt und das Gerät aktiviert hat, dauert es rund 45 Sekunden, bis der in das Gerät integrierte Computer ein 3D-Modell des Kopfes berechnet. In dem folgenden Bild sieht man das digitale Foto von Juan-Carlos Dürsteler, welches von mehreren Positionen gleichzeitig aufgenommen wird. Die auf den beiden Ohren sichtbaren Elemente dienen der anschließenden genauen Berechnung der Positionen der Ohren im 3D-Modell. Diese zwei Elemente sind notwendig, um auch bei längeren Haaren, die die Ohren verdecken, die genaue Ohrenposition ermitteln zu können.



In nur 45 Sekunden errechnet der Computer nunmehr ein auf Zehntelmillimeter genaues 3D-Modell des Kopfes. Dieses unterscheidet sich vom obigen Foto nicht gravierend – der wesentliche Unterschied zwischen dem vorhergehenden Bild und dem nachfolgenden Bild besteht darin, dass das obige Bild ein ganz normales digitales Foto ist, wohingegen das untere Bild gerendert ist, d.h. das Bild wurde aus dem 3D-Modell errechnet. Dadurch ist es auch möglich, dieses Bild zu drehen und von verschiedenen Seiten her zu betrachten. In diesem Bild etwa sieht man den Kopf von vorne:

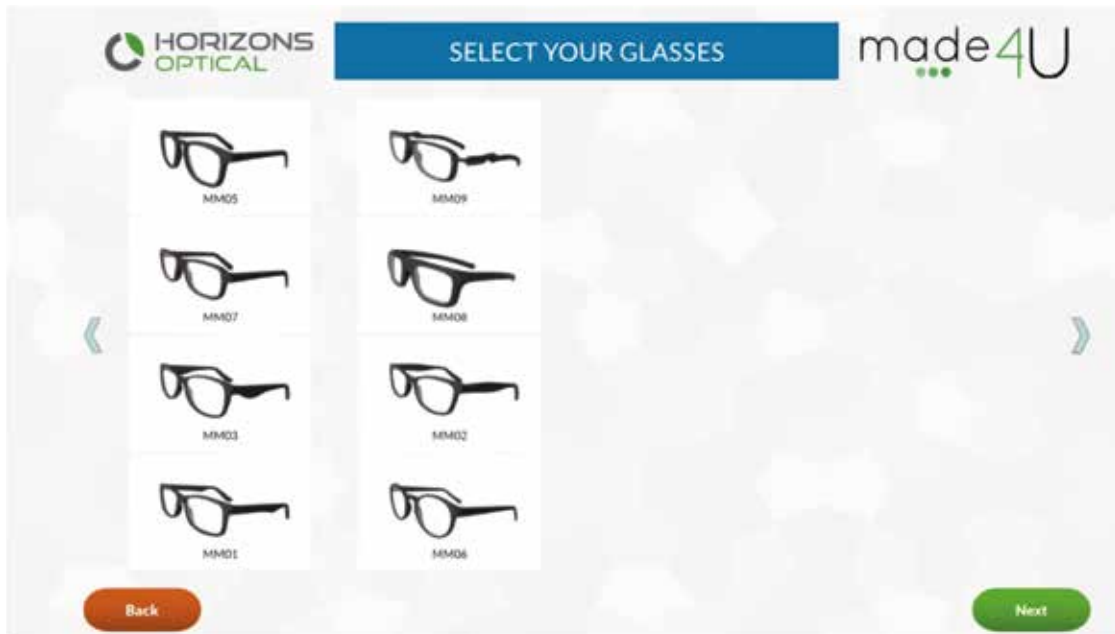


Im folgenden Bild wird der Kopf von der Seite dargestellt, basierend auf demselben 3D-Modell. Mit dem Touchscreen des 3D-Scanners kann der Kopf in die verschiedenen Richtungen bewegt werden. Dies dient dazu, festzustellen, ob das 3D-Modell als akzeptabel angesehen wird oder gegebenenfalls der 3D-Scanvorgang wiederholt werden muss.



Die Erstellung des 3D-Modells des Kopfes ist somit abgeschlossen. Diese Daten werden nunmehr benutzt, um die optimale Passform von Brillenfassungen zu ermitteln. Zu diesem Zweck werden die Daten von dem 3D-Scanner an eine dafür speziell entwickelte Software auf einem PC, der mit einer entsprechend leistungsfähigen Grafikkarte ausgestattet ist, übertragen. Der 3D-Scanner ist somit wieder frei für den nächsten Scanvorgang. Die Erstellung des 3D-Modells und dessen Übertragung auf einen PC im Verkaufsraum dauert nicht mehr als ca. 2 Minuten.

Wie in einem Katalog können nun aus einer Fülle von unterschiedlichen Modellen die infrage kommenden Brillenfassungen am Bildschirm ausgewählt werden.



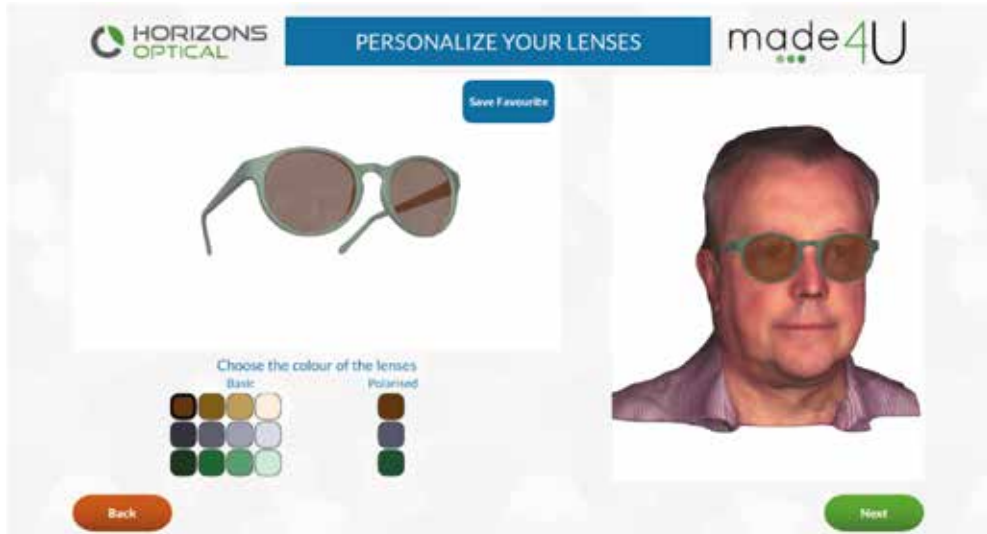
Die ausgewählten Modelle werden am Bildschirm anprobiert, wobei vom Computerprogramm automatisch die optimalen Maße der Brillenfassungen passend zur Kopfform errechnet werden. Man kann sich also selbst am Bildschirm betrachten, ohne sich um die Frage kümmern zu müssen, ob die Brillenfassung die richtige Größe hat und ob die Brille auch wirklich gut auf der Nase und an den Ohren sitzt.



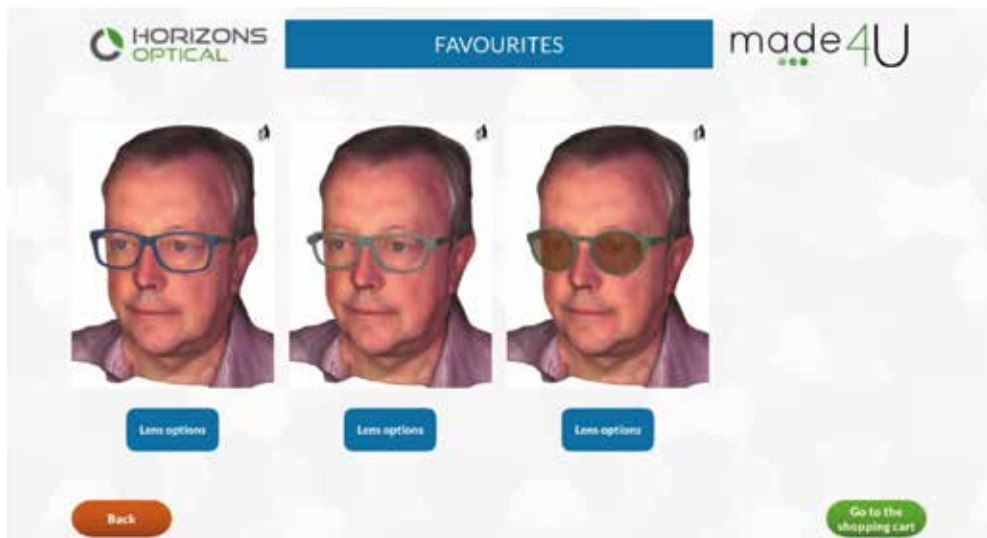
Je nach gewähltem Brillentyp können die verschiedenen Farben von Brillenfassungen probiert werden.



Auch verschiedene Tönungen der Brillengläser können ausprobiert werden.



Schließlich können noch die in die engere Wahl kommenden Brillen nebeneinander betrachtet werden, um die Kaufentscheidung zu erleichtern.





Aus Sicht der Käuferinnen und Käufer unterscheidet sich dieser Kaufprozess nicht wesentlich vom gewohnten, außer dass die gesamte Anprobe unterschiedlicher Brillen virtuell erfolgt, d.h. nicht mit realen Brillenfassungen. Für die Optikerin bzw. den Optiker hingegen könnte der Unterschied zum normalen Geschäftsbetrieb größer nicht sein. Denn im Verkaufslokal muss es im Grunde somit keine Brillenfassungen mehr auf Lager geben, es genügt, wenn die verfügbaren Designs im Computerprogramm abgespeichert sind, so dass diese am Bildschirm anprobiert werden können. Alles, was es im Ver-

kaufslokal braucht, sind die zwei Geräte im nebenstehenden Bild und möglichst viele abgespeicherte Brillendesigns.

Von der Optikerin bzw. dem Optiker werden die errechneten und abgespeicherten Daten der Brillenfassung an ein lokales Unternehmen übermittelt, das auf 3D-Druck von Brillenfassungen spezialisiert ist – Minifabriken werden diese Unternehmen von Horizons Optical genannt. Die Idee dabei ist, dass diese Minifabriken jeweils eine ganze Reihe von Optikerinnen bzw. Optikern in der Region bedienen. So existiert derzeit eine solche Minifabrik in der Region Barcelona sowie eine in der Region Madrid. Nach dem Zusammenfügen von Brillenfassung mit Brillenglas kann schließlich die Brille bereits per Post an die Käuferin oder den Käufer gesandt werden, da ein weiteres Anprobieren im Fachgeschäft nicht erforderlich ist. Schließlich wurde die Brille auf Basis des 3D-Scans bereits beim Kauf optimal an die Kopfform der Kundin oder des Kunden angepasst. Ein fertiges, 3D-gedrucktes Produkt sieht dann zum Beispiel so aus:



Juan-Carlos Dürsteler erklärt mir die wesentlichen Unterschiede zum herkömmlichen Herstellungsprozess von Brillen. Die Dauer von der Produktentwicklung bis zur Platzierung des Produkts am Markt, also die sogenannte Time to Market, wird um ungefähr 65 % reduziert. Dies deshalb, weil neue Brillenmodelle direkt am Bildschirm designt werden und mittels 3D-Druck auch sofort ein Prototyp erstellt werden kann. Darüber hinaus entfällt die Vorlaufzeit, ein Modell in unterschiedlichen Größen zu spezifizieren und dann schließlich als Serie etwa in Asien produzieren zu lassen. Im Grunde kann ein neues Brillendesign sofort als 3D-gedruckter Prototyp getestet und anschließend unmittelbar in den digitalen Katalog aufgenommen werden. Dadurch ist es weiters möglich, dass sich kleinere Optikerinnen und Optiker von den großen Markenkettten differenzieren können, denn nun muss nicht mehr zu jedem Modell eine Großserie mit unterschiedlichen Abmessungen der Brillenfassungen in Asien bestellt werden. Für Kundinnen und Kunden, die bereit sind, für das individuelle Design ihrer Brille zu zahlen, kann die anschließende Maßfertigung zu denselben Kosten erfolgen, wie der 3D-Druck einer bereits designten Brille.

Für das Verkaufslokal selbst ergibt sich laut Horizons Optical eine Kostenreduktion von rund 40 % gegenüber herkömmlichen Verkaufslokalen. Die kostenintensive Lagerung möglichst vieler Brillenfassungen entfällt genauso wie die Nachbestellung kaputter Teile einer Brillenfassung, wie etwa eines Brillenbügels, oder die Vorratshaltung von Ersatzteilen. Vielmehr wird auf Basis der ursprünglichen Daten bei der Minifabrik das entsprechende Teil nachbestellt und lokal gefertigt.

Horizons Optical wird nunmehr als eigenständiges Unternehmen geführt, spezialisiert auf Beratung, Konzeption und Ausstattung von Optikerinnen und Optikern mit dem erforderlichen 3D-Scanner, der Software zum virtuellen Anprobieren von Brillen und deren optimaler Anpassung. Wesentliche technologische Entwicklungen, die dem Herstellen individueller Brillen vorausgegangen sind, sind CNC-Maschinen zur Produktion individueller Gleitsichtgläser, 3D-Scanner zur raschen Ermittlung des 3D-Modells eines Kopfes sowie 3D-Drucker zur Produktion von Brillenfassungen sowohl aus Kunststoff als auch aus Metall. Dass Fabriken zu den Märkten kommen, ist zwar schon ein recht altes Schlagwort, aber mit Optician2020 könnte dies bei der Herstellung von Brillen Realität werden.

Erkenntnisse im Überblick

- ◆ Wie können die zu personalisierten Gleitsichtgläsern passenden individuellen Brillenfassungen zu konkurrenzfähigen Bedingungen vermessen und gefertigt werden?
- ◆ Das wirklich Neuartige beim Erstellen einer individuellen Brillenfassung besteht darin, dass die gesamte Kopfform mittels eines 3D-Scanners auf Zehntelmillimeter genau vermessen wird.
- ◆ Aus Sicht der Käuferinnen und Käufer unterscheidet sich dieser Kaufprozess vom bisher gewohnten dadurch, dass das gesamte Anprobieren unterschiedlicher Brillen virtuell erfolgt, d.h. nicht mit realen Brillenfassungen.
- ◆ Im Verkaufslokal muss es keine Brillenfassungen mehr auf Lager geben. Es genügt, wenn die verfügbaren Designs im Computerprogramm abgespeichert sind, sodass diese am Bildschirm anprobiert werden können.
- ◆ Von der Optikerin oder dem Optiker werden die errechneten und abgespeicherten Daten der Brillenfassung an ein lokales Unternehmen gesendet, das auf 3D-Druck von Brillenfassungen spezialisiert ist.
- ◆ Die Dauer von der Produktentwicklung bis zur Platzierung des Produkts am Markt, also die sogenannte Time to Market, wird um ungefähr 65 % reduziert.
- ◆ Die Vorlaufzeit, ein Modell in unterschiedlichen Größen zu spezifizieren und dann schließlich als Serie etwa in Asien produzieren zu lassen, entfällt, denn ein neues Brillendesign wird sofort als 3D-gedruckter Prototyp getestet und danach unmittelbar in den digitalen Katalog aufgenommen.
- ◆ Für das Verkaufslokal selbst ergibt sich eine Kostenreduktion von rund 40 % gegenüber herkömmlichen Verkaufslokalen, denn die kostenintensive Lagerung möglichst vieler Brillenfassungen entfällt.

4. Die Virtualisierung der Chirurgie: Avinent Digital Health

Die rund einstündige Autofahrt von Barcelona führt durch sanftes und auch im Spätherbst noch sehr grünes Hügelland. Ich bin am Weg zum Industriepark Santa Anna I in Santpedor, wo ich die Firma Vilardell Purtí bzw. ihr Tochterunternehmen Avinent Implant System besuche. Um eine Kurve fahrend sehe ich vor mir ein Gebirge, das sich jäh aus den sanften Hügeln erhebt: der Montserrat. Der Name ist katalanisch und bedeutet so viel wie gesägter Berg. Diese nur etwa 10 km lange und 5 km breite Bergkette mit ihren fingerförmigen Felsen wirkt irgendwie so, als gehörte sie gar nicht in diese Landschaft. Der Montserrat ist wie ein Kontrapunkt zu der sonst so lieblichen Landschaft und vermittelt in seiner überraschenden Präsenz so etwas wie eine Vorahnung auf das, was ich bei der Grup Vilardell Purtí zu sehen bekomme.



Von Albert Giralt, dem Geschäftsführer der Grup Vilardell Purtí, erfahre ich mehr über die Hintergründe und den Werdegang dieser Industriegruppe. Im Jahr 1958 wird Vilardell Purtí als Zulieferunternehmen für die europäische Automobilindustrie gegründet. Spezialität des Unternehmens ist die Herstellung von hochpräzisen Spezialschrauben sowie Drehteilen, die teilweise in Reinräumen gefertigt werden.



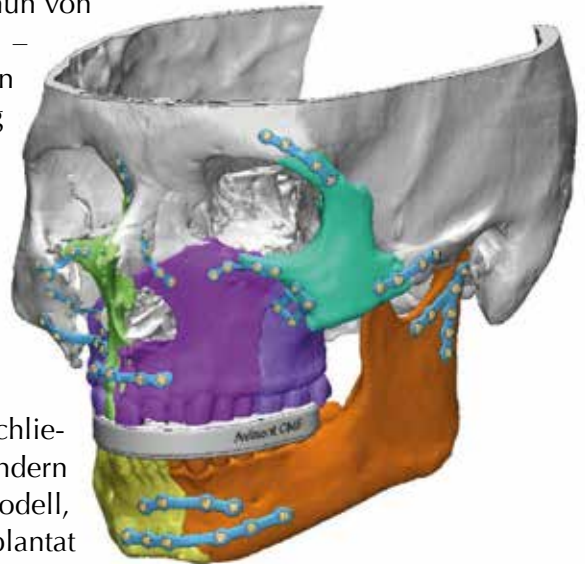
Im Jahr 2003 übernimmt Albert Giralt die alleinige Geschäftsführung, denn beide bisherigen Geschäftsführer gehen in Pension. Giralt ist ausgebildeter Entwicklungsökonom und war als solcher sowohl bei der Europäischen Kommission als auch bei Entwicklungsbanken tätig. Aber, so erklärt mir Giralt, nach ein paar Jahren beruflicher Tätigkeit im entwicklungsökonomischen Umfeld wollte er nicht mehr immer nur mit Geld zu tun haben, sondern war auf der Suche nach etwas Konkretem, Handfestem. Da kommt das Angebot von Vilardell Purtí gerade recht. Was er feststellt, ist, dass die Marktposition von Vilardell Purtí in der europäischen Automobilindustrie zwar gefestigt, aber der Preisdruck enorm ist, sodass trotz guter Umsätze nur geringe Gewinne erzielt werden können. Mit dem Wissen, dass Vilardell Purtí über hohe Kompetenz bei der Herstellung hochpräziser Spezialschrauben in Reinraumumgebung verfügt, begibt Albert Giralt sich auf die Suche nach neuen Produkten und Märkten, wo auf diesem Know-how aufgesetzt werden kann. Fündig wird er bei Zahnimplantaten. Typischerweise werden diese aus Titan hergestellt und in den Kieferknochen eingedreht. Zahnimplantate, so Albert Giralt, sind im Grunde auch nichts anderes als hochpräzise Spezialschrauben und diesen Fertigungsprozess beherrschen sie perfekt.

Drei Jahre nachdem Giralt die Geschäftsleitung übernommen hat, ist es soweit: Die Firma Avinent Implant System wird als Tochterunternehmen von Vilardell Purtí gegründet, mit dem Ziel, Zahnimplantate für den Großraum Barcelona zu fertigen. Im Unterschied zu Spezialschrauben für die Automobilindustrie sind jedoch Zahnimplantate stets maßgeschneiderte Spezialanfertigungen basierend auf Röntgenaufnahmen der jeweiligen Patientin bzw. des jeweiligen Patienten. Eine solche Losgröße-1-Fertigung ist nur mit einem 3D-Drucker wirtschaftlich möglich. Avinent Implant System fokussiert sich also

auf das Design und die Herstellung patientenspezifischer Schraubenimplantate aus Titan mittels 3D-Druck. Zur Unterstützung und Verbesserung des operativen Eingriffes wird der Chirurgin bzw. dem Chirurgen als weitere Leistung auch die Festlegung der genauen Position des Implantats vor dem Eingriff auf Basis einer Computertomografie oder einer digitalen Volumentomographie angeboten. Die Planung des Eingriffes erfolgt in diesem Fall dreidimensional am Computer und wird anhand einer individuell hergestellten Bohrschablone umgesetzt.

Mit dem Wissen, das sich Avinent mit Zahnimplantaten aneignet, erweitert Avinent sein Leistungsangebot auf die Herstellung extrem komplizierter Implantate für die Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie. Ausgangspunkt dabei ist die Computertomografie des Schädels der Patientin bzw. des Patienten. Die vom Spital an Avinent übermittelten Daten der Computertomographie werden bei Avinent zunächst mittels entsprechender Software in ein dreidimensionales Bild des Schädels umgewandelt. Dieses Verfahren, welches Raycasting genannt wird, ermöglicht, die Daten der Computertomografie oder auch der Magnetresonanztomographie dreidimensional zu visualisieren.

Ebenfalls softwareunterstützt wird nun von Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern – bei Avinent vor allem Absolventinnen und Absolventen der Studienrichtung Biomedical Engineering – das erforderliche Implantat bzw. die erforderlichen Implantate inklusive aller Verbindungs- bzw. Befestigungspunkte am Knochen konstruiert. Eine solche Konstruktion sieht dann am Bildschirm etwa so aus:



In komplizierten Fällen wird anschließend nicht nur das Implantat selbst, sondern auch das dreidimensionale Schädelmodell, welches Ausgangspunkt für das Implantat ist, gedruckt – nicht nur, um das Implantat in seiner Passgenauigkeit zum Schädel zu testen, sondern auch, um gegebenenfalls den eigentlichen chirurgischen Eingriff im Vorfeld möglichst gut zu veranschaulichen. Während die Implantate selbst durchwegs mittels Titan-3D-Drucker gefertigt werden, werden die Schädelmodelle aus Kunststoff gedruckt.



Der 3D-Druck, vom US-Amerikaner Chuck Hull erfunden, wurde von ihm 1986 erstmals zum Patent angemeldet. Die Technologie hingegen, um aus Titanpulver mittels selektiven Lasersinters Bauteile aus Titan herzustellen, gibt es erst seit 2007. Dies war ein entscheidender Durchbruch in der Fertigung, da nunmehr auch Bauteile herstellbar sind, die aufgrund ihrer Geometrie, z.B. mit Hinterschnitten oder integrierten Kanälen, mit konventionellen Fertigungsverfahren nicht hergestellt werden können. Ausgehend von den genauen CAD-Daten des jeweiligen Implantats wird dieses schließlich bei Avinent mittels eines 3D-Druckers aus Titanpulver hergestellt.

Aus Sicherheitsgründen steht dabei der 3D-Drucker in einem eigenen, luftdichten Raum. Denn das Verfahren des selektiven Lasersinters kann nicht unter normalen atmosphärischen Bedingungen erfolgen, weil es sonst zur Verbrennung bzw. Korrosion kommen kann. Daher gelangt das Edelgas Argon zur Anwendung, das die Aufgabe hat, die Luft der Erdatmosphäre im 3D-Drucker zu verdrängen. Genau diese Eigenschaft kann indes beim Menschen zum Erstickten führen, falls Argon aus dem 3D-Drucker in größeren Mengen und unerkannt austreten sollte. Entsprechende Sensoren sowie die zusätzliche Glaswand schützen die an den Maschinen arbeitenden Personen vor solchen Unfällen.



Die Grenzen zwischen Produktfertigung und Dienstleistungserbringung sind bei Avinent fließend. Einerseits erzeugt Avinent Produkte, nämlich maßgeschneiderte Implantate. Andererseits erbringt Avinent in hohem Grade eine Dienstleistung, denn das Unternehmen erstellt für Chirurginnen und Chirurgen ein dreidimensionales Modell am Bildschirm, das veranschaulicht, wie Knochen wieder zusammengefügt werden und an welchen Stellen die Implantate auf welche Art und Weise am Knochen angeschraubt werden sollen.





Dieses Denken in dreidimensionalen Bildern ist nicht selbstverständlich bei Chirurginnen und Chirurgen vorhanden. Der Übergang von der Fertigung von Spezialschrauben für die Automobilindustrie zur Fertigung von Implantaten hat daher auch zu einem völlig anderen Geschäftsmodell geführt. Denn die Kosten von Implantaten



können nicht nach Stückzahl, Gewicht oder Artikeltyp ermittelt werden, sondern – so hat Avinent gelernt – müssen nach Schwierigkeitsgrad der Herstellung inklusive der Konstruktion berechnet werden. Die Kosten werden daher – für Dienstleistungen typisch – nach Arbeitszeit ermittelt, wobei die Maschinenzeit am 3D-Drucker genauso einkalkuliert wird wie die Arbeitszeit in der Konstruktion. Dementsprechend teurer sind diese individuellen Implantate gegenüber standardisierten und in Kleinserie gefertigten.

Was bewegt daher Spitäler, solche hochpreisigen Implantate anzuschaffen? Welchen Nutzen haben Spitäler davon? Für Patientinnen und Patienten ist die Sache ganz klar: Ein optimal an den Gesichtsschädel angepasstes Implantat führt dazu, dass Menschen damit fast genauso aussehen wie vor dem Unfall oder der Tumorerkrankung. Ich sehe bei Avinent Bilder von Patientinnen und Patienten mit solchen Implantaten im Vergleich zu Patientinnen und Patienten mit Standardimplantaten – und der Unterschied ist imponierend. Da Menschen nie zu 100 % symmetrisch gebaut sind, führt ein Standardimplantat, welches sowohl für die linke als auch die rechte Gesichtshälfte identisch (wenn auch gespiegelt) gefertigt wird, dazu, dass das Gesicht im Vergleich zu vor der Operation deutlich verändert bzw. verzerrt wirkt. Bei Implantaten, welche auf Basis von Computertomografie maßgeschneidert hergestellt werden, wird diese Asymmetrie hingegen voll berücksichtigt.

Der Nutzen für Spitäler, die ja letztendlich die Entscheidung treffen, welches Implantat verwendet wird, ist indes ein ganz anderer. Komplexe chirurgische Eingriffe im Bereich des Gesichtsschädels sind enorm diffizil und können eine bis zu 14 Stunden dauernde Operation erfordern. Im Fall der Verwendung eines maßgeschneiderten Implantats jedoch erhält die Chirurgin bzw. der Chirurg nicht nur das Implantat selbst, sondern die gesamte 3D-Darstellung des Schädels mit und ohne Implantat sowie genaue Angaben am Bildschirm, wo und wie das Implantat am Knochen angeschraubt werden soll. Damit kann sich die Chirurgin bzw. der Chirurg auf die Operation mittels Bildschirm so genau vorbereiten, dass Operationen, so Avinent, in nur einem Drittel der üblichen Operationszeit bewerkstelligt werden können, also binnen 4–5 Stunden.

Eine der teuersten Ressourcen in jedem Spital ist der Operationssaal. So teuer kann daher ein maßgeschneidertes Implantat gar nicht sein, dass es nicht deutlich weniger kostet als die eingesparte Nutzungsdauer eines Operationssaals. Dazu kommt, dass die Qualität der Operation insofern gesteigert wird, als Komplikationen durch schlecht oder falsch angebrachte Befestigungen des Implantats deutlich reduziert werden.

Ein wichtiges Hilfsmittel, das jeder Operateurin und jedem Operateur seitens Avinent zur Verfügung gestellt wird, ist die Bohrschablone, wie sie auch bei Zahnimplantaten zum Einsatz kommt. Diese Bohrschablone kann entweder nur in der Vorbereitungsphase einer Operation verwendet werden oder auch direkt während der Operation selbst, indem die Schablone passgenau auf jenen Knochen aufgelegt wird, der zur Befestigung eines Implantats angebohrt werden muss. Das folgende Foto zeigt eine solche Bohrschablone zur Befestigung eines Implantats an einer Wirbelsäule. Diese Bohrschablone verhindert,



dass während der Operation durch einen falschen Anstellwinkel beim Bohren das Rückenmark verletzt wird und dies zu einem irreversiblen Schaden der Patientin bzw. des Patienten führt.

Für die Kundinnen und Kunden von Avinent, also Ärztinnen und Ärzte, ist diese Form der Zusammenarbeit mit dem Lieferanten der Implantate Neu-

land. Aus Sicht von Avinent ist das Know-how der Ärztinnen und Ärzte deshalb auch der größte Engpass in der Marktentwicklung dieser neuen Leistung, der, wie Avinent sie nennt, Virtualisierung von Operationen. Ärztinnen und Ärzte sind es noch nicht gewohnt, sich mit dreidimensionalen Bildern am Bildschirm auf eine Operation vorzubereiten. Die größte Herausforderung ist jedoch die Qualitätssicherung und Qualitätskontrolle der angebotenen Leistungen.

Hier muss insofern Neuland beschritten werden, als aus praktikablen Gründen nicht jedes einzelne Implantat durch eine externe Stelle qualitätsgeprüft werden kann. Gängige Vorschriften verlangen, dass ein Produkt, welches im medizinischen Bereich eingesetzt wird, eigens als Produkt zertifiziert werden muss. Dies funktioniert bei Geräten und natürlich insbesondere medizinischen Produkten, welche seriengefertigt werden, problemlos. Eine solche Vorgehensweise ist jedoch bei Losgröße-1-Fertigung nicht möglich, noch dazu da diese zeitkritisch ist. Üblicherweise vergehen zwischen der Anforderung des Implantats und der Lieferung nicht mehr als einige wenige Tage, in Notfällen auch weniger als 24 Stunden. Die Lösung dieses Problems besteht darin, dass die gesamte maschinelle als auch softwaremäßige Infrastruktur von TÜV Rheinland zertifiziert wird und darüber hinaus auch der gesamte Herstellungsprozess in Reinraumumgebung, beginnend mit den vom Spital erhaltenen Daten bis hin zur Verfügungsstellung der Implantate, Bohrschablonen als auch der 3D-Modelle am Bildschirm.

Die räumliche Distanz zwischen Kundinnen bzw. Kunden und lieferndem Unternehmen spielt andererseits keine große Rolle, obwohl die Lieferung von Implantaten zeitkritisch ist. Ausgehend von den Daten der Computertomografie oder der Magnetresonanztomographie im Spital werden die Daten mittels Filetransfersystemen für große Datenmengen wie etwa WeTransfer zu Avinent übertragen. Die fertigen 3D-Modelle werden umgekehrt von Avinent zum

Spital übermittelt. Das Einzige, das physisch übermittelt werden muss, ist das Implantat selbst und gegebenenfalls die Bohrschablone sowie das gedruckte 3D-Modell des Schädels. Dies ist aber nur dann notwendig, wenn in der Nähe des Spitals keine für medizinische Zwecke zertifizierte 3D-Druckmöglichkeit vorhanden ist. So erzählt mir Albert Giralt, dass Avinent von Barcelona aus auch mit einem Spital in Peru zusammenarbeitet. Dabei erproben sie erstmalig, den 3D-Druck aller Lieferungen direkt im Spital in Peru und nicht mehr bei Avinent vorzunehmen.

Die Grup Vilardell Purtí macht derzeit mit 250 Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern einen Umsatz von rund € 30 Millionen, aber, wie mir Albert Giralt mit Stolz versichert, Avinent erwirtschaftet mit weniger Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern sowie weniger Umsatz bereits nach zwölf Jahren seit der Gründung mehr Gewinn als Vilardell Purtí. Das Schwierigste war, wie mir der Leiter der biomedizinischen Konstruktionsabteilung erklärt, die Sprache der Ärztinnen und Ärzte zu verstehen und mit diesen zu kommunizieren. Dies erklärt wohl auch, weshalb die Teile für die Automobilindustrie primär nach Deutschland exportiert werden, wohingegen die Leistungen für Chirurgeninnen und Chirurgen sich auf den spanischen Sprachraum beschränken. Sprachliche Nähe ist wesentlich wichtiger als geographische Nähe, um am Markt für Spitäler zu reüssieren. Mich beeindruckt vor allem die scheinbare Leichtigkeit, mit der es gelungen ist, innerhalb der Grup Vilardell Purtí ein neues Standbein zu entwickeln, basierend auf dem Fertigungs-Know-how von Vilardell Purtí und dem Unternehmergeist von Albert Giralt.

Erkenntnisse im Überblick

- ◆ Zahnimplantate sind im Grunde nichts anderes als hochpräzise Spezialschrauben.
- ◆ Mit dem Wissen, das sich Avinent mit Zahnimplantaten aneignet, erweitert Avinent sein Leistungsangebot auf die Herstellung extrem komplizierter Implantate für die Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie.
- ◆ Softwareunterstützt wird von Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern – vor allem Absolventinnen und Absolventen der Studienrichtung Biomedical Engineering – das erforderliche Implantat inklusive aller Verbindungs- bzw. Befestigungspunkte am Knochen konstruiert.
- ◆ Das Verfahren des selektiven Lasersinterns kann nicht unter normalen atmosphärischen Bedingungen erfolgen, weil es sonst zur Verbrennung

bzw. Korrosion kommen kann. Daher gelangt das Edelgas Argon zur Anwendung. Dieses kann beim Menschen zum Erstickten führen, falls Argon aus dem 3D-Drucker in größeren Mengen und unerkant aus-treten sollte. Entsprechende Sensoren sowie die zusätzliche Glaswand schützen die an den Maschinen arbeitenden Personen vor solchen Un-fällen.

- ◆ Die Grenzen zwischen Produktfertigung und Dienstleistungserbringung sind fließend. Einerseits erzeugt Avinent maßgeschneiderte Implantate. Andererseits erstellt Avinent für Chirurginnen und Chirurgen ein drei-dimensionales Modell am Bildschirm, das veranschaulicht, wie Knochen wieder zusammengefügt werden und an welchen Stellen die Implantate auf welche Art und Weise am Knochen angeschraubt werden sollen.
- ◆ Der Übergang von der Fertigung von Spezialschrauben für die Auto-mobilindustrie zur Fertigung von Implantaten hat zu einem völlig neuen Geschäftsmodell geführt.
- ◆ Ein optimal an den Gesichtsschädel angepasstes Implantat führt dazu, dass Menschen mit einem solchen Implantat fast genauso aussehen wie vor dem Unfall oder der Tumorerkrankung.
- ◆ Mit dem maßgeschneiderten Implantat erhält die Chirurgin bzw. der Chirurg auch die 3D-Darstellung des Schädels mit und ohne Implantat sowie genaue Angaben, wo und wie das Implantat am Knochen ange-schraubt werden soll. Damit kann sich die Chirurgin bzw. der Chirurg so minutiös vorbereiten, dass Operationen in nur einem Drittel der übli-chen Operationszeit bewerkstelligt werden können, also in 4–5 Stun-den.
- ◆ Komplikationen durch schlecht oder falsch angebrachte Befestigungen des Implantats werden deutlich reduziert.
- ◆ Das Know-how der Ärztinnen und Ärzte ist der größte Engpass in der Marktentwicklung dieser neuen Leistung.
- ◆ Die größte Herausforderung ist die Qualitätssicherung und Quali-tätskontrolle der angebotenen Leistungen, denn nicht jedes einzelne Implantat kann durch eine externe Stelle qualitätsgeprüft werden.
- ◆ Das Schwierigste war, die Sprache der Ärztinnen und Ärzte zu ver-standen und mit diesen zu kommunizieren. Sprachliche Nähe ist wesent-lich wichtiger als geographische Nähe, um am Markt für Spitäler zu reüssieren.

5. Wenn das Produkt die Fertigung steuert: Siemens-Elektronikwerk Amberg

Die Ansicht ist weit verbreitet, dass die industrielle Revolution ihren Anfang mit der Erfindung einer effizienten Dampfmaschine durch James Watt nimmt, welche 1776 erstmals in Fabriken zum Einsatz kommt. Diese Sichtweise ist nicht grundsätzlich falsch, aber nur die halbe Wahrheit. Denn eine Dampfmaschine, deren Dampfdruck nicht geregelt wird, kann keine konstante Antriebsgeschwindigkeit aufrechterhalten und ist somit für die ersten industriellen Anwendungen, nämlich die Spinnmaschine und den mechanischen Webstuhl, unbrauchbar. Weder eine sich unkontrolliert beschleunigende noch eine sich unkontrolliert verlangsamende Dampfmaschine ist ein Ersatz für menschliche Arbeitskraft. Die eigentliche Innovation, und damit der Beginn der industriellen Revolution, ist daher die Einführung des Fliehkraftreglers – der ersten Steuerung einer Maschine – im Jahr 1788 ebenfalls durch James Watt. Die Erfindung des Fliehkraftreglers gilt deshalb auch als die Geburtsstunde der Steuerungs- und Regelungstechnik, dem Herzstück jeder Automatisierung nicht nur in der Antriebstechnik, sondern auch in Flugzeugen, in der Energietechnik, in der Robotik, in der Fertigung oder im Bereich Health Care, um nur einige zu nennen.

Im Jahr 1947 beginnt mit der Erfindung des Transistors das Zeitalter der digitalen Maschinensteuerungen. Elf Jahre später, im Jahr 1969, erfindet der Amerikaner Richard Morley die sogenannte speicherprogrammierbare Steuerung, auch kurz SPS genannt. Damit wird es möglich, Maschinensteuerungen zu programmieren, d.h. mit derselben Hardware unterschiedliche Steuerungslogiken als Computerprogramm in der Steuerung selbst zu speichern und abzurufen. Schließlich, als letzter wesentlicher technologischer Schritt, wird im Jahr 1971 der erste Mikroprozessor entwickelt, der nicht nur die Basis der ersten PCs ist, sondern auch in die SPS-Technologie Eingang findet, wodurch deren Leistungsfähigkeit und Flexibilität bis heute im Sinne des Mooreschen Gesetzes exponentiell wächst.

Das Mooresche Gesetz besagt, dass sich die Leistungsfähigkeit integrierter Schaltungen, und damit sowohl von Mikroprozessoren als auch von Datenspeicherung, gemessen in Anzahl Transistoren pro Flächeneinheit seit der Erfindung des Mikroprozessors ca. alle eineinhalb Jahre verdoppelt. Dieses Gesetz

ist nicht als Gesetz im Sinne eines Naturgesetzes zu verstehen, sondern als Gesetzmäßigkeit basierend auf Erfahrungen der letzten 40 Jahre. So hat sich die Anzahl Transistoren pro Flächeneinheit im Zeitraum 1971–2011 um den Faktor von rund 1 Milliarde vergrößert. Es gilt als erwiesen, dass diese exponentielle Entwicklung erst die Möglichkeiten der heute zu beobachtenden Geschwindigkeit von Digitalisierung und Automatisierung geschaffen hat.

Siemens hat die Bedeutung der digitalen Maschinensteuerung für die Entwicklung der Automatisierung früh erkannt. Bereits 1958 kommt die transistorbasierte Maschinensteuerung Simatic – von Si(emens) und (Auto)matic – auf den Markt. 1989 wird das Gerätewerk Amberg mit der Gründung des Elektronikwerkes Amberg geteilt und zwei Jahre später beginnt im Elektronikwerk Amberg die Serien-Fertigung.



Bis 2013 werden Simatic-Steuerungen für den Weltmarkt überwiegend in Amberg gefertigt. Im September 2013 wird zusätzlich das Siemens Electronic Works Chengdu in China eröffnen. Dieses Werk ist zwar deutlich kleiner als das Amberger Elektronikwerk, aber ansonsten ein, wie Siemens es ausdrückt, Klon. Ab Oktober 2014 fungieren beide Fabriken als Teil der Division Digitale Fabrik, welche neu geschaffen wird.

Simatic ist Weltmarktführer bei speicherprogrammierbaren Steuerungen. Es ist daher nicht übertrieben, zu behaupten, dass dem Elektronikwerk Amberg weltweit eine bedeutsame Rolle in der Digitalisierung und Automatisierung

zukommt. Neben der Steuerungsfunktionalität stellt eine SPS darüber hinaus das Verbindungsstück zwischen einer Maschine und übergeordneten IT-Systemen, welche etwa die Zusammenarbeit verschiedener Maschinen oder auch eine Fabrik als Ganzes steuern, dar.



Deshalb gilt die SPS-Technologie auch als Bindeglied zwischen der Automatisierung einerseits und der Digitalisierung andererseits. Bei uns Menschen heißt diese Verbindung zwischen Nerv und Muskulatur, also dem Übergang von Information zu Bewegung, Synapse. Von der Funktion her vergleichbar sieht eine SPS, wie etwa das oben abgebildete Simatic-Produkt, doch deutlich anders aus als eine Synapse.

Die Fakten, die mir Günther Ziebell, Produktionsleiter des Elektronikwerks Amberg, erläutert, sind beeindruckend: Seit der Gründung des Elektronikwerks 1991 wurde bei nahezu gleichbleibender Anzahl von Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern (gesamt ca. 1.200 Personen) sowie Produktionsfläche (10.000 m²) die Flächenproduktivität um den Faktor 9 erhöht.



Waren es 1991 noch 300 verschiedene Produkte, so werden nunmehr rund 1.200 verschiedene Produkte im Elektronikwerk gefertigt. Insgesamt werden jährlich rund 15 Millionen Simatic-Produkte produziert. Dies bedeutet, dass bei 230 Arbeitstagen pro Jahr jede Sekunde ein Produkt das Werk verlässt. 75 % der Produkte bewältigen Maschinen und Computer eigenständig, für ein Viertel der Arbeit sind die Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter zuständig. Bei den vollautomatischen Linien wird nur zu Fertigungsbeginn das Ausgangsbauteil, eine unbestückte Leiterplatte, von menschlicher Hand berührt – eine Mitarbeiterin oder ein Mitarbeiter legt es in die Produktionsstraße. Von nun an läuft alles maschinengesteuert. Simatic-Steuerungen selbst regeln die Herstellung von Simatic. Vom Produktionsbeginn bis zur Auslieferung sind rund 1.000 solcher Steuerungen im Einsatz.

Die treibende Kraft für diese Entwicklung sind indes weder die Produktivität noch die Kosten, sondern die Qualität und die Individualisierung. Allerdings hängen diese Kriterien zusammen. Denn wenn die Qualität niedrig ist, so bedeutet dies, dass Produkte während der Fertigung ausgesondert werden müssen, was sowohl die Produktivität senkt als auch die Kosten erhöht. Minimierung des Ausschusses in der Fertigung ist daher oberstes Ziel. Es gibt aber auch noch einen weiteren Grund für die Bedeutung, die im Werk der Qualitätsmaximierung gegeben wird.

Gerade weil SPS-Produkte zentrales Element der Steuerung vieler Maschinen sind, können die Auswirkungen einer fehlerhaften SPS gravierend sein. Ein Maschinenstillstand kann dabei noch eines der geringeren Probleme sein. Ist eine solche defekte Maschine Teil einer Fertigungsstraße, so kann dies zum Stillstand der Fertigungsstraße führen. Schlimmer wird die Sache jedoch, wenn eine fehlerhafte SPS nicht zum Stillstand einer Maschine führt, sondern die Maschine Bewegungen ausführt, die in dieser Form nicht vorgesehen waren. Denn dies kann sowohl zu Zerstörungen von Maschinenteilen führen als auch zu Verletzungen von Menschen, die sich in der Nähe aufhalten. Nicht, dass ich von solchen Störfällen gehört hätte – es soll nur verdeutlicht werden, warum fehlerfrei funktionierende SPS zentral für Automatisierung und Digitalisierung sind.

Um eine Simatic-SPS zu fertigen, muss zunächst eine Leiterplatte bestückt, dann eine oder mehrere Leiterplatten in ein Gehäuse eingebaut und anschließend mit den verschiedenen Ein-/Ausgängen, Stromversorgung, Schalter etc. verbunden werden. Die einzelnen Bauteile inklusive Gehäuse müssen darüber hinaus beschriftet werden und während sowie am Ende des Fertigungsprozesses

ses müssen Tests durchgeführt werden, um Qualitätsmängel frühzeitig zu erkennen.

In den Anfängen des Elektronikwerkes Amberg werden viele dieser Tätigkeiten von Menschen durchgeführt. Allerdings, so erläutert mir Günther Ziebell, gibt es Erfahrungswerte, dass Menschen bei solchen Tätigkeiten eine bestimmte Fehlerrate nicht unterschreiten können. Wir sind nun mal von der Evolution nicht dafür geschaffen worden, immer wiederkehrende, gleiche manuelle Tätigkeiten fehlerfrei zu bewältigen. Darüber hinaus sind gerade Tätigkeiten, wie die Bestückung von Leiterplatten, zwar einerseits monoton, weil es im Wesentlichen immer um dieselben Hand- und Fingerbewegungen geht, andererseits erfordern sie hohe Konzentration aufgrund der Genauigkeit, mit der diese Tätigkeiten ausgeführt werden müssen. Defects per Million (dpm) ist der Schlüsselausdruck im Elektronikwerk. Zu Beginn des Elektronikwerks im Jahr 1991 liegt die Fehlerhäufigkeit noch bei 550 Fehlern pro 1 Million produzierter Stücke. Diese Kennzahl beträgt nun 11 dpm bzw. 2 % der Fehlerhäufigkeit von 1991, eine Zahl, die mit manueller Arbeit auch bei bester Schulung nie und nimmer erreichbar ist.

In der Fertigungshalle erlebe ich die Umsetzung all dieser Überlegungen. In den verschiedenen Fertigungsstraßen werden unterschiedliche Produktklassen gefertigt. Ab dem Einlegen von Leiterplatten zu Beginn einer Fertigungsstraße bis zu einem bestimmten Simatic-Produkt am Ende der Fertigungsstraße erfolgt die Produktion vollautomatisch hinter Glastüren, sodass die Fertigung zwar eingesehen werden kann, aber die Menschen von dem Fertigungsprozess selbst ferngehalten werden, um Verletzungen zu vermeiden. Auf jeder Fertigungsstraße wird mehr als nur ein Produkt gefertigt, wobei die Umrüstung der Fertigungsstraße von einem Produkt zum nächsten ebenfalls teilweise vollautomatisch erfolgt. Hierzu ist es aber notwendig, dass in der Fertigungsstraße die Maschinen selbst „erkennen“, welches Produkt gerade gefertigt werden soll. Dies bedeutet, dass die einzelnen Bauteile, wie etwa Leiterplatten oder Gehäuse, mittels Lasertechnik bereits so beschriftet sind, dass diese Information von entsprechenden Leseeinrichtungen in der Fertigungsstraße identifiziert und genutzt werden kann. Die zu fertigenden Produkte steuern die Fertigung. Eine solche Fertigungsstraße besteht also aus hintereinander geschalteten unterschiedlichen maschinellen Arbeitsplätzen, Lese- und Transporteinrichtungen, um das Produkt von einem Arbeitsplatz zum nächsten zu transportieren, sowie Robotern für komplizierte dreidimensionale Bewegungen.





Rund zwei Stunden lang könnte eine Fertigungsstraße ohne Personal auskommen, wie mir Reinhold Kragl, Technologie für die Montagelinien, stolz erklärt. Voraussetzung dabei ist natürlich, dass kein Störfall passiert, denn ungeplante Situationen – und dies sind Störfälle nun mal – können von den Maschinen selbst nicht behoben werden. Für die Versorgung einer Fertigungsstraße mit den erforderlichen Bauteilen sind nach wie vor Menschen zuständig, daher auch die begrenzte Autonomie einer Fertigungsstraße. Zwei Stunden autonomer Betrieb klingt nicht sehr lang. Man muss aber dabei berücksichtigen, dass auf jener Fertigungsstraße, von der die Rede ist, rund alle 5 Sekunden ein Produkt fertig wird. Rund 1.400 Stück können also in zwei Stunden ohne menschliches Zutun produziert werden.

Roboter, von denen es in den Fertigungsstraßen bereits einige gibt, sind aufgrund ihrer menschenarm-ähnlichen Bewegungen faszinierend zu beobachten. Dabei entdeckte ich, dass auf jedem dieser Roboterarme ein männlicher oder weiblicher Vorname aufgeklebt ist. Ich sehe Namen wie Jenny oder Bobby – vornehmlich englische Vornamen, aber nicht nur. Was bedeutet das, frage ich Reinhold Kragl.

Als die ersten Fertigungsstraßen mit Robotern in Betrieb gehen, wird einer dieser Roboter von einem Mitarbeiter mit Namen versehen. Vermutlich inspiriert ihn die menschenähnliche Bewegung des Roboters dazu. Das Beispiel macht Schule. Ob diese Namen auch von Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern verwendet werden, wenn es etwa ein Problem mit einem dieser Roboter gibt, möchte ich wissen. Schon, meint Reinhold Kragl. Mitteilungen wie „Bobby spinnt gerade“ oder „Schau dir mal Jenny an“ sind durchaus üblich und nicht ironisch gemeint, sondern dienen der Kommunikation allfälliger Problemsituationen.

Die Geschwindigkeit, mit der Produkte gefertigt werden, verändert meine Sichtweise bezüglich Einsparung von Fertigungszeiten. Während ich mit Reinhold Kragl eine Fertigungsstraße genauer besichtige, frage ich ihn, ob in dieser hochautomatisierten und wohldurchdachten Fertigung überhaupt noch Produktivitätsfortschritte erzielbar sind. Schwierig, aber doch, meint er. Vor nicht allzu langer Zeit seien sie draufgekommen, wie in dieser Fertigungsstraße eine Zehntelsekunde an Fertigungszeit eingespart werden kann.

Zunächst erscheint mir dies fast lächerlich wenig. Berücksichtigt man aber, dass die gesamte Fertigungszeit nicht mehr als 5 Sekunden pro Produkt beträgt, so bedeutet eine Zehntelsekunde Einsparung eine Produktivitätssteigerung von rund 2 %. Hochgerechnet auf das gesamte Elektronikwerk mit seinem jährlichen Output von 15 Millionen Stück sind 2 % immerhin 300.000 Stück, die mehr produziert werden können – auf derselben Produktionsfläche und mit derselben Anzahl an Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern. Das ist schon was.

Mit dem Ziel der Qualitätsmaximierung werden sämtliche Prozessschritte und alle Bauteile vom Einkauf bis zum fertigen Produkt in Echtzeit lückenlos digital überwacht. Betriebsdatenerfassung hieß dieser Teil einer Fertigung früher und bedeutete die primär manuelle Erfassung bestimmter Daten via Bildschirm und Tastatur in der Fertigung oder nachgelagerten Dienststellen. Im Elektronikwerk geht dieser Teil der Automatisierung und Digitalisierung jedoch viel weiter. Jeder einzelne Prozessschritt wird von jeder einzelnen Maschine bezogen auf das einzelne Produkt gemeldet, inklusive allfälliger Abweichungen, welche gegenüber der Vorgabe aufgetreten sind. Dazu gehört auch, welcher Bauteil von welchem Lieferanten von welcher Lieferung in einem bestimmten Produkt verwendet wird. In Summe ergibt dies rund 50 Millionen Einzelmeldungen der gesamten Fertigung pro Tag.

Damit ist es nun möglich, statistische Auswertungen zum Erkennen von Zusammenhängen zwischen verwendeten Bauteilen, Prozessschritten und Qualität in beliebiger Tiefe vorzunehmen. So etwa kann vollautomatisiert ermittelt werden, welches Bauteil von welchem Lieferanten von welcher Lieferung zu einer signifikant höheren dpm-Rate führt. Da rund 70 % der gesamten Produktkosten den Vormaterialien, d.h. den zugekauften Bauteilen, zuzurechnen sind, ist dies eine ganz wesentliche Erkenntnis, um Lieferanten über Qualitätsprobleme zu informieren. So wird mir etwa ein Diagramm am Touchscreen gezeigt, aus dem erkennbar ist, dass ein bestimmtes Produkt, bestückt mit einem Bauteil des Lieferanten X aus der Charge Y geliefert am Tag Z, eine höhere Fehlerhäufigkeit aufweist als dasselbe Produkt, welches mit Bauteilen desselben Lieferanten, aber aus einer anderen Charge bestückt wird. Diese Möglichkeit, in Echtzeit nach verschiedenen Kriterien Zusammenhänge zwischen Produktqualität, Fertigungsvorgängen und verwendeten Bauteilen auf Basis von Big Data grafisch aufzuzeigen, schafft erst die Voraussetzung, die dpm-Rate weiter zu reduzieren. Mit diesem automatisierten Rückmeldesystem wird in den letzten fünf Jahren die dpm-Rate um durchschnittlich 10 % gegenüber dem Vorjahr gesenkt.

Wie kommen solche Fortschritte, sowohl was die Steuerung als auch die Überwachung der Fertigung betrifft, zustande, frage ich Wolfram Strack, Leiter Personalberatung und Öffentlichkeitsarbeit. Wolfram Strack ist studierter Theologe und bereits seit vielen Jahren im Elektronikwerk tätig. Für mich ist er daher der ideale Ansprechpartner, um zu begreifen, wie es dazu kommt, dass das Elektronikwerk dort steht, wo es eben steht. Wichtig ist zu verstehen, so Wolfram Strack, dass in der Elektronikfertigung schon von Anfang an klar ist, dass die größte Fehlerquelle der Mensch ist. Es ist daher stets Ziel, diese Fehlerquelle in der Fertigung graduell auszuschalten.

Dementsprechend gewandelt hat sich über die Jahre das Know-how der Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter bei gleichbleibendem Personalstand. Einfache Tätigkeiten, wie etwa die Bestückung von Leiterplatten, werden weniger. Die meisten manuellen Arbeitsplätze werden in automatisierte Arbeitsplätze umgewandelt, wie zum Beispiel das Löten. Personen, die früher gelötet haben, sind nunmehr mit der Überwachung des automatisierten Lötprozesses befasst. Eine neue Arbeitsteilung zwischen Mensch und Maschine entwickelt sich. Maschinen erledigen die manuellen Fertigungstätigkeiten, wohingegen Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter diese Maschinen überwachen und bedienen. Die Anlernzeit für Maschinenbedienung beträgt ca. sechs Arbeitswochen, verteilt über einen längeren Zeitraum.

Facharbeiterinnen und Facharbeiter, die jeweils eine Gruppe von Maschinenbedienerinnen und -bedienern führen, sind vor allem ausgebildete Industrieelektronikerinnen und -elektroniker. Früher waren dies vor allem Mechanikerinnen und Mechaniker, aber der Bedarf hat sich in Richtung elektronisches und mechatronisches Know-how verlagert. Roboter und Automaten erfordern eben ein anderes Know-how, um diese zu überwachen, als klassische Werkzeugmaschinen. Diese Facharbeiterinnen und Facharbeiter haben darüber hinaus die Aufgabe, eine oder mehrere Fertigungsstraßen laufend zu überwachen, die Qualität der Produkte zu analysieren und die Produktionsplanung für den Tag vorzunehmen.

Die dritte Gruppe an Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern, so Wolfram Strack, sind Ingenieurinnen und Ingenieure, vor allem Elektroingenieurinnen und -ingenieure von technischen Universitäten und Fachhochschulen. Diese haben primär nicht-operative Aufgaben, wie etwa die Fertigungsplanung über einen längeren Zeitraum. Zu deren Aufgaben gehört auch Softwareentwicklung, um die Elektronikfertigung besser zu steuern und zu überwachen. Weiters sind sie bei der Entwicklung neuer Fertigungsstraßen involviert, um die einzelnen Maschinen und Roboter informationstechnisch so zu vernetzen, dass diese optimal zusammenarbeiten.

Kommunikation, so merke ich, hat in der Fertigung einen hohen Stellenwert. Wolfram Strack betont, dass alle Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern in der Fertigung nicht nur lernen müssen, mit den Maschinen zu kommunizieren, d.h. diese sowohl zu bedienen als auch die von den Maschinen bereitgestellten Informationen zu verstehen. Sie müssen insbesondere auch lernen, miteinander zu kommunizieren. Deshalb absolvieren alle Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter ein Moderations- und Kommunikationstraining. Die meisten Probleme erfordern, dass mehrere Personen diese gemeinsam analysieren, um zu adäquaten Lösungen zu kommen. Während im normalen Schichtbetrieb die Kommunikation untereinander



abgenommen hat, gibt es umso mehr Bedarf für kurzfristig einberufene Besprechungen. In der ganzen Werkshalle verteilt sind Plätze vorgesehen, wo in Verbindung mit einem sehr großen Touchscreen Besprechungen abgehalten werden können.

Auf diesem großen Touchscreen kann alles an Daten in unterschiedlichen Verdichtungsstufen in Echtzeit abgerufen werden, was an fertigungsrelevanten Daten insgesamt zur Verfügung steht. Darüber hinaus werden im IT-System offene Punkte mit deren Zuständigkeiten und Erledigungsstatus gespeichert, sodass beschlossene Aktivitäten oder zu erledigende Aufgaben nicht in Vergessenheit geraten.

Die Arbeitsteilung in der Fertigung entspricht eher einem Netzwerk als einem klassischen Organigramm. Zwar existiert die übliche hierarchische Struktur, aber im operativen Alltag ist es je nach Situation erforderlich, rasch und der Situation angemessen in unterschiedlicher personeller Zusammensetzung zu analysieren und dann zu vereinbaren, wer was an Aktivitäten zu setzen hat.

Wenn man durch diese Fertigungshalle geht, entsteht der Eindruck, dass jede Person genau weiß, was sie gerade zu tun hat. Da jedoch keine Person permanent bei einer Maschine steht, um diese zu bedienen, ergibt sich auch das Bild einer verwirrenden Vielfalt, die nicht mehr überschaubar ist. Und auch, wenn die Maschinen mit hoher Geschwindigkeit die Produkte fertigen, ist die Stimmung insgesamt eher entspannt. Während ich mit dem Produktionsleiter Günter Ziebell durch die Werkshalle gehe, kommen immer wieder Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter auf ihn zu, um ihm zum Geburtstag zu gratulieren. Hektik ist hier nicht zu bemerken.

Ich höre bei einer der Besprechungen vor einem großen Touchscreen zu, wo über zu erledigende Aufgaben der aktuellen Schicht gesprochen wird. Die Stimmung ist freundlich, aber hoch konzentriert. Es werden keine Schuldigen für etwaige Fehler gesucht, sondern gemeinsam die zu erledigenden Punkte abgearbeitet. Das Gefühl entsteht bei mir, dass die Hochautomatisierung nicht als Bedrohung erlebt wird, sondern als etwas, worauf man gemeinsam stolz ist. Rund € 1 Million werden, so erfahre ich, pro Jahr für Verbesserungsvorschläge von Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern an diese ausgeschüttet. Die Höhe der jeweiligen Prämie wird auf Return-on-Investment-Basis ermittelt. Diese Prämie kann bei besonders guten Verbesserungsvorschlägen auch schon mal bis zu € 10.000 betragen.

Ein wesentlicher Effekt der transparent dargestellten Informationen über den aktuellen Status der Fertigung ist, so Günter Ziebell, dass dies den Stresslevel

reduziert. Er führt mir am Touchscreen vor, wie schon jetzt erkennbar ist, dass in zwei Wochen eine zusätzliche Samstagsschicht eingeschoben werden muss. Dies mag trivial klingen, ist es aber ganz und gar nicht, da dies sowohl genaue Informationen über den Erfüllungsgrad vorhandener Aufträge bedingt als auch Informationen darüber, ab wann die benötigten Vormaterialien zur Verfügung stehen.

Reinhold Kragl sieht dies ähnlich. Der Fertigungsprozess insgesamt ist in den letzten zehn Jahren stabiler geworden und dies, obwohl Pufferlager im gleichen Zeitraum stark reduziert wurden und daher im Fall von ungeplanten Maschinenstillständen rasche Reaktionen notwendig sind. Störfälle sind seltener geworden dank des hohen Niveaus, welches im Bereich Fertigungsqualität erreicht worden ist. Wenn tatsächlich Qualitätsprobleme oder Störfälle auftreten, so sind diese allerdings aufwendiger zu diagnostizieren und zu beheben. Dies liegt nicht nur am hohen Automatisierungsgrad, sondern auch an der Zunahme der Komplexität der Produkte. Die Anzahl der Funktionstester etwa, also Prüfeinrichtungen, welche die Funktion einer Steuerung testen, wurde vervierfacht.

In der Wartung braucht es nicht nur wie früher Mechanikerinnen und Mechaniker, um Maschinen zu warten oder zu reparieren, sondern zunehmend Software-Know-how, d.h. Programmiererinnen und Programmierer, IT-Expertinnen und -Experten und Netzwerktechnikerinnen und -techniker. Vor allem die Stabilität des Netzwerkes in der gesamten Fertigungshalle ist ein kritischer Faktor. Eine Fertigungsstraße kann zwar rund zwei Stunden autonom produzieren, bis die dafür erforderlichen Bauteile durch Menschen wieder zugeführt werden müssen, aber wenn das Netzwerk ausfällt, dann steht die Logistik. Fertigungsstraßen brauchen laufend Vormaterial und geben laufend Rückmeldungen für IT-Systeme, die zur Makrosteuerung der Fertigung und auch der Logistik notwendig sind. Ohne Netzwerk funktioniert dies nicht. Ohne Netzwerk stehen auch die Informationen auf dem großen Touchscreen für Besprechungen nicht zur Verfügung. Sind die SPS die Synapsen der Fertigung, so ist das Netzwerk ihr Rückenmark.

Verbesserungen und Weiterentwicklung der Fertigung basieren nicht allein auf den Vorschlägen der Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter, erklärt mir Frank Bleisteiner, Verantwortlicher für die Digitalisierungsprojekte. Investitionen, um Digitalisierung und Automatisierung voranzutreiben, werden in seinem Bereich vorbereitet. Eine der wichtigsten Fragestellungen ist neben der Qualitätsmaximierung die Lieferbereitschaft. Denn Siemens garantiert für Simatic-Produkte eine maximale Lieferzeit von 24 Stunden. Dies wird über das Fertigwarenlager

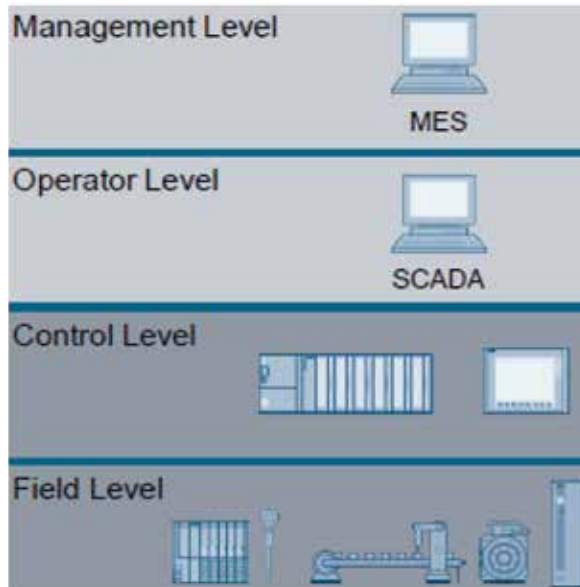
abgedeckt, aber nicht für alle Produkte ist dies möglich. Der Produktlebenszyklus beträgt rund 15 Jahre und das hat zur Folge, dass auch Ersatz für Produkte über diesen Zeitraum produziert werden muss. Berücksichtigt man darüber hinaus, dass derzeit rund 1.200 verschiedene Produkte im Lieferprogramm sind, so ergibt sich daraus das Erfordernis, dass mitunter bestimmte Produkte in Kleinstserie kurzfristig gefertigt werden müssen. Die Erhöhung der Flexibilität wird, so Frank Bleisteiner, durch entsprechende Digitalisierungsprojekte erreicht.

Die Erfindung der speicherprogrammierbaren Steuerungstechnologie hatte zur Folge, dass sich die Entwicklung neuer Produkte von der Hardware hin zur Software verlagert hat. Dabei ist die Entwicklung neuer Hardware und deren Herstellprozess untrennbar mit der Entwicklung der Software, die auf dieser Hardware ausgeführt wird, verbunden. So werden Bestückungsprogramme automatisch erstellt. Die industrielle Anforderung, dass eine SPS in immer kürzeren Zeitzyklen Signale empfängt, verarbeitet und weiterleitet, erfordert eine spezielle Verzahnung zwischen Software und Hardware sowie zwischen Hardware und deren Fertigung. Rund 900 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter sind in der Entwicklung von Simatic tätig, wie mir Heiko Kammler darlegt. Zum Unterschied zur Hardwarefertigung ist jedoch die Softwareentwicklung nicht auf wenige Standorte konzentriert, sondern verteilt. An zehn Standorten in Asien, Europa und Nordamerika wird entwickelt.

Wie er dies managt, frage ich Heiko Kammler. Wesentliches organisatorisches Gestaltungsprinzip ist, so erklärt er mir, dass die einzelnen Standorte produktspezifisch arbeiten, sodass zwischen den verschiedenen Standorten nicht allzu viel Information hin und her fließen muss. Gemeinsame Klammer ist allerdings die für alle Standorte gleich geltende Beschreibung des Entwicklungsprozesses selbst. Auch und gerade in der Softwareentwicklung hat die Automatisierung enorm zugenommen. Nicht nur durch immer wieder neue, leistungsfähigere Programmiersprachen, sondern auch durch entsprechende Programmerroutinen werden heute neue Applikationen für Simatic bei vergleichbarer Funktionalität der Applikation mit deutlich weniger Arbeitsaufwand entwickelt als früher. Dass der Entwicklungsaufwand von Software insgesamt trotzdem stark zugenommen hat, liegt laut Heiko Kammler darin begründet, dass die Funktionalität aufgrund der Möglichkeiten der enorm gestiegenen Leistungsfähigkeit der Hardware ebenfalls stark angestiegen ist.

Nicht mehr nur die Maschinensteuerung ist heute Gegenstand der Softwareentwicklung. Auch wenn Ursprung von Simatic wie für alle SPS die Steuerung einzelner Maschinen ist, so müssen in dem Maße, in dem Maschinen

bzw. Arbeitsplätze miteinander vernetzt werden, auch Steuerungen koordiniert werden, und dies bedeutet, dass Steuerungen gesteuert und überwacht werden müssen.



Alle diese in der Abbildung dargestellten vier Ebenen der digitalisierten Steuerung und Überwachung des Elektronikwerkes Amberg werden von Software-Applikationen exekutiert, die für Simatic entwickelt werden. Simatic-Steuerungen selbst regeln die Herstellung von Simatic – eine Investitions- und Entwicklungsstrategie, die innovationsförderlich für die Softwareentwicklung ist.

So wichtig die kontinuierliche und detaillierte Erfassung von Prozessdaten zur Qualitätsmaximierung und zur Steuerung auch ist, so schafft sie doch auch ein gewisses Konfliktpotenzial. Denn wenn 75 % der Fertigungstätigkeiten automatisiert sind, bedeutet dies, dass 25 % der Tätigkeiten von Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern ausgeführt werden. Zur Qualitätsmaximierung und Steuerung werden daher auch Prozessschritte digital erfasst, welche von Menschen ausgeführt werden. Hier kommt nun im Elektronikwerk Amberg dem Betriebsrat eine besondere Aufgabe zu, denn das Erfassen personenbezogener Daten muss gemäß Gesetz vom Betriebsrat genehmigt werden. Darüber hinaus ist das personenbezogene Auswerten von Daten mitbestimmungspflichtig. Deshalb ist der Betriebsrat beim Einsatz von Software-Applikationen vor allem für die drei Ebenen Management, Operator sowie Control eingebunden.

Den Weg, den das Elektronikwerk Amberg konsequent geht, ist unverkennbar zielführend. Und doch zeitigt sich ein Nebeneffekt, dessen Auswirkungen derzeit noch nicht wirklich absehbar sind: Während die manuelle Arbeit zurückgeht und die Maschinenbedienung dank leistungsfähiger Hardware und ergonomischer Software immer einfacher wird, nimmt die Komplexität im Bereich Wartung, aber insbesondere im Bereich Weiterentwicklung und Steuerung des Gesamtsystems Fertigung stark zu. Die enorm angestiegene Vernetzung aller Akteure, sowohl Menschen als auch Maschinen, führt dazu, dass Änderungen oder auch Weiterentwicklungen in einem Bereich der Fertigung Auswirkungen haben können, die unter Umständen nicht mehr überblickbar sind. Entscheidungen in der Softwareentwicklung darüber, wie die Fülle an Daten verdichtet und grafisch dargestellt wird, legen auch fest, welchen Ereignissen und Entwicklungen man Beachtung schenkt, weil man darüber Informationen bekommt, und was man nicht beachtet, weil es darüber keine Informationen gibt.

Wie kann in einem solchen Umfeld das Management wirkungsvoll agieren? Wie unterscheidet sich dies von früher? Wie kann die Anpassungsfähigkeit des Werkes an das sich laufend verändernde Umfeld sichergestellt werden? Dies erörtere ich mit Gunter Beitinger, Vice President of Manufacturing der Siemens Digital Factory Division. Klar ist, dass sowohl das Digitalisierte als auch das Automatisierte nicht lernfähig ist. Keine Maschine kann von sich aus anderes tun, als was ihr von der Steuerung angeschafft wird. Kein noch so flexibles Manufacturing Execution System (MES) kann von sich aus Informationen anders zur Verfügung stellen, als von der Software, die das bewerkstelligt, vorgesehen. Das ist ja genau die Stärke des Elektronikwerks Amberg – dass Prozesse derartig standardisiert werden konnten, sodass es möglich ist, sie zu automatisieren bzw. zu digitalisieren.

Lernfähig in der Elektronikfabrik Amberg sind die Menschen, nicht die Maschinen. Es ist leicht, einer Mitarbeiterin bzw. einem Mitarbeiter zu sagen, dass die Sache ab nun nicht mehr auf die eine Art, sondern auf die andere Art gemacht werden soll. Mit Maschinen und IT-Systemen funktioniert diese Art des Managens aber nicht. Mit einem Automatisierungsgrad von 75 % betreffenden Veränderungen in der Fertigung aber zu 75 % Maschinen und IT-Systeme. Das kann zu einem Problem werden, denn in diesem Fall helfen weder neue Organisationsstrukturen noch Mitarbeitergespräche oder Umschulungen alleine.

Gunter Beitinger erklärt mir dies so: Es gibt unterschiedliche Arten von Intelligenzen. Wenn man heute von „Maschinenintelligenz“ spricht, meint man vor allem die Anwendungen von Algorithmen, also eine mathematische Intelligenz. Jedoch benötigen wir auch Kreativität, vernetztes Denken und vor allem Konsequenz-Denken.

Im Gespräch mit Gunter Beitinger wird mir deutlich, dass die Qualität der Besprechungen in der Fertigungshalle, wo Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter sich spontan zu einem Gespräch finden können und die digitale Welt in Form des Touchscreens dabei zur Verfügung steht, eine wichtige, wenn nicht sogar die wichtigste, Form des Aufrechterhaltens der Lernfähigkeit in einer digitalisierten und automatisierten Fabrik darstellt. Als Zuhörer bei einer solchen Besprechung hatte ich den Eindruck, dass die Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter nicht nur offen miteinander reden, sondern dass diese Besprechungen trotz aller Konzentration und Zeitdruck konstruktiv und freundschaftlich geführt werden. Eine Fabrik, die trotz aller Digitalisierung und Automatisierung menschlich und damit lernfähig geblieben ist, und wo Menschen Maschinen und Computer beherrschen, nicht umgekehrt, ist möglicherweise der wichtigste Aspekt des Managens.

Erkenntnisse im Überblick

- ◆ Seit der Gründung des Elektronikwerks 1991 wurde bei nahezu gleichbleibender Anzahl an Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern sowie Produktionsfläche die Flächenproduktivität um den Faktor 9 erhöht.
- ◆ Jede Sekunde verlässt ein Produkt das Werk. 75 % der Produkte bewältigen Maschinen und Computer eigenständig, für 25 % der Arbeit sind die Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter zuständig.
- ◆ Treibende Kräfte für die Entwicklung sind Qualität und Individualisierung.
- ◆ Zu Beginn des Elektronikwerks im Jahr 1991 liegt die Fehlerhäufigkeit noch bei 550 Fehlern pro 1 Million produzierter Stücke. Diese Kennzahl beträgt nun 11 dpm bzw. 2 % der Fehlerhäufigkeit von 1991, eine Zahl, die mit manueller Arbeit auch bei bester Schulung nie und nimmer erreichbar ist.
- ◆ Rund zwei Stunden lang könnte eine Fertigungsstraße ohne Personal auskommen, dies entspricht rund 1.400 Stück.

- ◆ Maschinen erledigen die manuellen Fertigungstätigkeiten, wohingegen Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter diese Maschinen überwachen und bedienen.
- ◆ Facharbeiterinnen und Facharbeiter, die jeweils eine Gruppe von Maschinenbedienerinnen und -bedienern führen, sind vor allem ausgebildete Industrieelektronikerinnen und -elektroniker. Diese Facharbeiterinnen und Facharbeiter haben darüber hinaus die Aufgabe, eine oder mehrere Fertigungsstraßen laufend zu überwachen, die Qualität der Produkte zu analysieren und die Produktionsplanung für den Tag vorzunehmen.
- ◆ Elektroingenieurinnen und -ingenieure von Hochschulen haben primär nicht-operative Aufgaben, wie etwa die Fertigungsplanung über einen längeren Zeitraum. Zu deren Aufgaben gehört auch Softwareentwicklung, um die Elektronikfertigung besser zu steuern und zu überwachen. Weiters sind sie bei der Entwicklung neuer Fertigungsstraßen involviert, um die einzelnen Maschinen und Roboter informationstechnisch so zu vernetzen, dass diese optimal zusammenarbeiten.
- ◆ Alle Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern in der Fertigung müssen lernen, miteinander zu kommunizieren. Deshalb absolvieren alle Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter ein Moderations- und Kommunikationstraining.
- ◆ Die meisten Probleme erfordern, dass mehrere Personen diese gemeinsam analysieren, um zu adäquaten Lösungen zu kommen.
- ◆ Während im normalen Schichtbetrieb die Kommunikation untereinander abgenommen hat, gibt es umso mehr Bedarf für kurzfristig einberufene Besprechungen. In der ganzen Werkshalle verteilt sind Plätze vorgesehen, wo in Verbindung mit einem sehr großen Touchscreen Besprechungen abgehalten werden können.
- ◆ Die Arbeitsteilung in der Fertigung entspricht eher einem Netzwerk als einem klassischen Organigramm. Zwar existiert die übliche hierarchische Struktur, aber im operativen Alltag ist es je nach Situation erforderlich, rasch und der Situation angemessen in unterschiedlicher personeller Zusammensetzung zu analysieren und dann zu vereinbaren, wer welche Aktivitäten zu setzen hat.
- ◆ Die Stimmung ist freundlich, aber hoch konzentriert. Es werden keine Schuldigen gesucht, sondern es werden gemeinsam die zu erledigenden Punkte abgearbeitet.

- ◆ Rund € 1 Million werden pro Jahr für Verbesserungsvorschläge von Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern an diese ausgeschüttet. Die Höhe der jeweiligen Prämie wird auf Return-on-Investment-Basis ermittelt. Diese Prämie kann bei besonders guten Vorschlägen bis zu € 10.000 betragen.
- ◆ Ein wesentlicher Effekt der transparent dargestellten Informationen über den aktuellen Status der Fertigung ist, dass dies den Stresslevel reduziert.
- ◆ Störfälle sind seltener geworden. Wenn Störfälle auftreten, so sind diese allerdings aufwendiger zu diagnostizieren und zu beheben.
- ◆ Die Erfindung der speicherprogrammierbaren Steuerungstechnologie hatte zur Folge, dass sich die Entwicklung neuer Produkte von der Hardware hin zur Software verlagert hat.
- ◆ Zur Qualitätsmaximierung und Steuerung werden auch Prozessschritte digital erfasst, welche von Menschen ausgeführt werden. Hier kommt dem Betriebsrat eine besondere Aufgabe zu, denn das Erfassen personenbezogener Daten muss vom Betriebsrat genehmigt werden.
- ◆ Während die manuelle Arbeit zurückgeht und die Maschinenbedienung dank leistungsfähiger Hardware und ergonomischer Software immer einfacher wird, nimmt die Komplexität im Bereich Wartung, aber insbesondere im Bereich Weiterentwicklung und Steuerung des Gesamtsystems Fertigung stark zu.
- ◆ Lernfähig sind die Menschen, nicht die Maschinen.
- ◆ Es gibt unterschiedliche Arten von Intelligenzen. Wenn man heute von „Maschinenintelligenz“ spricht, meint man vor allem die Anwendungen von Algorithmen, also eine mathematische Intelligenz. Jedoch werden auch Kreativität, vernetztes Denken und vor allem Konsequenz-Denken benötigt.

6. Die virtuelle Fertigung: Electrolux-Werk Rothenburg

Der Kontrast könnte größer kaum sein: Das mittelalterliche Städtchen Rothenburg ob der Tauber und das hochautomatisierte Werk von Electrolux. Mit seiner Stadtmauer, den mehr als 40 Türmen und mehr als 700 Gebäuden ist das Altstadtensemble von Rothenburg eine Stadt des 14. Jahrhunderts geblieben. Dieses mittelalterliche Flair macht Rothenburg zu einer der Touristenattraktionen Deutschlands.

Am Rande der Altstadt liegt das Electrolux-Werk, das mit seinen rund 1.000 Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern neben dem Tourismus der größte Arbeitgeber in der Stadt und technologisch im 21. Jahrhundert angesiedelt ist. Nur Gehminuten trennen die beiden voneinander und doch liegen 700 Jahre dazwischen. Die Geschichte des Electrolux-Werkes Rothenburg ist zwar vergleichsweise kurz, aber trotzdem wechselvoll.

1961 wird das Werk Rothenburg von der AEG (Allgemeine Elektrizitäts-Gesellschaft) Aktiengesellschaft gegründet. 1963 wird am Standort die Produktion von Elektroherden aufgenommen, in den Folgejahren auch von Waschmaschinen, Staubsaugern und Elektrokleingeräten. 1982 wird die AEG insolvent und in der Folge 1985 von der Daimler-Benz AG übernommen. Schließlich verkauft 1994 Daimler-Benz den Markennamen sowie große Teile von AEG an Electrolux. Im Jahr 2002 werden von Electrolux am Standort Rothenburg die Zentren für weltweite Elektronik- und Grundlagenentwicklung aufgebaut. Im selben Jahr wird die Staubsaugerproduktion eingestellt und es erfolgt der Start für die Produktion von Kochfeldern.

War das Werk Rothenburg in der AEG noch eines von mehreren Werken, so ist es nun bei Electrolux der einzige Produktionsstandort in Deutschland, spezialisiert auf die Herstellung von Elektroherden und Kochfeldern. Im Jahr 2015 werden rund 560.000 Herde sowie 1,6 Millionen Kochfelder produziert, mit einer Spitze von 2.800 Herden und 7.600 Kochfeldern pro Tag. Diese werden unter unterschiedlichen Markennamen in über 50 Länder exportiert. Dementsprechend variantenreich ist die Produktpalette. Rund 900 unterschiedliche Herde und 1.060 verschiedene Kochfelder werden jährlich produziert, bei einer durchschnittlichen Losgröße von 12 Herden und 28 Kochfeldern. Pro

Tag werden im Schnitt 90 verschiedene Herd-Typen und 145 Kochfelder-Typen gefertigt.

Menschen aus 29 Ländern arbeiten im Werk Rothenburg. Meine Gesprächspartnerinnen und Gesprächspartner sind aus Schweden, Deutschland und Italien. Die gemeinsame Sprache ist Englisch. Das Werk Rothenburg ist, so erklärt mir Bernd Ebert, Director Global Manufacturing Engineering, eine Art Prototyp der digitalen Fertigung. Graduell werden die Fertigungsprozesse, so wie sie sich im Werk Rothenburg bewähren, in allen 46 anderen Werken von Electrolux eingeführt.

Im Jahr 2010 wechselt das Werk Rothenburg auf die neueste Herd-Generation. Die Qualitätsanforderungen für diese Herde führen zur Entwicklung eines vollautomatischen Laserschweißens und -schneidens – das erste seiner Art in der Backofen-Fertigungsindustrie.

Um zu verstehen, welche Funktion und Aufgabe dem digitalen Fertigungs-Engineering im Rahmen des Werks zukommt, zeigt mir Kilian Knorr-Held, Werksleiter Rothenburg, die Fertigung. Die Fertigungstiefe ist groß, beginnt doch die Fertigung nicht erst mit vorgefertigten Teilen, sondern bereits mit Blechrollen. In der ersten Fertigungsstufe werden die Einzelteile zunächst aus den Blechrollen gestanzt und anschließend geformt. Zwar gibt es auch in dieser ersten Fertigungsstufe Varianten, allerdings bedeutend weniger als die 900 Herde und 1.060 Kochfelder. Grund dafür ist, dass für Herde und Kochfelder die Abmessungen normiert sind, sodass diese in den meisten Einbauküchen Platz finden. Auch wenn diese erste Fertigungsstufe von der Blechrolle bis zum fertig geformten Einzelteil weitestgehend automatisiert abläuft, erfordert dieser Teil der Fertigung keine Roboter.

Beim Schweißen sieht die Sache deutlich anders aus: Sowohl das Zusammenfügen der Teile als auch das anschließende Schweißen erfolgt mithilfe von Robotern vollautomatisch. Zunächst positionieren Roboter die oberen und unteren sowie die den Garraum umhüllenden Komponenten, die aus 0,6 mm dickem Stahl hergestellt sind, auf dem Förderband.



Die eigentliche Verbindung erfolgt in der hermetisch abgeschlossenen Schweißkabine. Mittels einer lenkbaren Kamera wird das komplexe Innenleben der Schweißkabine von außen beobachtet. Zwei Schweißroboter und vier Schneidroboter verarbeiten die Öfen. Roboterarme greifen die vorpositionierten Öfen. Die Spanntechnik fixiert die Ober-, Unter- und Garraum-Teile am Werkzeugträger.



Zwei Schweißroboter schweißen die kritische drei Meter lange Schweißnaht – gratfrei, sodass keine weitere Behandlung erforderlich ist.



Sechssachsige Roboter positionieren die Öfen in den Schneidpaletten. Dann schneiden zwei Schneidlaser modellspezifische Lochmuster.



All dies kann ich nicht selbst sehen, weil der gesamte Schweißbereich hermetisch abgeschlossen ist. Der Schweißvorgang ist für das ungeschützte Auge gefährlich. Diese vollautomatisierte Schweißanlage ist seit 2010 in Betrieb und löste damals alle manuellen Schweißarbeitsplätze ab. Die bis zu diesem Zeitpunkt als Schweißer tätigen Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter wurden entweder zu Maschinenbedienerinnen und -bedienern dieser komplexen Roboterinsel umgeschult oder in anderen Bereichen der Fertigung eingesetzt. Wie es denn mit Störfällen sei, frage ich Kilian Knorr-Held. Im Großen und Ganzen, so erklärt er mir, ist dieser Prozess sehr stabil, wobei kurze Stehzeiten aufgrund von Störfällen schon mal vorkommen. Allerdings gibt es zwischen dem Schweißen und dem nächsten Arbeitsgang einen Pufferspeicher für ca. zwei Stunden bzw. rund 600 Öfen, sodass die Fertigung auch im Falle einer Störung im Schweißbereich weitergeführt werden kann.

Etwa alle 12 Sekunden kommt ein fertig geschweißter Ofen aus dem Schweißbereich und wird zur Entfettungs- und Emaillierstufe weitertransportiert. Dieses Transportband dient gleichzeitig als Pufferspeicher, d.h. zwischen dem Schweißbereich und der Entfettungs- und Emaillierstufe hängen rund 600 Herd-Rohlinge.



Die Integration von Schneid- und Schweißprozessen in ein einziges Produktionssystem hat, erklärt mir Kilian Knorr-Held, zwei konkrete Vorteile: Erstens gibt es keine Unterbrechung des Datenflusses an den Übergabestellen zwischen verschiedenen Komponenten – ein Faktor, der zu größerer Prozessstabilität führt. Und zweitens lassen sich neue Varianten und Produktmodifikationen schnell und kostengünstig realisieren. Änderungen an Schneid- und Schweiß-Geometrien können in einem Arbeitsgang für beide Bearbeitungsstufen programmiert werden, da Laser die Ausschnitte erzeugen und die Löcher bohren. Es gibt keine Notwendigkeit, neue Stanzwerkzeuge zu produzieren und zu modifizieren – ein weiterer Faktor, der Zeit und Geld spart.

Der große Fortschritt gegenüber manuellem Schweißen liegt gar nicht so sehr in der Kostenreduktion, sondern primär in der Genauigkeit der Schweißnaht, welche deutlich über der Genauigkeit von manuellem Schweißen liegt. Für Kundinnen und Kunden bedeutet dies, dass alle Elemente des Herdes, welche parallel zueinander sein sollen, auch wirklich exakt parallel sind, insbesondere die Türelemente und der Backofen selbst.

Nach dem erfolgreichen Piloten des vollautomatischen Schweißens sind seit 2010 zwei weitere Fertigungsbereiche mittels Roboter automatisiert worden. Der eine Bereich ist das Kleben der Herdtüren. Auch hierbei sind die Roboter

in Bezug auf die Präzision des Klebevorgangs dem manuellen Kleben überlegen.



Der andere Bereich ist die Verpackung der fertigen Herde durch Verpackungsroboter.



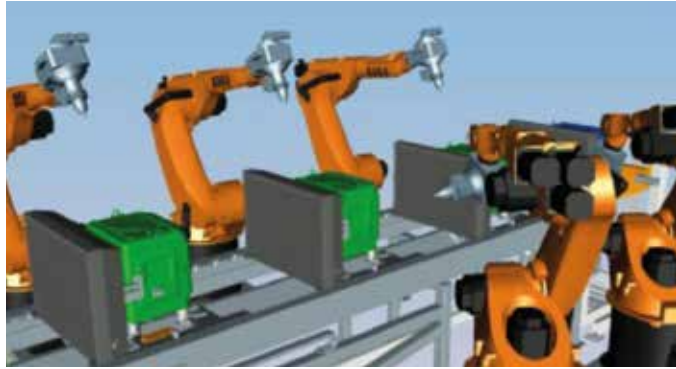
Noch traditionell erfolgt die Endmontage der Herde an elf hintereinanderliegenden manuellen Arbeitsplätzen. An diesen Arbeitsplätzen wird zunächst der Garraum mit Isoliermaterial umwickelt, dann die Elektrik und Elektronik montiert und schließlich verkabelt. Auffallend dabei ist, dass die erste Hälfte der Fertigungslinie ausschließlich mit Männern besetzt ist, wohingegen an der zweiten Hälfte der Fertigungslinie ausschließlich Frauen arbeiten.

Kilian Knorr-Held erklärt mir, dass sie mit verschiedenen Zuteilungen von Frauen und Männern Erfahrung gesammelt haben. Erkenntnis aus diesen Erfahrungen sei, dass Frauen ungleich besser in der elektrischen Montage und Verkabelung sind als Männer. In der ersten Hälfte der Fertigungslinie arbeiten hingegen deswegen keine Frauen, weil dabei der Herd mit Muskelkraft angehoben werden muss, um das Isoliermaterial um den Garraum zu wickeln. Dies, so ihre Erfahrung, überfordert die Muskelkraft der Arbeiterinnen. Auch mir ergeht es beim Zusehen so, dass ich zwar die Arbeitsschritte in der ersten Hälfte der Fertigungslinie nachvollziehen kann, wohingegen die elektrischen Montagetätigkeiten, die von Frauen durchgeführt werden, nicht mehr durchschaubar sind. Bei mir entsteht der Eindruck, dass der Einsatz von Robotern in diesem Werk eher die Muskelkraft erfordernden Arbeitsplätze von Männern, wie etwa das Schweißen und das Kleben, automatisiert als die Geschicklichkeit erfordernden Arbeitsplätze von Frauen.

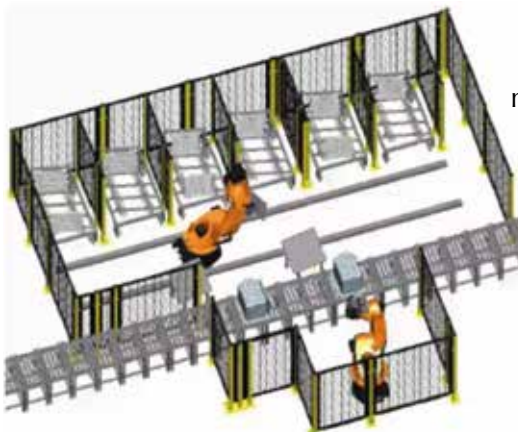
Eine wichtige Erfahrung der Roboterisierung der letzten Jahre bei Electrolux sei, so erklärt mir Ernesto Ferrario, Senior Vice President Global Industrial Operations, dass die Umstellung von manuellen Arbeitsplätzen zu Roboterarbeitsplätzen durch eine statische Planung und anschließende Programmierung der Roboter an den Arbeitsplätzen nicht effizient genug ist. Wenn bis zu sechs Roboter zusammenarbeiten müssen, um einen bestimmten Arbeitsvorgang durchzuführen, so ist das Programmieren dieser Roboter aufgrund der vielen Freiheitsgrade, die jeder Roboter hat, sehr aufwendig. Wird dies erst gemacht, wenn die Roboter bereits montiert sind, so kann es noch einige Wochen dauern, bis schließlich ein optimaler Bewegungsablauf jedes einzelnen Roboters im Zusammenspiel mit allen anderen Robotern gefunden wird. Darüber hinaus besteht immer ein gewisses Risiko, dass bei fehlerhafter Programmierung des Roboters dieser im Testbetrieb Bewegungen ausführt, die zur Beschädigung eines benachbarten Roboters führen oder sogar zu Verletzungen von Personen.

Deshalb ist man bei Electrolux im Rahmen der Global Digital Industrial Operations dazu übergegangen, Automatisierung zunächst virtuell, dreidimensional und dynamisch zu analysieren und zu erproben. Die Bewegungen der

Roboter werden dabei in der virtuellen Fertigung genau so programmiert, wie dies für die realen Roboter erfolgt. Dies hat den Vorteil, dass eine dergestalt erarbeitete Robotersteuerung für die Roboter im Echtbetrieb unmittelbar übernommen werden kann. Am Bildschirm sieht eine solche virtuelle Fertigung dann so aus:

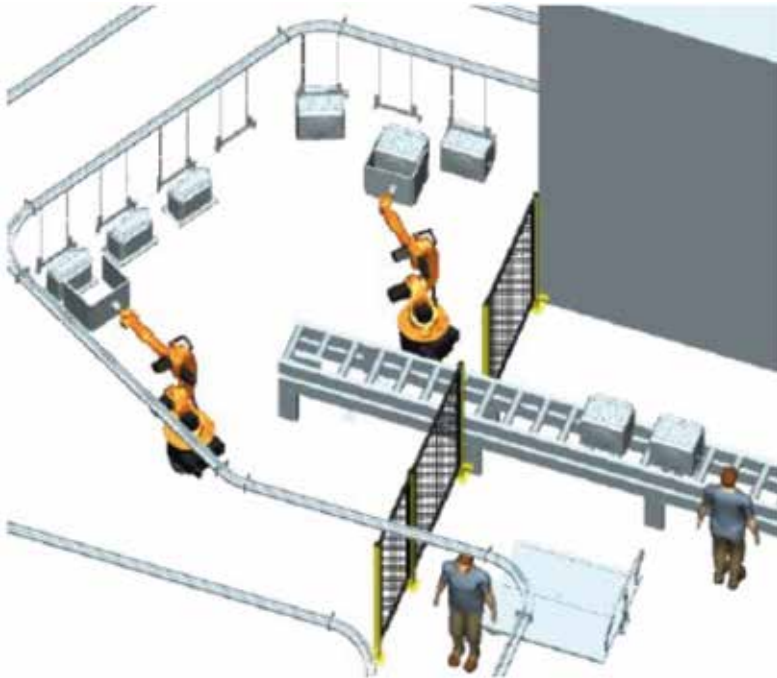


Der darauf basierende Echtbetrieb unterscheidet sich bei den dreidimensionalen Bewegungen der Roboter nicht von den dreidimensionalen Bewegungen der virtuellen Fertigung, daher auch der Begriff Digital Twin:



Bernd Ebert, Director Global Manufacturing Engineering, zeigt mir weitere Digital Twins des Werks Rothenburg. Auf der nebenstehenden Abbildung wird die Automatisierung eines Teils der Montagelinie virtuell erprobt.

Hier wird das automatische Abhängen der Herde nach der Entfettungs- und Emaillierstufe zur Übergabe an die Endmontage virtuell erprobt:



Die Planung neuer Fertigungsinseln mittels virtueller Fertigung erfolgt, so Bernd Ebert, in mehreren Schritten. Zunächst wird ein dreidimensionales Modell der Fertigungshalle erstellt. Um den Status quo möglichst rasch und zumindest zentimetergenau zu erfassen, werden 3D-Scanner eingesetzt. Auch die Spezifikationen der zu erzeugenden Produkte erfolgen dreidimensional. Dann wird der neue Fertigungsbereich als zunächst statisches Modell in das dreidimensionale Modell der Fertigungshalle eingefügt. Damit ist es nun möglich, den gesamten Fertigungsfluss zu simulieren und zu optimieren. Die Erkenntnisse aus der Prozesssimulation sind die Grundlage der Spezifikationen für die Lieferanten des neuen Fertigungsbereiches. Auf Basis der Feinspezifikationen seitens der Lieferanten werden schließlich die Digital Twins zum Programmieren der virtuellen Roboter erstellt, um damit die optimalen Bewegungsabläufe der Roboter zu finden. Parallel dazu wird schließlich auch der gesamte logistische Prozess mit dem neuen Fertigungsbereich für den kompletten Produktionsprozess vom Vormaterial bis zum fertigen Produkt simuliert, um Engpässe sowie erforderliche Pufferlager in der virtuellen Fabrik zu erkennen und in der realen Fabrik vorzusehen.

Ziel dieser Vorgehensweise bei der Automatisierung der Fertigung ist, die Dynamik des Fertigungsprozesses bereits in der Planungsphase so zu berücksichtigen, dass der neue Fertigungsbereich nach dessen baulicher Fertigstellung ohne die sonst übliche Erprobungsphase und Programmierung der Roboter unverzüglich in Betrieb gehen kann. Auch werden dadurch unangenehme Überraschungen durch zu spät erkannte dynamische Engpässe oder zu kleine bzw. zu große Pufferlager vermieden, weil all dies bereits in der virtuellen Fertigung analysiert und nötigenfalls adaptiert wird.

Welches denn die wesentlichen Treiber und Barrieren der virtuellen Fabrik sind, frage ich Ernesto Ferrario. Geld, so führt er aus, ist jedenfalls keine Barriere. Vielmehr ist es das erforderliche Know-how, insbesondere bezüglich Kompetenz in der Planung und Akzeptanz in der Fertigung. Treiber sind für Ernesto Ferrario der permanente Druck in Richtung höhere Produktivität sowie die steigenden Anforderungen der Kundinnen und Kunden bezüglich der Qualität. Da die Produkte, die Electrolux produziert, relativ einfach zu produzieren sind, sind die notwendigen Qualifikationen der Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter in der Fertigung selbst nicht sehr hoch. Anders ist die Situation im Bereich virtuelle Fertigung, d.h. bei der Planung neuer Fertigungslinien.

Obwohl Electrolux ein europäisches Unternehmen mit Hauptsitz in Stockholm ist, muss es, um wettbewerbsfähig zu bleiben, Fabriken von Hochlohnländern in Niedriglohnländer verlagern. Dies spiegelt auch die Veränderung in der Marktnachfrage. Im Jahr 2006 werden rund 15 % des Umsatzes außerhalb von Europa und Nordamerika erwirtschaftet. 2015 ist dieser Anteil bereits 30 %, Tendenz steigend. 95 % der Produkte werden noch 2006 in Hochlohnländern erzeugt, in 2016 beträgt dieser Anteil jedoch nur mehr 30 %. Allerdings, so räumt Ernesto Ferrario ein, ist der Produktivitätsdruck auch in den Niedriglohnländern präsent. So etwa gab es in Ungarn und Brasilien in letzter Zeit große Lohnsprünge von rund 10 % pro Jahr.

Aus all diesen Gründen wird die Automation bei Electrolux vorangetrieben. Sind derzeit weltweit rund 10 % aller Arbeitsplätze automatisiert, so wird dies in den nächsten Jahren auf 50 % aller Arbeitsplätze erhöht. Rund fünf neue Fertigungslinien werden pro Jahr bei Electrolux eingerichtet. Das Werk Rothenburg stellt dabei ein wichtiges Pilotwerk innerhalb von Electrolux dar. Dem Bereich Global Manufacturing Engineering am Standort Rothenburg kommt dabei eine zentrale Rolle zu. Denn an diesem Standort wird das Konzept der virtuellen Fertigung als Dienstleistung für alle 47 Werke weltweit entwickelt und eingesetzt. Diese Entwicklung führt bei Electrolux zu einer Verlagerung des Know-hows von der Fertigung in die Planung neuer Fertigungslinien. In

der Fertigung selbst konzentriert sich das Know-how immer mehr auf Wartung und Reparatur, Qualitätskontrolle sowie auf Geschicklichkeit erfordernde Tätigkeiten in der Montage. Im Bereich Manufacturing Engineering entstehen neue Berufsbilder, insbesondere Layout Engineer, Assembly Planner, Robotic & Human Engineer sowie Logistics Planner. Der Weg in Richtung Automatisierung, so ist mein Eindruck, ist bei Electrolux klar vorgezeichnet und am Standort Rothenburg, sowohl was die Automatisierung selbst als auch die Planung der Automatisierung betrifft, ersichtlich.

Erkenntnisse im Überblick

- ◆ Die Qualitätsanforderungen für die neueste Herd-Generation führen zur Entwicklung eines vollautomatischen Laserschweißens und -schneidens.
- ◆ Die als Schweißer tätigen Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter wurden entweder zu Maschinenbedienerinnen und -bedienern der Roboterinsel umgeschult oder in anderen Bereichen der Fertigung eingesetzt.
- ◆ Zwischen dem Schweißen und dem nächsten Arbeitsgang gibt es einen Pufferspeicher für ca. zwei Stunden bzw. rund 600 Öfen, sodass die Fertigung auch im Fall einer Störung im Schweißbereich weitergeführt werden kann.
- ◆ Der große Fortschritt gegenüber manuellem Schweißen liegt nicht in der Kostenreduktion, sondern primär in der Genauigkeit der Schweißnaht, welche deutlich über der Genauigkeit von manuellem Schweißen liegt.
- ◆ Frauen sind ungleich besser in der elektrischen Montage und Verkabelung als Männer.
- ◆ Der Einsatz von Robotern automatisiert eher die Muskelkraft erfordernden Arbeitsplätze von Männern, wie etwa das Schweißen und das Kleben, als die Geschicklichkeit erfordernden Arbeitsplätze von Frauen, wie die elektrische Montage und das Verkabeln.
- ◆ Barrieren von Automatisierung und Digitalisierung sind das erforderliche Know-how, insbesondere bezüglich Kompetenz in der Planung und Akzeptanz in der Fertigung.
- ◆ Treiber von Automatisierung und Digitalisierung sind der permanente Druck in Richtung höhere Produktivität sowie die steigenden Anforderungen der Kundinnen und Kunden bezüglich Qualität.

- ◆ Um wettbewerbsfähig zu bleiben, werden Fabriken von Hochlohnländern in Niedriglohnländer verlagert. Im Jahr 2006 wird rund 15 % des Umsatzes außerhalb von Europa und Nordamerika erwirtschaftet. 2015 ist dieser Anteil bereits 30 %, Tendenz steigend. 95 % der Produkte werden noch 2006 in Hochlohnländern erzeugt, in 2016 beträgt dieser Anteil jedoch nur mehr 30 %.
- ◆ In der Fertigung konzentriert sich das Know-how immer mehr auf Wartung und Reparatur, Qualitätskontrolle sowie auf Geschicklichkeit erfordernde Tätigkeiten in der Montage.
- ◆ Im Bereich Manufacturing Engineering entstehen neue Berufsbilder, insbesondere Layout Engineer, Assembly Planner, Robotic & Human Engineer sowie Logistics Planner.

7. Kollaborative Roboter: BMW-Werk Spartanburg

Von allen rund 20 Produktionsstandorten von BMW wollte ich bevorzugt das Werk Spartanburg in South Carolina besuchen. Selbst das hochrenommierte MIT Technology Review, das verständlicherweise seine Aufmerksamkeit vor allem auf US-Firmen richtet, beschreibt das einzige BMW-Werk in den USA als herausragend in Bezug auf Smart Manufacturing, wie das amerikanische Konkurrenzmodell zu Industrie 4.0 heißt. Der unmittelbar neben dem Werk befindliche Greenville-Spartanburg International Airport liegt zwar aus mittteleuropäischer Sicht nicht „um’s Eck“, aber die Reise ist es allemal wert, um noch mehr über die vierte industrielle Revolution zu erfahren. Das BMW-Werk ist ziemlich genau auf halbem Weg zwischen Greenville und Spartanburg. Rund eine halbe Autostunde benötigt man jeweils zu den Zentren dieser beiden amerikanischen Kleinstädte.

Wieso wird ausgerechnet hier Anfang der 1990-er Jahre das US-Werk errichtet, frage ich Martin Koch, Section Manager Technical Planning Assembly, der Kontaktmann in der Vorbereitung meines Besuchs. Martin Koch, der, so verrät er mir, an der TU München Maschinenbau studiert hat und nun, nachdem er zuvor bei BMW München begonnen hatte, mit seiner Familie schon einige Jahre in Greenville lebt, beantwortet alle meine Fragen gerne. Bei der Wahl des Standortes Ende der 1980er-Jahre spielen die logistische Anbindung, der Einzugsbereich von potenziellen Unterlieferanten und auch die Verfügbarkeit von qualifizierten Arbeitskräften eine Rolle. So will man in der Nähe eines großen Containerhafens an der Ostküste der USA und auch möglichst in einer Region mit Maschinenbautradition sein, um entsprechend qualifizierte Fachkräfte vor Ort rekrutieren zu können. Charleston, der drittgrößte Containerhafen an der Ostküste nach New York und Savannah, erfüllt fast alle diese Kriterien. Charleston liegt in South Carolina, einer ehemaligen Hochburg von Baumwollplantagen und damit auch der amerikanischen Textilindustrie. Dieser Industriezweig ist jedoch Ende der 1980er-Jahre bereits am Niedergang, verlagert sich doch die Herstellung von Textilien nach Asien. Rund 95 % aller Webereien von South Carolina sperren in den 1970er- und 1980er-Jahren zu. Der indes letztlich gewählte Standort rund 3,5 Autostunden nordwestlich von Charleston erfüllt noch ein weiteres wichtiges Kriterium bei der Standortwahl: die logistisch

gute Anbindung amerikanischer Zulieferer, d.h. die Nähe zu einem Interstate Highway. Diese Informationen beginne ich in ihrer Tragweite erst so richtig zu begreifen, als ich die Dimensionen des Werkes Spartanburg erfasse.

Im Juli 1994 beginnt BMW seine Produktion in den USA. Im Jahr 2010 wird die ohnedies schon riesige Produktionsstätte um weitere 111.500 m² vergrößert. Waren ursprünglich 2.000 Arbeitsplätze im Werk Spartanburg geplant, so sind es nunmehr 8.000. Bezieht man auch die Firmen mit ein, die vor Ort Leistungen und Zulieferungen für das Werk erbringen, summiert sich der wirtschaftliche Impact auf rund 40.000 Arbeitsplätze in der Region. Für die gesamte Region stellt sich dies als wirtschaftspolitischer Glücksfall heraus, insbesondere im Vergleich mit der klassischen Autostadt Detroit. Heute ist Greenville eine florierende Stadt von der Größe Klagenfurts, mit, so Martin Koch, hoher Lebensqualität, netten Restaurants und guten Schulen. Der Anteil, den BMW daran trägt, ist offensichtlich.



Die logistischen Anforderungen sind enorm. Täglich werden ca. 1.400 Fahrzeuge produziert. Das Werk Spartanburg ist damit mittlerweile der größte Produktionsstandort von BMW weltweit. Innovationskraft, wachsende Nachfrage nach X-Modellen und der günstig gelegene Standort waren dabei wohl

entscheidend, erklärt mir Gerald Degen, Vice President Production Control & Logistics. Zur Versorgung der Produktion, aber auch zum Abtransport der fertigen X-Modelle docken täglich 800 LKWs an eine der Fabrikhallen an. Bei meinem Rundgang im Werk zähle ich geschätzte 40 LKWs, die gleichzeitig Ent- oder Beladen werden. Da die Motoren in Deutschland und Österreich gefertigt werden, werden auch täglich 1.400 Motoren, die von Europa per Schiff nach Charleston transportiert werden, angeliefert. Von den täglich ca. 1.400 gefertigten Autos werden rund 70 % exportiert. Damit ist das BMW-Werk Spartanburg sogar der größte Autoexporteur der USA. Große Lager sowohl der Zulieferteile als auch der fertigen Autos zu halten, ist weder von den Kosten noch vom Platzbedarf her machbar. Dies bedeutet aber, dass die gesamte Logistik auf just in time ausgelegt ist. Mit der Präzision eines Uhrwerkes läuft alle ca. 90 Sekunden pro Montagehalle, also ca. alle 45 Sekunden im Werk ein BMW vom Band. Und wie bei einem Uhrwerk ist das Schlimmste, das in diesem Fertigungsprozess passieren kann, eine Störung, die zu einem ungeplanten Stopp einer Fertigungsstraße führt.

Rund 17 Stunden reine Durchlaufzeit benötigt ein Fahrzeug in der Montage, bevor es zur Probefahrt das Werk verlässt. Konkret, so überlege ich mir, muss daher ein Motor, der am Tag 1 von Deutschland oder Österreich kommend von Charleston zum Werk Spartanburg mittels LKW angeliefert wird, am Tag 2 oder 3 im Fahrzeug montiert werden. Am Tag 4 wird dann das fertiggestellte Auto im Fall, dass es sich um eine Kundin oder einen Kunden in Deutschland handelt, via Charleston mit dem Schiff nach Europa transportiert. Der Motor ist somit deutlich länger im Transport unterwegs als er sich in der Fertigung selbst befindet.

Dass eine solche Standortstrategie trotz des enormen logistischen Aufwands äußerst sinnvoll ist, erläutert Norbert Reithofer, früherer Vorstandsvorsitzender und jetzt Vorsitzender des Aufsichtsrates von BMW, in einem Interview mit der Zeitschrift *Automobil Industrie* am 3. April 2014 so: *„Die Vereinigten Staaten sind ein sehr wichtiger Markt für uns. Wir verkaufen fast 400.000 Fahrzeuge. Wir müssen natürlich auch auf – wir sagen Natural Hedging – natürliche Art und Weise unser Währungsrisiko sichern. Wenn sie in einem Markt viele Fahrzeuge verkaufen und auch produzieren, dann haben sie ein wesentlich geringeres Währungsrisiko, d.h. große Märkte müssen also grundsätzlich auch Produktionswerke haben. Man muss dem Markt folgen.“*



Ziel sei 100 % Verfügbarkeit in der Montage, so erklärt mir Gerald Degen stolz, und sie seien sehr nahe dran. Das ist – wenn man bedenkt, dass nicht nur einige 1.000 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter in der Fertigung tätig sind, sondern auch viele montageunterstützende Geräte und Maschinen – extrem hoch, muss doch Ziel für die Verfügbarkeit der einzelnen Montagearbeitsplätze inklusive der zum Einsatz kommenden Geräte und Maschinen ebenfalls 100 % sein, um diese Gesamtverfügbarkeit zu erreichen. Die Bedeutung der Instandhaltung und damit auch die personelle Ausstattung haben am Standort Spartanburg über die Zeit stark zugenommen.

Alle Entscheidungen zur Veränderung bestehender Prozesse, so Gerald Degen, erfolgen auf Basis von sechs Kriterien, welche in einem angedachten neuen Prozess besser sein müssen: Prozessstabilität, Fehlhandlungssicherheit (im Sinne von technischen Vorkehrungen zur sofortigen Fehlerrückmeldung und -verhinderung), Effizienz, Flexibilität, Safety und Ergonomie. Automatisierung und Digitalisierung sind, so führt Gerald Degen weiter aus, kein Selbstzweck, sondern dienen stets den genannten sechs Kriterien.

Weder die Automatisierung des Rohbaus noch die Automatisierung der Lackierung ist bei meinem Besuch ein besonderes Thema, denn – dies zeigen auch die folgenden zwei Fotos – dieser Aspekt der Automatisierung ist im Werk schon quasi ein alter Hut.



Zu sehen bekomme ich vielmehr die aus Sicht von Martin Koch wirklich aktuellen Prozessinnovationen: Bilderkennung in der Logistik, Google Glass in der Qualitätsprüfung sowie kollaborative Roboter und Exoskelette in der Montage.

In der Logistik fallen rund 5 Millionen Teile an, die pro Tag mittels Barcode erfasst werden müssen, wobei ein komplettes Fahrzeug mehrere tausend Sachnummern hat. Dieser Erfassungsvorgang bezieht sich nicht nur auf die Einlagerung ins Lager, sondern auch auf die Übergabe vom Lager in die Fertigung. Das Lesen der Sachnummern mittels Bilderkennung erhöht nicht nur die Effizienz, sondern auch die Fehlhandlungssicherheit. BMW nutzt hierfür digitale Fotografie, z.B. Smartphones und Bilderkennungssoftware. Das neue Gerät unterscheidet sich von einem herkömmlichen Barcode-Lesegerät dadurch, dass nicht mehr jede einzelne Barcode-Etikette gelesen wird, sondern dass ein Stapel von mit Barcode ausgezeichneten Packungen fotografiert wird. Danach wird dieses digitale Foto mittels Bilderkennungssoftware analysiert, um sämtliche am Bild aufscheinenden Barcode-Etiketten zu erfassen. Diese werden dann mittels der Bilderkennungssoftware einzeln gelesen und an das IT-System übermittelt. Der Effekt dieses intelligenten Barcode-Lesers ist, dass die Erfassung eine geringere Fehlerrate aufweist und deutlich rascher vonstattengeht. Statt zu jedem einzelnen Barcode das Lesegerät hinzuhalten, genügt ein digitales Foto einer größeren Menge Barcode-Etiketten. Die Weiterverarbeitung erfolgt dann digital. Der schwierige Teil, so erklärt mir Gerald Degen, war die Entwicklung einer Bilderkennungssoftware, die fehlerfrei zwischen Barcode und allen anderen Informationen, die in einem Bild sein können, differenziert und darüber hinaus klar signalisiert, wenn ein digitales Foto diesbezüglich nicht eindeutig von der Bilderkennungssoftware interpretiert werden kann. Nunmehr ist dieses neue Barcode-Lesesystem derart ausgereift, dass es in den Echtbetrieb gehen kann.

In der Montagestraße gibt es verschiedene Kontrollpunkte, an denen visuelle Qualitätskontrollen durchgeführt werden. Da sich jedes Fahrzeug in Bezug auf Farbe, Ausstattung, Motor etc. vom vorangehenden Fahrzeug unterscheidet – Losgröße-1-Fertigung ist normal –, unterscheidet sich auch jede Qualitätskontrolle zumindest in einigen Punkten von jener des vorangehenden Fahrzeuges. Die Arbeiterinnen und Arbeiter bekommen daher am Bildschirm die entsprechenden durchzuführenden Inspektionen angezeigt und müssen diese abschließend als durchgeführt am Bildschirm rückmelden. Im Fall eines festgestellten Mangels müssen sie diesen kurz beschreiben. Da sich das Fahrzeug kontinuierlich auf der Montagestraße fortbewegt, der Bildschirm hingegen stationär ist, sind Wegezeiten mit der derzeit im Einsatz befindlichen Technologie unvermeidlich. Dies war die Ausgangssituation für ein Entwicklungsprojekt, welches mir Jörg Schulte, Manager Liaison Office Research and Innovation, vorstellt.

Ein Tablet-PC, erläutert Jörg Schulte, scheidet deswegen aus, weil dieser stets zumindest mit einer Hand gehalten werden muss, die vorgeschriebenen Inspektionsarbeiten aber teilweise beide Hände erfordern. Im Werk Spartanburg setzt man daher auf eine andere Form des mobilen Computers – Google Glass. Alle für BMW erforderlichen Hardwarekomponenten sind in diesem Gerät vorhanden: Miniaturcomputer, Display, Kamera, Mikrofon und Funkverbindung. Die Applikation selbst wird gemeinsam mit dem Georgia Institute of Technology entwickelt. Das Projekt Augmented Visual Inspection, so wie ich es kennenlerne, wird gerade erprobt.



Ich setze eine solche Brille auf und Jörg Schulte erklärt mir, wie ich diese zu bedienen habe. Mit meinem rechten Auge sehe ich im oberen Bereich meines Gesichtsfeldes die Informationen, wie sie in der Montagestraße derzeit noch auf einem Bildschirm erscheinen. Der Unterschied zu einem gewöhnlichen Bildschirm ist allerdings, dass diese Information mit dem, was ich tatsächlich sehe, überlagert ist, sodass ich beides gleichzeitig sehen kann. Ich muss nicht einmal mein Auge zwischen näher und weiter entfernt adjustieren, da die Darstellung subjektiv so erfolgt, als ob der Bildschirm genauso weit weg ist wie das, was ich tatsächlich sehe. Ein wenig, so gestehe ich Jörg Schulte, ist die Sache schon gewöhnungsbedürftig. Aber ich erinnere mich, wie ich das erste Mal mit einer Maus und viele Jahre später mit einem Touchscreen zu arbeiten begonnen habe. Mittels Sprache, d.h. einfachen Befehlen wie „yes“ und „no“, kann ich die Checkliste abarbeiten, den Bildschirm scrollen und auch die Kamera betätigen für den Fall, dass ich etwas sehe, das ich fotografieren möchte.

Nicht immer versteht mich Google Glass sofort. Ja, so meint Jörg Schulte, die Spracherkennung ist noch verbesserungsbedürftig, aber die Schwierigkeit besteht darin, dass die Rechnerkapazität des Miniaturcomputers eben nur eine beschränkte Leistungsfähigkeit der Spracherkennungssoftware zulässt. Generell, so erklärt mir Jörg Schulte, wurde in der Erprobungsphase, welche im Echtbetrieb an der Montagestraße erfolgte, Google Glass sehr gut angenommen. Noch gibt es einigen Verbesserungsbedarf, aber der sei technisch lösbar. Das größte Hindernis sei, dass die Benutzung von Google Glass gewöhnungs-

bedürftig ist. Einige der Nutzerinnen und Nutzer berichteten, dass es sehr anstrengend sei, gleichzeitig die Aufmerksamkeit auf das Gesehene und auf die eingeblendeten Informationen zu richten. Um der ansteigenden Zahl von Anwendungsfällen gerecht zu werden, muss auch die Infrastruktur der drahtlosen Netzwerkverbindungen erweitert werden, so Jörg Schulte weiter.

In der Montagestraße bekomme ich schließlich das Prunkstück an Innovation zu sehen, den kollaborativen Roboter. Dies ist ein Roboter, der im Unterschied zu herkömmlichen Industrierobotern mit Sensoren ausgestattet ist, sodass der Roboter selbständig erkennt, wenn ein Mensch in der Nähe ist. Dies führt zunächst dazu, dass dieser kollaborative Roboter seine Bewegungen verlangsamt und, falls ein Mensch den Roboterarm berührt, zum Stillstand kommt. Dies bedeutet, dass ein solcher Roboter gefahrlos unmittelbar neben einer Arbeiterin bzw. einem Arbeiter Tätigkeiten ausführen kann. Damit wird die Anwendungsmöglichkeit eines Roboters wesentlich umfangreicher, weil diese direkt in der Montagestraße eingesetzt werden können. Herkömmliche Industrieroboter hingegen können nur außerhalb der Montagestraße eingesetzt werden – oder, wenn innerhalb der Montagestraße, dann nur in einem geschützten Bereich, um Unfällen vorzubeugen.

Der kollaborative Roboter, den ich zu sehen bekomme, fixiert die Schall- und Feuchtigkeitsisolierung auf der Türinnenseite so, dass am nächsten Arbeitsplatz eine Arbeiterin bzw. ein Arbeiter daran sofort weiterarbeiten kann. Die Aufbringung der Schall- und Feuchtigkeitsisolierung, so erklärt mir Nathan McCall, zuständig für Hall 52 SBWE and Assembly Coordination, ist trickreich. Wird die Schall- und Feuchtigkeitsisolierung mit zu wenig oder zu viel Kraft angedrückt, führt dies dazu, dass die Schall- und Feuchtigkeitsisolierung nicht den Qualitätsanforderungen genügt. Es war dies daher eine Arbeit, die bislang nur Menschen durchführen konnten, die imstande waren, mit gleichmäßig großer Kraft die Isolierung anzudrücken – eine sehr anstrengende Tätigkeit. Mit diesem kooperativen Roboter hingegen kann nun die Kraft, mit der die Isolierung angedrückt wird, genau kontrolliert werden. Resultat der Umstellung von manueller auf maschinelle Fixierung der Schall- und Feuchtigkeitsisolierung sei, dies haben die letzten Jahre gezeigt, eine deutliche Verbesserung dieses Montageprozesses und eine Entlastung von Arbeiterinnen und Arbeitern von dieser mühsamen Tätigkeit.



Wie kam es zu dieser Innovation, frage ich Chad Cabaniss, Department Manager Technical Planning Assembly, der, so erfahre ich davor, den Einsatz des kollaborativen Roboters im Werk Spartanburg initiiert hatte. Er erzählt mir, dass sie im Jahr 2010 im Rahmen einer Fact Finding Mission das MIT und Heartland Robotics besuchten. Dieses Unternehmen, welches heute Rethink Robotics heißt, war ein Spin-off des MIT. Gründer war Rodney Brooks, sowohl Professor für Robotik am MIT als auch Direktor des MIT Computer Science and Artificial Intelligence Laboratory. Beim Unternehmen Heartland Robotics, welches damals gerade erst gegründet war, sah Chad Cabaniss zum ersten Mal einen kollaborierenden Roboter, also einen Roboter, der nicht durch Schutzeinrichtungen von Menschen getrennt werden musste, weil dieser Roboter seine Umgebung „wahrnehmen“ konnte. Das große Potenzial dieses Robotertyps für die Montagestraße im Werk Spartanburg war für Chad Cabaniss sofort erkennbar. Zurück im Werk Spartanburg startete er ein Projekt, um den Einsatz eines solchen Roboters im Echtbetrieb einer Montagestraße zu testen. Die Wahl fiel rasch auf die Anbringung der Schall- und Feuchtigkeitsisolierung in der Türmontage, war dies doch schon längere Zeit als Schwachpunkt bekannt. Ein herkömmlicher Industrieroboter kam deswegen nicht infrage, weil es in der engräumigen Türmontagestraße nicht möglich war, diesen mit entsprechender Schutzeinrichtung zu versehen.

Im Zuge des Projektes stellte sich heraus, dass der von Heartland Robotics angebotene kollaborative Roboter den Anforderungen einer Montagestraße nicht genügte. Deshalb wurde nach den Spezifikationen vom Werk Spartanburg ein kollaborativer Roboter gemeinsam mit der Firma Universal Robotics entwickelt. Das Werk Spartanburg war damit die weltweit erste Montagestraße, in der ein kollaborativer Roboter zum Einsatz kam. Dementsprechend groß, so erzählt Chad Cabaniss stolz, war das Interesse der Medien. Am 10. September 2013 veröffentlichte BMW folgende Pressemitteilung:

„Im Werk Spartanburg der BMW Group hat die Zukunft bereits begonnen: In der Türmontage arbeiten Mensch und Roboter Seite an Seite, ohne Schutzzaun, als Team. Das US-amerikanische BMW Werk ist die erste BMW Automobilfertigung weltweit, in der eine direkte Mensch-Maschine-Kooperation in der Serienproduktion realisiert werden konnte. Vier kollaborative Roboter fixieren die Schall- und Feuchtigkeitsisolierung auf der Türinnenseite für BMW X3 Modelle. Die Folie mit der Kleberaupe wird zuvor von Mitarbeitern aufgelegt und nur leicht angedrückt. Bislang führten anschließend Mitarbeiter den Fixierprozess manuell mit einem Handroller aus. Nun übernehmen die Automaten mit Rollköpfen am Roboterarm diese Kräfte zehrende Arbeit, die sehr präzise

ausgeführt werden muss. Die Dichtung schützt die Elektronik in der Tür und den Fahrzeuginnenraum vor Feuchtigkeit.“

Inzwischen ist der Einsatz kollaborativer Roboter bei BMW Routine. Nicht nur wurde das Konzept vom Werk Spartanburg von anderen BMW-Werken übernommen, auch im Werk Spartanburg sind kollaborative Roboter in anderen Bereichen bereits im Einsatz – vor allem dort, wo es darum geht, mit konstanter Kraft einen Werkstoff oder ein Bauteil aufzubringen. Eine weitere, noch in Erprobung befindliche Montagetätigkeit durch kollaborative Roboter zeigt mir Martin Koch. Es ist dies das selbständige Entfernen von Carrier Adaptern. Carrier Adapter sind Zwischenelemente, auf denen das Auto in der Montagestraße aufliegt, sodass es von den Gehängen der Fördertechnik aufgenommen werden kann. Diese Carrier Adapter können als eine der letzten Tätigkeiten in der Montagestraße nur in liegender Position entfernt werden, da sie erst abgenommen werden können, wenn das Fahrzeug auf den Rädern steht. Ein kollaborativer Roboter wird diese Arbeit selbständig erledigen. Dabei entfernt der Roboter nach dem manuellen Positionieren die Carrier Adapter alleine.



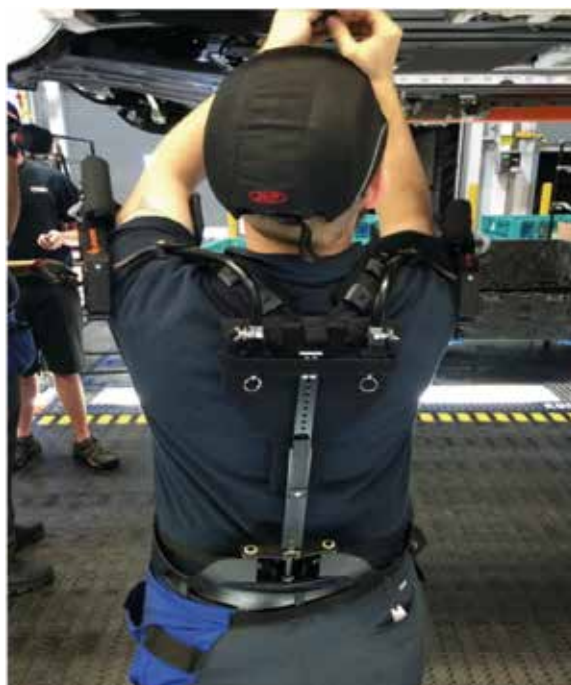
Diese kooperativen Roboter haben für mich schon etwas von Science-Fiction. Obwohl sie absolut nicht menschenähnlich sind, ist es doch faszinierend zu sehen, wie sie auf eine Person reagieren, wenn diese sich ihnen nähert. Auch die Selbstverständlichkeit, mit der links und rechts eines solchen Roboters an der Montagestraße Menschen arbeiten, die einerseits einem Roboter zuarbeiten und denen umgekehrt wiederum ein Roboter zuarbeitet, erinnert mich an Science-Fiction-Filme. Nicht, dass es etwa bedrohlich wirkt, ganz im Gegenteil: Man arbeitet miteinander im Vertrauen darauf – soweit man dies Vertrauen

nennen kann –, dass jedes Glied in der Kette seine Arbeit richtig macht. Seit Einführung kollaborativer Roboter gab es keinen einzigen Unfall, der durch solche Roboter verursacht wurde, so Nathan McCall.

Für das Werk Spartanburg hat die erstmalige Einführung kollaborativer Roboter dazu geführt, innerhalb von BMW für Innovationen bekannt zu werden, ein Image, auf das sie in diesem Werk nicht nur sehr stolz sind, sondern das auch sehr wichtig ist bei Entscheidungen darüber, an welchem Standort eine neue Montagestraße gebaut wird. Dies wird im Zuge eines BMW-internen Wettbewerbs entschieden und dabei spielt die Innovationskraft eines Standortes neben anderen Entscheidungskriterien eine bedeutende Rolle. Standortsspezifische Unterschiede bei den Rahmenbedingungen erleichtern oder erschweren Innovationen erheblich. So konnte der erste kollaborative Roboter am Ende der Erprobungsphase sofort im Werk Spartanburg eingesetzt werden. In Deutschland, so Chad Cabaniss, dauerte es noch zwei Jahre, bis die Berufsgenossenschaft, die Trägerin der gesetzlichen Unfallversicherung, ihre Zustimmung zum Einsatz dieser Roboter ohne Schutzeinrichtungen erteilte.

Noch unter den Eindrücken des Gesehenen bin ich schon neugierig, den Einsatz von Exoskeletten zu sehen. Ein Exoskelett, so habe ich mich schon vor dem Besuch des Werkes schlaue gemacht, ist eine äußere Stützstruktur, die die Bewegungen der Trägerin oder des Trägers unterstützt bzw. verstärkt. Diese Beschreibung erinnert mich an die sogenannten Großschreiter, wie sie im Roman „Fiasko“ von Stanisław Lem vorkommen. Solche Großschreiter sind überdimensionale, von einem Piloten gesteuerte humanoide Roboter. Im Werk Spartanburg geht es aber weder um Krieg noch um die Begehung menschenfeindlicher Gegenden, sondern um die Unterstützung von Montagetätigkeiten durch ein solches Exoskelett. An bestimmten Arbeitsplätzen der Montagestraße muss nämlich am Unterboden des Autos, das in Kopfhöhe transportiert wird, gearbeitet werden. Um diese Arbeiten auszuführen, müssen daher beide Hände fast permanent oberhalb des eigenen Kopfes gehalten werden. Auch wenn alle zwei Stunden der Montagearbeitsplatz gewechselt wird, ist dies doch für die dort arbeitenden Personen sehr anstrengend. Aus diesem Grund gelangt ein Exoskelett zum Einsatz, welches mittels Stahlfeder beide Oberarme derart unterstützt, dass keine zusätzliche Muskelkraft erforderlich ist, um die Oberarme in die Höhe zu halten. Das Wesentliche an diesem Exoskelett ist, dass dabei die Bewegungsfreiheit der Arme insgesamt nicht eingeschränkt wird. Ein solches Exoskelett passt nicht in das herkömmliche Bild von Automatisierung und Digitalisierung, ist aber für das Werk genauso bedeutsam wie andere Projekte zur Verbesserung der Montageprozesse, denn durch dieses

Exoskelett wird der Montageprozess stabiler, für die Arbeiterinnen und Arbeiter ergonomischer und damit insgesamt besser.



Das Modell X5 von BMW wird auch als Hybrid gefertigt, also sowohl mit Verbrennungsmotor als auch mit Elektromotor ausgestattet. Deshalb gibt es im Werk Spartanburg eine Halle, in der die dafür notwendigen Batterien montiert werden. Diese hochautomatisierte Fertigungsstufe besteht darin, die Batteriemodule, die jeweils 16 Zellen umfassen, zusammen mit den Steckverbindern, Steuerungen und Kühlsystemen in einem Aluminiumgehäuse zu montieren. Während wir durch die Halle gehen, erfahre ich interessante Details zur Batteriefertigung. Das Neuartige für das Werk Spartanburg ist nicht so sehr die Batteriefertigung selbst, denn das hochautomatisierte Montieren und Schweißen ist grundsätzlich bekannt. Was vielmehr neu ist, ist das Prüfen und Testen, denn dieses erfordert Know-how im Bereich Elektrotechnik anstelle im Maschinenbau. Derzeit, so wird mir schmunzelnd erklärt, sind Elektrotechnikerinnen und Elektrotechniker im Werk noch eine Minderheit. Aber sollten die Kundinnen und Kunden in ein paar Jahren von Verbrennungsmotoren auf Elektromotoren umschwenken, dann werden sie vielleicht sogar von der Minderheit zur Mehrheit. Das betrifft, so wird hinzugefügt, nicht die Montagestraße der Fahrzeuge selbst, sehr wohl jedoch die Batteriemontage.

Am späten Nachmittag sitze ich mit Chad Cabaniss, Department Manager Technical Planning Assembly, Kavita Antani, Department Manager Quality Management Assembly, Carrie Cline, Section Manager Logistics Planning, und Martin Koch, Section Manager Technical Planning Assembly, in einem informellen Meeting zusammen. Eine lebhafte Diskussion über die großen zukünftigen Herausforderungen des Werkes Spartanburg entspinnt sich. Die Automobilbranche ist im Umbruch. Die zwei großen Themen dabei sind der erwartete Umstieg von Verbrennungsmotoren auf Elektromotoren sowie autonomes Fahren. Die schwierige Frage ist nicht so sehr, ob dies passieren wird, sondern wann und wie rasch. Diese Veränderung beim Antrieb rüttelt, das merke ich, an den Grundpfeilern von BMW. Die Ursprünge von BMW, also der Bayerischen Motoren Werke, liegen eigentlich, wie der Name schon sagt, nicht im Autobau, sondern im Motorenbau – insbesondere im Flugzeugmotorenbau. Mit der Qualität ihrer Antriebstechnik hat die BMW AG sich ihren Namen und ihr Image geschaffen. Was wird daher in Zukunft das Alleinstellungsmerkmal von BMW sein, wenn es primär Autos mit Elektroantrieb erzeugt?

Beunruhigt sind meine Gesprächspartner nicht, vielmehr nachdenklich. Die Montagestraße für ein Elektroauto ist nicht grundsätzlich verschieden zu der Montagestraße eines Benziners und im Rohbau sowie der Lackierung ändert sich unter dem Gesichtspunkt der Fertigungsprozesse sowieso kaum etwas. Die Fertigungsprozesse ändern sich jedoch dann, wenn Leichtbaumaterialien wie Carbon, Aluminium, Kunststoff und Magnesium eingesetzt werden, wie dies in der Produktion der BMW i-Modelle im Werk Leipzig geschieht. Während indes die mechanischen Teile wie Getriebe, Kupplung sowie Verbrennungsmotor selbst verschwinden, nimmt der Anteil elektronischer Bauteile zur Steuerung der Batterien, der Batteriekühlung und insbesondere für das autonome Fahren enorm zu. Dementsprechend wird es auch in der Montage wesentlich mehr Leute mit elektrotechnischem und elektronischem Verständnis geben müssen und dafür weniger Leute mit Maschinenbau-Know-how.

All dies wird geschehen und, da sind sich meine Gesprächspartner einig, BMW ist gut darauf vorbereitet, selbst wenn die Nachfrage von Kundinnen und Kunden sehr plötzlich in Richtung dieser neuen Technologien kippen sollte. Aber dies ist nur die technologische Herausforderung, der sich das Werk Spartanburg und BMW insgesamt stellt. Wirklich neu ist indes die sich verändernde Landschaft der Mitbewerber. Durch die technologischen Umbrüche öffnet sich ein Zeitfenster, in dem Unternehmen, die ihren Schwerpunkt nicht im Maschinenbau, sondern in den Bereichen Elektronik und Software haben, Marktanteile erringen können. Doch meine Gesprächspartner sind überzeugt

davon, dass es für Autohersteller leichter ist, ihre Kernkompetenzen um Elektronik und Elektrotechnik zu erweitern, als es für Software- und Elektronik-Hersteller ist, sich das notwendige Know-how im Bereich Fahrzeugbau anzueignen.

Es gibt wenige Branchen, da sind wir uns einig, die von einer so hohen Unsicherheit über die zukünftige Entwicklung geprägt sind wie die Autobranche. Die Selbstverständlichkeit und das Selbstbewusstsein, mit der dieses Faktum akzeptiert wird, ist beeindruckend. Allen meinen Gesprächspartnern ist klar, dass dies ein massives Umlernen vom Maschinenbau hin zur Elektrotechnik und Elektronik für sie bedeutet, aber dieser Entwicklung sehen sie gelassen entgegen. Die Überzeugung, im Fertigungsprozess den neuen Mitbewerbern wie Tesla, Google und Apple an Innovationskraft deutlich überlegen zu sein, gibt ihnen Zuversicht für die Zukunft.

Auch das seit Jahrzehnten fest etablierte Konzept der Montagestraße wird in dem Gespräch kritisch hinterfragt und sowohl gegenüber den Vor- als auch den Nachteilen des Fertigungsinsel-Konzeptes abgewogen. Noch ist es nicht soweit, erklären mir meine Gesprächspartner, aber es könnte schon sein, dass zukünftig die Autofertigung nicht mehr in Montagelinien, sondern in Fertigungsinseln erfolgt. Mit dieser Überlegung steht die Abteilung Technical Planning Assembly des Werkes Spartanburg nicht alleine da.

Im Blog von Audi vom 23. November 2016 lese ich beim Rückflug: *„Fertigungsinseln statt Fließband. Durch die fortschreitende Digitalisierung und gestiegenen Individualansprüche der Käufer hat die Komplexität innerhalb der Produktion extrem zugenommen. Mit herkömmlicher Fließbandtechnik ist dem heute kaum noch beizukommen. Autohersteller müssen auf schnell drehende Marktwünsche reagieren, Produktionszahlen anpassen und Montageabläufe umstellen. Es kann sein, dass sich innerhalb eines neuen Jahrzehnts die Welt der Fließbandtechnik in den Industriemuseen wiederfinden wird. Die sogenannte modulare Montage testet das Unternehmen gerade im ungarischen Motorenwerk. Mitarbeiterteams können flexibel entscheiden, wann sie ihre Pausen einlegen. Sie müssen ihre Arbeit nicht mehr an die Bandgeschwindigkeit anpassen. Sie müssen im Falle eines Problems auch nicht mehr in große Hektik ausbrechen. Denn das gesamte Montageband bleibt nicht mehr stehen (das es nicht mehr gibt).“*

Ob Fertigungsinseln wirklich die Zukunft sind und das Montageband ablösen, darüber sind die Meinungen meine Gesprächspartner geteilt. Einig sind sie sich jedoch darin, dass eine Produktionsorganisation in Form von

Fertigungsinseln erst durch die Digitalisierung zu einer sinnvollen Alternative geworden ist. Im internen Wettbewerb zwischen den Produktionsstandorten von BMW die Nase dank Innovationen im Fertigungsprozess vorne zu haben, das ist das erklärte Ziel der Abteilung Technical Planning Assembly. Dadurch, so meine Gesprächspartner, ist das Werk Spartanburg zum größten Werk von BMW geworden und möchte dies auch in Zukunft bleiben. Deshalb wird die Abteilung Technical Planning Assembly vom oberen Management des Werkes im Bestreben unterstützt, Innovationen immer wieder hervorzubringen und damit Vorreiter innerhalb der BMW AG zu sein, so wie sie dies mit kollaborativen Robotern erfolgreich bewerkstelligt haben.

Was denn die größte Herausforderung sei, um innovativ zu sein, frage ich Nathan McCall, während er mir ihren Innovationsansatz erläutert. Dies, so meint er nach einigem Nachdenken, sei ihre hohe Expertise in unterschiedlichen Ingenieurdisziplinen und damit die nicht immer leichte Aufgabe, einander so zu verstehen, dass alle Beteiligten wissen, was zu tun sei. Konkret beschreibt Nathan McCall dies mit den Worten (Original-Zitat): *„What is challenging is the capacity to steer discussions between IT-guys and control-guys to solve the problem from mechanical engineering.“* Diese Fähigkeit zur kritischen Reflexion zeichnet die Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter, mit denen ich gesprochen habe, wohl aus.

Erkenntnisse im Überblick

- ◆ Große Märkte müssen grundsätzlich auch Produktionswerke haben. Man muss dem Markt folgen.
- ◆ Alle Entscheidungen zur Veränderung bestehender Prozesse erfolgen auf Basis von sechs Kriterien: Prozessstabilität, Fehlhandlungssicherheit (im Sinne von technischen Vorkehrungen zur sofortigen Fehlerrückmeldung und -verhinderung), Effizienz, Flexibilität, Safety und Ergonomie.
- ◆ Resultat der Umstellung von manueller Fixierung der Schall- und Feuchtigkeitsisolierung auf kollaborative Roboter ist eine deutliche Verbesserung dieses Montageprozesses und eine Entlastung von Arbeiterinnen und Arbeitern von dieser mühsamen Tätigkeit.
- ◆ Seit Einführung kollaborativer Roboter gab es keinen einzigen Unfall, der durch solche Roboter verursacht wurde.

- ◆ In Deutschland dauerte es zwei Jahre länger, bis die Berufsgenossenschaft, die Trägerin der gesetzlichen Unfallversicherung, ihre Zustimmung zum Einsatz kollaborativer Roboter ohne Schutzeinrichtungen erteilte.
- ◆ Ein Exoskelett passt nicht in das herkömmliche Bild von Automatisierung und Digitalisierung, ist aber für das Werk genauso bedeutsam wie andere Projekte zur Verbesserung der Montageprozesse, denn durch dieses Exoskelett wird der Montageprozess stabiler und für die Arbeiterinnen und Arbeiter ergonomischer und damit insgesamt besser.
- ◆ Neuartig ist nicht die Batteriefertigung selbst, denn das hochautomatisierte Montieren und Schweißen ist grundsätzlich bekannt, sondern das Prüfen und Testen, denn dieses erfordert Know-how im Bereich Elektrotechnik anstelle im Maschinenbau.
- ◆ Derzeit sind Elektrotechnikerinnen und Elektrotechniker im Werk noch eine Minderheit. Aber sollten die Kundinnen und Kunden von Verbrennungsmotoren auf Elektromotoren umschwenken, dann werden Elektrotechnikerinnen und Elektrotechniker vielleicht von der Minderheit zur Mehrheit.
- ◆ Die Automobilbranche ist im Umbruch. Die zwei großen Themen dabei sind der erwartete Umstieg von Verbrennungsmotoren auf Elektromotoren sowie autonomes Fahren. Die schwierige Frage ist nicht so sehr, ob dies passieren wird, sondern wann und wie rasch.
- ◆ Die Montagestraße für ein Elektroauto ist nicht grundsätzlich verschieden zu der Montagestraße eines Benziners und im Rohbau sowie der Lackierung ändert sich unter dem Gesichtspunkt der Fertigungsprozesse sowieso kaum etwas. Die Fertigungsprozesse ändern sich jedoch dann, wenn Leichtbaumaterialien wie Carbon, Aluminium, Kunststoff und Magnesium eingesetzt werden.
- ◆ Der Anteil elektronischer Bauteile zur Steuerung der Batterien, der Batteriekühlung und insbesondere für das autonome Fahren nimmt enorm zu. Dementsprechend wird es auch in der Montage wesentlich mehr Leute mit elektrotechnischem und elektronischem Verständnis geben müssen und dafür weniger Leute mit Maschinenbau-Know-how.
- ◆ Für Autohersteller ist es leichter, ihre Kernkompetenzen um Elektronik und Elektrotechnik zu erweitern, als es für Software- und Elektronik-Hersteller ist, sich das notwendige Know-how im Bereich Fahrzeugbau anzueignen.

- ◆ Noch ist es nicht soweit, aber es könnte sein, dass zukünftig die Autofertigung nicht mehr in Montagelinien, sondern in Fertigungsinseln erfolgt.
- ◆ Eine Produktionsorganisation in Form von Fertigungsinseln ist erst durch die Digitalisierung zu einer sinnvollen Alternative geworden.
- ◆ Die größte Herausforderung, um innovativ zu sein, ist die hohe Expertise in unterschiedlichen Ingenieurdisziplinen und damit die nicht immer leichte Aufgabe, einander so zu verstehen, dass alle Beteiligten wissen, was zu tun sei.

8. Losgröße-1-Montage von Werkzeugmaschinen: Deckel Maho Pfronten

Die Geschichte der Deckel Maho Pfronten GmbH im Südwesten von Bayern, direkt an der Grenze zu Tirol, beginnt 1920. In diesem Jahr wird die Firma Maho von fünf Feinmechanikern gegründet. Nach 1945 wird das Unternehmen mit der ersten eigenen Universal-Fräsmaschine zum führenden Hersteller in Europa. Im Jahr 1993 fusioniert Maho mit der in München ansässigen Friedrich Deckel AG zur Deckel Maho AG. Ein Jahr später, 1994, wird diese von der Gildemeister AG übernommen. Gildemeister firmiert danach unter dem Namen DMG (Deckel Maho Gildemeister). Ab 2009 kooperiert DMG mit dem japanischen Unternehmen Mori Seiki. Heute ist das Werk in Pfronten ein wichtiger Produktionsstandort der DMG Mori AG. Auf dem Betriebsgelände hat auch die DMG Mori Software Solutions GmbH ihren Sitz, die Steuerungs- und Bediensoftware für Werkzeugmaschinen von DMG Mori entwickelt.



Werkzeugmaschinen – insbesondere Fräsmaschinen – wurden in den letzten 45 Jahren stark weiterentwickelt. Dies ist eine Fräsmaschine, wie sie derzeit im Werk Pfronten gefertigt wird:



Als Fräsen wird ein spanendes Bearbeitungsverfahren bezeichnet, bei dem nicht das Werkstück, sondern das Zerspanwerkzeug rotiert. Über Vorschubbewegungen des Werkzeugs und gegebenenfalls auch des Werkstücks in mehreren Achsen können beliebige Werkstückoberflächen erzeugt werden. Wie bei allen spanenden Verfahren wird dabei von einem Rohteil Material in Form von Spänen entfernt. Während eine Fräsmaschine aus dem Jahr 1970 noch von Hand eingerichtet werden muss, erfolgt dies nunmehr über die Steuerungs- und Bediensoftware Celos. Mitarbeiterinnen bzw. Mitarbeiter, die solche Maschinen bedienen, benötigen daher heute ein gänzlich anderes Know-how als noch im 20. Jahrhundert. Werkzeugmaschinen, insbesondere Dreh- und Fräsmaschinen, sind zentraler Bestandteil jeder Fertigung, in der Werkstücke mit bestimmter Gestalt gefertigt werden, wie etwa in den Branchen Automobilindustrie, Luft- und Raumfahrt, Werkzeug- und Formenbau sowie Medizin.

Die Geschichte der Werkzeugmaschinen beginnt mit der ersten industriellen Revolution, denn bereits damals benötigte man Werkzeugmaschinen für die Herstellung leistungsfähiger Dampfmaschinen. Dank ihrer 200-jährigen Entwicklungsgeschichte sind daher Werkzeugmaschinen bereits Mitte des 20. Jahrhunderts sehr ausgereift, was ihre mechanischen Möglichkeiten und ihre Präzision betrifft. Durch die rasante Entwicklung von Computerized Numerical Control (CNC) ab den 1980er-Jahren verlagert sich der Wettbewerb zwischen

den Werkzeugmaschinenherstellern von der Qualität der Hardware vermehrt zur Qualität der Software, mit deren Hilfe Werkzeugmaschinen bedient werden und die die Bewegungen der Werkzeugmaschinen überwacht und steuert.

Digitalisierung beinhaltet daher bei Werkzeugmaschinen zwei grundlegend verschiedene Aspekte: einerseits die Digitalisierung der Fertigung, insbesondere der Montage von Werkzeugmaschinen selbst, und andererseits die Digitalisierung der Steuerung, Programmierung und Vernetzung von Werkzeugmaschinen. Ersteres erfahre ich beim Werk Pfronten, zweiteres bei der DMG Mori Software Solutions.

Reinhard Musch, seit 2016 Mitglied der Geschäftsführung und verantwortlich für die Produktion bei Deckel Maho Pfronten, erklärt mir die Herausforderungen bei der Montage der im Werk Pfronten gefertigten Werkzeugmaschinen. Pro Jahr werden rund 1.200 Maschinen gefertigt, wovon rund 60 % individuelle Lösungen für Wünsche von Kundinnen und Kunden aufweisen. Standardmäßig gibt es neun Produktlinien mit insgesamt ca. 60 Produkten. Gefertigt wird ausschließlich auf Auftrag und somit in Losgröße-1-Fertigung. Die Durchlaufzeit ergibt sich aus Konstruktionszeiten, der Wiederbeschaffungszeit von Teilen, welche aufgrund der Losgröße-1-Fertigung nicht am Vormateriallager vorgehalten werden, sowie aus der eigentlichen Montage, dem größten und sichtbarsten Teil des Werkes Pfronten. Die Montage einer Werkzeugmaschine hat aufgrund ihrer Dauer und den vielen Einzelschritten, die durchgeführt werden müssen, eher den Charakter eines Projektes.

Die Fertigungsorganisation war bis 2016 dergestalt, erklärt mir Reinhard Musch, dass jede Maschine an einem fixen Stellplatz innerhalb des Werkes vom Beginn der Montage bis zur Fertigstellung verblieb. Jeder Stellplatz (und damit jeder Fertigungsauftrag) war eindeutig einer Meisterin bzw. einem Meister zugeordnet. Auch die Produktionsmitarbeiterinnen und -mitarbeiter waren eindeutig einer bzw. einem solchen unterstellt, jedoch nicht unter dem Gesichtspunkt der Fertigungsaufträge, sondern nach fachlichen Gesichtspunkten. So waren etwa Facharbeiterinnen und Facharbeiter für Elektrotechnik und Maschinenbau unterschiedlichen Meisterinnen und Meistern zugeteilt. Dies ergab eine Art Matrixorganisation in der Fertigung, sodass sich eine Meisterin bzw. ein Meister, der bzw. dem Facharbeiterinnen und Facharbeiter für Maschinenbau unterstellt waren, eine Facharbeiterin bzw. einen Facharbeiter für Elektrotechnik bei Bedarf von einer anderen Meisterin bzw. einem anderen Meister dazu holen musste.

Im Jahr 2016 wurde dann schließlich eine neue Fertigungsorganisation implementiert: Diese besteht darin, den Fertigungsprozess zweistufig zu gestalten. Abgesehen von den ganz großen Werkzeugmaschinen erfolgen die erste Stufe (Grundmontage) und die zweite Stufe (Endmontage) an verschiedenen Stellplätzen. Jede bzw. jeder der sechs Meisterinnen bzw. Meister hat nunmehr ca. 20 Stellplätze und 30 Facharbeiterinnen und Facharbeiter in ihrem bzw. seinem Verantwortungsbereich. Dabei erfolgt die Zuordnung der Arbeiterinnen und Arbeiter zu den sechs Meisterinnen und Meistern vor allem unter dem Gesichtspunkt, dass jede Meisterin und jeder Meister möglichst das komplette Know-how verfügbar hat, das zur Montage an den ihr bzw. ihm zugeordneten 20 Stellplätzen benötigt wird. Im folgenden Bild arbeitet ein Mitarbeiter in der Endmontage:



Bei jedem Stellplatz sind alle für die Montage notwendigen Informationen, insbesondere Beginn- und Endzeiten jedes Montageschrittes sowie die terminliche Verfügbarkeit der jeweils erforderlichen Teile, über Monitore vor Ort in Echtzeit abrufbar. Über diese wird auch die Fertigstellung bzw. Teil-Fertigstellung jedes Arbeitsschrittes, Ausbringungsmenge sowie Produktivität rückgemeldet.

Durch eine der neuen Fertigungsorganisation angepasste Software kann jede Meisterin bzw. jeder Meister einen einfachen, grafisch dargestellten Gesamtüberblick sowohl über Monitore als auch über Tablet-PCs jederzeit einsehen und entsprechend reagieren. Dieses neue Zusammenspiel zwischen den Rückmeldungen von jedem Stellplatz und der grafischen Gesamtschau über alle 20 einer Meisterin bzw. einem Meister zugeteilten Stellplätze führt zu wesentlich mehr Transparenz in dem nunmehr zweistufigen Montageprozess und dadurch zu einer weiteren Steigerung der Produktivität und Reduzierung der Durchlaufzeiten.

Die neue Fertigungsorganisation in Verbindung mit der speziell dafür entwickelten Software ist, so Reinhard Musch, im Jahr 2016 unter Einbeziehung der Meisterinnen und Meister sowie des Betriebsrats erfolgt, sodass der Übergang zwischen der alten und der neuen Organisation reibungslos war und es zu keinen größeren Pannen oder Widerständen gekommen ist. In Vorbereitung der organisatorischen Umstellung wurde auch die Qualifikation von Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern erhöht, um bestimmten Stellplätzen in der Fertigung ein fixes Montageteam zuzuordnen zu können, das die gesamte Grundmontage bzw. die gesamte Endmontage als Team durchführen kann. Diese Reduktion der Arbeitsteilung dient dazu, die gesamte Fertigungsorganisation so weit wie möglich zu vereinfachen und die einzelnen Montagestellplätze in ihrer wechselseitigen personellen Abhängigkeit voneinander stärker zu entflechten. Fertigungsorganisation und Informationsbereitstellung via Tablet-PC



bilden dabei eine Einheit. Industrie 4.0, erklärt mir Reinhard Musch abschließend, gibt es nicht zu kaufen, denn die Fertigungsorganisation, die Qualifikation der Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter sowie die Digitalisierung sind in hohem Grade voneinander abhängig und miteinander verbunden.

Mehr über die Digitalisierung der Steuerung und Vernetzung von Werkzeugmaschinen erfahre ich bei der DMG Mori Software Solutions. Die Werkzeugmaschinen von DMG Mori gehörten stets, so erfahre ich von Geschäftsführer Holger Rudzio, zu den technischen Pionieren auch im Bereich CNC. Rund 80 Softwarespezialistinnen und -spezialisten entwickeln nunmehr am Standort Pfronten die Mensch-Maschinen-Schnittstelle weiter. Ausgangspunkt der Steuerungs- und Bediensoftware Celos war, dass die Bedienung der DMG Mori Werkzeugmaschinen ähnlich intuitiv werden sollte wie die eines Smartphones.

Was, so frage ich, ändert sich durch diese Softwarelösungen für diejenigen, die die Maschinen bedienen und überwachen? Vordergründig, so lerne ich, reduziert sich die Rüstzeit der Werkzeugmaschinen um bis zu 30 %. Darüber hinaus ist es mit Celos möglich, Werkzeugmaschinen mit geringerem Schulungsaufwand als bislang zu bedienen – eben einfach und intuitiv wie ein Smartphone.

Da Celos sowohl die Vernetzung der Maschinen untereinander als auch die Vernetzung mit darüber liegenden Softwaresystemen, insbesondere Enterprise-Resource-Planning (ERP)-Systemen, ermöglicht, kann nunmehr der Informationsfluss von der Auftragsverwaltung über die Fertigungsprozessplanung sowie Arbeitsvorbereitung bis zur eigentlichen Maschinensteuerung durchgehend digital ohne manuelle Zwischenschritte abgebildet werden. In Verbindung mit entsprechenden Sensoren in der Werkzeugmaschine wird der Fertigungsprozess besser überwacht, was einerseits zu einer besseren Qualitätskontrolle führt und andererseits ermöglicht, Maschinenprobleme frühzeitig zu erkennen und vorbeugende Wartungsarbeiten zum richtigen Zeitpunkt durchzuführen, sodass Stillstände durch Reparaturen reduziert werden. Durch die informationstechnische Integration der Maschinen in ein Computernetzwerk ist es möglich, mehrere Maschinen von einem Arbeitsplatz aus zu bedienen und zu überwachen.



Die erforderliche Qualifikation der Anwendungstechnikerinnen und -techniker ist derzeit in einem raschen Wandel. Denn für ältere Werkzeugmaschinen, welche aufgrund der langen Lebensdauer noch immer zahlreich im Einsatz sind, werden CNC-Programmiererinnen bzw. -Programmierer sowie Einrichterrinnen bzw. Einrichter benötigt. Für die neuen, mit Celos ausgestatteten Maschinen hingegen ist dieses Know-how nur mehr insofern bedeutsam, als dass ein Grundverständnis für die Arbeitsweise von Werkzeugmaschinen notwendig ist. Die eigentliche Voraussetzung zur Interaktion mit Celos sind Kenntnisse der Arbeitsvorbereitung und Fertigungsplanung.

Die Grenzen, so ist mein Eindruck, zwischen Werkzeugmaschinen und Automatisierung verschwimmen, nicht zuletzt dank der Digitalisierung: In beiden Bereichen spielen Remote Control, Digital Twins – die virtuelle Abbildung der Maschine und ihrer Bewegungen – sowie die Vernetzung der Maschinen mit allen digitalen Informationsflüssen in der Fertigung eine große Rolle.

Rund 2.000 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter arbeiten am Standort in Pfronten. Dies ist, so erklärt mein Ansprechpartner Patrick Beller, ein guter Standort für Digitalisierung, denn im Einzugsgebiet befinden sich Schulen und Berufsschulen, mit denen DMG Mori kooperiert.

Das Werk Pfronten ist, so geht mir bei der Heimfahrt durch den Sinn, ein exzellentes Beispiel dafür, dass Hightech und Innovation nicht nur in urbanen Regionen möglich ist, aber ist auch ein Beispiel dafür, wie sehr die technologischen Entwicklungen der letzten 70 Jahre sich in der wechselvollen Geschichte eines Industriebetriebes spiegeln.

Erkenntnisse im Überblick

- ◆ Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter, die Werkzeugmaschinen bedienen, benötigen heute gänzlich anderes Know-how als noch im 20. Jahrhundert.
- ◆ Durch die rasante Entwicklung von Computerized Numerical Control (CNC) ab den 1980er-Jahren verlagert sich der Wettbewerb zwischen den Werkzeugmaschinenherstellern von der Qualität der Hardware vermehrt zur Qualität der Software, mit deren Hilfe Werkzeugmaschinen bedient werden und die die Bewegungen der Werkzeugmaschinen überwacht und steuert.
- ◆ Die neue Fertigungsorganisation ist unter Einbeziehung der Meisterinnen und Meister sowie des Betriebsrats erfolgt, sodass der Übergang zwischen der alten und neuen Organisation reibungslos war und es zu keinen größeren Pannen oder Widerständen gekommen ist.
- ◆ In Vorbereitung der organisatorischen Umstellung wurde die Qualifikation von Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern erhöht, um bestimmten Stellplätzen in der Fertigung ein fixes Montageteam zuordnen zu können, das die gesamte Grundmontage bzw. die gesamte Endmontage als Team durchführen kann.
- ◆ Die Reduktion der Arbeitsteilung dient dazu, die gesamte Fertigungsorganisation so weit wie möglich zu vereinfachen und die einzelnen Montagestellplätze in ihrer wechselseitigen personellen Abhängigkeit voneinander stärker zu entflechten.
- ◆ Industrie 4.0 gibt es nicht zu kaufen, denn die Fertigungsorganisation, die Qualifikation der Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter sowie die Digitalisierung sind in hohem Grade voneinander abhängig und miteinander verbunden.
- ◆ Durch die Steuerungs- und Bediensoftware reduziert sich für die Maschinenbedienerinnen und -bediener die Rüstzeit der Werkzeugmaschinen um bis zu 30 %.

- ◆ Mit der Steuerungs- und Bediensoftware ist es möglich, Werkzeugmaschinen mit geringerem Schulungsaufwand als bislang zu bedienen.
- ◆ Durch die informationstechnische Integration der Maschinen in ein Computernetzwerk ist es möglich, mehrere Maschinen von einem Arbeitsplatz aus zu bedienen und zu überwachen.
- ◆ Die erforderliche Qualifikation der Anwendungstechnikerinnen und -techniker ist derzeit in einem raschen Wandel. Für ältere Werkzeugmaschinen werden CNC-Programmiererinnen und -Programmierer sowie Einrichterinnen und Einrichter benötigt. Für die neuen, mit Steuerungs- und Bediensoftware ausgestatteten Maschinen sind hingegen primär Kenntnisse der Arbeitsvorbereitung und Fertigungsplanung erforderlich.

9. Wie revolutionär ist die vierte industrielle Revolution?

Nehmen uns die Roboter unsere Arbeitsplätze in der Industrie weg? Wozu führt der sich permanent beschleunigende technische Fortschritt? Schließlich, wenn künstliche Intelligenz unsere Arbeitsplätze einnimmt, wozu braucht es uns dann überhaupt noch? Solche und ähnliche Fragen werden in den Medien erörtert und tragen zu den kollektiven Zukunftsängsten bei, die sich in den hochindustrialisierten Ländern breitmachen. Dabei können Fragen über die Zukunft doch, wenn überhaupt, nur sehr bedingt aus den Erfahrungen der Gegenwart heraus beantwortet werden. Aber meine Erkundungsreise zu Industrie-4.0-Pionierunternehmen soll helfen, Entwicklungen in die richtige Perspektive zu rücken. Denn fernab tagesaktueller Ereignisse gilt es, *sine ira et studio*, also ohne Zorn und Eifer, Entwicklungen, die wir als Menschheit selbst verursachen, auch in ihren unbeabsichtigten Auswirkungen zu verstehen und einzuordnen. Dabei ist es mitunter hilfreich, sich Muster der Vergangenheit zu vergegenwärtigen und diese den aktuellen Entwicklungen gegenüberzustellen. *„Lernen S' ein bisschen Geschichte, dann werden S' sehen ...“*, sagte einst Bruno Kreisky. Er hat zwar nicht Wirtschaftsgeschichte gemeint, aber passend ist dieser Sager allemal.

Beginnen wir mit einem der ältesten und über die Jahrhunderte wichtigsten Wirtschaftszweig, der Produktion von Textilien. Die Erfindung der Spinnmaschine in der zweiten Hälfte des 18. Jahrhunderts steht am Anfang der technologischen Revolution in England. Ergebnis ist, dass eine Spinnerin bzw. ein Spinner zu Beginn des 19. Jahrhunderts so viel Garn erzeugt, wie 200 Arbeiterinnen und Arbeiter in früheren Zeiten. Dies bedeutet einerseits das Ende der Heimindustrie, denn diese kann nicht mit den neu entstandenen, dampfmaschinenbetriebenen Spinnereifabriken mithalten. Es bedeutet aber auch, dass der Preis des Garns enorm sinkt, sodass sich auch wenig vermögende Leute Kleider leisten können, und dass Textilien in der ersten Hälfte des 19. Jahrhunderts mehr als die Hälfte der englischen Exporte ausmachen.

Eine ganz ähnliche Entwicklung ergibt sich als Folge der Erfindung des mechanischen Webstuhls. Allerdings verbreitet sich dieser deutlich langsamer als die Spinnmaschine, weil die Handweberinnen und Handweber, von denen

es Ende des 18. Jahrhunderts in England immerhin rund 250.000 gibt, aus Angst um Beruf und Existenz massiven Widerstand leisten.

Die Verbreitung von Spinnmaschine und mechanischem Webstuhl sowie der dazu erforderlichen Antriebstechnik, zunächst Dampfmaschinen und später auch andere Motoren, sind ein wesentlicher Faktor der Industrialisierung in Europa und Nordamerika. Durch diese Mechanisierung verliert jedoch die traditionelle Textilerzeugung etwa im deutschen Mittelgebirge zunehmend an Bedeutung, was zur Verarmung und zum Weberaufstand im Jahr 1844 führt.

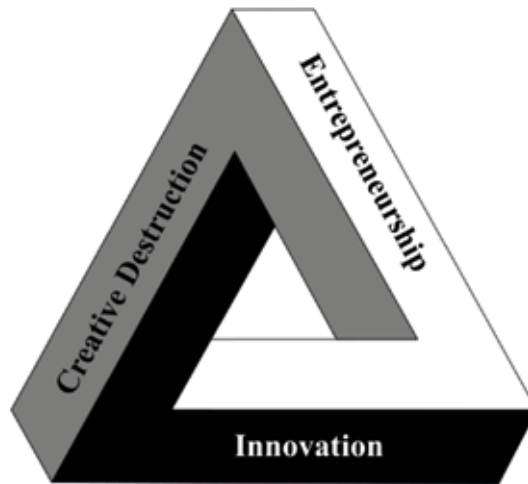
Trotz oder vielleicht sogar wegen dieser Mechanisierung – der Begriff Automatisierung entsteht erst später – ist Mitte des 20. Jahrhunderts die Textilindustrie ein wesentlicher Produktionssektor in Europa wie auch in Nordamerika. Ab den späten 1950er-Jahren beginnt jedoch ihr Niedergang. Bis 1980 gehen allein in Deutschland über 400.000 Arbeitsplätze in der Textilindustrie inklusive der Textilmaschinenindustrie verloren und seit 1980 weitere rund 450.000. Heute werden nur noch 5 % aller in Deutschland verkauften Textilien in Deutschland hergestellt. Im 21. Jahrhundert ist die Textilindustrie in Europa von untergeordneter Bedeutung. Die Produktion hat sich nach Asien verlagert.

Dass Schreibmaschinen kaum mehr in Gebrauch sind und, außer bei Liebhaberinnen und Liebhabern feinmechanischer Geräte, nur mehr in Museen besichtigt werden können, ist Folge einer Entwicklung, die sich innerhalb eines Jahrzehnts, beginnend Anfang der 1980er-Jahre, vollzieht. Entwickelt im 19. Jahrhundert, sind Schreibmaschinen von den Büros des 20. Jahrhunderts nicht mehr wegzudenken. 1910 gibt es in den USA bereits mehr als 100 Schreibmaschinenfabriken. Insbesondere nach 1945 erleben Firmen wie IBM, Triumph-Adler, Olivetti und Olympia, um nur einige Beispiele zu nennen, mit der Produktion von Schreibmaschinen einen enormen Aufschwung. Mit der Entwicklung des Intel 8080, dem ersten vollwertigen Mikroprozessor, und dem darauf aufsetzenden Personal Computer, Drucker sowie preiswerter Textverarbeitungssoftware beginnt der sich beschleunigende Abstieg der Schreibmaschine. Aus dem deutschen Verbraucherpreisindex wird 2003 die Schreibmaschine gestrichen, nachdem sie fast vollständig durch neue, mikroprozessorbasierte Technologien verdrängt worden ist. Der Schreibmaschinenhersteller IBM steigt zum weltweit größten Computerhersteller auf, die Olympia Werke AG hingegen wird 1992 aufgelöst – noch 1969 gehörte Olympia mit 20.000 Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern zu den drei größten Büromaschinenherstellern der Welt.

Diese Parallelen von wirtschaftlichen Entwicklungen beschreibt Joseph Schumpeter, Professor an der Harvard University und davor im Jahr 1919 Staatssekretär der Finanzen in der österreichischen Regierung, in seinem 1942 erschienenen, bahnbrechenden Werk „Kapitalismus, Sozialismus und Demokratie“ so:

„Die Eröffnung neuer, fremder oder einheimischer Märkte und die organisatorische Entwicklung vom Handwerksbetrieb und der Fabrik zu solchen Konzernen wie dem U.S.-Steel illustrieren den gleichen Prozess einer industriellen Mutation – wenn ich diesen biologischen Ausdruck verwenden darf –, der unaufhörlich die Wirtschaftsstruktur von innen heraus revolutioniert, unaufhörlich die alte Struktur zerstört und unaufhörlich eine neue schafft. Diese Revolutionen sind nicht eigentlich ununterbrochen; sie treten in unsteten Stößen auf, die voneinander durch Spannen verhältnismäßiger Ruhe getrennt sind. Der Prozess als ganzer verläuft jedoch ununterbrochen – in dem Sinne, dass immer entweder Revolution oder Absorption der Ergebnisse der Revolution im Gange ist.“

Schöpferische Zerstörung nennt Schumpeter diesen Prozess, der laut ihm untrennbar mit den beiden anderen Prozessen Innovation sowie Entrepreneurship verbunden ist:



Im Unterschied zum Begriff Innovation trifft schöpferische Zerstörung indes deutlich besser die Essenz dieses unaufhörlichen Wirtschaftsprozesses. Eine neue Dienstleistung oder ein neues Produkt stiftet, wenn es sich am Markt durchsetzt, nicht nur neuen Nutzen, sondern zerstört auch etwas Bestehendes, so wie wir als Erwachsene, während wir Neues lernen, Bekanntes verlernen.

Was also ist neu oder anders an Industrie 4.0, an Smart Manufacturing, an Advanced Manufacturing? Was hat Josef Schumpeter 1942 noch nicht so klar sehen können wie wir heute? Und was bedeutet dies alles für Industriearbeiterinnen und -arbeiter, denn diese, das ist schon klar, sind von der aktuellen Entwicklung am unmittelbarsten betroffen?

Wie schon im Vorwort erwähnt, ist die rasante Entwicklung bei Mikroprozessoren eine Neuheit, die sowohl bezüglich Geschwindigkeit als auch Beschleunigung alle bisherigen technologischen Entwicklungen in den Schatten stellt. Damit einher geht eine im Vergleich zu früheren schöpferischen Zerstörungen extrem rasche Veränderung der Bedienung von Maschinen, insbesondere Computern, mit hohen Anforderungen an die Lernfähigkeit und Lerngeschwindigkeit der diese bedienenden Menschen. Mit 20 Jahren habe ich ungefähr gleichzeitig Autofahren und Computerprogrammierung, mit Sprachen wie Cobol, Fortran und Algol, gelernt. 50 Jahre später kann ich zwar immer noch Autos fahren, aber Computer kann ich nicht mehr programmieren, sondern nur noch benutzen. Im selben Zeitraum mussten Arbeiterinnen und Arbeiter, welche gelernt haben zu schweißen, zu drehen, zu bohren oder zu fräsen zunächst lernen, Numerical-Control (NC)-Maschinen zu bedienen, mussten dann auf Computerized-Numerical-Control (CNC)-Maschinen umlernen, um schließlich, und dieser Prozess ist nach wie vor im Gange, Industrieroboter zu überwachen bzw., sobald sie dies erlernt haben, solche auch zu bedienen. Im BMW-Werk Spartanburg z.B. sind heute nicht nur 8.000 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter beschäftigt, sondern auch rund 1.200 Industrieroboter, vor allem im Bereich Rohbau und Lackierung. Wenn man bedenkt, dass die ersten Industrieroboter erst Mitte der 1970er-Jahre auf den Markt kommen, ist dies schon eine sehr hohe Diffusionsgeschwindigkeit von Innovationen. Auch in allen anderen sieben Produktionsbetrieben, die ich besucht habe, sind die eingesetzten Maschinen ausschließlich über Computer zu bedienen und auch dies nicht mehr mittels Tastatur oder Maus, sondern vor allem mittels Touchscreens. Der ehemalige Konzernchef des Werkzeugmaschinenbauers DMG Mori, Rüdiger Kapitza, hat es sehr gut auf den Punkt gebracht, als er zur Vorgabe machte, dass die Bedienung der Maschinen ähnlich intuitiv werden solle wie die eines Smartphones.

Das bedeutet nicht, dass etwa die Bedienerinnen bzw. Bediener von Schweißrobotern keine Ahnung mehr vom Schweißen haben müssen – keineswegs. Denn der physikalische Prozess des Schweißens ist ja unverändert. Aber die Geschicklichkeit, um ein Schweißgerät korrekt, qualitativ zufriedenstellend und für sich selbst und andere gefahrlos zu bedienen, brauchen solche

Maschinenbedienerinnen und -bediener nicht mehr. Die manuellen Fertigkeiten, welche bislang in der Produktion erforderlich waren, verlieren rasch an Bedeutung und werden ersetzt durch das notwendige Know-how, um Maschinen via Touchscreens zu bedienen und zu überwachen. Außer in der Montage, in der innerbetrieblichen Logistik, in der Instandhaltung und im Versand habe ich bei den acht besuchten Werken nirgendwo Menschen gesehen, die noch manuelle Arbeit verrichten.

Gleichzeitig sind die nach wie vor vorhandenen manuellen Arbeitsplätze jene Puffer, die es möglich machen zu automatisieren und es dabei ermöglichen, denjenigen, die nicht zu Maschinenbedienerinnen und -bedienern umlernen können oder wollen, geeignete andere manuelle Arbeitsplätze im Betrieb anzubieten. In allen von mir besuchten Werken wurde mir versichert – und ich habe keinerlei Grund, daran zu zweifeln –, dass niemand je gekündigt wurde, weil ihr oder sein Arbeitsplatz automatisiert wurde. Aber umlernen, ja, das ist unbedingt erforderlich. Hier teilen sich auch die Welten zwischen denjenigen, die lieber wie gewohnt weiterarbeiten und daher an anderer Stelle in der Fertigung weiterhin manuelle Tätigkeiten verrichten, sowie denen, die froh sind, einer monotonen, Konzentration erfordernden und physisch anstrengenden Arbeit zu entrinnen und stattdessen Maschinen zu bedienen oder in die Instandhaltung zu wechseln.

Die rasche Automatisierung und Digitalisierung der Fertigung wird aber auch noch aus anderen Gründen in den von mir besuchten Werken von den Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern gut aufgenommen: Bei Festo und BMW gibt es einen eigenen Bereich, eine Art Lernfabrik, in dem sich Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter mit der Bedienung von für sie neuen Maschinen im Rahmen spezifischer Trainingsprogramme vertraut machen können. Dies, so wird mir erklärt, ist nicht nur für Umschulungen notwendig, sondern auch für neu in das Unternehmen eintretende Personen, weil die Bedienung von Maschinen nur im Werk selbst erlernt werden kann. Zu groß ist die Vielfalt an Maschinen und zu wenig standardisiert deren Bedienung, als dass alle derartigen Maschinen in Schulen verfügbar sein können. Deswegen absolvieren Neuankömmlinge entsprechende Schulungen im Werk selbst.

Ein weiterer Aspekt, der bei den Besuchen deutlich wird, betrifft die Art und Weise, wie Automatisierung und Digitalisierung konzipiert und umgesetzt wird. Im Unterschied zu den 1990er-Jahren, wo Computer Integrated Manufacturing den Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern noch von oben (also top down) quasi aufgebürdet wird, verlaufen Innovationsprozesse bei allen besuchten Werken deutlich partizipativer, weil die Erfahrung sie gelehrt hat, dass erst die Einbe-

ziehung aller unterschiedlichen Wissensträgerinnen und -träger Innovationen im Fertigungsprozess hervorbringt und deren erfolgreiche Implementierung ermöglicht.

Industrie 4.0, so etwa Reinhard Musch von DMG Mori, kann man nicht kaufen. Daher, so erfahre ich, überlegt sich jeder Produktionsbetrieb selbst, welche Digitalisierungs- und Automatisierungsprojekte sinnvoll sind. Bedingt durch die unterschiedlichen Produkte und die unterschiedlichen Fertigungsprozesse sind die Möglichkeiten, durch Digitalisierung und Automatisierung (globale) Wettbewerbsvorteile zu erzielen, in jedem von mir besuchten Werk anders gelagert. Lieferanten können zwar 3D-Scanner, Industrieroboter, Manufacturing Execution Systems, Touchscreens, Simulationssoftware, Exoskelette oder auch Google Glass liefern, aber welche dieser Produkte für die eigene Fertigung in welcher Form sinnvoll eingesetzt und genutzt werden können und wie diese in die bereits bestehende Fertigungslandschaft zu integrieren sind, dies ist in allen von mir besuchten Werken nicht von den Lieferanten, sondern durch Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter der Werke selbst geplant worden.

Entsprechend qualifiziert sind alle diejenigen Personen, welche die Aufgabe haben, Innovationen im Fertigungsprozess voranzutreiben. Und obwohl Software in allen Produktionsstätten ein wesentliches Element der Digitalisierungs- und Automatisierungsvorhaben ist, sind es vor allem Personen mit elektrotechnischem, elektronischem und Maschinenbau-Wissen, die diese Projekte initiieren sowie gestalten. Detailliertes Wissen über und Verständnis für den Fertigungsprozess im eigenen Unternehmen gepaart mit der Fähigkeit, im Team zu arbeiten, sind Kernkompetenzen, welche Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter der besuchten Pionierunternehmen auszeichnet. Informatik-Know-how, so mein Eindruck, ist zwar vorhanden, aber eher in ausführender Funktion, um das zu programmieren, was Fertigungsprozessexpertinnen und -experten konzipieren. Die Aussage, dass *„the capacity to steer discussions between IT-guys and control-guys to solve the problem from mechanical engineering“* eines der größten Lernfelder ist, war einer der Süsselsätze, die ich auf meiner Reise gehört habe.

Top down werden nur mehr die allgemeinen Rahmenbedingungen vorgegeben, wie etwa, dass das BMW-Werk Spartanburg das innovativste Werk sein soll, oder dass im Nowy-Styl-Werk Jaslo Büromöbel in Losgröße 1 zu denselben Kosten und Lieferzeiten gefertigt werden sollen, wie in der früheren Serienfertigung. Die Konzipierung, Planung und Realisierung erfolgt hingegen bottom up. Damit wohl eng verbunden sind die hohe Sozialkompetenz und auch das ausgezeichnete Betriebsklima, das ich in allen Werken erlebt habe.

Bei einigen meiner Besuche wird ausdrücklich darauf hingewiesen, dass die Entwicklung der Sozialkompetenz ein wesentliches Element aller Schulungs- und Weiterbildungsmaßnahmen sei. Besonders im Gedächtnis bleibt mir in diesem Zusammenhang die Gesprächsrunde am späten Nachmittag im BMW-Werk Spartanburg. Die Art und Weise, wie alle Beteiligten über die aktuellen Herausforderungen sprechen und miteinander diskutieren, ist nicht nur äußerst konstruktiv, sondern von einer hohen Identifikation mit den Unternehmenszielen getragen. Ähnliches erlebte ich auch bei den anderen Besuchen. Ein solches, von gegenseitiger Wertschätzung getragenes Betriebsklima ist, wie ich weiß, nicht selbstverständlich, dazu habe ich vor allem bei CIM-Projekten zu viele Produktionsbetriebe mit ungutem, unkooperativem Betriebsklima kennengelernt. Ein gutes Betriebsklima zu haben und Innovationspionier bei Fertigungsprozessen zu sein, bedingen einander offensichtlich – ein *circulus virtuosus*.

Die Entwicklung im Konsumgüterbereich nimmt, so erfahre ich, die Entwicklung in der Fertigung vorweg und erleichtert den Umstieg auf neue Technologien. Die private Nutzung von Smartphones erleichtert und beschleunigt den Umstieg in der Fertigung auf Touchscreens und mobile Computer, insbesondere Tablet-PCs. Die ergonomischen Vorteile solcher Geräte gegenüber den früheren Bildschirmen mit Tastatur sind so offensichtlich, dass es nicht überrascht, dass solche Geräte nunmehr das Bild in der Fertigung mitprägen. Menschen, die bei Maschinen via Touchscreen Eingaben machen, Instandhaltungsspezialistinnen und -spezialisten, die mit einem Tablet-PC bei einem Störfall werken, eine Gruppe von Personen, die vor einem großen Touchscreen stehend gemeinsame Agendapunkte bespricht – all dies sehe ich in den Werken, so unterschiedlich auch die Produkte sind, die jeweils hergestellt werden. Die papierlose Fabrik ist schon ziemlich nahe an der Verwirklichung – vor allem deswegen, weil Informationen sich so rasch ändern, dass man bei ausgedruckten Informationen nie sicher sein kann, ob diese überhaupt noch gültig sind. Die Kehrseite der Medaille ist allerdings, dass wenn das Computernetzwerk zusammenbricht, steht binnen kurzer Zeit der gesamte Betrieb. Ausfallsicherheit der Netze ist ein wichtiges Thema geworden.

Der wohl größte Wachstumsbereich für Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter infolge von Digitalisierung und Automatisierung ist die Instandhaltung. Was beim Besuch der Werke deutlich wird, ist die eigentlich naheliegende Tatsache, dass nicht nur Menschen krank werden können, sondern dass auch Maschinen Störungen haben und dass mit der Komplexität und Vielzahl der Maschinen nicht nur die Störungshäufigkeit zunimmt (auch wenn die einzelne Maschine

an sich stabiler wird), sondern dass solche Störungen immer zeitkritischer werden, weil sie zum Stillstand einer ganzen Fertigungsstraße führen können. Das BMW-Werk Spartanburg ist für diese Thematik ein gutes Beispiel: Während in der Montage, in der überwiegend Menschen und nur wenige Roboter arbeiten, die Verfügbarkeit beinahe 100 % beträgt, also kaum Störfälle vorkommen, die zum Stillstand der Montagestraße führen, beträgt die Verfügbarkeit im Rohbau und in der Lackierung, welche mittels Industrieroboter weitestgehend vollautomatisiert sind, nur rund 80 %. In allen Betrieben, die ich besuche, wird mir berichtet, dass die Anzahl Personen, welche in der Instandhaltung arbeiten, zugenommen hat.

Roboter, so erklärt mir ein Mitarbeiter bei Nowy Styl trocken, kann man nicht kündigen. Sie gehören zu den Fixkosten, nicht zu den variablen Kosten. Aus betriebswirtschaftlicher Sicht bedeutet daher die Umrüstung einer Fertigung auf Industrie 4.0 die Umschichtung von variablen Kosten hin zu Fixkosten. Das unternehmerische Risiko steigt dadurch, denn ein Industrieroboter ist bezüglich Kostenflexibilität kein Ersatz für Leiharbeiterinnen und Leiharbeiter. Daher macht ein solch innerbetrieblicher Veränderungsprozess nur Sinn, wenn erwartet wird, dass die Nachfrage oder die Qualitätsanforderungen steigen, wenn die Liefertermintreue erhöht werden soll oder wenn die Fertigung durch immer mehr Auftragsfertigung für Kundinnen und Kunden sowie Losgröße-1-Fertigung eine Komplexität erreicht, die ohne Digitalisierung und Automatisierung nicht mehr bewältigbar ist. Investitionen in Digitalisierung und Automatisierung rein unter dem Gesichtspunkt von Rationalisierung oder Kostenreduktion zu sehen, ist bei keinem der besuchten Betriebe ein Thema. Dies macht Überlegungen bezüglich Maschinensteuer schwierig. Schließlich sind Industrieroboter nur eine von vielen Innovationen, die Fertigungsprozesse verändern. Eine solche Steuer müsste man, um Wirkung zu erzielen, auch auf CNC-Maschinen, Manufacturing Execution System (MES), Touchscreens, speicherprogrammierbare Steuerungen (SPS), 3D-Drucker, kollaborative Roboter etc. anwenden. Selbstverständlich steigt durch Fertigungsprozessinnovationen auch die Produktivität pro Mitarbeiterin bzw. Mitarbeiter. Bei Siemens etwa erhöht sich seit der Gründung des Elektronikwerks 1991 bei nahezu gleichbleibender Personenanzahl und Produktionsfläche die Flächenproduktivität um den Faktor 9, das entspricht einer jährlichen Produktivitätssteigerung von ca. 9 % über einen Zeitraum von 25 Jahren.

Im selben Zeitraum ist allerdings die Software-Mannschaft, welche für die Programmierung der speicherprogrammierbaren Steuerung Simatic zuständig ist, von einer kleinen Gruppe auf nunmehr 900 Personen an zehn Standorten

angewachsen. Auch beim Werkzeugmaschinenhersteller DMG Mori arbeiten bereits 80 Personen in der Softwareentwicklung, um die Werkzeugmaschinen „smarter“ zu machen, d.h. der Anteil der Entwicklungskosten an den Gesamtkosten steigt kontinuierlich, wohingegen die direkten Fertigungskosten sinken. Insgesamt wird deutlich, dass sich die Qualifikationserfordernisse in Fertigungsbetrieben verschieben – vermutlich rascher als dies in der ersten industriellen Revolution der Fall war. Gunter Beitinger von Siemens meint, dass vermehrt Kreativität, vernetztes Denken und vor allem Konsequenz-Denken benötigt wird. Seine Aussage passt sehr gut zu den Erfahrungen in den anderen Werken. Von verschiedenen Gesprächspartnerinnen und Gesprächspartnern wird auf meine Frage, was denn die Innovationsbarrieren seien, betont, dass der größte Engpass das erforderliche unternehmensinterne Know-how zur Konzipierung, Planung, Umsetzung und Weiterentwicklung von Digitalisierungs- und Automatisierungsprojekten ist.

Inwiefern sich hingegen auch die Quantität, also die Anzahl benötigter Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern in Industriebetrieben verändert, bleibt eine offene Frage. Einerseits benötigt es zunehmend weniger Personen, die manuelle Kraft einsetzen müssen oder Geschicklichkeit erfordernde Arbeiten verrichten – außer bei Montagearbeiten, wo nur wenige Arbeitsplätze automatisiert sind. Andererseits benötigt es mehr Personen in Bereichen wie Instandhaltung, Softwareentwicklung, Maschinenbedienung und Prozessinnovation. Die Auswirkungen auf Zulieferfirmen von Robotern, Sensoren, Software, Elektronik – um nur einige zu nennen – sind aus der Perspektive der besuchten Firmen nicht überblickbar. Festo und Siemens haben jedoch entsprechende Erwartungen bezüglich der Marktentwicklung, positionieren sie doch ihre eigenen Werke auch als Vorzeigefertigungen, um zu demonstrieren, wie die eigenen Produkte für Automatisierungs- und Digitalisierungsvorhaben anderer Unternehmen genutzt werden können.

Ist Automatisierung und Digitalisierung geeignet, Deindustrialisierung in Industriestaaten zu stoppen oder sogar ins Gegenteil zu verkehren? Dies ist von Fall zu Fall unterschiedlich zu bewerten. Generell ist festzustellen, dass Losgröße-1-Fertigung bei gleichzeitig kurzen Lieferzeiten die Nähe von Fabriken zu den Kundinnen und Kunden begünstigt. Am deutlichsten wird dies bei Horizons Optical, wo das Konzept maßgeschneiderter Brillen das Potenzial hat, die Fertigung von Brillenfassungen von Asien wieder nach Europa zurückzubringen. Dass Elektrolux als schwedischer Konzern Fertigungen wieder zurück nach Europa verlagern könnte, dafür habe ich hingegen bei meinem Besuch im Werk Rothenburg keine Hinweise gehört. Wichtig für die Standortwahl

scheint ohnedies vor allem zu sein, mit Fabriken in großen Märkten direkt präsent zu sein. So hat Siemens in China ein zum Werk Amberg identisches, aber kleineres Elektronikwerk vor einigen Jahren in Betrieb genommen. BMW hat das Werk in South Carolina vor allem aus unternehmensstrategischen Gründen geschaffen und nicht, weil dort kostengünstiger produziert werden kann als in Deutschland. DMG Mori hat ebenfalls Produktionsstandorte in ihren wichtigsten Märkten.

Mit der Zunahme der Nachfrage für hochqualifizierte Arbeitskräfte in Fertigungsunternehmen bei gleichzeitig abnehmendem Bedarf an ungelernten Arbeitskräften scheint sich etwa die Bedeutung von Unterschieden bei den Lohnkosten zugunsten der Nähe zu Hochschulen relativiert zu haben. Die direkten Lohnkosten, so erfahre ich im Elektronikwerk Amberg, machen in der Fertigung nur mehr rund 10 % der Produktkosten aus. Hingegen entfallen 70 % auf die Kosten für Vormaterialien. Von allen Unternehmen wird hervorgehoben, wie vorteilhaft es sei, dass eine technische Universität oder Fachhochschule in der Nähe ist, von der die Werke einerseits Absolventinnen und Absolventen rekrutieren und andererseits mit diesen Hochschulen zusammenarbeiten können. So etwa kooperiert das BMW-Werk in Spartanburg mit der nahegelegenen Clemson University und hat mit dieser zusammen das International Center for Automotive Research gegründet.

Aus Sicht der Kundinnen und Kunden führen die unter dem Sammelbegriff Industrie 4.0 oder Smart Manufacturing zusammengefassten Veränderungen der Fertigungsprozesse dazu, dass die Qualität höher ist bzw. dass Wünsche von Kundinnen und Kunden besser, d.h. ohne Mehrkosten und ohne lange Lieferzeiten, berücksichtigt werden. Es gibt aber noch einen anderen Aspekt, der darin besteht, dass nunmehr Produkte gefertigt werden können, die bislang entweder gar nicht oder nur zu sehr hohen Kosten hergestellt werden konnten. Horizons Optical und Avinent Digital Health sind exzellente Beispiele dafür. Ermöglicht wird dies durch den 3D-Druck von Produkten sowohl aus Kunststoff als auch aus Titan. Maßgeschneiderte Brillenfassungen zu Preisen von in Asien massengefertigten Brillenfassungen sind neu. Maßgeschneiderte Implantate aus Titan sind ebenfalls neu. Die Formen solcher Implantate sind teilweise so spezifisch, dass sie auf herkömmliche Art und Weise kaum gefertigt werden können. Mit der durch den 3D-Druck geschaffenen Möglichkeit, personalisierte Produkte beliebiger Formenkomplexität in kurzer Zeit herzustellen, entwickeln sich völlig neue Märkte. Dass dies nur im Gleichklang mit dem Aufbau entsprechenden Know-hows der Nutzerinnen und Nutzer sowie dem Aufbau

von Studienrichtungen, wie etwa Biomedical Engineering, funktioniert, ist bei Avinent Digital Health gut zu beobachten.

„Die Nachrichten über meinen Tod sind stark übertrieben“, sagte Mark Twain vor über 100 Jahren. Im Lichte meiner Reise wirkt auch die Nachricht von Martin Ford, Autor des Bestsellers „Aufstieg der Roboter“, in der Zeitschrift Wired stark übertrieben: *„The robots haven’t just landed in the workplace – they’re expanding skills, moving up the corporate ladder, showing awesome productivity and retention rates, and increasingly shoving aside their human counterparts.“* So trivial und linear ist die Wirklichkeit nun mal nicht. Nirgendwo habe ich Roboter gesehen, die Karriereleitern erklimmen oder ihre menschlichen Konkurrenten beiseiteschieben. Das ist purer Unsinn, Angstmache oder – zeitgemäßer – Fake News. Roboter tun nämlich überhaupt nichts aus eigenem Antrieb, sie sind Werkzeuge genauso wie die Spinnmaschine und der mechanische Webstuhl. Wir Menschen machen etwas mit ihnen. Kein Roboter kann sich selbständig in einen Arbeitsprozess einfügen, das machen Menschen. Kein Roboter kann sich selbst warten, das machen Menschen. Roboter haben weder Ziele noch Intentionen noch einen Willen. Und was die Zukunft an neuen Technologien bringt, ist reine Spekulation, da wir, so argumentierte schon der große Erkenntnis- und Wissenschaftstheoretiker Karl Popper, nicht heute das vorwegnehmen können, was wir erst morgen wissen werden. Dass die Digitalisierung und Automatisierung auch Maschinenstürmer – heute wohl eher Roboterstürmer – hervorbringt, ist nicht überraschend, aber als Begleiterscheinung ein Indiz dafür, dass die gegenwärtige Entwicklung gewisse Ähnlichkeiten mit der ersten industriellen Revolution aufweist. Laut Wikipedia waren Maschinenstürmer eine Protestbewegung gegen die sozialen Folgeerscheinungen der Mechanisierung in der ersten industriellen Revolution. Die Angst vor dem Verlust von Arbeitsplätzen, so Wikipedia weiter, verminderte damals die Akzeptanz des technischen Fortschritts, verzögerte die Industrialisierung und war letztlich mitverantwortlich für das herrschende Elend.

Wenn überhaupt, so ist es nicht ein Interessenskonflikt zwischen der Menschheit und den Robotern, sondern zwischen jenen – hauptsächlich Hochschulabsolventinnen und -absolventen – deren Aufgabe es ist, in Unternehmen die Digitalisierung und Automatisierung voranzutreiben, um die Wettbewerbsfähigkeit zu erhalten oder zu verbessern, und jenen, die infolge dieser Änderungen umlernen müssen, weil ihre Arbeitsplätze in der bestehenden Form schöpferisch zerstört werden. Nichts von alledem ist neu, weder die verständliche Angst noch die Maschinenstürmer noch die schöpferische Zerstörung,

aber auch nicht die Entlastung von monotoner oder nicht-ergonomischer Arbeit sowie die Entwicklung neuer Produkte, die herzustellen ohne neue Maschinen und Fertigungsprozesse nicht möglich wäre. Neu gegenüber früheren industriellen Revolutionen ist indes die Geschwindigkeit der Veränderung, die Vielfalt an neuen Produkten und Dienstleistungen sowie die globale Gleichzeitigkeit dieser von Joseph Schumpeter so benannten industriellen Mutation.

Unter dem Eindruck von Publikationen wie „Aufstieg der Roboter“ und „The Second Machine Age“ begann ich meine Reise ein wenig unter dem Motto *„Von einem, der auszog, das Fürchten zu lernen“*, frei nach Brüder Grimm. Zurückgekehrt von meiner rund 25.000 km langen Reise fühle ich mich eher so, wie ich mir vorstelle, dass sich Charles Darwin gefühlt haben muss, nachdem er von seiner Reise mit der HMS Beagle nach England zurückgekehrt war: pures Staunen darüber, was es alles gibt, was alles möglich ist und welche Vielfalt der menschliche Erfinder- und Unternehmergeist hervorzubringen imstande ist. Industrielle Revolution habe ich gesucht, industrielle Evolution habe ich gefunden. Willkommen in der mikroelektronischen Explosion des Anthropozän – die kambrische Explosion lässt grüßen.

Epilog: Mitbestimmung in den Zeiten von Industrie 4.0

Die im 18. Jahrhundert beginnende und sich im 19. Jahrhundert verstärkende industrielle Revolution führt zu einem stark ansteigenden Kapitalbedarf, um die Anschaffung der erforderlichen Maschinen zu finanzieren. Als Konsequenz daraus werden beginnend im 19. Jahrhundert Kapitalgesellschaften gegründet. Eine beinahe zwangsläufige Folge davon ist die ökonomische Aufspaltung der Menschen in zwei Gruppen mit konträren Interessen: die Kapitalisten einerseits, die Eigentümer dieser Kapitalgesellschaften sind und die die Gewinne dieser Kapitalgesellschaften erhalten sowie die Arbeiterinnen und Arbeiter andererseits, die in diesen Kapitalgesellschaften arbeiten und dafür entlohnt werden. Daraus entwickelt sich der fundamentale Interessenskonflikt zwischen möglichst hohen Gewinnen und möglichst hohen Löhnen – Ursprung und Anlass für das Entstehen der Arbeiterbewegung. England, das Land der ersten industriellen Revolution, ist auch das Land mit der ersten Arbeiterbewegung, welche Ende des 18. Jahrhunderts entsteht. Grundsätzliche Forderungen der frühen Arbeiterbewegungen sind das allgemeine Wahlrecht und das Streikrecht. Zur Erreichung des generellen Ziels eines menschenwürdigen Daseins werden Mindestlöhne durch Tarifvertrag oder staatliche Regelung angestrebt. In der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts gewinnt ein weiterer Aspekt zunehmend an Bedeutung: die betriebliche Mitbestimmung. Innerhalb der Europäischen Union sind heute vor allem in Dänemark, Deutschland, den Niederlanden, Österreich und Schweden die Mitbestimmungsrechte am weitreichendsten, wohingegen etwa in Spanien, aber auch in Italien und Großbritannien diese Rechte eher schwach verankert sind. Erst im Jahr 1919, also rund 100 Jahre nachdem die industrielle Revolution volle Fahrt aufgenommen hatte, wird in Österreich das erste Gesetz über die Errichtung von Betriebsräten verabschiedet, ein Meilenstein der Arbeiterbewegung.

Mitbestimmung, so Wikipedia, bezeichnet die Mitwirkung und Mitentscheidung jener, deren Existenz, Arbeits- und Lebensweise durch Entscheidungen anderer beeinflusst werden, welche aufgrund formaler Rechts- oder Besitzverhältnisse dazu befugt sind. Mitbestimmung soll Arbeitnehmerinnen und Arbeitnehmern Einfluss auf unternehmerische Entscheidungen ermöglichen.

Das betrifft einerseits die Ordnung des Betriebs, die Arbeitsbedingungen und den Umgang mit dem Personal sowie wirtschaftliche Entscheidungen über die Entwicklung und Zukunft des Unternehmens und der Arbeitsplätze.

Wenn also die erste industrielle Revolution zur betrieblichen Mitbestimmung führte, welche diesbezüglichen Auswirkungen hat dann Industrie 4.0? Ist es tatsächlich so, wie Martin Ford, Autor von „Aufstieg der Roboter“, behauptet, dass Industrieroboter an den Mitbestimmungsrechten der Industriearbeiterinnen und -arbeitern vorbei zunehmend das Sagen haben? Oder, wie es ebenfalls mitunter kolportiert wird, sind Betriebsräte etwa gar Bremsklotz von Automatisierung und Digitalisierung und gefährden damit die Wettbewerbsfähigkeit? Die Wirklichkeit der Mitbestimmung in den Zeiten von Industrie 4.0 ist vielfältiger und differenzierter, als es solche Fragen und apodiktische Antworten darauf vermuten lassen.

Die Planung, der Bau und der nahtlose Übergang vom alten Werk in Krosno zum neuen Werk in Jasło von Nowy Styl wäre im Rahmen der geplanten Kosten und der geplanten Zeit ohne die Mitwirkung und Mitentscheidung der Menschen, die im alten Werk gearbeitet haben, nicht möglich gewesen. Nicht nur waren sie in die Planung und die damit verbundenen vielen Detailentscheidungen involviert, sie wurden auch von den Lieferanten arbeitsplatzbezogen über mehrere Monate hinweg so geschult, dass sie ab dem ersten Tag der Inbetriebnahme des neuen Werkes ihre neue Arbeit verrichten konnten und somit bereits ab dem ersten Arbeitstag im neuen Werk Büromöbel erzeugt und geliefert werden konnten. Diese Mitwirkung betraf nicht nur, aber selbstverständlich auch die sogenannten „einfachen“ Arbeitnehmerinnen und Arbeitnehmer, denn diese wussten am besten, was die neuen Maschinen können mussten, worauf es bei der Auswahl des besten Maschinenlieferanten ankam und welchen Schulungsbedarf sie für ihre neuen Arbeitsplätze und Aufgaben hatten. Auch jetzt, wo das neue Werk voll in Betrieb ist und somit die Mitwirkung im Rahmen der Planung des Werkes Jasło nicht mehr notwendig ist, wird diese Mitbestimmung, wenn auch in anderer Form, gepflegt. Das sogenannte Codebook, in dem detailliert festgelegt ist, welche Funktionen bei welchen Änderungen oder Neuerstellungen von Produkten gefragt werden müssen, um einen optimalen Fertigungsablauf zu gewährleisten, beinhaltet klarerweise ebenso sowohl die Mitentscheidung von Personen, welche die Maschinen bedienen als auch jene von Personen, die die fertig gestellten Büromöbelteile verpacken und kommissionieren. In einem informationstechnisch hochintegrierten Werk – das wurde im Werk Jasło erkannt – kann nicht mehr zwischen dem Wissen von einfachen und qualifizierten Arbeitnehmerinnen und Arbeit-

nehmern ein hierarchischer Unterschied gemacht werden. Denn die Erfahrung zeigte – und deshalb auch das Codebook –, dass das Ignorieren von Wissen „einfacher“ Arbeitnehmerinnen und Arbeitnehmer genauso zu Störungen und Fehlern führt wie das Ignorieren des Wissens qualifizierter Arbeitnehmerinnen und Arbeitnehmer.

Anders als bei Nowy Styl in Polen gibt es in der Technologiefabrik Scharnhausen von Festo in Deutschland einen Betriebsrat. Dieser, so wird mir von allen Seiten versichert, ist selbstverständlich entsprechend der gesetzlichen Bestimmungen eingebunden. Sowohl bei der Planung der Technologiefabrik Scharnhausen als auch bei allen Automatisierungsvorhaben war bzw. ist der Betriebsrat mitbestimmend. Dies ist in der Firmenkultur so fest verankert, dass darüber nicht speziell gesprochen werden muss, außer man fragt danach. Die Antwort auf meine diesbezügliche Frage erhalte ich mit Staunen, als ob ich mich vergewissern wollte, dass ohnedies niemand umgebracht wird. Das Zusammenwirken zwischen Betriebsrat und Management ist von gegenseitigem Respekt und Anerkennung der Aufgaben und Verantwortung geprägt. Die Einführung eines kollaborativen Roboters wird ebenso mit dem Betriebsrat abgestimmt wie die Umstellung von manuellen Arbeitsplätzen in der Ventilmontage auf automatisierte Ventilmontage. Wichtige Elemente der guten Zusammenarbeit zwischen Betriebsrat und Management sind dabei wohl, dass die Kündigung einer Mitarbeiterin bzw. eines Mitarbeiters wegen eines Automatisierungsvorhabens nie zur Diskussion steht und dass die ergonomische Verbesserung der Arbeitsplätze einen hohen Stellenwert bei Investitionsentscheidungen hat. Dass eine Mitarbeiterin oder ein Mitarbeiter, deren bzw. dessen Arbeitsplatz automatisiert wird, mit einer neuen, ergonomisch besseren Aufgabe betraut wird, ist wie eine unausgesprochene Vereinbarung zwischen Betriebsrat und Management, über die im Einzelfall gar nicht erst gesprochen werden muss. Die Frage, die mit dem Betriebsrat in einem solchen Fall daher abgestimmt wird, ist der Schulungsbedarf für die Betroffenen. Aus der Aufmerksamkeit, die dem Thema Schulung und Umschulung bei Festo gegeben wird, ist wohl auch die Bedeutung von Lernfabrik und Ideenschmiede entstanden. Diese beiden Einrichtungen seien, so wurde mir gegenüber mehrfach betont, für die Zukunft und Wettbewerbsfähigkeit der Technologiefabrik Scharnhausen genauso wichtig wie Automatisierungsvorhaben. Und auch, wenn ich dies nicht in aller Deutlichkeit höre, so ist doch anzunehmen, dass der Betriebsrat, weil er ja in die Planung der Technologiefabrik Scharnhausen eingebunden war, auch bei der Planung von Lernfabrik und Ideenschmiede involviert war.

Unter den besuchten Unternehmen nimmt Horizons Optical eine Sonderstellung ein, denn dieses Unternehmen ist noch ein Kleinunternehmen. Allerdings ist es nicht im klassischen Sinne ein Start-up-Unternehmen, sondern ein Spin-off des wesentlich größeren Unternehmens Indo Optical, dem größten spanischen Hersteller von Brillengläsern. Horizons Optical verdankt seine Existenz der federführenden Mitwirkung am Forschungs- und Entwicklungsprojekt „Business Models for User Centred Products“, welches im 7. Forschungsrahmenprogramm (2007–2013) der Europäischen Kommission gefördert wurde. Mitbestimmung im Sinne eines institutionalisierten Prozesses ist bei diesem Unternehmen kein Thema. Allerdings haben alle Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter im Rahmen des von der Europäischen Kommission geförderten Projektes erfahren und gelernt, wie notwendig die Zusammenarbeit von Expertinnen und Experten sowohl zwischen den beteiligten Unternehmen als auch innerhalb der Unternehmen selbst ist. In Horizons Optical ist es eine Selbstverständlichkeit, dass alle diejenigen Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter bei jeweils den Fragestellungen mitwirken und mitbestimmen, bei denen sie über entsprechende Expertise verfügen. Der CIO, Chief Innovation Officer, hat als Hauptexperte im Bereich Forschung und Entwicklung zwar die technische Entwicklung maßgeblich geprägt, aber im Bereich der Brillenfertigung bestimmen die Firmen, die die Brillenfassungen mittels 3D-Drucker fertigen, maßgeblich mit. Dies ist ebenfalls eine Besonderheit, denn die Brillenfertigung obliegt nicht Horizons Optical, sondern ist an Firmen ausgelagert, welche über die erforderlichen 3D-Drucker verfügen. Innerhalb von Horizons Optical arbeiten Expertinnen und Experten in den Bereichen Vertrieb und Marketing, Softwareentwicklung und -betreuung sowie Training und Schulung. Alle anderen Funktionen, insbesondere Fertigung und Design von Brillenfassungen sowie Fertigung des 3D-Scanners, sind ausgelagert. Allerdings ist die Zusammenarbeit mit diesen Firmen nicht die gewohnte Auftraggeber-Auftragnehmer-Beziehung, sondern, weil die Produkte und Dienstleistungen noch in der Pionierphase stehen, durch eine enge und vertrauensvolle Zusammenarbeit charakterisiert, wie ich beim Besuch eines der Unternehmen, die die Brillenfassungen herstellen, feststellen konnte.

Die Fertigung bei Avinent Digital Health ähnelt mehr einem medizinischen Laboratorium als einer Fertigung im herkömmlichen Sinn. „Einfache“ Arbeitnehmerinnen und Arbeitnehmer findet man bei Avinent keine, denn sowohl die Bedienung der 3D-Drucker zum Fertigen der Titan-Implantate als auch die 3D-Konstruktion dieser Implantate am Bildschirm erfordern Expertise, die nicht im Rahmen herkömmlicher Fertigungslehre vermittelt wird.



Dass jedoch die Maschinenbedienerinnen und -bediener und die Konstrukteurinnen und Konstrukteure eng zusammenarbeiten, ist bei Avinent unbedingt notwendig und daher auch selbstverständlich, ohne dass davon viel Aufhebens gemacht wird. Dass Maschinenbedienerinnen und -bediener in der Konstruktionsphase eines Implantats bei heiklen fertigungstechnischen Fragen mitentscheiden, ist genauso Alltag wie umgekehrt, dass Konstrukteurinnen und Konstrukteure bei Fragen des 3D-Drucks mitbestimmen. Das Betriebsklima bei Avinent ist kollegial, vergleichbar eher mit dem eines Ingenieurbüros oder Architekturbüros als eines typischen Fertigungsbetriebs. Expertise bzw. Know-how ist das oberste Kriterium dafür, wer bei welchen Fragen mitbestimmt. Wer wem vorgesetzt ist, ist demgegenüber weitgehend bedeutungslos. Erfahrung und Know-how sind die Kriterien für Mitentscheidung.

Bei der Mitbestimmung im Siemens-Elektronikwerk Amberg wird auf die Einhaltung aller gesetzlichen Bestimmungen minutiös geachtet. Der Schwerpunkt liegt dabei weniger auf der Gestaltung von Arbeitsplätzen, weil viele in den letzten 25 Jahren bereits automatisiert wurden, sondern vor allem bei der Erfassung personenbezogener Daten. Denn selbstverständlich ist der Betriebsrat bei allen Fragen der Erfassung und Verarbeitung personenbezogener Daten involviert. Dass es dabei auch Interessenskonflikte zwischen der gesetzlichen Vorgabe des Schutzes vor missbräuchlicher Datenverarbeitung sowie des Schutzes des

Persönlichkeitsrechts einerseits und den Anforderungen von Qualitätssicherung und Qualitätskontrolle andererseits gibt, wird nicht verhehlt. Dieser Interessenskonflikt wird jedoch, falls er denn auftritt, in sachbezogener Form behandelt und einer Lösung zugeführt. Kampfmaßnahmen seitens des Betriebsrates zur Behandlung solcher Interessenskonflikte sind keine Kategorie, in der gedacht und gehandelt wird. Trotz klarer Hierarchie ist das Betriebsklima ausgesprochen kooperativ und von gemeinsamem Stolz auf das vor allem im Bereich Reduktion der Fehlerhäufigkeit Erreichte gekennzeichnet. Mitbestimmung, das wird beim Besuch des Elektronikwerkes deutlich, geht weit über das gesetzlich Vorgeschriebene hinaus und ist auch nicht auf die Rechte des Betriebsrates beschränkt. Das im politischen Kontext gern zitierte Subsidiaritätsprinzip, im Elektronikwerk Amberg wird es gelebt, aber nicht wegen des Prinzips, sondern weil die Komplexität der Fertigung gar nicht mehr anders gemanagt werden kann. Der Betriebsrat erfüllt in diesem Kontext seine klare, gesetzlich vorgegebene Aufgabe, darüber hinaus bzw. daneben werden anstehende Fragen und Probleme sowohl quer zur als auch entlang der Hierarchie von den jeweiligen Sachkundigen meistens im Team bearbeitet und gelöst. Mitbestimmung ist, so scheint es, im Elektronikwerk ein ständig sich weiterentwickelnder Prozess, der immer wieder zu neuen Kombinationen von Teams und Besprechungen führt, um neu auftretende Probleme und Fragen unter Mitwirkung der besten verfügbaren Expertise anzugehen und einer Lösung zuzuführen. Deshalb macht es auch viel Sinn, dass alle Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter ein Moderations- und Kommunikationstraining absolvieren. Soziale Intelligenz wird zusammen mit fachlichem Know-how als wichtigste Voraussetzung für gelingende Mitbestimmung gesehen und dementsprechend gefördert.

Der Arbeitskampf um das ehemalige AEG-Stammwerk in Nürnberg, welcher am 12. Dezember 2005 begann, nachdem der schwedische Mutterkonzern Electrolux dessen Schließung beschloss, ist zwar schon lange Geschichte, aber wohl noch nicht ganz vergessen. Das Werk Rothenburg verblieb als einzige Produktionsstätte von Electrolux in Deutschland und profitierte daher von der Schließung des Werkes in Nürnberg. Die exzellente Zusammenarbeit mit dem Betriebsrat wird im Werk Rothenburg, vielleicht nicht ganz zufällig, von allen Seiten besonders hervorgehoben – auch und gerade bei den Automatisierungsvorhaben. Betont wird, dass keine Mitarbeiterin und kein Mitarbeiter gekündigt wird, weil ein Arbeitsplatz automatisiert wird. Hervorgehoben wird auch, dass neben der Steigerung von Qualität auch Fragen der Arbeitsplatz-Ergonomie maßgeblich zur Bewertung von Automatisierungsvorhaben beitragen. Einfache Arbeiten gibt es in der Montage nach wie vor, allerdings werden die einfachsten

Arbeiten in Abstimmung mit dem Betriebsrat sukzessive automatisiert. Bemerkenswert ist dabei, dass dies in der Montage vor allem Arbeitsplätze sind, an denen Männer arbeiten, während Montagetätigkeiten, die weniger Kraft, aber dafür umso mehr Geschicklichkeit erfordern und die vornehmlich Frauen erbringen, von der Automatisierung kaum betroffen sind. Damit im Zusammenhang steht wohl auch, dass ich bei der Bedienung der Industrieroboter fast nur Männer sehe, während in der Montage der Frauenanteil bereits überwiegt. Im Werk Rothenburg werden indes nicht nur Elektroherde und Kochfelder produziert, sondern im Bereich Global Manufacturing Engineering neue automatisierte Fertigungsstraßen für Electrolux-Werke weltweit geplant. Expertinnen und Experten in diesem Bereich planen und gestalten die Automatisierungsvorhaben der weltweit 47 Werke, die sich auf allen Kontinenten (außer der Antarktis) befinden. Dies geschieht in Zusammenarbeit mit den Expertinnen und Experten und Managerinnen und Managern des jeweiligen Werkes, „einfache“ Arbeitnehmerinnen bzw. Arbeitnehmer sind dabei nicht involviert, außer sie sind Expertinnen bzw. Experten in einem speziellen Bereich. Allerdings fließen die Erfahrungen, die bei der Realisierung von Automatisierungsvorhaben im Werk Rothenburg selbst gemacht wurden, in diese Planungsarbeiten ein – auch bezüglich der Zusammenarbeit mit den betroffenen Arbeiterinnen und Arbeitern, sowohl in der Planung als auch in der Umsetzung.

Das BMW-Werk Spartanburg ist bezüglich Mitbestimmung in mehrerer Hinsicht speziell. Als Werk in den USA unterliegt es nicht den deutschen gesetzlichen Regelungen betreffend Mitbestimmung, sondern jenen der USA – und dies bedeutet, dass bezüglich Mitbestimmung so gut wie nichts gesetzlich vorgegeben ist. Für allfällige gesundheitliche Schäden allerdings, welche die Arbeit im Werk verursacht, haftet das Werk Spartanburg in unbegrenzter Höhe auch gegenüber den Versicherungen. Dies erklärt zumindest teilweise, weshalb ergonomische Überlegungen bei Investitionsentscheidungen zur Verbesserung von Fertigungsprozessen einen so hohen Stellenwert haben. Exoskelette etwa wurden nicht zuletzt aus diesem Grund im Werk Spartanburg früher eingeführt als in den Werken in Deutschland. Die Tatsache, dass es im Werk Spartanburg weder einen Betriebsrat noch eine gesetzlich verankerte Mitbestimmung gibt, bedeutet jedoch nicht, dass Mitbestimmung nicht existiert – im Gegenteil. Mitbestimmung wird als ein integrales Element gesehen, um die Fertigungsprozesse kontinuierlich zu verbessern und das bedeutet bei BMW nicht vorzugsweise zu automatisieren, sondern das Zusammenwirken zwischen den Menschen in der Montage und den Maschinen, welche diese Montagearbeiten unterstützen, durch innovative Lösungen kontinuierlich weiterzuentwickeln. Am Beispiel

Google Glass wird dies sehr deutlich. Ein Mitarbeiter im Bereich Forschung und Innovation des Werkes hat die Idee, Google Glass dahingehend zu adaptieren, dass die Montagearbeiterinnen und -arbeiter keinen Bildschirm mehr benötigen, um alle relevanten Informationen zu erhalten. Stattdessen sollen diese Informationen mittels Google Glass unmittelbar in das Sehfeld eingeblendet werden und mittels Sprache Computereingaben zu vorgegebenen Checklisten erledigt werden können. Diese Idee wird im Rahmen eines werksinternen Innovationsprojektes weiterentwickelt. Zentrales Element dieses Projektes ist jedoch die Zusammenarbeit mit jenen Arbeiterinnen und Arbeitern in der Montage, die davon profitieren sollen und die daher sowohl in der Entwicklungsphase als auch in der Erprobungsphase wesentlich beteiligt sind. Erst wenn diese Personen die entwickelte Computerbrille als wirklich hilfreich und als Verbesserung einstufen, kann diese Brille in der Montage eingeführt werden. Einen ähnlichen Prozess durchlief die Einführung kollaborativer Roboter in der Türenmontage. Erst als die vor und nach dem kollaborativen Roboter Arbeitenden sich nicht mehr durch diesen gefährdet fühlten und die Erfahrung machten, dass der Fertigungsprozess durch den Einsatz dieses Roboters insgesamt stabiler wurde, gab es grünes Licht, diese kollaborativen Roboter zu nutzen. Das Management des Werkes ist in die kontinuierlichen Veränderungen der Arbeitsbedingungen vergleichsweise wenig involviert. Mitbestimmung bedeutet daher nicht unbedingt Zusammenarbeit zwischen einfachen Arbeiterinnen und Arbeitern mit dem Management, sondern die Zusammenarbeit zwischen Arbeiterinnen und Arbeitern mit den Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern der technischen Planung, des Qualitätsmanagements, der Logistikplanung und der Produktionsüberwachung im Montagebereich. Diese Zusammenarbeit ist von gegenseitigem Respekt für die Erfahrung und das Know-how des Gegenübers getragen. Bei der Gestaltung der Arbeitsbedingungen ist Expertise und Erfahrung, so hat es den Eindruck, wichtiger als hierarchische Stellung im Werk. Die Mitbestimmung, so wie sie mit Selbstverständlichkeit gelebt wird, ist wohl ein wichtiger, wenn nicht sogar der wichtigste, Faktor, der zu dem Eindruck führt, dass die Organisation insgesamt eine hohe Plastizität und damit auch Innovationsfähigkeit aufweist.

Bei Deckel Maho Pfronten ist Mitbestimmung kein bestimmendes Element bei der Digitalisierung und Automatisierung. Die gesetzlichen Vorgaben werden selbstverständlich strikt beachtet. Bei der Umstellung der Montage von einem einstufigen zu einem zweistufigen Montageprozess wurde der Betriebsrat genauso wie die Meisterinnen und Meister von Anfang an in den geplanten Veränderungsprozess voll einbezogen. Dementsprechend friktionsfrei gestaltet

sich die Umsetzung des Vorhabens, obwohl die Veränderungen der Arbeitsbedingungen für die Arbeiterinnen und Arbeiter im Montageprozess erheblich sind. Dass der Werksleiter, der diese organisatorischen Veränderungen in die Wege leitete, selbst als Lehrling bei Deckel Maho Pfronten begonnen und sich sukzessive zum Produktionsleiter hochgearbeitet hat, spielt dabei wohl auch eine gewisse Rolle. Er spricht die Sprache der „einfachen“ Arbeiterinnen und Arbeiter, kennt ihre Anliegen und ist mehr in der Fertigung anzutreffen als in seinem Büro. Die Vorgaben an die Softwareentwicklerinnen und -entwickler für die notwendige neue Software zur Unterstützung der neuen Fertigungsorganisation kommen ebenfalls vom Produktionsleiter. Die Initiative für Digitalisierungs- und Automatisierungsvorhaben liegt somit vornehmlich beim Produktionsleiter, der wiederum die gesetzlichen Regelungen betreffend Mitbestimmung genau beachtet, auch weil er aus Erfahrung weiß, dass die Einbeziehung des Betriebsrates bessere Ergebnisse sowohl in der Planung als auch in der Umsetzung bei organisatorischen Verbesserungen der Fertigung liefert.

Mitbestimmung in Industrie-4.0-Pionierunternehmen ist zur Selbstverständlichkeit geworden, integraler Bestandteil einer Unternehmenskultur, in der Interessenskonflikte nicht mehr durch Kampf, sondern durch lösungsorientierte Zusammenarbeit angegangen werden. Selbst dort, wo Betriebsräte gesetzlich vorgeschrieben sind, beschränkt sich Mitbestimmung nicht auf die Vertretung von Interessen der Arbeitnehmerinnen und Arbeitnehmer durch Betriebsräte, sondern umfasst die Mitwirkung und Mitentscheidung sowohl quer zur Hierarchie als auch entlang der Hierarchie. Wer wobei in welchem Ausmaß mitbestimmt, ist weniger Resultat gesetzlicher Regelungen, sondern viel mehr Konsequenz des eigenen Know-hows, der eigenen Erfahrung sowie der Bereitschaft, all dies in Besprechungen auch einzubringen. Das wertet die Bedeutung von Betriebsräten keineswegs ab, auch wenn diese nicht so offensichtlich zu sein scheint. Im Jahr 2001 erschien im California Management Review der Artikel „Nobody ever gets credit for fixing problems that never happened“, zu Deutsch in etwa „Niemand erhält jemals Anerkennung für die Behebung von Problemen, die nie passiert sind“. Dieser Satz trifft bei Mitbestimmung in Industrie-4.0-Pionieren den Nagel auf den Kopf. Denn die Selbstverständlichkeit, mit der „einfache“ Arbeitnehmerinnen und Arbeitnehmer, Belegschaftsvertreterinnen und Belegschaftsvertreter, Expertinnen und Experten und das Management zusammenarbeiten und zusammenwirken, ist absolut nicht selbstverständlich. Den meisten der besuchten Pionierunternehmen, die allesamt schon länger als ein halbes Jahrhundert bestehen, war diese neue Form der Mitbestimmung wohl nicht in die Wiege gelegt. Noch 1993 konnte in

dem Artikel „Computerintegrations-Projekte – Die Logik des Misslingens“ auf die fehlende Einbindung von Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern bei der Realisierung von Computer Integrated Manufacturing und den Folgen daraus hingewiesen werden. Eine solche Situation haben die Industrie-4.0-Pioniere weit hinter sich gelassen. Ob aber eher die Belegschaftsvertreterinnen und -vertreter oder eher das Management diese weniger kampfbetonte und mehr auf kollegiale Zusammenarbeit setzende Unternehmenskultur suchten, ist heute nicht mehr feststellbar. Vermutlich ist es ein beidseitig betriebener, evolutionärer Prozess gewesen, der sich in dem Maße, in dem die positiven Effekte deutlich wurden, noch verstärkte.

Diese Entwicklung – kulminierend in Industrie-4.0-Pionieren – hat Daniel Bell bereits 1973 mit seinem bahnbrechenden Werk „Die nachindustrielle Gesellschaft“ beschrieben. Bell nutzt für die postindustrielle Gesellschaft auch die Begriffe Informationsgesellschaft sowie Wissensgesellschaft. *„War die Industriegesellschaft eine güterproduzierende, so ist die nachindustrielle Gesellschaft eine Informationsgesellschaft, in der die Produktion von Informationen abhängiger ist als von Rohstoffen.“* Neuerungen, so Bell bereits 1973, werden immer häufiger von Forschung und Entwicklung getragen und die Gesellschaft legt andererseits immer mehr Gewicht auf das Gebiet des Wissens. Es mag zwar paradox klingen, aber Industrie-4.0-Fertigungen sind Ergebnis der postindustriellen und nicht der industriellen Gesellschaft. Daniel Bell hat zwar seine Thesen auf die Gesellschaft als Ganzes bezogen, aber seine Hypothese, dass Wissen und Know-how an Bedeutung zunimmt (Hierarchie und tradierte Autorität dementsprechend an Bedeutung abnimmt), gilt offenbar auch für Unternehmen, die Industrie-4.0-Vorreiter sind. Diese neue Form der Mitbestimmung – Mitbestimmung 4.0 – wird bei den Pionierunternehmen als wissensbasierte Mitgestaltung sichtbar. Zu den Fähigkeiten, welche für Mitbestimmung 4.0 entscheidend sind, gehören Gestaltungskraft, Intrapreneurship (unternehmerisches Denken und Handeln im innerbetrieblichen Kontext), soziale Intelligenz (Fähigkeit, andere zu verstehen sowie sich ihnen gegenüber situationsangemessen und klug zu verhalten), Adaptivität (Fähigkeit zur Veränderung) und, last but not least, Teamfähigkeit (Fähigkeit zur Zusammenarbeit mit anderen).

Die erste industrielle Revolution beginnt mit technischen Erfindungen im 18. Jahrhundert und mündet in gesetzlich verankerter Mitbestimmung Anfang des 20. Jahrhunderts. Bei der vierten industriellen Revolution gibt es starke Indizien, dass diese Reihenfolge auf den Kopf gestellt wird: Mitbestimmung 4.0 als soziale Innovation geht den technischen Innovationen voraus, die in

Industrie 4.0 münden. Gerade in den signifikanten Unterschieden im Betriebsklima bzw. der Kommunikationskultur zwischen Industrie-4.0-Pionieren und anderen Industriebetrieben wird dies deutlich. In Industrie-4.0-Pionieren ist innerbetriebliches Lagerdenken, typisch für die erste industrielle Revolution, verschwunden. Bilaterale Ausverhandlungen zwischen Betriebsrat und Management sind multilateralen Kommunikationsstrukturen zwischen verschiedenen Know-how-Trägerinnen und -Trägern gewichen. Selbstverständlich gibt es auch bei den Pionierunternehmen Konflikte, aber diese lassen sich nicht mehr auf den Urkonflikt zwischen Kapitalisten und Arbeiterinnen bzw. Arbeitern reduzieren. Die Frage, wer die Macht hat, wird abgelöst von der Frage, wer Recht bzw. wer ein adäquateres Verständnis von der Wirklichkeit hat. Sind Kapitalgesellschaften des 19. und der ersten Hälfte des 20. Jahrhunderts noch stark den Organisationsprinzipien von Militär, aber auch Kirche nachempfunden – gipfelnd in Henry Fords Organisationskonzept –, mit Befehl und Befehlsbestätigung als üblicher Kommunikationsform, so entspricht dieses Bild nicht der Wirklichkeit bei Industrie-4.0-Pionieren. Gehorsam ist in diesen Unternehmen durch Respekt vor der Erfahrung und dem Wissen anderer ersetzt. Mitbestimmung ist Folge der industriellen Revolution, aber Mitbestimmung 4.0 ist Ursache von Industrie 4.0, denn die technischen Errungenschaften des 21. Jahrhunderts sind ohne konstruktive Zusammenarbeit kaum vorstellbar. Das wird bei Industrie-4.0-Pionieren deutlich.

Danksagung

Es ist eine Binsenweisheit, dass Bücher nicht im stillen Kämmerlein entstehen können, sondern dass es hierfür Mitstreiterinnen und Mitstreiter, Förderinnen und Förderer, Kritikerinnen und Kritiker und vor allem auch Wissens-trägerinnen und -träger bedarf, ohne die aus der Idee eines Buches kein fertiges Buch hervorgehen kann. Dies gilt für dieses Buch im Besonderen, denn ohne alle diese Personen in ihren unterschiedlichen Rollen hätte ich dieses Buch nie begonnen, geschweige denn zu Ende gebracht.

An allererster Stelle möchte ich daher meinem langjährigen Freund und Kollegen Gerald Wödl vom Verlag des ÖGB danken, der die Buchidee an mich herangetragen hat, mit dem gemeinsam ich die Grundkonzeption des Buches entworfen habe und der den Weg für die Zusammenarbeit mit dem Verlag des ÖGB geebnet hat. Evelyn Beyer danke ich für die exzellente Zusammenarbeit beim Lektorieren und Iris Kraßnitzer, Geschäftsführerin des ÖGB-Verlags, danke ich für ihr Interesse an dem Buchprojekt. Michael Heiling, Heinz Leitsmüller und Simon Schumich von der Arbeiterkammer Wien danke ich für die mir zur Verfügung gestellten Informationen.

Für die Erfindung der für dieses Buch verwendeten Methode des Dialog-Interviews danke ich Otto Scharmer. Hanna Mandl, meiner Gefährtin fürs Leben, sowie Kuno Sohm danke ich dafür, diese Methode im Rahmen unseres Forschungsprojektes „Organisationen von der Zukunft her führen“ erstmals im deutschsprachigen Raum miteinander erprobt zu haben.

Meinem Kollegen Nicholas Vonortas, Professor an der George Washington University, sowie William Bonvillian, Director of the MIT Washington Office, danke ich für ihre enorm hilfreichen Hinweise zu Smart-Manufacturing- und Advanced-Manufacturing-Netzwerken in den USA.

Meinem Bruder im Geiste Hans-Jakob Lüthi, emeritierter Professor an der ETH Zürich, danke ich für seine Informationen über die Schweizer Industrie-4.0-„Szene“. Meinem langjährigen Kollegen und Freund Manfred Gronalt, Professor an der Universität für Bodenkultur Wien, danke ich für seine Hinweise zum Stand der Dinge in der Holzwirtschaft. Ohne ihn hätte ich die Homag Group AG und damit auch die Nowy Styl Group nie gefunden. Damian

Bornas Cayuela, Europäische Kommission, und Chris Decubber, Technical Director der European Factories of the Future Research Association, danke ich dafür, mich auf Festo AG & Co. KG sowie auf Electrolux AB aufmerksam gemacht zu haben.

Dariusz Frydrych, Member of the Board der Nowy Styl Group, danke ich für seine uneingeschränkte Unterstützung meines Besuches in Jasło. Piotr Wróblewski, Head of the Department of Innovation and Development der Nowy Styl Group, danke ich für das Lesen und die kritischen Anmerkungen. Maria Lasek, Wioletta Krajewska, Tomasz Bardzik, Wojciech Sokołowski, Wojciech Bołoz, Jacek Steliga und Łukasz Adamik danke ich für die Zeit, die sie mir gewidmet haben, und die Begeisterung, die spürbar war.

Gunter Beitinger, Vice President of Manufacturing der Siemens Digital Factory, danke ich für das große Interesse, das er meinem Anliegen entgegengebracht hat, die Möglichkeit, mit Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern offene Gespräche zu führen, und seine äußerst hilfreichen Hinweise zum Kapitel über Siemens. Günther Ziebell, Produktionsleiter im Siemens-Elektronikwerk Amberg, danke ich für all das ergänzende Material, das er mir nach unserem Gespräch bereitwillig zur Verfügung stellte. Frank Bleisteiner, Heiko Kammler, Wolfram Strack und Reinhold Kragl danke ich für das Teilen ihrer Erfahrungen.

Leonie Williams, Corporate Public Relations der DMG Mori AG, Patrick Beller, Holger Rudzio sowie Reinhard Musch danke ich für ihre Bemühungen und ihre Unterstützung. Simon Brugger danke ich für all seine Informationen bei meinem Besuch von Festo AG & Co. KG. Juan-Carlos Dürsteler, Chief Innovation Officer bei Indo Horizons, möchte ich besonders großen Dank aussprechen für die Zeit, die er mir gewidmet hat, für seine hochinteressanten Ausführungen über Optik, Brillen und 3D-Druck, sowie für seinen Hinweis auf und die Vermittlung von meinem Besuch bei Avinent Implant System. Albert Giralt, Geschäftsführer der Grup Vilardell Purí, danke ich für seine erhellenden Darlegungen zum Stand der Technik bei der Herstellung von Implantaten und für seine Führung durch die Zukunft der Implantaten-Fertigung. Mattias Holm, Electrolux Stockholm, danke ich für das Organisieren meines Besuches des Werks Rothenburg. Bernd Ebert, Director Global Manufacturing Engineering Electrolux, Ernesto Ferrario, Senior Vice president Global Industrial Operations, und Kilian Knorr-Held, Werksleiter Electrolux Rothenburg, danke ich für die Einblicke, die sie mir im Werk Rothenburg gewährt haben, und für ihre Hinweise zu meinem Manuskript.

Last not least möchte ich Martin Koch, BMW-Werk Spartanburg, für seine enorme Unterstützung bei meinem Besuch im Werk danken, für unser hochinteressantes Gespräch beim gemeinsamen Abendessen und alle seine Richtigstellungen und Ergänzungen betreffend BMW im Buch. Ohne ihn und seine Kolleginnen und Kollegen sowie Vorgesetzten Gerald Degen, Chad Cabaniss, Kavita Antani, Carrie Cline, Joerg Schulte und Nathan McCall, und ihre Bereitschaft, meine Fragen geduldig und ausführlich zu beantworten, wäre mein Besuch bei BMW lange nicht so erkenntnisreich verlaufen, wie er tatsächlich war. Mein Dank gilt aber auch Vera Wiegand, Leiterin der BMW-Change-Management-Beratung, dafür, mir den Kontakt zu Gerald Degen, Vice President Production Control & Logistics im BMW-Werk Spartanburg, vermittelt zu haben.

Einen etwas ungewöhnlichen Dank möchte ich auch den mir unbekannten Softwareentwicklerinnen und -entwicklern der Spracherkennungssoftware Dragon NaturallySpeaking aussprechen, die ich beim Schreiben dieses Buches erstmals verwendet habe. Ohne diese neue Form des Übertragens von Gedanken in Geschriebenes wäre ich mit meinem Zweifingersystem bei der Bedienung der Tastatur deutlich langsamer gewesen.

Zu allerletzt möchte ich mich bei zwei Menschen bedanken, bei denen ich mich leider nicht mehr bedanken kann, weil beide 2016 verstorben sind: Meinem Doktorvater Franz Weinberg, emeritierter Professor für Operations Research an der ETH Zürich, verdanke ich mein ungebrochenes Interesse an den Möglichkeiten, die Computer für die Fertigung und deren Prozesse bieten. Meinem vormaligen Chef Rainer Bichlbauer, ehemaliger Generaldirektor der Elin-Union AG, verdanke ich meine Wertschätzung strategischen Denkens und meine ersten Erfahrungen in der produzierenden Industrie.

Mein großes Dankeschön an alle Beteiligten ist indes in keinsten Weise ein Versuch meinerseits, die Verantwortung für die Richtigkeit des Buchinhalts abzuwälzen. Für alle Fehler und Mängel, die ich mich selbstverständlich bemüht habe, auszumerzen, zeichne allein ich verantwortlich.

Hyperlinks zu Videos

Dies ist eine von mir im Zuge meiner Recherchen zusammengestellte Liste interessanter Videos und deren Hyperlinks, die im Zusammenhang mit Industrie 4.0 sowie Smart Manufacturing die Dynamik solcher Fertigungsprozesse auf eine Art und Weise visualisieren, wie man dies mit Sprache und Schrift kaum bewerkstelligen kann. Alle Hyperlinks wurden am 28. Februar 2017 nochmals auf ihre Gültigkeit überprüft. Ob diese auch danach noch gültig sind, kann ich leider nicht garantieren.

3D Systems 3D-Printed Prosthetic

<http://www.3dsystems.com/media/leg-fits-making-natashas-3d-printed-prosthetic-two-weeks>

Adidas Speedfactory in Ansbach bei Nürnberg

https://www.youtube.com/watch?v=p_GrpAtSKzc

Amazon robots delivery system

<https://www.youtube.com/watch?v=6KRjuuEVEZs>

Avinent Digital Health, personalisierte Titan-Implantate in der Medizintechnik, Katalonien

<https://www.youtube.com/watch?v=osyhTjHrQ-A>

BMW Assembly Line – Universal Robots

<https://www.youtube.com/watch?v=cCR0Bmw5TxI>

BMW i3 Factory Production Tour

https://www.youtube.com/watch?v=pa5_tudyAF8

BMW Production Plant Spartanburg

<https://www.youtube.com/watch?v=tqMQOGwX5DE>

<https://vimeo.com/27162988>

Bosch GmbH, Standort Blaichach – Sicherheitssysteme ABS/ESP

<https://www.youtube.com/watch?v=WA94ALxiXjA>

Bosch Rexroth Group, Homburg – Multiproduktlinie

<https://www.youtube.com/watch?v=EHia9KZd69A>

Electrolux Robotics – Cooker door assembly line
<https://www.youtube.com/watch?v=awfG1SUW5Is>

Festo-Technologiefabrik Scharnhausen, Baden-Württemberg
<https://www.youtube.com/watch?v=dvzsHOup8Rk>
https://www.youtube.com/watch?v=kD-H_RX0-Jo

GE Aviation Cincinnati, additive manufacturing
<http://www.geaviation.com/company/additive-manufacturing.html>

Horizons Optical, Optician2020
<https://vimeo.com/149969103>

Kärcher Alfred GmbH & Co. KG „Floor Care Zukunft“ –
Scheuersaugmaschinen
<https://www.kaercher.com/de/inside-kaercher/newsroom/themenwelten/industrie-4-0.html>

Midea leads in robotic production
<https://www.youtube.com/watch?v=2dJewkJZ4PU>

Nowy-Styl-Group-Werk Jasło, Polen
<https://www.youtube.com/watch?v=kDPIkoLptwc>

Phoenix Contact – Elektrotechnik und Automation
<https://www.youtube.com/watch?v=W0USosT209I>

Porsche 911 Production – How Porsche 911 is made
<https://www.youtube.com/watch?v=l8iuBPYgTvs>

Sedus Stoll AG, Waldshut, BW – Büroeinrichtungen
<https://www.youtube.com/watch?v=5cHjJZWE1jw>

Siemens-Elektronikwerk Amberg
<https://www.youtube.com/watch?v=PMEoav353J8>

Van Hoecke NV, Sint-Niklaas, Belgien –
Maßgefertigte Möbel mit Blum-Beschlägen
https://www.youtube.com/watch?v=hu5s-JNg6eE&list=PLZpyKj_lox-AIjktf3t-alnjfOqJ_XuLW&index=5

Wittenstein Bastian GmbH, Fellbach – Verzahnungstechnologie
<https://www.youtube.com/watch?v=FjfOIYDHCrk>

Bildnachweise

- Kapitel 1: Copyright © Nowy Styl Group
- Kapitel 2: Copyright © Festo AG & Co. KG
- Kapitel 3: Copyright © Indo Horizons
- Kapitel 4: Copyright © Avinent Implant System S.L.
- Kapitel 5: Copyright © Siemens AG
- Kapitel 6: Copyright © Electrolux AB
- Kapitel 7: Copyright © Bayerische Motoren Werke Aktiengesellschaft
- Kapitel 8: Copyright © DMG MORI Aktiengesellschaft
- Epilog: Copyright © Avinent Implant System S.L.

Über den Autor



Christoph Ernst Mandl ist Privatdozent im Fachgebiet Operations Research an der wirtschaftswissenschaftlichen Fakultät der Universität Wien mit dem Berufstitel Außerordentlicher Universitätsprofessor. Schon während seiner Zeit als Hochschulassistent und Doktorand am Institut für Operations Research der ETH Zürich in den 1970er-Jahren befasst er sich mit der Analyse und Verbesserung von Fertigungsprozessen unter Zuhilfenahme mathematischer Optimierungsverfahren und des Computers. Ist er bis zu seinem 35. Lebensjahr vor allem wissenschaftlich tätig, mit Aufenthalten als Visiting Scientist am Operations Research Center des MIT, als Visiting Professor am Department of Industrial Engineering der Pontificia Universidade Catolica in Rio de Janeiro und als Research Scholar in der Management and Technology Area des International Institute of Applied System Analysis, so wechselt er dann von der Wissenschaft in die Wirtschaft. Im Jahr 1982 übernimmt er die Leitung der neu gegründeten Abteilung für Unternehmensplanung der Elin-Union AG, direkt dem Generaldirektor unterstellt. 1984 wird er zum Geschäftsführer der neugegründeten Softwarefirma Software Management GmbH, einer Tochterfirma der Elin-Union, spezialisiert auf Produktionsplanung und -steuerung, bestellt. Aus diesen Erfahrungen heraus publiziert er am 13. Juni 1987 in der Zeitung Die Presse seinen damals viel beachteten Artikel „Warum Österreichs Industrie taub und stumm geworden ist – Postulate der Informationsgesellschaft“. Im selben Jahr gründet er gemeinsam mit seinem Kollegen Hans-Jakob Lüthi von der ETH Zürich die Beratungsfirma Mandl, Lüthi & Partner mit Sitz in Wien sowie Zürich und macht sich damit selbständig. In den 1990er-Jahren liegt der Schwerpunkt seiner Tätigkeit in der Unterstützung von Industriebetrieben bei der Einführung von Produktionsplanung und -steuerung, Computer Integrated Manufacturing sowie Qualitätsmanagement. Dabei befasst er sich auch immer wieder mit den Risiken und Nebenwirkungen von Digitalisierung und Automatisierung, wie etwa in seinem Artikel „Computerintegrations-Projekte – Die Logik des Misslingens“ in

der Schweizer *io Management Zeitschrift* sowie im Artikel „Warum zahlt die Donau keine Steuern, wenn sie durch ein Kraftwerk fließt?“ in *Der Standard*.

Im 21. Jahrhundert wechselt er graduell seinen Fokus hin zu Innovation, Evaluation von Innovationsprojekten, insbesondere im Bereich Energietechnologien, sowie zum strategischen Umgang mit Komplexität. Auch bei den Auftraggebern kommt es zu Veränderungen von der Industrie hin zur öffentlichen Hand. Im Auftrag der Europäischen Kommission ist er Chairman des Panels für das „Five year assessment related to the specific programmes Innovation / Innovation & SMEs covering the period 1995 to 1999“, Member des Panels für das „Five Year Assessment of Community research activities (1999–2003)“ und Chairman des Panels für das „Monitoring 2004 – Implementation of Activities under the EC and Euratom Framework and Corresponding Specific Programmes“. Den Bezug zur industriellen Fertigung und ihrer Prozesse bewahrt er sich unter anderem durch seine Mitwirkung am Evaluation Panel des Programms „Factory of the Future – Improved use of renewable resources at factory level“ im Auftrag der Europäischen Kommission, aber auch durch seine Unterstützung der Gründung des Vereins „Industrie 4.0 Österreich – Plattform für intelligente Produktion“ im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr, Innovation und Technologie.

Neben der Arbeit an diesem Buch gilt seine ganze Aufmerksamkeit dem Klimawandel und wie man diesem durch marktwirtschaftliche Interventionen vielleicht doch noch beikommen kann, in Verantwortung gegenüber seinen Kindern, Enkelkindern und deren weltweiten Altersgenossinnen und -genossen. Deshalb schreibt er nunmehr an dem Buch „Managing Complexity – Emergence and Leverage Points in Social Systems“, welches 2018 erscheint.

Register

3D-Druck 11, 54, 58, 132
3D-Scanner 49, 93, 130

Adaptivität 146
Advanced Manufacturing 10
Aktivität 77
Akzeptanz 94
Alleinstellungsmerkmal 110
Anerkennung 139, 145
Anforderung 25
Angst 135
Anlernzeit 75
Anpassungsfähigkeit 81
Arbeiterbewegung 137
Arbeitsbedingung 8, 12, 138
Arbeitskampf 142
Arbeitsplan 26
Arbeitsplatz 43, 98, 126
Arbeitsplatz-Ergonomie 142
Arbeitsteilung 77
Arbeitsvorbereitung 26, 121
Arbeitsweise 25, 121
Argon 60
Assembly Planner 95
Aufgabe 139
Aufstieg der Roboter 135
Auftraggeber-Auftragnehmer-Beziehung 140
Augmented Visual Inspection 103
Ausfallsicherheit 131
Ausschuss 20
Automatisierter Arbeitsplatz 75
Automatisierte Montage 40
Automatisierung 8, 37, 44
Automatisierungstechnik 35
Automatisierungsvorhaben 139
Autonomer Betrieb 73
Autonomie 73
Autorität 146

Bandgeschwindigkeit 111
Barcode 22, 102
Barriere 94
Batteriemontage 109
Bedienung 24, 42
Bedrohung 77
Befehl 147
BelegschaftsvertreterInnen 145
Bell Daniel 146
Besprechung 77
Bestückung 75
Bestückungsprogramm 79
Betreuung 42
Betriebliche Mitbestimmung 137
Betriebsdatenerfassung 74
Betriebsklima 130, 131, 142
Betriebsrat 42, 80, 119
Big Data 75
Bildererkennung 101
Biomedical Engineering 59
Bohrschablone 59
Bonussystem 27
Bottom up 130
Bremsklotz 138

Circulus virtuosus 131
CNC-gesteuerte Maschine 21, 23, 25
Codebook 30
Computer Integrated Manufacturing 10, 129
Computerized Numerical Control 11
Computerprogrammierung 128
Computertomografie 59

Dampfmaschine 8
Defects per Million (dpm) 71
Diagnostisches Know-how 42
Dienstleistungserbringung 61
Diffusionsgeschwindigkeit 128

Digitale Revolution 8
Digitalisierung 11, 37, 117, 120
Digital Twin 92
Direkte Fertigungskosten 133
Direkte Lohnkosten 134
Dritte industrielle Revolution 8
Durchlaufzeit 99, 117
Dynamischer Engpass 94

Echtbetrieb 92
Effizienz 100
Einsparung 74
Einzelfertigung 20, 37
Einzelrückmeldung 74
Elektromotor 109
Elektronik 110, 111
Elektrotechnik 109, 111
Endmontage 118
Engpass 64
Entrepreneurship 127
Entwicklung 43
Entwicklungsprozess 79
Erfahrung 29, 141, 144
Erfinder- und Unternehmergeist 136
Ergonomie 42, 100
Ergonomische Verbesserung 139
Erste industrielle Revolution 8
Europäischer Strukturfonds 18
Exoskelett 101, 108
Expertise 112, 140, 144
Exponentielles Wachstum 9
Export 125

Fachkraft 97
Factory of the Future 10
Fahrzeugbau 111
Fake News 135
Fehler 26, 77
Fehlerhafter Arbeitsplan 26
Fehlerhäufigkeit 71
Fehlerquelle 75
Fehlerrate 71
Fehlhandlungssicherheit 100
Fertigungsbereich 94
Fertigungsfluss 93

Fertigungsinsel 111
Fertigungs-Know-how 65
Fertigungsorganisation 118
Fertigungsplanung 76, 121
Fertigungsprozess 58, 130
Fertigungsstraße 70, 99
Fertigungssystem 28
Fertigungstiefe 86
Filetransfersystem 64
Firmenkultur 139
Fixkosten 132
Flexibilität 79, 100
Fliehkraftregler 8, 67
Fließband 111
Formenkomplexität 134
Französische Revolution 10
Frauen 91
Funktionalität 79
Funktionstester 78

Genauigkeit 89
Gesamtüberblick 119
Geschäftsmodell 47, 62
Geschicklichkeit 91, 95
Gestaltungskraft 146
Gewinne 137
Goethe, Johann Wolfgang von 30
Google Glass 101
Grundmontage 118
Grundverständnis 121

Hardware 79
Heimindustrie 125
Hektik 77, 111
Herausforderung 110
Hierarchie 142, 146
Hochautomatisierung 77
Hochschule 29, 134
Holzindustrie 15
Hull Chuck 60

Ideenschmiede 36, 43, 139
Impact 98
Implantat 59
Inbetriebnahme 20

Individualisierung 70
 Industrie 4.0 10
 Industriegesellschaft 8
 Industrielle Evolution 136
 Industrielle Mutation 127
 Industrielle Revolution 136
 Industrieroboter 11, 39
 Informatik-Know-how 130
 Informationsbereitstellung 119
 Informationsgesellschaft 146
 Informationstechnische Integration 10
 Innovation 7, 8, 67, 127
 Innovationsansatz 112
 Innovationsfähigkeit 144
 Innovationskraft 98, 111
 Innovationspionier 131
 Inspektion 102
 Instandhaltung 41, 100
 Integration 27
 Integrierter Schaltkreis 9
 Intel 8080 126
 Intellektuelle Zusammenarbeit 42
 Interessenskonflikt 12, 135, 142
 Intrapreneurship 146
 IT-System 27

Just in time 99

Kampfmaßnahme 142
 Kapitalgesellschaft 147
 Kapitalist 137
 Kernkompetenz 111
 Klon 68
 Know-how 30, 94, 141, 144
 Know-how-Engpass 41
 Kollaborativer Roboter 11, 38, 42, 101
 Kombinatorische Komplexität 19
 Kommunikation 76
 Kommunikationskultur 21
 Kommunikationsstruktur 147
 Kommunikationstraining 76
 Kompetenz 94
 Komplexität 7, 78
 Konfigurator 26
 Konsequenz-Denken 82

Kontinuität 30
 Konzentration 82
 Kosten 36, 70
 Kostenrahmen 21
 Kostenreduktion 55, 132
 Kreativität 82
 Kündigung 139
 Künstliche Intelligenz 125

Lagerdenken 147
 Layout Engineer 95
 Lernen 44
 Lernfabrik 36, 43, 129, 139
 Lernfähigkeit 82
 Lieferant 27, 74, 75
 Lieferbereitschaft 78
 Liefertreue 36
 Lieferung 75
 Lieferzeit 29
 Logik des Misslingens 146
 Logistics Planner 95
 Logistik 101
 Logistikplanung 144
 Losgröße 1 20, 58, 102, 117, 130

Macht 147
 Made4U 47
 Management 139, 145
 Männer 91
 Manuelle Tätigkeit 25, 41, 75, 129
 Manueller Zwischenschritt 120
 Manufacturing Engineering 95
 Markt 134
 Marktentwicklung 64
 Maschine 27
 Maschinenbau 109, 110
 Maschinenbau-Know-how 110
 Maschinenbautradition 97
 Maschinenbedienung 42, 75
 Maschinenintelligenz 82
 Maschinensteuer 132
 Maschinenstillstand 70
 Maschinenstörung 28
 Maschinenstürmer 135
 Massenfertigung 20

- Maßfertigung 55
- Mechanischer Webstuhl 8
- Mechanisierung 8, 126
- Menschenleere Fabrik 41
- Mensch-Maschine-Kooperation 106
- Mensch-Maschinen-Schnittstelle 120
- Mensch-Roboter-Kooperation 38
- Mikroprozessor 67
- Minifabrik 54
- Mitarbeitergespräch 81
- Mitbestimmung 12, 138
- Mitbestimmung 4.0 146
- Mitbestimmungsrecht 137, 138
- Mitbewerber 110
- MIT Computer Science and Artificial Intelligence Laboratory 106
- Mitentscheidung 137, 138, 141
- Mitwirkung 137
- Modulare Montage 111
- Montage 95, 99, 101
- Montagelinie 111
- Montageprozess 109
- Montageteam 119
- Moore Gordon 8
- Mooresches Gesetz 67
- Muskelkraft 91

- Nachfrage 98
- Nervenzelle 9
- Netzwerk 77
- Niedergang 126
- Nutzen 63
- Nutzungsdauer 63

- Olympia 126
- Operation 63
- Optician2020 47
- Optimierung 24
- Organigramm 77
- Organisatorische Umstellung 119

- Papierlose Fabrik 25, 131
- Paretoprinzip 37
- Partizipation 12

- Partnerschaft 31
- Personal 73
- Personenbezogene Daten 80
- Persönlichkeitsrecht 142
- Pilotprojekt 38
- Pilottraining 43
- Pilotwerk 94
- Pionierphase 140
- Pionierunternehmen 12, 125
- Planung 95
- Planungsphase 94
- Plastizität 144
- Popper Karl 135
- Postindustrielle Gesellschaft 146
- Prämie 77
- Preisdruck 58
- Problemlösungskompetenz 42
- Produktdesign 26
- Produktentwicklung 43, 55
- Produktfertigung 61
- Produktion 43
- Produktionsform 10
- Produktionsüberwachung 144
- Produktivität 70
- Produktivitätssteigerung 74
- Produktlebenszyklus 79
- Produktmodifikation 89
- Produktvariante 37
- ProgrammiererInnen 78
- Projektplan 21
- Prozessqualifizierung 43
- Prozessschritt 74
- Prozesssimulation 93
- Prozessstabilität 89, 100
- Pufferlager 94
- Pufferspeicher 88

- Qualifikation 94, 120
- Qualifikationserfordernis 133
- Qualifizierte Arbeitskraft 97
- Qualität 36, 70
- Qualitätsanforderung 104
- Qualitätskontrolle 95
- Qualitätsmanagement 144

Qualitätsmaximierung 74
Qualitätsproblem 75
Qualitätsprüfung 101

Rahmenbedingung 130
Rationalisierung 132
Raycasting 59
Reduktion der Arbeitsteilung 119
Reduzierung der Durchlaufzeit 119
Reflexion 112
Regelungstechnik 67
Reparatur 28, 95
Respekt 139, 144, 147
Rethink Robotics 106
Revolution 10
Roboter 8, 74
Roboterarm 106
Roboterinsel 88
Robotersteuerung 92
Roboterstürmer 135
Robotic & Human Engineer 95
Robotik 8
Rotation 27
Routinearbeit 42
Rückmeldung 119
Rüstzeit 120

Safety 100
Schnittstelle 27
Schöpferische Zerstörung 127
Schulung 71, 129
Schulungsaufwand 120
Schulungsbedarf 139
Schumpeter Joseph 127
Schutzeinrichtung 106
Schweißer 88
Selbstdiagnose 28
Sensoren 11, 28
Serienfertigung 37
Smart Manufacturing 10, 97
Software 79, 110
Soziale Innovation 146
Soziale Intelligenz 142, 146
Soziale Kompetenz 42

Soziales Verhältnis 8
Sozialkompetenz 31, 130
Spezialanfertigung 58
Spinnereifabrik 125
Spinmmaschine 8
Spracherkennung 103
SPS 67
Standortstrategie 99
Stellplatz 119
Steuerung 67, 75
Stillstand 41
Störfall 29, 41, 131
Störung 41, 99
Störungshäufigkeit 131
Stresslevel 77
Subsidiaritätsprinzip 142
Synapse 69

Tablet-PC 131
Tätigkeitsbereich 26
Taylorismus 8
Teamfähigkeit 146
Technische Planung 144
Technischer Fortschritt 10
Technologie 8
Technologische Revolution 7, 125
The Second Machine Age 136
Time to Market 55
Top down 129, 130
Touchscreen 11, 131
Trainingsprogramm 129
Transparenz 119
Treiber 94

Überwachung 24, 75
Umbruch 110
Umfeld 81
Umgeschulte Person 27
Umlernen 111
Umschulung 43, 81, 129
Unfall 60
Ungeplanter Stopp 99
Universal Robotics 106
Unsicherheit 111

Unternehmenskultur 31, 145
Unternehmerische Entscheidung 137
Urkonflikt 147

Ventilinsel 35
Veränderung 26, 100
Veränderungsprozess 144
Verantwortung 139
Verarmung 126
Verbesserungsvorschlag 77
Verbraucherpreisindex 126
Verbrennungsmotor 109
Verfügbarkeit 100
Verkabelung 91
Verlagerung 94
Verletzung 71
Verlust des Arbeitsplatzes 135
Vernetzung 81
Verpackungsroboter 90
Vielfalt 77
Vierte Industrielle Revolution 7

Währungsrisiko 99
Wartung 28, 42, 81, 95
Wartungsarbeit 29, 120

Weberaufstand 126
Weberei 97
Weiterbildung 43
Weiterbildungsmaßnahme 131
Weiterentwicklung 81
Weltwirtschaftsforum 7
Werksengineering 41
Wertschätzung 131
Wettbewerbsfähigkeit 38, 135, 138, 139
Wettbewerbsvorteile 28
Widerstand 126
Wirtschaftskrise 16
Wirtschaftswandel 10
Wissen 7
Wissensbasierte Mitgestaltung 146
Wissensgesellschaft 146
WissensträgerInnen 130

Zeitdruck 82
Zukunftsangst 125
Zulieferer 98
Zusammenarbeit 42, 139, 140
Zusammenwirken 27
Zweite industrielle Revolution 8