



Die Zukunft der Produktion

27. Bremer Universitäts-Gespräche
am 13. und 14. November 2014

Wissenschaftliche Koordination
Prof. Dr.-Ing. habil. Dr.-Ing. E. h. Ekkard Brinksmeier und
Prof. Dr.-Ing. habil. Matthias Busse
Universität Bremen

27. BREMER UNIVERSITÄTS-GESPRÄCHE 2014

Wolfgang-Ritter-Stiftung
Universität Bremen
unifreunde e.V.

Veranstalter und Herausgeber der Dokumentationsreihe:
Wolfgang-Ritter-Stiftung
Universität Bremen
Gesellschaft der Freunde der Universität Bremen und der Jacobs University Bremen e.V.

27. Bremer Universitäts-Gespräche
Die Zukunft der Produktion

Wissenschaftliche Koordination:
Prof. Dr.-Ing. habil. Dr.-Ing. E. h. Ekkard Brinksmeier und Prof. Dr.-Ing. habil. Matthias Busse

Redaktion und Bearbeitung:
Dr. Christina Jung, Universität Bremen

Lektorat: Dr. Tilman Fischer

Druck: Ernst Helbig GmbH, Bremervörde

Bremen 2015
Auflage: 2.200

Die Deutsche Bibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie.
Detaillierte bibliografische Daten unter <http://dnb.ddb.de>

ISBN 978-3-7308-1168-9

Preis: 10,65 €

Weitere Informationen unter www.wolfgang-ritter-stiftung.de



BREMER
UNIVERSITÄTS-
GESPRÄCHE

Dokumentation

Die Zukunft der Produktion

Universitätsverlag Isensee · Oldenburg

Die Idee

Seit 1988 lädt die Wolfgang-Ritter-Stiftung jährlich Vertreter aus Wissenschaft, Politik und Wirtschaft sowie gesellschaftlich relevanten Gruppen zu den Bremer Universitäts-Gesprächen ein. Ziel ist es, einen Dialog zu zeitaktuellen Themen über den wissenschaftlichen Rahmen hinaus anzuregen und der Diskussion neue Impulse und Praxisrelevanz zu verleihen. Die Schriftenreihe der Veranstalter dokumentiert die Gespräche für die Öffentlichkeit.

Einführung

Prof. Dr.-Ing. Bernd Scholz-Reiter
Das Thema 7

Die Zukunft der Produktion

Prof. Dr.-Ing. Dr. h. c. Matthias Kleiner
Produktionsforschung sichert die Zukunft 9

Prof. Dr.-Ing. Christian Brecher, Dr.-Ing. Werner Herfs, Denis Özdemir
Integratives Produktionsverständnis – Schlüssel zu mehr Wertschöpfung in Hochlohnländern 17

Prof. Dr.-Ing. habil. Marion Merklein, Prof. Dr.-Ing. Michael Schmidt,
Dr.-Ing. Dietmar Drummer, Michael Lechner, Daniel Junker
Produktionstechnik morgen – flexibel und individualisiert 27

Prof. Dr.-Ing. habil. Matthias Busse
Elektromobilität bewegt – auch die Produktionstechnik? 37

Michael Frieß, Markus Völkel, Dr. Jan Erik Gans
Produktion und Mobilität der Zukunft 41

Grußwort

Prof. Dr. Eva Quante-Brandt
Senatorin für Bildung und Wissenschaft der Freien Hansestadt Bremen 49

Tischrede

Prof. Dr. Heiko Starobom, Die Sparkasse Bremen AG 53

Anhang

Teilnehmerinnen und Teilnehmer der 27. Bremer Universitäts-Gespräche	59
Die Bremer Universitäts-Gespräche	63

Das Thema

Prof. Dr.-Ing. Bernd Scholz-Reiter

Die industrielle Produktion in Deutschland steht für Innovationskraft, Wohlstand und Beschäftigung. Produktion schafft Arbeitsplätze, auch in indirekten Dienstleistungsbereichen. Damit ist etwa jeder zweite Arbeitsplatz mit der Produktion verbunden. Deutschland ist Motor der europäischen Wirtschaft und nimmt auch mit der Hightech-Strategie der Bundesregierung weltweit eine Vorreiterrolle ein. Dabei ist die starke Kooperation von Wissenschaft und Wirtschaft eine der Stärken des Standortes Deutschland.

Die Rahmenbedingungen für die Produktion haben sich in den letzten Jahrzehnten gewandelt und setzen den Produktionsstandort Deutschland auch zukünftig unter Druck. Globalisierung, Ressourcenverknappung, Klimawandel, die Durchdringung mit neuen Technologien oder die Dynamisierung von Produktlebenszyklen sind Veränderungen, die einer aktiven Mitgestaltung bedürfen. Dem Einsatz moderner Informationstechnologien kommt dabei eine zunehmend zentrale Rolle zu. Heutzutage stellen sie ortsunabhängig immer umfangreichere Informationen bereit, die zu intelligenten Produkten, Dienstleistungen und ganz neuen Geschäftsmodellen führen. In der Fabrik der Zukunft bilden beispielsweise alle Bauteile ein selbststeuerndes Informationsnetzwerk, das eigenständig kommuniziert und entscheidet. Im logistischen System der Zukunft bestimmen Ladungsträger ihren Weg selbst und optimieren

die Route oder die Transportbedingungen nach Bedarf. Die 4. Industrielle Revolution steht in der Praxis bevor. In der Wissenschaft sind dafür auch in einem Sonderforschungsbereich der Universität Bremen die Grundlagen gelegt worden.

Vor dem Hintergrund dieser grundlegenden Veränderungen und der zunehmenden technologischen Möglichkeiten haben die Bremer Universitäts-Gespräche 2014 sich der Zukunft der Produktion gewidmet. Ein Thema, das auch mir persönlich als Produktionstechniker und Professor für Planung und Steuerung produktionstechnischer Systeme am Herzen liegt. Namhafte Referentinnen und Referenten haben am 13. und 14. November 2014 mit einem sehr sachkundigen Publikum Zukunftsszenarien der Produktion in drei Themenfeldern diskutiert: Globalisierung von Produktion und Entwicklung, Individualisierte Produktion und Beherrschung der Komplexität sowie Automobile Produktion im Wandel. Die wissenschaftliche Koordination der Bremer Universitäts-Gespräche 2014 lag bei Prof. Dr.-Ing. habil. Dr.-Ing. E. h. Ekkard Brinksmeier und Prof. Dr.-Ing. habil. Matthias Busse (Universität Bremen), denen ich für die erfolgreiche Organisation und Durchführung ebenso herzlich danke wie für die ideelle und finanzielle Ermöglichung der Wolfgang-Ritter-Stiftung und den Unifreunden.

Ihnen wünsche ich eine erhellende Lektüre der hier zusammengestellten Beiträge der 27. Bremer Universitäts-Gespräche.

Ihr Prof. Dr.-Ing. Bernd Scholz-Reiter
Rektor der Universität Bremen

Produktionsforschung sichert die Zukunft

Prof. Dr.-Ing. Dr. h.c. Matthias Kleiner

Sehr geehrte Kolleginnen und Kollegen,

die Bremer Universitäts-Gespräche haben seit 1988 eine lange und gute Tradition, Austausch zwischen Wissenschaft, Politik und Wirtschaft lebendig zu gestalten und regelmäßig zu pflegen, und gerade aus meiner noch jungen Sicht als Präsident der Leibniz-Gemeinschaft heraus erfahre ich doch immer wieder, wie wichtig eine vielstimmige Aussprache und Debatte vor Ort, an regionalen Standorten und unter thematisch-wissenschaftlicher Schwerpunktsetzung ist.

Umso mehr freue ich mich, heute den Auftakt mit Ihnen gestalten zu dürfen, der zusätzlich noch einem besonderen Schwergewicht meiner eigenen wissenschaftlichen Laufbahn – der Produktionsforschung – gewidmet ist.

Ich verbinde also die inter-, ja sogar transdisziplinäre Perspektive einer übergreifenden Forschungsorganisation mit den Erfahrungen und Einsichten einer Fachdisziplin, die sich aber ebenfalls eingebunden weiß in ein Netz disziplinärer Zusammenarbeit, um zukunftsfähige Ergebnisse zu erzielen.

Wir alle hier teilen eine Gewissheit: Wissenschaft und Forschung sichern die Zukunft eines Landes, einer Gesellschaft und ihrer Menschen. Was heißt das konkret, was kann das heißen, wenn die Anzahl an Forscherinnen und Forschern je 1.000 Beschäftigte in Deutschland 8,2 beträgt, wie eine Studie zum Innovationsindikator 2014

der Deutschen Telekom Stiftung und des BDI, des Bundesverbandes der Deutschen Industrie, unlängst nachgewiesen hat? Wie ist dieser proportionale Stand zu beurteilen – angesichts von Tragweite und Tragfähigkeit, die Wissenschaft und Forschung zugesprochen werden? Oder wie bewerten wir den folgenden Stand: 2014 kommen 17 Patente aus der öffentlichen Forschung auf eine Million Einwohner in Deutschland? Weitere wissenschaftsbezogene Indikatoren des Innovationsindikators sind etwa

- die Zahl der wissenschaftlich-technischen Artikel im Verhältnis zur Bevölkerung;
- die Qualität der Wissenschaftseinrichtungen auf Basis von Experteneinschätzungen oder
- der Anteil an Ausgaben für Forschung und Entwicklung (FuE) in staatlichen Forschungseinrichtungen und Hochschulen am Bruttoinlandsprodukt (BIP).

Dafür ist die Produktionsforschung nicht nur ein anschauliches und vielfältiges Feld, sondern auch ein besonders wichtiges für den Zweig von Produktion und produktionsnahen Dienstleistungen.

Diese Differenzierung hat das Rahmenkonzept Forschung für die Produktion von morgen noch vorgenommen, als mit Produktion in ihrer Gesamtheit bereits mehr als zwei Drittel der Wirtschaftsleistung in Deutschland erzielt wurden – vor gut fünfzehn Jahren. Die Zukunftsbedeutung

von Produktion hat sich dementsprechend schon lange unmittelbar in Arbeitsplätzen und einem hohen Lebensstandard niedergeschlagen.

Etwas anders formuliert es bereits der Titel des neuen Forschungsprogramms des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF) von 2014: Innovationen für die Produktion, Dienstleistung und Arbeit von morgen .

Der heute selbstverständliche Schulterschluss von Produktion und Dienstleistung ist an sich bereits innovativ. Innovationen ermöglichen es heute und zukünftig, Produktion und Dienstleistungen nicht als unterschiedliche Schritte entlang von Erzeugungs- und Vertriebsprozessen zu betrachten, sondern sie auf vielfältige Weise miteinander zu verquicken.

Dienstleistungen erzielen immerhin 70 Prozent des Bruttoinlandsprodukts (BIP) in Deutschland. Zugleich ist Deutschland ein ausgewiesener Produktionsstandort und wird und soll es bleiben. Dass Deutschland sein Fundament der Produktion nicht verlassen hat, sichert beständig und in besonderer Weise den Wohlstand unseres Landes – gerade in der Verbindung und mit fließenden Übergängen mit Service- und Dienstleistungen sowie Handhabung. Damit wurde auch endgültig der scheinbare Gegensatz von Old Economy und New Economy überwunden.

Der aktuelle Fokus gilt folgerichtig der Vernetzung innerhalb der Produktionsforschung mit Informations- und Kommunikationstechnologien und zwischen unterschiedlichen Anwendungsgebieten; er gilt der interdisziplinären Zusammenführung von Forschungs- und Entwicklungsfragen, die in einem nächsten Schritt eng mit Dienstleistungen und Service zusammenhängen: Logistische und distributionelle Randbedingungen, erwerbs- und einsatzbegleitender Service in

Nutzung und Wartung, Möglichkeiten der Nach- und Wiederverwendbarkeit, um nur einige beispielhaft zu nennen.

Daraus folgt umgekehrt, dass Forschung für Dienstleistung ihrerseits eng auf Produktion und ihre Bedingungen bezogen ist. Von der sicheren Speicherung und Handhabung von Kundendaten profitiert selbstverständlich auch der Industrie- und Produktionssektor. Ich werde später noch auf ein Beispiel von angewandter Forschung eingehen, in welchem Produktion und Informationstechnologien auf wunderbare Weise zusammenwirken und Patienten im wahrsten Sinne des Wortes einen Dienst leisten. In so unterschiedlichen und wichtigen Bereichen wie Sicherheit, Klima, Energie, Ernährung und Gesundheit, Mobilität und Kommunikation braucht es Forschung, die Produktion und Dienstleistung gleichermaßen betrifft.

Die Zukunft, die die Produktionsforschung sichert, manifestiert sich gleichsam in drei Perspektiven der Zukunft, in denen wir auch in Wissenschaft und Forschung gewohnt sind zu denken oder sie selbstverständlich mitdenken: Es sind die Dimensionen des Individuums, der Wirtschaft und der Gesellschaft, und sie alle sind ganz offensichtlich miteinander verbunden.

Aus ihnen heraus bestimmen wir die Erfordernisse der Zukunft. Was zukünftige Produkte aller Art können, leisten und haben, wie sie beschaffen sein müssen, bestimmen wir vom Heute aus.

Insofern sind unser gegenwärtiger Status und unser Verständnis davon bestimmend für die Produktionsforschung. Es war schon die Rede von Nachhaltigkeit und Effizienz. Historisch betrachtet sind Ressourcenknappheit und steigender Energiebedarf entscheidende Wegweiser für nächste Stufen der Produktionstechnik. Es gilt,

neue oder bisher ungenutzte Materialien und ihre Eigenschaften zu erforschen beziehungsweise Wege zu finden, ihre Eigenschaften für sichere Produkte optimal einzusetzen – etwa in der Automobilforschung; es gilt aber auch in der Forschung selbst, weniger – viel weniger – Energie zu verwenden und dafür zum Beispiel Produktionsabläufe erheblich zu verkürzen oder zu kombinieren. Das hat etwa in meiner Disziplin der Umformtechnik dazu geführt, Hybridprozesse zu entwickeln, die verschiedene Stufen und Umformprozesse integrieren.

Eine andere Reaktion darauf, die zugleich auf neuen technischen Möglichkeiten beruht, die man auslotet, ist die 3D-Druck-Technik, die ja in gewisser Weise eine echte Konkurrenz zur Umformtechnik darstellt. Sie ermöglicht zunehmend die Herstellung von Produkten, die bisher mit den Mitteln der Gießtechnik, der Umformtechnik oder der Zerspanungstechnik entstanden sind. Diese innovativen Fertigungsmethoden überholen uns also von der Seite, oder sagen wir es vorsichtiger: Sie holen auf. Statt sie aber ausschließlich als Konkurrenz zu betrachten, gibt sie der klassischen Umformtechnik etwa neue Aufgaben: Was sind ihre eigenen Alleinstellungsmerkmale? Wo gibt es Integrationsmöglichkeiten oder sogar Integrationserfordernisse mit neuen Technologien? Wo können oder müssen Technologien aus verschiedenen Bereichen kombiniert werden?

Ich könnte Ihnen von manch einer Idee berichten, die zunächst als spinnert belächelt und kopfschüttelnd beäugt wurde, die heute als gängige Technologien anerkannt sind, zum Beispiel 3-D-Strangpressen von Spänen und die Finite-Elemente-Methode (FEM) für Pressteile im Automobilbereich.

Ganz gleich, welches Beispiel Sie sich – oder besser: ich Ihnen heute vor Augen führe, wichtig ist meines Erachtens, sich darüber bewusst zu sein, aus welchen heutigen Impulsen kreative und bisweilen langwierige, völlig überraschende Wege der Forschung, Entdeckung und Produktion morgen entstehen.

Die Not, die aus unserem heutigen Wissen etwa über drohende Ressourcenknappheit entsteht, ist demnach zugleich ein Reichtum und Motor für Forschungs- und Entwicklungsprozesse. Gleiches gilt für Impulse von anderer Seite, etwa der Energiewende in Deutschland, die unter dem Eindruck der Havarie im japanischen Fukushima nun letztlich einen erheblichen Forschungsbedarf ausgelöst hat. Seine Erfüllung muss und wird die Zukunft unserer Energieversorgung sichern, die basierend auf vernünftigen und balancierten Erwägungen gesetzlich notwendig gemacht wurde.

Auch das globale Bevölkerungswachstum und der national variierende demographische Wandel bedingen primär Produktionsforschung. Lassen Sie mich an dieser Stelle einfügen, dass es mir fernliegt zu verkennen, wie wichtig und gefragt eigentlich jeder Wissenschaftsbereich bei der Bewältigung der Herausforderung ist, die wir Zukunft nennen.

Gerade die Relevanz so genannter sozialer Innovationen in der Umsetzung und vor allem für die gesellschaftliche und individuelle Akzeptanz technischer Umwälzungen ist unbestritten – darauf werde ich später ein wenig eingehen.

Anhand einiger Beispiele aus der Forschung, gerade nicht aus meinem Bereich, die mich aber persönlich beeindruckt und begleitet haben, möchte ich die meistens gezielten, manchmal auch absolut unvorhersehbaren Implikationen

aus der und für die Produktionsforschung im Folgenden illustrieren:

In Warnemünde gibt es das Marine Science Center, Europas größte Forschungsstation für Robben. Dort forscht Guido Dehnhardt im Projekt Robben zu so unterschiedlichen Themengebieten wie Audition, Chemosensorik, Haptik, Hydrodynamik, Visuelles System, Neuroanatomie und Kognition. Die Aufzählung allein ist beachtlich und lässt Übertragungsmöglichkeiten und Erkenntnisgewinne auch in anderen Disziplinen mehr als erahnen.

Eine Schlüsselfrage der Arbeitsgruppe unter der Leitung von Guido Dehnhardt lautet: Wie orientieren sich die Tiere? Im engeren Sinne wird nach ihren Orientierungsfähigkeiten unter den Bedingungen ihres Lebensraumes gefragt, in dem sie weite Strecken schwimmen und lange Zeit tauchen und auch im trüben und tiefen Wasser Beute erjagen können. Untersuchungen der sensorischen Fähigkeiten des Hörens, Sehens, Tastens und Riechens sowie der Informationsverarbeitung werden zur Beantwortung dieser Leitfrage in den Blick genommen.

Im Projekt Grundlagen visueller Wahrnehmung bei marinen Säugern im Sonderforschungsbereich 509 der DFG Neuronale Mechanismen des Sehens – Neurovision konnte eine junge Forscherin in ihrer Dissertation nachweisen, dass Seehunde lediglich über eine, wenn auch sehr sensitive Hell-Dunkel-Wahrnehmung verfügen, gepaart mit ausgeprägter Fehlsichtigkeit und schlechtem Farbsehen unter Wasser und an der Luft. Der Schlüssel zur Orientierungsfähigkeit der Tiere musste also anderswo liegen – in den Barthaaren, genannt Vibrissen, deren Qualitäten Guido Dehnhardt bereits zehn Jahre zuvor erstmals entdeckt hatte.

Anders und wesentlich sensibler als Katzen-schnurrhaare sind die Vibrissen der Seehunde laut Dehnhardt ein „aktives hydrodynamisches Rezeptorsystem und für den Beutefang überlebenswichtig“ im Wasser. Mithilfe ihrer bis zu zwanzig Zentimeter langen Barthaare können Seehunde kleinste Wasserbewegungen, also hydrodynamische Strömungen, wahrnehmen, die sie gewissermaßen als Reiz aufnehmen.

Das wurde herausgefunden, als Seehunde auch mit Augenmasken den Spuren eines ferngesteuerten Modell-U-Bootes im Wasser folgen konnten. Es konnte auch festgestellt werden, dass die Seehunde unabhängig von der Intensität ihrer eigenen Bewegungen und den Bewegungen des Wassers Fischen aufgrund der Wirbelspuren, die sie im Wasser hinterlassen, folgen und sie verfolgen können.

Damit nicht genug: Die Befunde haben die detaillierte Untersuchung von Reizunterscheidung und Reizverarbeitung angestoßen, die im DFG-Schwerpunktprogramm 1207 Strömungsbeeinflussung in der Natur und Technik, 2006 eingerichtet, verankert ist. Es dient der Erforschung und dem Verständnis von Mechanismen der Strömungsbeeinflussung.

Das Programm liest sich wie folgt:

Von der Mobilität der Mikroorganismen und Keimzellen bis zur makroskopischen Formgebung bei Pflanzen und Tieren und den unterschiedlichsten Formen der Lokomotion im Wasser und in der Luft – die Nutzung und die kontrollierte Beeinflussung strömungsdynamischer Prozesse spielen in der belebten Natur eine zentrale Rolle. Dabei hat die biologische Evolution auf den unterschiedlichsten Größenskalen eine Fülle faszinierender Mechanismen und innovativer Adaptionen hervorgebracht, die im Laufe der Selektion für den gege-

benen Kontext ganzheitlich optimiert wurden. Ziel des Schwerpunktprogramms ist es, den Austausch und die Wechselwirkung zwischen der Biologie, Strömungsmechanik und Mechanismen der Regelung auf dem dargelegten Gebiet gezielt zu fördern.

Darauf wollen wir ja hinaus: Ingenieurwissenschaftliche und industrielle Einsatzgebiete wie Durchflusssensoren für Gas- oder Wasserzähler oder die strömungsarme Gestaltung von Masten für Offshore-Windkraftanlagen oder in der Unterwasserrobotik sind Anwendungen, die bereits Guido Denhardt und seine Kollegen voraus- und mitgedacht haben. Dies sind nur ein paar Beispiele dafür, wie Erkenntnisse über Phänomene der Natur der Technik als Vorbild dienen. Das ist, neben dem reinen und mir sehr vergnüglichen Erkenntnisgewinn, ein in vielen Bereichen noch nicht ausgeschöpftes Konzept.

Der Transfer solcher Ergebnisse kommt der gesellschaftlichen und wirtschaftlichen Zukunft zugute. Ein Beispiel für die Bereicherung der medizinisch-gesundheitlichen Zukunft des Individuums, aber auch für den wirtschaftlichen Gewinn ist der so genannte Fitbone, dessen Entwicklung maßgeblich auf Wissen und Forschung der Ingenieurwissenschaften beruht:

Knochenbrüche heilen aufgrund eines körpereigenen Mechanismus, der Lücken im Skelett quasi neu füllt beziehungsweise ihre Mineralisierung veranlasst. Diese Tatsache hat man sich früh zunutze gemacht, um ungleichmäßig gewachsene Gliedmaßen einander anzugleichen – mit teilweise brachialen Methoden und langwierigen Maßnahmen, mit denen Knochenlücken absichtlich offen gehalten wurden, um das Wachstum des Körpers auf diese Weise kontinuierlich zu reizen.

Die aufwändigen Monturen, die Patienten tra-

gen mussten, lassen sich nun durch ein Implantat eines Marknagels ersetzen, der die Gliedmaßen aus dem Inneren heraus zur Verlängerung stimuliert. Zuvor jedoch mussten der mechanische Antrieb und die Energieversorgung gesichert sein. Ende der 1990er Jahre machte sich das Unternehmen Wittenstein gemeinsam mit Forschern daran, ihre Expertise im Motoren- und Getriebebau der Entwicklung eines Mini-Motors zu widmen, der bei kleinster Größe hohe Kräfte entfalten kann. Hier lässt sich weniger von Erkenntnistransfer sprechen: Vielmehr ging es um die Kombination und Auseinandersetzung zwischen Maschinenbau und Medizintechnik, um den Anforderungen an Stabilität und Sterilität des Implantats Genüge zu leisten.

Lediglich das Signal zur Verlängerung erhält der Mikromotor von einem Steuergerät außerhalb des Körpers. Das erfolgt über Hochfrequenzwellen, der Motor wird mittels des selben Verfahrens auch mit der nötigen Energie versorgt. Das lässt sich in definierten Abständen so oft wiederholen, bis das indizierte Ergebnis erreicht ist – meistens dauert es zwischen einem und zwei Jahren. In der letzten Phase der Mineralisierung stabilisiert der Marknagel den verlängerten Knochen nur noch und kann schließlich entfernt werden.

Es ist unmittelbar einsichtig, dass dieser kleine Marknagel auch bei Knochenbeeinträchtigungen nach operativer Entfernung von Tumoren, zur Überbrückung von Prothesenbefestigungen und zu kosmetischen Maßnahmen eingesetzt werden kann und wird.

Die technischen Möglichkeiten sind wunderbar vielfältig und zuallererst wichtig in ihrer positiven Auswirkung auf einzelne Personen, die durch sie Hilfe, Erleichterung, Schmerzfreiheit und Unabhängigkeit gewinnen. Dass ihr Einsatz

indes auch sozial- und geisteswissenschaftlicher Begleitung bedarf, ist ebenso offensichtlich in einer sich wandelnden Gesellschaft, deren Mitglieder mobiler werden und höheres Alter erreichen. Die Geistes- und Sozialwissenschaften zeichnen beispielsweise verantwortlich für die Vermittlung in die breite Öffentlichkeit sowie die Integration und Akzeptanz neuer Produkte in unser aller Alltag.

Wenn wir also die allgemeine Anwendungsinspiration von Forschung in den Fokus von Produktionsforschung rücken, so ergeben sich unterschiedliche Verhältnisse von Anschlussmöglichkeiten:

Es gibt beispielsweise natur- und lebenswissenschaftliche Forschung, die neue Implikationen für ingenieurwissenschaftliche Produkte beherbergt und in ihrer Folge motiviert; es gibt die von vornherein gemeinsame Erforschung und Entwicklung von ingenieurwissenschaftlich-medizintechnischen Produkten, und es gibt ingenieurwissenschaftliche Forschung in zunächst disziplinär oder vom Zweck her definierten Feldern, die ihrerseits den Transfer und Einsatz in anderen Gebieten nahelegen.

Das gilt in besonderer Weise für das Internet der Dinge, also die Verknüpfung uns vertrauter, physischer Objekte mit ihrer abstrakt-virtuellen Repräsentation, Handhabung und Steuerung. Es ordnet Menschen und Dinge gewissermaßen gleich. Es verbindet und verschmilzt Schnittstellen zwischen ihnen zur Überbrückung von Informationslücken. Das mag bisweilen fremd und bedenklich klingen, dient aber letztlich der Unterstützung von Menschen bei ihren Aktivitäten. Ein Ziel des Systems Internet der Dinge ist gerade, Computer dem Leben und Lebensprozessen an- und einzupassen, statt sie – wie bisher – als externe Instrumente zu

betrachten und zu verwenden.

Beispiele wie die Automatisierung von Bestellprozessen in Haushalt und Industrie, wo die Verfügbarkeit von Rohstoffen, und Material notwendige Voraussetzung für kontinuierliche Produktion und regelmäßige Versorgung ist, die Kontrolle von Vitalfunktionen über Sensoren in Kleidungsstücken oder, ebenso beeindruckend, die Qualitätssicherung von Lebensmitteln und Gütern, die inzwischen direkt in logistischen Prozessen erfolgt, zeigen dies unmittelbar.

Auf das Internet der Dinge baut Industrie 4.0 auf: Im Rahmen der Hightech-Strategie der Bundesregierung zielt sie darauf, die Produktionstechnik mit Informationstechnologien zusammenzuführen. So sollen wir es zunehmend mit den sogenannten Smart Factories zu tun bekommen, die schlussendlich Netzwerke von intelligenten Objekten bilden, die miteinander kommunizieren.

Sie wirken in vier Richtungen:

- Sie verknüpfen auf der einen Seite Produkte beziehungsweise Maschinen mit Informationen im Internet.
- Sie vernetzen auf der anderen Seite Produkte und Maschinen im fabriкеigenen Internet.
- Sie erfassen Kontextinformationen.
- Damit können sie Dienste und Leistungen nach Situation und Bedarf anbieten.

In gewisser Weise basiert die Smart Factory auf der Einsicht, dass sich viele beschränkt intelligente Wesen im kooperativen Modus hochintelligent verhalten können. Unnötig zu erwähnen, dass diese Überzeugung einen lebenswissenschaftlichen Ursprung hat, dem sehr vermutlich unter anderem die Ameisenkolonie Modell steht. Oder die

Musikwissenschaften und Soziologie, wenn sie gemeinsam die Funktionsweise von Orchestern und Chören reflektieren, in deren Zusammenspiel irgendwo der Schlüssel ihrer Qualität und ihres Klanges liegt? Suchen Sie sich ein Modell aus – beide illustrieren die Vorstellung der Smart Factory treffend, wie ich finde.

Handelt es sich bei Industrie 4.0 nun tatsächlich um die Zusammenführung zweier zuvor differenter Welten oder wird hier eine konsequente Weiterentwicklung beschritten? Schon der Begriff Industrie 4.0 legt eher die zweite Variante nahe, da er die ersten drei industriellen Revolutionen aufruft: Etwas verknüpft ausgedrückt mit den Schlagworten Mechanisierung, Massenfertigung und Digitalisierung, beschreiben die industriellen Revolutionen jeweils neue Ebenen der Produktion, ohne die anderen gänzlich abzulösen oder zu verdrängen. Vielmehr bietet gerade die Digitale Revolution als eine nächste Stufe von Automatisierung mittels elektronischer Komponenten und Informationstechnik das Fundament, auf dem sich Industrie 4.0 entwickeln kann. Gerade die Massenfertigung, die mit dem Einsatz von Fließbändern im Rahmen der zweiten industriellen Revolution möglich wurde, ist nicht verschwunden. Sie ist aber inzwischen nur noch ein Produktionsmodus auf der Skala, die Smart Factories abdecken sollen und können: Auf der anderen Seite stehen Losgrößen von 1, die individuellen Anforderungen gerecht werden.

In Smart Factories werden Produkte in die Lage versetzt, über sich selbst, ihre Eigenschaften und ihre Produktionserfordernisse Informationen weiterzuleiten. Sie kommunizieren in cyber-physikalischen Systemen drahtlos mit den Fertigungsstätten, genauer sind es sensor-aktuatorische Systeme, mit denen sich Produktteile mit Fertigungsmaschinen über Zeitpunkte und nötige Fertigungsschritte

verständigen und damit Produktionsabläufe flexibel gestalten und optimieren, wie die ZEIT in ihrer Ausgabe vom 23. Januar dieses Jahres in einem treffenden Sprechblasencomic darstellte.

Es handelt sich schlicht um die Kombination von Fertigungs- und Informationstechnik. Dass im Anschluss die Erweiterung von der intelligenten Produktion auf die intelligente Distribution von Produkten und damit ganzer Geschäftswelten möglich wird, ist ein nächster innovativer Schritt, der bevorsteht.

Wenn in Fabriken Produkte mit ihren Produktionsanlagen kommunizieren, dann können auch Produktionsanlagen mit externen Maschinen und Abnehmern kommunizieren, die Bedarfe an Nachschub oder Anforderungen melden.

Das alles legt die Reflexion unseres Begriffes von Innovation nahe, mit dem ich heute begonnen habe und ebenfalls schließen möchte. Innovation wird, wie angerissen, anhand von Indikatoren gemessen. Wenn man dafür die Anzahl an Forscherinnen und Forschern in Relation zu einer bestimmten Anzahl von Bürgern stellt, so impliziert das die Annahme, dass Forschung Innovation betreibt. Gleiches gilt für die Dokumentation von Patenten, von wissenschaftlich-technischen Publikationen oder die Beurteilung der Qualität von Forschungseinrichtungen hierzulande. Innovationsprozesse entstehen nicht so wie am Montagband sondern in der Wechselwirkung zwischen Erkenntnis und Anwendungsorientierung.

Was bedeutet also Innovation? Alltagssprachlich meinen wir damit häufig das gänzlich Neue, das Unbekannte – Erfindungen à la Daniel Düsentrrieb. Dem gegenüber steht ein engeres Verständnis, das Ideen und Konzepte erst dann als Innovation begreift, wenn sie greifbar und anwendbar geworden sind und einer kritischen Masse an Nut-

zern und einem konkreten Nutzen zur Verfügung stehen. Im wirtschaftlichen Sinne heißt das: wenn Ideen umgesetzt und marktreif sind. Das kann sich in ganz unterschiedlichen Feldern und Formen ereignen: innovative Produkte, innovative Produktionsweisen, innovative Organisation, innovativer Vertrieb oder innovative Produktgestaltung.

Die Produktionsforschung bedient diese offene Liste in vielfacher Weise. Auch soziale Innovationen stehen immer in einem Zusammenhang mit diesen Formen, sie sind ihre Voraussetzung, sie begleiten sie, sie bereiten sie nach.

Ohne sie geht es nicht, wenn mit technischen Innovationen neue Möglichkeiten entstehen, die in einem gesellschaftlichen Zusammenhang der Regulierung bedürfen.

Gerade die Forschung selbst, sei es nun die Produktionsforschung oder ebenso ein anderer Forschungszweig, erlebt den Innovationsprozess, der in der Produktion mit Informationstechnologien einhergeht, in eigener Weise: Netzwerke und digitale Publikations- und Diskussionsforen beschleunigen gemeinsame Erkenntnisprozesse, das Teilen von Daten und Ergebnissen und Kollaboration via informationstechnischer Systeme zwischen Forscherinnen und Forschern weltweit. Die Innovation von Forschungsprozessen folgt hier ebenso der technischen Innovation und erfordert wiederum einige Rahmensetzung und Verständigung – wissenschaftssoziale Innovationen, nenne ich das mal.

Das zeigt aber auch, dass Innovation „einfach passiert“. Zwar lässt sich das Neue nur in Relation zum Vorherigen bestimmen, aber nur selten ist dies gleichbedeutend mit Ablösung, sondern meint oftmals Weiterentwicklung bereits bestehender Errungenschaften. Innovation heißt auch, Neues aufzugreifen, sinnvoll zu integrieren und in

Bewährtes einzupassen.

In diesem dynamischen Prozess wird, davon bin ich überzeugt, Produktionsforschung auch weiterhin die Zukunft sichern. Ich freue mich nun auf Ihre innovativen Fragen und Anmerkungen und bedanke mich für Ihre Aufmerksamkeit.

Weiterführende Literatur

DEUTSCHE TELEKOM STIFTUNG, BUNDESVERBAND DER DEUTSCHEN INDUSTRIE E.V. (BDI) (Hg.) (2014): Innovations-Indikator 2014. Bonn, Berlin, Lünen.

UNTERSTELL, Rembert (2009): Mach's noch einmal, Nick! Marine Science Center: Auf Europas größter Forschungsstation für Robben erkunden Zoologen die hoch entwickelten Sinneswelten von Seehunden – oft sogar vor den Augen begeisterter Zuschauer. Ein Ortstermin in Warnemünde. In: forschung. Das Magazin der Deutschen Forschungsgemeinschaft. Weinheim, S. 21–23.

BUNDESMINISTERIUM FÜR BILDUNG UND FORSCHUNG (BMBF) (Hg.) (2014): Die neue Hightech-Strategie. Innovationen für Deutschland. Innovationen für die Produktion, Dienstleistung und Arbeit von morgen.

Integratives Produktionsverständnis – Schlüssel zu mehr Wertschöpfung in Hochlohnländern

Prof. Dr.-Ing. Christian Brecher, Dr.-Ing. Werner Herfs, Denis Özdemir

1. Einführung

Die Produktionstechnik leistet einen wesentlichen Beitrag für Wohlstand und soziale Stabilität in Europa. Es entfallen 80 Prozent der EU-Ausfuhren und 80 Prozent der privaten Forschungs- und Innovationsfähigkeit auf die Industrie und durch jede zusätzliche Stelle in der Industrie entstehen weitere Arbeitsplätze in anderen Bereichen (Europäische Kommission 2014). Die Wirtschaftskrise in den vergangenen Jahren hat gezeigt, dass die Realwirtschaft und eine starke Industrie auf hohem Technologieniveau einen wichtigen Stabilitätsfaktor für die Wirtschaft darstellen.

Leibinger (2014: 9) beschreibt in seinem kürzlich erschienenen Buch die industrielle Entwicklung unterschiedlicher Länder am Beispiel des Werkzeugmaschinenbaus und zeigt, „dass eine nationale Industrie in wenigen Jahrzehnten ihre Weltgeltung verlieren, dass man aber im gleichen Zeitraum auch aus dem Nichts zur Weltspitze aufsteigen kann.“ Der entscheidende Faktor für die Zukunftsfähigkeit der Industrie liegt dabei in der Innovationsfähigkeit einer Region. Die Innovation wird durch eine Prämie im Markt belohnt, bis die Entwicklungen von Wettbewerbern imitiert werden (ebd. 46 ff.). Aus der Imitation, die gleichzeitig meist mit nachteiligen Kostenstrukturen für den Innovationstreiber einhergeht, ergibt sich ein erneuter Innovationsdruck. Investitionen in Forschung und Innovationen sind daher ein wichtiger

Faktor, um die Wettbewerbsposition in Hochlohnländern nachhaltig zu stärken.

Für Innovationen im Bereich der Produktionstechnik ist Erfahrungswissen allein nicht mehr ausreichend. Über das Wissen hinaus, ob ein bestimmter Prozess funktioniert, gilt es, die Gründe dafür zu verstehen. Nur wenn die Zusammenhänge beschrieben werden können, ist es möglich, schnell auf neue Rahmenbedingungen zu reagieren, die Prozesse auf neue Produkte umzustellen und neue Innovationen schnell hervorzubringen. Ein Vorgehen, das nur auf dem Prinzip Trial and Error beruht – ohne die Erfahrungen in ein Modell einzuordnen –, ist somit nicht wettbewerbsfähig.

Die Produktionstechnik ist seit jeher multidisziplinär und integriert beispielsweise neben der Konstruktion und Berechnung, die Materialwissenschaften, die Antriebstechnik, die Automatisierungs- und Informationstechnik sowie Logistik und Produktionsmanagement. Die Produkt- und Materialeigenschaften beeinflussen den Fertigungsprozess, dieser wiederum steht in Wechselwirkung mit Maschine, Automatisierung, Produktionslogistik und Betriebsorganisation. Um die Zusammenhänge innerhalb der Produktionstechnik zu verstehen, sind somit übergeordnete Modelle und ein integratives Produktionsverständnis erforderlich. Diese bilden letztendlich die Grundlage dafür, die Zeit von der Produktidee bis zum Produktionsstart zu verkürzen und die Produktionskosten zu senken.

2. Exzellenzcluster Integrative Produktionstechnik für Hochlohnländer

Der Exzellenzcluster Integrative Produktionstechnik für Hochlohnländer an der RWTH Aachen ist Teil der deutschen Exzellenzinitiative, die von der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) gefördert wird. Mit der Motivation, zur nachhaltigen Wertschöpfung in Hochlohnländern beizutragen, arbeiten Wissenschaftler aus 27 Instituten gemeinsam an einem integrativen, disziplinübergreifenden Produktionsverständnis, in dem die unterschiedlichen Domänen der Produktionstechnik sowie die Materialwissenschaften, Naturwissenschaften, Informatik, Wirtschafts- und Sozialwissenschaften zusammenwirken.

Unternehmen in Hochlohnländern erreichen ihren Wettbewerbsvorteil oft durch Produkte, die einen individuellen Kundenbedarf erfüllen, einzigartig oder technologisch führend sind. Hierfür ist der Kunde bereit, eine Prämie zu zahlen, die höhere Lohnkosten und Rohstoffpreise ausgleicht. Die Erfüllung individueller Kundenbedarfe bei kleinen Stückzahlen ist jedoch meist mit hohen Kosten in der Herstellung verbunden und bei einer zunehmenden Anzahl günstiger Produktalternativen, die auf dem globalen Markt angeboten werden, stehen entsprechende Geschäftsmodelle zunehmend unter Druck. Kundenindividuelle Produkte (Scope) sind nur dann sicher zukunftsfähig, wenn es gelingt, sich den Stückkosten der Massenproduktion (Scale) zu nähern.

Im Hinblick auf die Technologieführerschaft besteht die Herausforderung darin, neue Produkte und Services schneller als die Wettbewerber auf den Markt zu bringen und dadurch eine Prämie zu erreichen (Wert). Das Ziel maximaler Innovationsgeschwindigkeit steht allerdings konträr zur

optimalen Verwertung der Ressourcen. Die Einführung neuer Technologien und Produkte setzt heutzutage noch eine aufwendige Produktions- und Prozessplanung voraus (Plan).

Die Dichotomien zwischen Scale und Scope sowie zwischen Plan und Wert stellen das Polylemma der Produktionstechnik dar. Das Ziel des Exzellenzclusters ist es, die Grundlage dafür zu schaffen, das Polylemma durch ein integratives Produktionsverständnis aufzulösen und produzierende Unternehmen in Hochlohnländern zu befähigen, die zunehmend volatilen globalen Märkte und den steigenden Innovationsdruck als Vorteil zu nutzen (s. Abb. 1).

Ein integratives Produktionsverständnis erfordert Modelle und Methoden, mit denen das Verhalten komplexer, sozio-technischer Produktionssysteme prognostiziert und beherrscht werden kann. Im Hinblick auf die technischen Einzelsysteme kann die Komplexität oft auf die wesentlichen Verhaltenseigenschaften und Wechselwirkungen reduziert und durch physikalische und andere formale Modelle beschrieben werden. Diese deterministischen Modelle verbessern die Vorhersagegenauigkeit und ermöglichen durch schnellere Lernzyklen eine Beschleunigung der Entwicklungs- und Produktionsprozesse.

Das Gesamtverhalten sozio-technischer Produktionssysteme lässt sich allerdings kaum mit deterministischen Modellen beschreiben und durch Simulation prognostizieren. Um die Komplexität trotzdem zu beherrschen, sind kybernetische Strukturen erforderlich, mit denen Unternehmen auf Störungen und sich ändernde Umgebungsbedingungen agil reagieren können, wenn eine Prognose durch deterministische Modelle nicht möglich ist. Hierfür sind Strukturen von einfachen Regelkreisen bis hin zu modellbasierten Ent-

scheidungsverfahren, Lernmethoden, künstlicher Intelligenz sowie die übergreifende Vernetzung zwischen Maschinen und Menschen maßgebend. Im Exzellenzcluster wird daran gearbeitet, den deterministischen und den kybernetischen Ansatz

zu vereinen, zum Beispiel indem deterministische Modelle in kybernetische Strukturen integriert werden und durch eine integrierte Rückführung aus der realen Welt verbessert werden (s. Abb. 2).

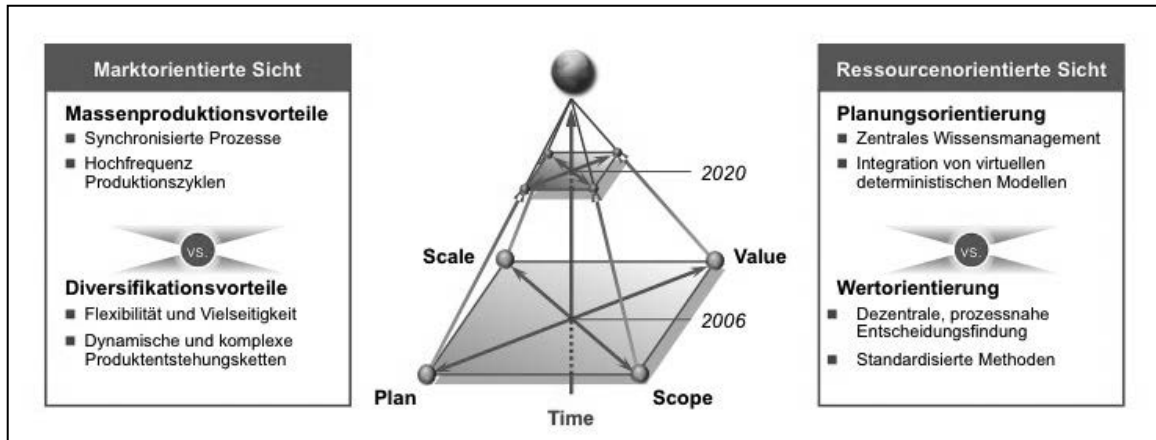


Abb. 1: Polylemma der Produktion (Brecher et al. 2011a)

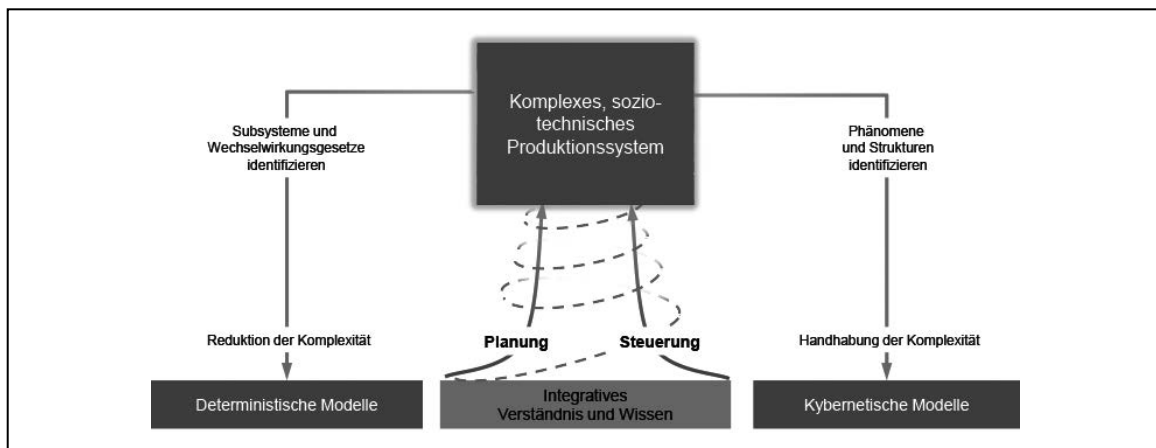


Abb. 2: Integratives Verständnis von Produktionssystemen (Brecher/Özdemir 2015)

3. Integrative Produktionstechnik an Beispielen

Ein wesentliches Ziel der Integrativen Produktionstechnik liegt in der Auflösung der Dichotomie zwischen Massen- und Einzelteilfertigung. Generative Fertigungsverfahren wie das Selective Laser Melting (SLM) stellen einen Ansatz dar, bei dem sich Kundenindividualität kaum auf die Stückkosten auswirkt. Beim SLM wird Metallpulver durch einen Laser vollständig aufgeschmolzen, so dass Bauteile mit serienidentischen Eigenschaften entstehen, ohne dass ein Werkzeug wie bei konventionellen Fertigungsverfahren erforderlich ist, das sich erst bei hohen Stückzahlen rechnen würde. Aufgrund der niedrigen Prozessproduktivität ist SLM derzeit allerdings nur bei niedrigen Stückzahlen und hoher geometrischer Komplexität

wirtschaftlich. Die Steigerung der Produktivität erfordert ein integratives Prozessverständnis, das Laser- und Maschinenteknik sowie die Materialwissenschaften einschließt. Im Exzellenzcluster arbeiten Wissenschaftler unterschiedlicher Disziplinen gemeinsam daran, durch eine übergreifende Modellbildung die Produktivität und Produktqualität zu steigern. Aus dieser Arbeit sind neue Maschinenkonzepte entstanden, mit denen sich durch Parallelisierung und Steigerung der Laserleistung eine mehr als zehnfach höhere Aufbaurrate realisieren lässt (Poprawe/Hinke 2014). Damit die Verfahren letztlich gewinnbringend eingesetzt werden können, liegt ein weiteres Ziel darin, über den technischen Kontext hinaus die Geschäftsmodelle für die individualisierte Produktion zu entwickeln (Piller et al. 2015).

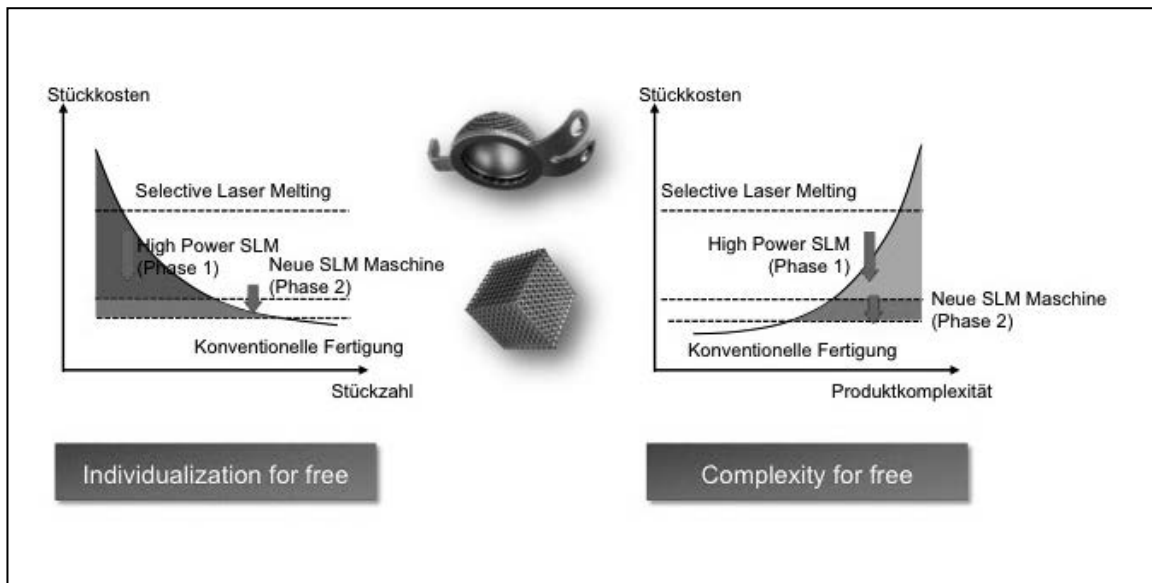


Abb. 3: Individualisierte Produktion durch Selective Laser Melting (Poprawe/Hinke 2014)

Die Auflösung der Dichotomie zwischen Wert- und Planungsorientierung erfordert virtuelle Produktionssysteme. Virtuelle Produktionssysteme integrieren die Modelle der Einzeldisziplinen und können damit bereits in der frühen Planungsphase ein gutes Systemverständnis schaffen. Mit einem durchgängigen Datenfluss und konfigurierbaren Modellen ist es möglich, die Produkt- und Prozessentwicklung signifikant zu beschleunigen und gleichzeitig die Produkte und Prozesse hinsichtlich Qualität und Ressourcen optimiert auszulegen. Da die Produktionstechnik wesentlich von den eingesetzten Materialien abhängt, liegt ein wichtiger Schritt bei der Modellintegration darin, die Material- und Prozessentwicklung zusammenzuführen. Im Exzellenzcluster wird im Projekt Integrative Computational Materials and Production Engi-

neering an einer umfassenden, standardisierten, modularen und erweiterbaren Simulationsplattform zur effizienten Anwendung auf spezifische Werkstoffe, Prozessketten und Produkte geforscht (Schmitz/Prahl 2012). Ein Anwendungsbereich der Simulationsplattform liegt in der numerischen Entwicklung eines aluminiumfreien Einsatzstahls für Großgetriebe (Bleck/Prahl 2014). Dieser Entwicklungsprozess (s. Abb. 4) kann durch die neue Plattform wesentlich beschleunigt werden, während gleichzeitig die Produktqualität gesteigert wird.

Die Integration von Technologien in neuen Produktionssystemen und Produkten trägt zu einer individualisierten und agilen Produktion bei. Inkrementelle Blechumformung und hybride Metallbearbeitung sind zwei Beispiele für integrative

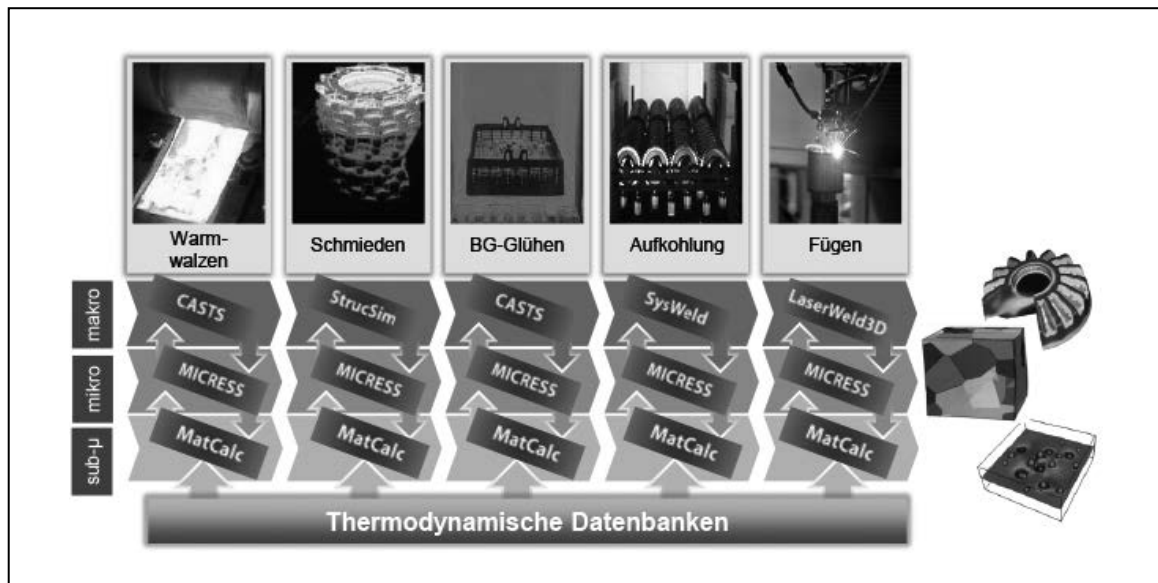


Abb. 4: Aachen (Aix) Virtual Platform for Materials Processing (Bleck/Prahl 2014)

Produktionssysteme aus dem Exzellenzcluster. Bei der inkrementellen Blechumformung wird die Produktgeometrie schrittweise durch lokale Umformung erreicht (Gottmann et al. 2011). Da kein angepasstes Formwerkzeug für diesen Prozess hergestellt werden muss, entstehen wirtschaftliche Vorteile bei der Herstellung von Prototypen und Kleinserien. Um auch schwer umformbare Werkstoffe inkrementell zu bearbeiten, findet vor der Umformung eine lokale Erwärmung durch einen Lasterstrahl statt. Grundlage für den funktionierenden Prozess ist ein Modell, mit dem sich die Wechselwirkungen zwischen Prozess- und Werkstoff beschreiben lassen (Bambach/Grzibovskis 2013). Zur hybriden Metallbearbeitung wurden in eine 5-Achs-Fräsmaschine mehrere robotergestützte Prozesse integriert. Neben dem Fräs-Hauptprozess kann drahtbasiert auftragsgeschweißt sowie mit einem Faserlaser gehärtet und abgetragen werden (Brecher et al. 2011b). Darüber hinaus setzt der Roboter bei Bedarf eine zweite Lasereinheit zum Laserstrukturieren oder eine Entgratspindel ein. Für eine erfolgreiche Prozessintegration werden Forschungsfragen hinsichtlich der Thermik, Steuerungstechnik, Sicherheit und Wirtschaftlichkeit adressiert (Brecher et al. 2013; Brecher et al. 2014).

Zur Auflösung der Dichotomie von Wert- und Planorientierung sind bei dynamischen und schwer prognostizierbaren Randbedingungen kybernetische Ansätze erforderlich, die eine schnelle Adaption im Produktionssystem ermöglichen. Selbstoptimierung bedeutet in diesem Zusammenhang, dass Produktionssysteme endogen ihre Zustandsgrößen und Struktur verändern können, um vorgegebene oder aus Vorgaben abgeleitete Ziele zu erreichen (Schmitt et al. 2011). Im Exzellenzcluster werden selbstoptimierende Produktions-

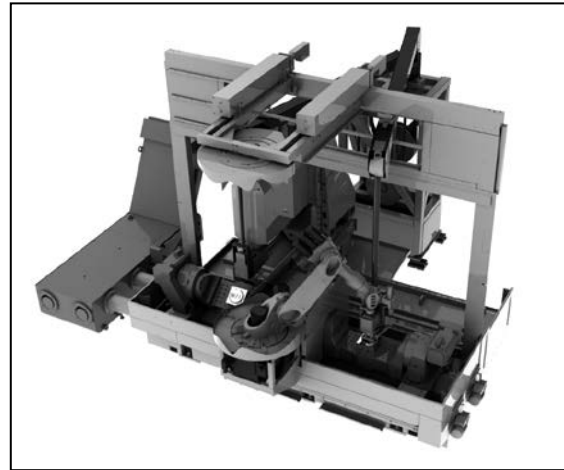


Abb. 5: Aufbau des hybriden Bearbeitungszentrums (Brecher et al. 2011b)

systeme auf unterschiedlichen Ebenen betrachtet. Im Hinblick auf Logistik und das Produktionsmanagement zeigen aktuelle Forschungsergebnisse auf, wie Ansätze des Supply-Chain- und Qualitätsmanagements vereint werden können, um Durchlaufzeit und Qualität gleichzeitig zu optimieren (Blum et al. 2014; Brauner et al. 2013). Auf Zellebene kann Selbstoptimierung genutzt werden, um auch bei kleinen Stückzahlen und hoher Variantenvielfalt wirtschaftlich zu automatisieren. Beispiele hierfür sind die kognitive Montagezelle, die auf Basis von Baugruppendaten eigenständig die Montagereihenfolge und die einzelnen Bewegungen berechnet (Brecher et al. 2012), sowie die Montage von Flugzeugschalen, bei der das Montagesystem die Verfahrbewegungen auf Basis der Kräfteinleitung in ein flexibles Mehrkörpermodell optimiert (Schmitt et al. 2014). Auf Prozessebene kann Selbstoptimierung in vielen Disziplinen und Applikationen zur Produktivitätssteigerung bei-

tragen, zum Beispiel beim Spritzguss (Reiter et al. 2014), Laserschneiden (Thombansen et al. 2014), Fräsen (Auerbach et al. 2013), Schweißen (Reisgen et al. 2014) und Weben (Gloy et al. 2013).

4. Fazit

Die Integration von Methoden und Technologien aus unterschiedlichen Disziplinen ist eine wichtige Quelle für Innovationen in der Produktionstechnik. Numerische Steuerungen, Robotik sowie Laser- und Simulationstechnik sind nur einige Beispiele für Domänen, die mittlerweile in der Produktionstechnik fest verankert sind und auf deren Integration eine wirtschaftliche Produktion aufbaut. Für zukünftige Innovationen ist die Integration von modernen Informations- und Kommunikationstechnologien, die unter dem Stichwort Industrie 4.0 adressiert wird, ein entscheidender Erfolgsfaktor.

These 1: Industrie 4.0-Technologien in Produkten, Prozessen und im Service bieten die Chance, dem globalen Wettbewerbs- und Kostendruck zu begegnen.

Daten und deren Vernetzung allein stellen allerdings noch keinen Mehrwert dar. Das Ziel liegt darin, mit den vernetzten Daten Produktivität, Anlagenverfügbarkeit, Qualität und Wandlungsfähigkeit zu steigern. Hierfür ist ein integratives Produktionsverständnis erforderlich, mit dem aus den vernetzten Daten Wissen und Handlungsmaßnahmen abgeleitet werden können.

Die Erfüllung spezifischer Kundenanforderungen sowie kurze Innovationszyklen sind neben den Produktionskosten wichtige Faktoren für die Wettbewerbsfähigkeit. Daher gilt es, die Prozess-

effizienz in Planung und Produktion und die Flexibilität weiter zu steigern.

These 2: Der schnelle Produktionshochlauf und die wirtschaftliche Produktion kleiner Stückzahlen komplexer Produkte erfordern durchgängige Engineering- und intelligente Automatisierungslösungen.

Durchgängiges Engineering – das heißt die Vernetzung von Planungsdaten – und intelligente Automatisierungslösungen erfordern wiederum ein integratives Produktionsverständnis. Modelle können weder zusammengeführt werden, noch lassen sich diese für die Selbstoptimierung nutzen, wenn die wesentlichen Wechselwirkungen zwischen den Disziplinen nicht verstanden sind.

Über die Informations- und Kommunikationstechnologien hinaus, dürfen weitere wettbewerbsentscheidende Faktoren nicht außer Acht gelassen werden. Dies gilt insbesondere für die technologische Beherrschung neuer Materialien und Prozesse.

These 3: Die technologische Beherrschung neuer Materialien und Prozesse in der Produktion, z. B. im Leichtbau, setzt eine intensive disziplinübergreifende Zusammenarbeit voraus.

Die Zusammenarbeit ist Grundlage für ein integratives Produktionsverständnis, das für wettbewerbsentscheidende Innovationen die Voraussetzung bildet.

5. Danksagung

Die dargestellten Arbeiten werden durch die Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG) im Exzellenzcluster Integrative Produktionstechnik für Hochlohnländer gefördert.

Weiterführende Literatur

- AUERBACH, Thomas/REKERS, Simon/VESELOVAC, Dražen/KLOCKE, Fritz (2013): Determination of characteristic values for milling operations using an automated test and evaluation system. In: *Advanced Manufacturing Engineering and Technologies NEWTECH 2013* Stockholm, Sweden, 27.–30. Oktober 2013.
- BAMBACH, Markus/GRZIBOVSKIS, Richard (2013): Analysis of optimal metal flow in incremental sheet forming. In: *Proceedings in Applied Mathematics and Mechanics*, 13, S. 331–332.
- BLECK, Wolfgang/PRAHL, Ulrich (2014): Entwicklung eines aluminiumfreien Einsatzstahls. In: Brecher, C./Wesch-Potente, C. (Hg.): *Perspektiven interdisziplinärer Spitzenforschung*. Aachen, S. 27–31.
- BLUM, Matthias/RUNGE, Simone/GROTEN, Marcel/STILLER, Sebastian (2014): Interrelationships between product quality and different demand cases in ramp-up scenarios. In: Schmitt, R. (Hg.): *2ND ICRM 2014 International Conference on Ramp-up Management*. Amsterdam, S. 81–84.
- BRAUNER, Philipp/RUNGE, Simone/GROTEN, Marcel/SCHUH, Günther/ZIEFLE, Martina (2013): Human factors in supply chain management. In: *Human Interface and the Management of Information*, S. 423–432.
- BRECHER, Christian/BREITBACH, Tobias/DO-KHAC, Dennis/BÄUMLER, Stefan/LOHSE, Wolfram (2013): Efficient utilization of production resources in the use phase of multi-technology machine tools. In: *Production Engineering*, 7, S. 443–452.
- BRECHER, Christian/BREITBACH, Thomas/MÜLLER, Simon/MAYER, Marcel/ODENTHAL, Barbara/SCHLICK, Christopher/HERFS, Werner (2012): 3D assembly group analysis for cognitive automation. In: *Journal of Robotics*, 375642 (18 p).
- BRECHER, Christian/HIRT, Gerhard/BÄUMLER, Stefan/

- LOHSE, Wolfram/BAMBACH, Markus (2014): Effects and Limitations of Technology Integration in Machine Tools. In: Proc. 3rd International Chemnitz Manufacturing Colloquium (ICMC), S. 413–432.
- BRECHER, Christian/JESCHKE, Sabina/SCHUH, Günther et al. (2011a): The Polylemma of Production. In: Brecher, C. (Hg.): Integrative Production Technology for High-Wage Countries. Berlin, S. 20–22.
- BRECHER, Christian/KLOCKE, F./BREITBACH, T./DO-KHAC, D./HEINEN, D./KARLBERGER, A./ROSEN, C.-J. (2011b): A hybrid machining center for enabling new die manufacturing and repair concepts. In: Production Engineering - Research and Development, 5, S. 405–413.
- BRECHER, Christian/ÖZDEMİR, Denis (2015): Introduction. In: Brecher, C. (Hg.): Advances in Production Technology. Cham.
- EUROPÄISCHE KOMMISSION (2014): Communication for a European Industrial Renaissance. SWD (2014) 14 final. Brussels.
- GLOY, Yves/BÜLLEFELD, Robert/ISLAM, Tobias/GRIES, Thomas (2013): Application of a Smith Predictor for Control of Fabric Weight during Weaving. In: Journal of Mechanical Engineering and Automation, 3, S. 29–37.
- GÖTTMANN, Alexander/DIETRICH, Jörk/BERGWELER, Georg/BAMBACH, Markus/HIRT, Gerhard/LOOSEN, Peter/POPRAWA, Reinhart (2011): Laser-assisted asymmetric incremental sheet forming of titanium sheet metal parts. In: Production Engineering, 5, S. 263–271.
- LEIBINGER, Berthold (2014): Erfahrungen, Erfolge, Entwicklungen. Der Weg der Werkzeugmaschinenindustrie in Deutschland, Japan und den USA. Göttingen.
- PILLER, Frank/WELLER, Christian/KLEER, Robin (2015): Business Models with Additive Manufacturing. Opportunities and Challenges from the Perspective of Economics and Management. In: Brecher, C. (Hg.): Advances in Production Technology. Cham.
- POPRAWA, Reinhart/HINKE, Christian (2014): Hoheffizientes Selective Laser Melting. In: Brecher, C./Wesch-Potente, C. (Hg.): Perspektiven interdisziplinärer Spitzenforschung. Aachen, S. 6–10.
- REISGEN, Uwe/PURRIO, Marion/BUCHHOLZ, Guido/WILLMS, Konrad (2014): Machine vision system for online weld pool observation of gas metal arc welding processes. In: Welding in the World, S. 1–5.
- REITER, Matthias/STEMMLER, Sebastian/HOPMANN, Christian/RESSMANN, Axel/ABEL, Dirk (2014): Model Predictive Control of Cavity Pressure in an Injection Moulding Process. In: Proceedings of the 19th World Congress of the International Federation of Automatic Control (IFAC).
- SCHMITT, Robert/ISERMANN, Mario/WAGELS, Carsten (2011): Research Program on Self-optimising Production Systems. In: Brecher, C. (Hg.): Integrative Production Technology for High-Wage Countries. Berlin, S. 698–702.
- SCHMITT, Robert/JANSSEN, Markus/BERTELSMEIER, Felix (2014): Self-optimizing compensation of large component deformations. In: Metrology for Aerospace (MetroAeroSpace), 2014 IEEE, S. 89–94.
- SCHMITZ, Georg/PRAHL, Ulrich (2012): Integrative computational materials engineering. Concepts and applications of a modular simulation platform. Weinheim.
- THOMBANSEN, Ulrich/HERMANN, Torsten/MOLITOR, Thomas/PEREIRA, Milton/SCHULZ, Wolfgang (2014): Measurement of Cut Front Properties in Laser Cutting. In: Physics Procedia, 56, S. 885–891.

Produktionstechnik morgen – flexibel und individualisiert

**Prof. Dr.-Ing. habil. Marion Merklein, Prof. Dr.-Ing. Michael Schmidt,
Dr.-Ing. Dietmar Drummer, Michael Lechner, Daniel Junker¹**

Einleitung

Die Megatrends des 21. Jahrhunderts signalisieren ein Umdenken in Bezug auf wirtschaftliche, ökologische, politische und nicht zuletzt gesellschaftliche Belange. Besonders im industriellen Bereich treiben technisch-technologische Innovationen die Veränderung bestehender Paradigmen voran. Die Fertigungstechnik muss sich in diesem Zusammenhang speziellen, branchenspezifischen Herausforderungen stellen. Die steigende Prozessautomatisierung sowie hohe Qualitäts- und Individualitätsansprüche der Kunden bei gleichzeitigem Streben nach immer kürzeren Prozess- und Produktionszeiten erfordern nicht nur neue Denkansätze. Vielmehr fördern sie die Entwicklung maßgeschneiderter und anforderungsgerechter Problemlösungen.

Aus dieser Zielsetzung entstanden zwei innovative Lösungsansätze. Zum einen die Tailor Heat Treated Blanks Technologie, mit deren Hilfe der Umformtechnik die Möglichkeit gegeben wird, die Eigenschaften des Bauteils belastungsgerecht zu gestalten und damit die Formgebungsgrenzen

von Aluminium gezielt zu erweitern. Zum anderen die additive Fertigung, die durch eine hohe Bandbreite an einsetzbaren Werkstoffen und hohe Formgebungsflexibilität ebenfalls entsprechend dem Wunsch nach Individuallösungen in der Fertigungstechnik entstanden ist.

Tailor Heat Treated Blanks

Der Einsatz von Aluminiumwerkstoffen stellt aktuell einen der vielversprechendsten Ansätze dar, um das Gewicht von Transportmitteln zu reduzieren und damit die Umweltverträglichkeit zu verbessern (Kleiner 2003). Allerdings besitzen Aluminiumlegierungen im Vergleich zu Stahlwerkstoffen nur ein begrenztes Formgebungsvermögen. Daher gestaltet es sich oftmals schwierig, komplizierte Geometrien, gekennzeichnet durch hohe Ziehtiefen und enge Biegeradien, zu realisieren. Am Lehrstuhl für Fertigungstechnologie in Erlangen wurde in intensiver Zusammenarbeit mit zahlreichen Automobilherstellern ein neuer und innovativer Ansatz zur Erweiterung der Formgebungsgrenzen, ausgehend von ersten Grundlagenuntersuchungen bis zur Serienreife, entwickelt. Das Verfahren, das heute unter dem Namen Tailor Heat Treated Blanks (THTB) bekannt ist (Merklein 2014), nutzt eine lokale Wärmebehandlung vor der Umformung, um die mechanischen Eigenschaften einer Platine optimal an die nachfolgende Abpressung anpassen zu können (Vollertsen 1998).

¹ Die Autoren sind Wissenschaftler an der Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg: Prof. Dr.-Ing. habil. Marion Merklein, Michael Lechner, Daniel Junker am Lehrstuhl für Fertigungstechnologie (Egerlandstr. 13, 91058 Erlangen), Prof. Dr.-Ing. Michael Schmidt am Lehrstuhl für Photonische Technologien (Konrad-Zuse-Str. 3, 91058 Erlangen) und Dr.-Ing. Dietmar Drummer am Lehrstuhl für Kunststofftechnik (Am Weichselgarten 9, 91058 Erlangen).

Der bedeutende Vorteil im Vergleich zu konventionellen, temperaturgestützten Prozessen ist, dass der thermische vom mechanischen Prozess entkoppelt ist, da die Temperierung vor der eigentlichen Umformung stattfindet. Das Blech kühlt somit vollständig ab, bevor die Abpressung erfolgt. Daher können mit der Technologie konventionelle Werkzeuge genutzt werden. Eine Integration in bestehende Pressenstraßen wird deutlich erleichtert. Für die Anwendung der THTB eignen sich insbesondere sogenannte ausscheidungshärtbare Aluminiumlegierungen der 6xxx-Serie. Diese Legierungen besitzen als Hauptlegierungselemente Magnesium und Silizium, welche sich nach dem Lösungsglühen zu Ausscheidungen agglomerieren und zu einer starken Behinderung von Versetzungen und damit zu einer deutlichen Festigkeitssteigerung führen (Edwards 1998). Im Rahmen von ersten grundlagenwissenschaftlichen Untersuchungen vor knapp 15 Jahren wurde entdeckt, dass diese Ausscheidungen durch eine Kurzzeitwärmebehandlung temporär aufgelöst werden können. Das bedeutet, dass der Werkstoff an den Stellen, an welchen er wärmebehandelt wurde, entfestigt ist. Unmittelbar nach der Wärmebehandlung beginnt automatisch die Kaltauslagerung des Werkstoffes. Dadurch erreicht die Aluminiumlegierung nach circa einer Woche wieder nahezu ihre ursprüngliche Festigkeit (Hofmann 2002). Zudem ist die Möglichkeit zur Warmauslagerung, wie sie beispielsweise in der Automobilindustrie bei der kathodischen Tauchlackierung (KTL) genutzt wird, weiterhin vorhanden (Vogt 2009). Im Rahmen von umfangreichen wissenschaftlichen Untersuchungen wurden sowohl das elastisch-plastische als auch das Versagensverhalten der Werkstoffe umfangreich in Abhängigkeit der unterschiedlichen Zeit-Temperatur-Profile untersucht. In die-

sem Zusammenhang hat sich herausgestellt, dass für die Entfestigung des Werkstoffes die erreichte Maximaltemperatur den stärksten Einfluss besitzt (Merklein 2009). Die Aufheiz- und Abkühlgeschwindigkeit sowie die Haltezeit sind von untergeordneter Bedeutung. Die Ergebnisse haben sogar bestätigt, dass Wärmebehandlungszeiten kleiner als eine Sekunde ausreichend sind, um die mikrostrukturellen Veränderungen hervorzurufen. Für den Prozess hat diese besondere Eigenschaft zwei wichtige Vorteile. Zum einen kann trotz der hohen Wärmeleitfähigkeit von Aluminiumwerkstoffen auf eine aktive Kühlung verzichtet werden. Dadurch wird die Systemkomplexität reduziert und die Prozessrobustheit gesteigert. Zum anderen ist die Technologie aufgrund der geringen Wärmemenge, die aufgewendet werden muss, äußerst energie- und kosteneffizient.

Die grundlegenden Untersuchungen stellten jedoch nur den Beginn eines langen Weges bis zur heutigen Serienreife der maßgeschneiderten Blechhalbzeuge dar. Eine wesentliche Herausforderung der Technologie besteht insbesondere in Bezug auf die Auslegung eines geeigneten Wärmebehandlungslayouts, da eine Wärmebehandlung alleine nicht automatisch zu einer Verbesserung der Formgebungsgrenzen führt. Ganz im Gegenteil kann beispielsweise durch die Entfestigung von risskritischen Stellen die Umformbarkeit sogar reduziert werden (Geiger 2009). Erst durch die Wechselwirkung von festen und entfestigten Bereichen kann der Materialfluss während der Umformung gezielt gesteuert und die Ziehtiefe sowie die Prozessrobustheit gesteigert werden. Den entscheidenden Durchbruch zur Lösung dieser Herausforderung bildete der Einsatz von modernen Simulationsmethoden. Dadurch ist es möglich, bereits im Vorfeld unterschiedliche Wär-

mebehandlungsstrategien zu entwickeln und deren Wirksamkeit zu evaluieren. Im Rahmen der Simulation ist es zwingend erforderlich, dass beide Prozesse – die Wärmebehandlung und die Umformung – exakt abgebildet werden (Geiger 2004). Des Weiteren ist die Implementierung eines geeigneten Materialmodells erforderlich, um die Ergebnisse der Wärmebehandlungssimulation und die damit verbundene, mikrostrukturell begründete Veränderung der mechanischen Eigenschaften als Eingangsp Parameter für die numerische Abbildung der Umformung nutzen zu können. Ein entsprechendes Beispiel zur Auslegung eines Wärmebehandlungslayouts für eine Türaußenhaut ist in Abb. 1 dargestellt. Zunächst werden mit einer konventionellen Simulation die risskritischen Stellen identifiziert. Ein Optimierungsalgorithmus wird anschließend dazu genutzt, eine maßgeschneiderte Eigenschaftsverteilung und eine dafür geeignete Laserwärmebehandlungsstrategie abzuleiten.

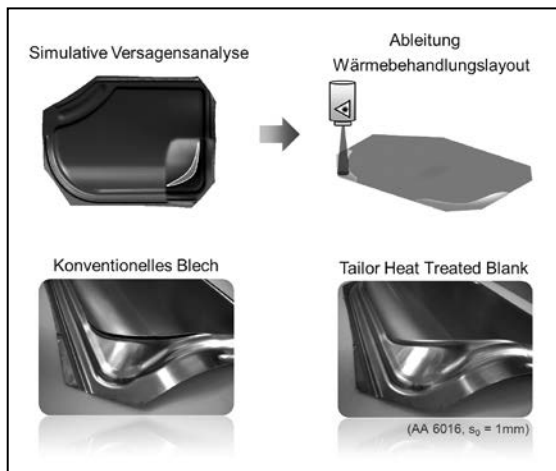


Abb. 1: Numerisch gestützte Bestimmung eines optimalen Wärmebehandlungslayouts (Merklein 2014)

Einen wesentlichen Einfluss auf die Produktqualität hat die zum Einsatz kommende Wärmebehandlungsmethode (Kahrimanidis 2014). Grundsätzlich können für die Temperierung unterschiedliche Technologien auf Basis von Konduktion, Induktion oder Wärmestrahlung verwendet werden. Insbesondere für kleine Stückzahlen mit einer großen Variantenvielfalt hat sich ein robotergestütztes Lasersystem als äußerst vorteilhaft erwiesen. Ohne Rüstzeiten kann das Wärmebehandlungslayout sehr flexibel entsprechend den Anforderungen des Bauteils angepasst werden. Daher ist es mit einer Systemtechnologie beispielsweise möglich, ein Bauteil ohne Zeitverlust konsekutiv zu erwärmen. Die teure und zeitintensive Konstruktion und Fertigung von speziellen Wärmebehandlungswerkzeugen ist nicht erforderlich. In Abb. 2 ist das entsprechende System, das am Lehrstuhl für Fertigungstechnologie genutzt wird, abgebildet. Dieses besteht aus einem

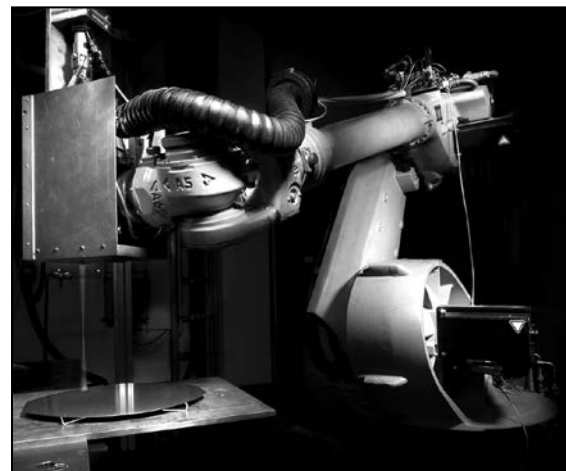


Abb. 2: Systemtechnik für die lokale Wärmebehandlung

Nd:YAG-Laser in Verbindung mit einem Kuka Roboter. Für die Analyse der resultierenden Temperaturverteilung werden bevorzugt berührungslose Mess-Systeme, wie beispielsweise Pyrometer oder Thermokameras, verwendet (Merklein 2009).

In zahlreichen neuen Forschungsprojekten wird das Wirkprinzip aktuell auf weitere Felder übertragen. Dazu gehört beispielsweise die Anwendung auf höchstfeste Aluminiumlegierungen. Die hohe Festigkeit kann einerseits durch eine Legierungs-adaption, wie beispielsweise bei der 7xxx-Serie, oder andererseits durch spezielle Herstellungsprozesse erfolgen. Zu letzteren gehört auch der Ansatz des sogenannten Accumulative Roll Bonding (Saito 1998), dessen Anwendung auf technische Legierungen am Lehrstuhl für Fertigungstechnologie untersucht wird (Merklein 2012b). Durch einen mehrstufigen Walzprozess wird dabei ein sehr feinkörniges Gefüge hergestellt. Verbunden mit der Festigkeitssteigerung ist allerdings eine deutliche Reduktion der Festigkeit. Ergänzend zu der Auflösung der Ausscheidungen kann bei diesen Werkstoffen als zweiter Ansatz eine lokale Rekristallisation realisiert werden. Weitere Forschungsarbeiten bestätigen, dass eine lokale Entfestigung nicht nur vor, sondern auch zwischen zwei Umformstufen genutzt werden kann. Schließlich findet im Rahmen aktueller Untersuchungen die Übertragung der Methoden auf Strangpressprofile statt. Ziel dieser Tailor Heat Treated Profiles ist dabei, die Biegebarkeit durch eine optimierte Eigenschaftsgradierung zu verbessern (Merklein 2012a).

Additive Fertigung

Da der Markt vermehrt individualisierte Produkte und somit flexible Fertigungsverfahren fordert,

stoßen die konventionellen zerspanenden und umformenden Prozesse an ihre Grenzen. Ein alternatives Produktionsverfahren, welches für die Fertigung eines Bauteils ein hohes Maß an geometrischer Freiheit bietet, ist die additive Fertigung. Im Gegensatz zu sonstigen Produktionsverfahren wird die gewünschte Geometrie in der additiven Fertigung durch schichtweises Auftragen von Material aufgebaut. Zum Erzeugen eines Volumenkörpers wird dessen Geometrie in übereinanderliegende Flächen eingeteilt. Durch das sukzessive Drucken dieser Flächen übereinander entsteht das gewünschte Bauteil, weshalb diese Fertigungstechnologie auch als 2½ D-Verfahren bezeichnet wird. Dieses Prinzip erlaubt die Fertigung belastungsoptimierter Bauteile, bei denen nur an den Stellen Material vorhanden ist, die für eine Kraftableitung relevant sind (Gölz 2012). Die Genauigkeit des Bauteils ist dabei stark vom Fertigungsverfahren und vom verwendeten Werkstoff abhängig.

Vor allem die um 2010 begonnene kommerzielle Vermarktung sogenannter 3D-Drucker (Jannek 2013) von Kunststoffen für den privaten Gebrauch hat die additive Fertigung aus der Forschung in das öffentliche Licht geführt, wodurch das allgemeine Interesse an dieser Technologie stark angewachsen ist. Das Prinzip der additiven Herstellung, der schichtweise Aufbau von Strukturen, ist allerdings schon länger bekannt (Bourell et al. 2009).

Entwicklung der additiven Fertigung

Schon im 19. Jahrhundert wurde ein Werkzeug zur Erstellung einer Reliefkarte hergestellt, indem anhand der in Landkarten üblichen Höhenlinien ausgeschnittene, gleichhohe Wachsschichten

übereinandergelegt wurden. Mithilfe eines so erzeugten Werkzeugs ließen sich aus Papier topografische Karten pressen (Blanther 1890). Erst 50 Jahre später, 1940, wurde eine topografische Karte nach dem gleichen Prinzip aus Karton direkt schichtweise aufgebaut (Perera 1937). Die Entwicklung zu den auch heute noch gebräuchlichen Verfahren wurde maßgeblich durch den Laser beeinflusst. 1968 wurde mit Hilfe zweier sich kreuzender Laserstrahlen in deren Schnittpunkt die Energie soweit gebündelt, dass sie ausreichte, ein photosensitives Polymer aushärten zu lassen (Swainson 1971). Erst 20 Jahre später beginnt Chuck Hull mit seiner neu gegründeten Firma 3D Systems die Vermarktung der Stereolithographie, welche ebenfalls den Laser nutzt, um ein photosensitives Harz partiell auszuhärten. Diese wurde fortan vorwiegend zur Erstellung optischer Prototypen eingesetzt. Eine erste Verfahrensbeschreibung der heutzutage am weitesten verbreiteten pulverbasierten Verfahren wurde 1971 von Ciraud (1972) angefertigt. Beschrieben wird die Herstellung von Objekten aus unterschiedlichen, schmelzbaren Materialien. Kleine Partikel werden durch Schwerkraft, Magnetismus, Elektrostatik oder durch die Positionierung mittels einer Düse in eine Matrix eingebracht und anschließend mittels Laser-, Elektronen- oder Plasmastrahl partiell erwärmt, wodurch diese aneinander haften. Ein Jahr später wurden aus einer Kombination dieser Verfahren schon Gussformen aus einem mit Kunststoff ummantelten Sand hergestellt. Schichten aus beschichtetem Sand wurden verpresst, auf die vorangehende Schicht gelegt und partiell mittels Licht ausgehärtet. Nach der Fertigstellung der Form wurden überschüssige Bereiche mit einer chemischen Lösung entfernt (Matsubara 1974). Diese Variante der additiven Fertigung ermög-

lichte es, die Vorteile der geometrischen Freiheit auch für Gussteile zu nutzen. Prof. Nakagawa von der Tokyo Universität nutzte 1979 die Technik des schichtweisen Aufbaus von übereinander laminierten Blechen zur Herstellung von Stanz- (Nakagawa 1979), Umform- (Kunieda 1984) und Spritzgusswerkzeugen (Nakagawa 1985). Da die so hergestellten Werkzeuge noch relativ geringe Standzeiten überdauerten, beschränkte sich der Einsatz auf die Verwendung im Prototypenbau. Den Weg zur direkten additiven Fertigung belastbarer metallischer Bauteile öffnete 1999 Mainers, der den von Ciraud beschriebenen Prozess weiterentwickelte und das verwendete Pulver mit Hilfe hoher Laserenergie vollständig aufschmolz (Meiners 1999). Gegenüber dem vorherigen Selektiven Lasersintern (SLS) ist es mit diesem Prozess möglich, annähernd vollständig dichte Körper zu erstellen. Nach einiger Weiterentwicklung wurde 2002 die erste Anlage zum Laserstrahlschmelzen von der Firma Concept Laser vertrieben. Trotz der Vermarktung solcher Anlagen ist die additive Fertigung hochbeanspruchbarer metallischer Bauteile wegen der komplexen Prozessführung und starker prozessbedingter Qualitätsschwankungen aktuell noch Gegenstand der Forschung und wird nur in sehr wenigen Anwendungen schon zur Produktion von Komponenten eingesetzt.

2009 ermöglichte das Auslaufen einiger Patente (Crump 1989), die das Fused Deposition Modeling abdeckten, auch kleineren Unternehmen die Möglichkeit, Anlagen zur additiven Fertigung von Kunststoffen, die diese Technologie nutzen, herzustellen. Da die Konkurrenz von Anlagenherstellern nun stieg, fielen die Preise, so dass heutzutage 3D-Drucker auch für den Endkunden bezahlbar sind (Jannek 2013). Eine ähnliche Entwicklung wird nun auch für den Anlagenbau für das selek-

tive Laserstrahlschmelzen erwartet, nachdem Ende Januar 2014 Patente ausliefen (Deckard 1994), die diese Technologie abdeckten. Da diese Anlagen einen leistungsfähigen Laser voraussetzen, werden sie zwar nicht für Privathaushalte interessant werden, jedoch können kleine Unternehmen und Mittelständler in die additive Fertigung einsteigen. Der in Abb. 3 dargestellte Hype-Zyklus nach Gartner prognostiziert für das 3D-Drucken in der Industrie das Erreichen des Plateaus der Produktivität, bei welchem sich die Technologie zu einem produktiven Verfahren etabliert hat.

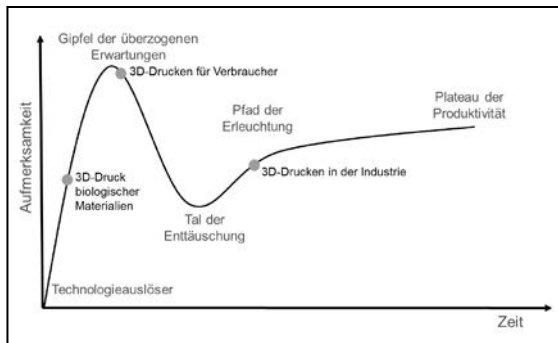


Abb. 3: Einstufung des 3D-Drucks in verschiedenen Anwendungsfeldern Hype-Zyklus nach Gartner (nach Barker 2014 und Levy 2014)

Die Entwicklung der additiven Fertigung hat viele unterschiedliche Verfahren hervorgebracht, welche je nach Anwendungsfeld ihre Vorteile besitzen und somit nach wie vor ihren Einsatz finden. Entscheidend für die Auswahl eines Verfahrens sind die benötigte Festigkeit und die Geschwindigkeit der Herstellung eines Bauteils. Hierbei konnte festgestellt werden, dass Verfahren zur Herstellung mechanisch wenig belastbarer Teile schneller produzieren können als beispielsweise jene, die metallische

Bauteile erzeugen. Aus diesem Grund werden in großen Unternehmen für optische Demonstratoren andere Verfahren eingesetzt als für funktionelle Prototypen. Zentral stehen derzeit strahlbasierte Verfahren, wie das Elektronen- oder das Laserstrahlschmelzen, im Fokus der Forschung, da diese metallische Werkstoffe verarbeiten und Bauteile mit der höchsten Festigkeit erzeugen können.

Chancen und Grenzen der additiven Fertigung

Der Grund des großen Interesses an additiver Fertigung ist die werkzeuglose Bauteilerzeugung. Das bedeutet, dass die Geometrie des Bauteils nicht durch eine Form vorgegeben ist und ein Bauteil somit nahezu keinen geometrischen Einschränkungen unterliegt. Dies erlaubt die Herstellung von Hinterschnitten und filigranen Gitterstrukturen, die mittels der konventionellen Fertigungsverfahren nicht realisierbar wären. Für die Erzeugung wird eine CAD-Zeichnung in ein Schichtmodell konvertiert, je nach Verfahren werden Supportstrukturen definiert und anhand dieser Daten kann das Bauteil sukzessive aufgebaut werden. Die direkte und werkzeuglose Erzeugung von Bauteilen erlaubt die Fertigung komplizierter, individueller Geometrien, also eine design- sowie funktionsoptimierte Bauteilfertigung. Diese hohe Flexibilität des Prozesses macht die additive Fertigung vor allem für die Realisierung kleinster Losgrößen sowie individueller Kleinserien interessant, für welche die Anschaffung von Werkzeugen zu aufwendig und ökonomisch nicht zweckmäßig wäre.

Jedoch sieht sich die additive Fertigung noch mit einigen Herausforderungen konfrontiert. Trotz der hohen Vielfalt an Prozessen steht nur ein begrenztes Werkstoffportfolio zur Verfügung, welches für die additive Fertigung eingesetzt wer-

den kann, wodurch der Einsatz der Technologie eingeschränkt wird. Des Weiteren unterliegt das Ausgangsmaterial, welches häufig als Pulver vorliegt, starken Schwankungen. Auch innerhalb der Prozesse sind weitere Optimierungen möglich, um die Reproduzierbarkeit sowie die Robustheit zu verbessern. Da ein Großteil der Verfahren zur additiven Fertigung mit Wärme arbeitet, ist eines der häufigsten Fehlerbilder der thermische Verzug, welcher sich in einer Delamination einzelner Schichten auswirkt (Müller 2014). Um diesem Phänomen vorzubeugen, ist es nötig, das Prozessverständnis zu verbessern und den Prozess simulativ abzubilden, um so ein fehlerfreies Erzeugen des Bauteils zu gewährleisten. Die derzeit noch stark variierenden Bauteileigenschaften machen eine aufwendige Qualitätssicherung unabdingbar (VDI 3405 2013). Diese Herausforderungen erfordern weiterhin eine systematische Erforschung werkstofflicher, methodischer und prozesstechnischer Grundlagen für die Anwendung additiver Fertigungsverfahren auf industriellem Niveau, um zukünftig einen stabilen, reproduzierbaren Prozess entwickeln zu können. Die Entwicklung geht dabei sowohl in Richtung der Herstellung großer Bauteile, für die vor allem die Produktivität der Prozesse verbessert werden muss, als auch hin zum Erzeugen feinsten, filigraner Strukturen, für die eine genaue Prozessführung wichtig ist. In beiden Fällen ist eine Prozessüberwachung zur Verbesserung der Qualität ein Muss, um einen beständigen Prozess zu garantieren (Levy 2010).

Additive Fertigung in der Massenproduktion

Aus diesem Grund wird derzeit im Sonderforschungsbereich SFB 814 der DFG Grundlagenforschung als Basis zur Erarbeitung für Lösungen

zu den oben aufgeführten Problemstellungen durchgeführt. Weiterhin ist die Nutzung der additiven Fertigung in der Massenfertigung Teil der Untersuchungen. Hierfür werden die additive Fertigung und die Blechumformung kombiniert (Schaub 2013). Der additiven Fertigung werden große Chancen in der Fertigungstechnologie der Zukunft – vor allem in der Medizintechnik – zugerechnet, um so vergleichsweise schnell patientenangepasste Teile zu fertigen. Unterstützt wird dies durch die gute Verarbeitbarkeit von Titanwerkstoffen in der additiven Fertigung, welche aufgrund ihrer Biokompatibilität für den medizintechnischen Einsatzbereich besonders geeignet sind (Schaub 2014). Dabei wird, wie in Abb. 4 skizziert, sowohl die Möglichkeit verfolgt, auf umgeformte Blechteile additiv Funktionselemente aufzubringen als auch die des vorherigen Aufbrin-

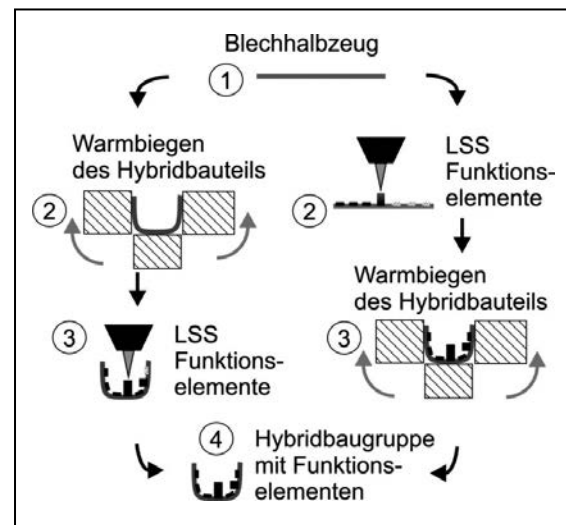


Abb. 4: Möglichkeiten zur Kombination von additiver Fertigung mit der Blechumformung

gens der Funktionselemente auf eine Platine mit einer anschließenden Umformung des Gesamtbauteils.

Vorerst wird allgemein die Umformbarkeit und die Herstellung eines eigenspannungsarmen Blechgrundkörpers mit einer ausreichenden Blechdicke im Auftragsbereich untersucht. Anschließend wird eine Analyse des Einflusses der Blechoberfläche, des Verzugs sowie unterschiedlicher Aufbaustrategien beim Elektronenstrahlschmelzen auf die Anbindung der aufgebracht Strukturen durchgeführt. Ziel ist es, den Prozess sowohl experimentell als auch numerisch abbilden zu können. Die Werkstoffeigenschaften, insbesondere die Bindefestigkeit zwischen Blechkörper und additiv aufgebracht Struktur, werden mittels neu entwickelter Versuchsstände und neuer Prüfmethode ermittelt. Durch die Variation verschiedener Parameter wird mit Hilfe der Versuchsstände eine Wechselwirkung zwischen den Prozessen analysiert und eine Bewertung der prozesskritischen Parameter durchgeführt. Anhand der Ergebnisse wird ein Simulationsmodell erstellt, mit dessen Hilfe ein Prozessfenster ermittelt wird, welches eine Ableitung des Potentials sowie der Grenzen des Verfahrens ermöglicht. Mit den so ermittelten Werten werden anschließend Demonstratorbauteile gefertigt und die hergestellten Bauteile mittels eines optischen 3D-Systems mit den Simulationsergebnissen verglichen.

Ausblick

Die Entwicklung der letzten 20 Jahre hat es ermöglicht, dass die additive Fertigung heutzutage zur Erstellung von fertigen Bauteilen eingesetzt werden kann. Noch beschränkt sich der Einsatz auf kleinere, wenig belastete Teile in der Luft- und

Raumfahrt oder patientenangepasste Prothesen und Implantate in der Medizintechnik. Aufgrund des neu entstandenen öffentlichen Interesses an der Technologie werden der Forschung mehr Mittel zur Verfügung gestellt, so dass auch in den kommenden Jahren weitere Verbesserungen der Prozesstechnik erwartet werden können. Da die additive Fertigung auf Grund des schichtweisen Aufbaus allerdings weiterhin nicht an die Produktivität konventioneller Fertigungsverfahren wie die Umformtechnik heran kommt, gilt es, die Chancen der Technologie zu erkennen und gegebenenfalls mit etablierten Technologien, wie der Blech- oder Massivumformung, zu kombinieren.

Weiterführende Literatur

- BARKER, Colin (2014): Excited about 3D printing at home? Don't hold your breath warns Gartner, In: ZD-Net, <http://www.zdnet.com/article/excited-about-3d-printing-at-home-dont-hold-your-breath-warns-gartner/>, Zugriff am 12.02.2015.
- BLANTHER, Joseph E. (1890): Manufacture of contour relief-maps, Patent US473901 A.
- BOURELL, David L./BEAMAN, Joseph J./LEU, Ming C./ROSEN, David W. (2009): A Brief History of Additive Manufacturing and the 2009 Roadmap for Additive Manufacturing: Looking Back and Looking Ahead, Workshop On Rapid Technologies, 24. September 2009, S. 5–11.
- CIRAUD, P. A. (1972): Process and Device for the Manufacture of any Objects Desired from any Meltable Material, FRG Disclosure Publication 2263777.
- CRUMP, Scott S. (1989): Apparatus and method for creating three-dimensional objects, Patent US5121329 A.
- DECKARD, Carl R. (1994): Apparatus for producing parts by selective sintering, Patent US5597589 A.
- EDWARDS, Geoffrey A./STILLER, Krystyna M./DUNLOP, Gordon L./COUPER, Malcolm J. (1998): The precipitation sequence in Al-Mg-Si alloys, *Acta mater* 46/11, S. 3893–3904.
- GEIGER, Manfred/MERKLEIN, Marion/VOGT, Uwe (2009): Aluminum tailored heat treated blanks. *Production Engineering* 3 (4-5), S. 401–410.
- GEIGER, Manfred/MERKLEIN, Marion/KERAUSCH, Michael (2004): Finite Elemente Simulation of Deep Drawing of Tailored Heat Treated Blanks, *Annals of the CIRP* 53/1, S. 223–226.
- GÖLZ, Alexander (2012): Schichtaufbauverfahren ermöglichen die Produktion, Reparatur und Individualität von Teilen – Die Technik von morgen ist bald von gestern. In: *industrieanzeiger*, <http://www.industrieanzeiger.de/erp/-/article/32571342/37782599/Die-Technik-von-morgen-ist-bald-von-gestern>, Zugriff am 10.02.2015.
- HOFMANN, Achim (2002): Erweiterung der Formgebungsgrenzen beim Umformen von Aluminiumwerkstoffen durch den Einsatz prozessangepasster Platinen, Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg, Dissertation.
- JANNEK, Kai/NEEF, Andreas/GLOCKNER, Holger (2013): 3D-Druck vor dem Durchbruch – Disruptionspotenziale und Geschäftschancen additiver Fertigungstechnologien, In: *z-punkt*, http://www.z-punkt.de/fileadmin/be_user/D_News/D_2013_03_Newsletter/Z_punkt_3D-Druck_Broschuere_final.pdf, Zugriff am 10.02.2015.
- KAHRIMANIDIS, Alexander/WORTBERG, Daniel/MERKLEIN, Marion (2014): Influence of a Short Term Heat Treatment by Conduction and Induction on the Mechanical Properties of AA6014 Alloys. *Physics Procedia*, 56, S. 1410–1418.
- KLEINER, Matthias/GEIGER, Manfred/KLAUS, Alexander (2003): Manufacturing of lightweight components by metal forming, *Annals of the CIRP* 52/2, S. 521–542.
- KUNIEDA, M./NAKAGAWA, T. (1984): Development of Laminated Drawing Dies by Laser Cutting, *Bull of JSP*, S. 353–354.
- LEVY, Gideons N. (2010): The role and future of the Laser Technology in the Additive Manufacturing environment, *Physics Procedia*, 5, S. 65–80.
- LEVY, Gideon N. (2014): Additive manufacturing in Production Engineering: Chances and Challenges, 9th CIRP Conference on Intelligent Computation in Manufacturing Engineering.
- MATSUBARA, K. (1974): Modeling Method of Casting Using Photocurable Substance, Japanese Kokai Patent Application, Sho 51 [1976]-10813.
- MEINERS, Wilhelm (1999): Direktes Selektives Laser Sintern einkomponentiger metallischer Werkstoffe, Dissertation RWTH Aachen.

- MERKLEIN, Marion/JOHANNES, Maren/LECHNER, Michael/KUPPERT, Andreas (2014): A review on tailored blanks – Production, applications and evaluation. *Journal of Materials Processing Technology*, 214(2), S. 151–164.
- MERKLEIN, Marion/LECHNER, Michael/SCHNEIDER, Thomas/PLETTKE, Raoul (2012a): Tailored Heat Treated Profiles-Enhancement of the Forming Limit of Aluminum Profiles under Bending Load, *Key Engineering Materials* 504, S. 375–380.
- MERKLEIN, Marion/BÖHM, Wolfgang/LECHNER, Michael (2012b): Tailoring material properties of aluminum by local laser heat treatment, *Physics Procedia*, 39, S. 232–239.
- MERKLEIN, Marion/GEIGER, Manfred/STAUD, Detlev/VOGT, Uwe (2009): Tailored heat treated blanks applied on car body parts under quasi-series conditions. *International Journal of Microstructure and Materials Properties*, 4(5), S. 525–533.
- MÜLLER, Bernhard/TÖPPEL, Thomas/KRANZ, Burkhard/HOEREN, Karlheinz P. J./GRIMM, Tobias/WITT, Gerd (2014): Less Residual Stresses in Laser Beam Melting Through a Holistic Approach Including Laser, Scanning, Material and Machine Parameters, In: Demmer, A.; Fraunhofer IPT (Hrsg.): *Proc. Fraunhofer Direct Digital Manufacturing Conference – DDMC 2014*, S. 1–8.
- NAKAGAWA, T. et al. (1979): Blanking Tool by Stacked Bainite Steel Plates, *Press Technique*, S. 93–101.
- NAKAGAWA, T. et al. (1985): Laser Cut Sheet Laminated Forming Dies by Diffusion Bonding. *Proc 25th MTDR Conf.*, S. 505–510.
- PERERA, Victor (1937): Process of making relief maps, Patent US2189592 A.
- SAITO, Yoshihiro/TSUJI, Nobuhiro/UTSUNOMIYA, Hiroshi/SAKAI, Tetsuo (1998): Ultra-Fine Grained Bulk Aluminum Produced by Accumulative Roll-Bonding (ARB) Process, *Scripta Materialia*, 39 (1998) 9, S. 1221–1227.
- SCHAUB, Adam/AHUJA, Bhriku/KARG, Michael/SCHMIDT, Michael/MERKLEIN, Marion (2014): Fabrication and Characterization of Laser beam Melted Ti-6Al-4V Geometries on Sheet Metal. In: Demmer, A.; Fraunhofer IPT (Hrsg.): *Proc. Fraunhofer Direct Digital Manufacturing Conference – DDMC 2014*, S. 1–5.
- SCHAUB, Adam/MERKLEIN, Marion/JUECHTER, Vera/SINGER, Robert F./KÖRNER, Carolin (2013): Funktionsintegration durch die Kombination additiver Fertigungsprozesse mit der Blechumformung, In: Drummer, D. (Hrsg.): *2. Industriekolloquium des Sonderforschungsbereichs 814 – Additive Fertigung*, S. 87–101.
- SWAINSON, Wyn Kelly (1971): Method, medium and apparatus for processing three-dimensional figure product, Patent US4041476 A.
- VDI 3405 (2013): *Additive Fertigungsverfahren – Strahlschmelzen metallischer Bauteile – Qualifizierung, Qualitätssicherung und Nachbearbeitung*, VDI-Richtlinie.
- VOGT, Uwe (2009): *Seriennahe Auslegung von Aluminium Tailored Heat Treated Blanks*, Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg, Dissertation.
- VOLLERTSEN, Frank/LANGE, Kurt (1998): Enhancement of drawability by local heat treatment. In: *Annals of the CIRP* 47/1, S. 181–184.

Elektromobilität bewegt – auch die Produktionstechnik?

Prof. Dr.-Ing. habil. Matthias Busse

Effizienz unserer aktuellen und zukünftigen Fahrzeuggenerationen

Schaut man sich unsere aktuellen Fahrzeuge mit Verbrennungsmotoren aus deutscher Produktion an, so findet man hochentwickelte Produkte mit hervorragender Funktionalität und sehr gutem Preis-Leistungs-Verhältnis. Schließlich entwickeln und fertigen wir Autos seit über hundert Jahren, inzwischen in höchster Präzision und in beachtlichen Stückzahlen in Großserienfertigung.

Motiviert durch die erforderlichen Emissionsreduzierungen von Schadstoffen und CO₂ und den in jüngster Zeit maßgeblichen Forderungen aus der Energiewende, sind in den letzten 20 Jahren bedeutende Einsparungen zum Kraftstoffverbrauch und damit zur Senkung der Emissionen erreicht worden. Trotz modernster Technik erreichen unsere aktuellen Fahrzeuggenerationen aber nur Wirkungsgrade vom Tank zum Rad in der Größenordnung von 30 Prozent. Da der Verbrennungsmotor nach wie vor den größten Teil der Energie in Wärme und nur den deutlich kleineren Teil in Vortrieb wandelt, kommt der konventionelle Antriebsstrang hinsichtlich seiner Effizienz nahe an seine physikalischen Grenzen.

Mit dem Wechsel zum elektrischen Antriebsstrang in zukünftigen Fahrzeuggenerationen eröffnet sich in der Entwicklung die Möglichkeit, Wir-

kungsgrade zu erreichen, die perspektivisch um den Faktor drei besser sein können, also theoretisch die Größenordnung von bis zu 90 Prozent erreichen können. Damit würde der Wirkungsgrad nicht schrittweise, sondern sprunghaft neue Dimensionen in der Ausnutzung der mitgeführten Energie erreichen. Entsprechend hoch wären damit der Beitrag zur Reduzierung der Emissionen und die Einsparung von fossilen Brennstoffen im Sinne der Energiewende.

Voraussetzung hierfür ist die Erzeugung des benötigten Stroms aus regenerativen Quellen, beispielsweise zentral aus großen Windfarmen oder auch lokal aus Photovoltaik auf dem Dach des Eigenheims, idealerweise in Kombination mit einem stationären elektrischen Speicher. Die ganze Kette der lokalen Energieerzeugung, Zwischenspeicherung und Nutzung also von der Erzeugung mittels Photovoltaik, der Wandlung, der Speicherung und dem anschließenden Verbrauch zu Hause und im bidirektional ladefähigen Elektrofahrzeug, führen zu einem attraktiven Versorgungssystem, da keinerlei Transportwege für die Energie oder zusätzliche Wandlungsverluste anfallen.

Zukünftige Entwicklungen in Deutschland und international

Maßgebliche Impulse und Technologien zur Entwicklung der Elektromobilität können aus

Deutschland kommen, wenn es gelingt, die Förderungen für Forschung und Entwicklung in diesen Bereichen zu intensivieren. Der eigentliche Marktbedarf mit entsprechenden Stückzahlen für Elektrofahrzeuge wird aber eher aus den Schwellenländern oder den Ländern kommen, deren Mega-Cities sonst in den Emissionen von Millionen von Verbrennungsmotoren zu ersticken drohen. In solchen Ländern ist mit politischen Weichenstellungen in Richtung Elektromobilität eher und klarer zu rechnen als in Deutschland.

Der Anspruch Deutschlands, Leitanbieter für Elektromobilität zu werden, ist durchaus in den nächsten Jahren zu erreichen, zumal in der gesamten Automobilindustrie und in der einschlägigen Zulieferindustrie intensiv an den entsprechenden Themen gearbeitet wird. Oftmals passiert dies noch hinter verschlossenen Türen, sodass das Aktivitätsniveau noch nicht so offensichtlich ist. In absehbarer Zeit werden in Deutschland durchaus etliche ausgereifte Elektrofahrzeuge im Markt sein.

Das Preisniveau für Elektrofahrzeuge wird sich über die nächsten Jahre nach unten entwickeln, maßgeblich natürlich mit zunehmender Nachfrage und steigender Stückzahl. Dabei wird die Preisentwicklung für fossilen Brennstoff sicherlich eine wichtige Rolle spielen, ebenso aber auch das Angebot von attraktiven und kostengünstigen Fahrzeugen aus dem internationalen Markt, insbesondere aus asiatischer Produktion. Für Deutschland wird laut aktuellen Studien der Höchststand zugelassener PKW etwa für die Jahre 2020 bis 2022 erwartet, danach wird die Gesamtzahl leicht abnehmen. Der Anteil an Elektrofahrzeugen wird zunächst nur zögerlich zunehmen, nach Markteinführung neuer Modelle

von deutschen Herstellern zu attraktiven Preisen ist aber ab 2020 mit einem erheblichen Marktanteil zu rechnen. Dabei werden in den nächsten zehn Jahren insbesondere auch Hybridfahrzeuge eine wichtige Rolle spielen

Auswirkungen auf die Produktionstechnik

Da der elektrische Antriebsstrang vom Prinzip her einfacher aufgebaut ist als der konventionelle Antriebsstrang, entfallen im reinen batterieelektrischen Fahrzeug zukünftig viele mechanische Komponenten. Zylinderkurbelgehäuse, Zylinderkopf, aufwendige Schalt- oder Automatikgetriebe werden ebenso der Vergangenheit angehören wie Abgasanlage, Anlasser, Lichtmaschine oder weitere Nebenaggregate.

Die Batterieproduktion erfordert neue Technologien, die bisher in der Automobilproduktion nicht in dem Maße etabliert waren. Gleiches gilt für die Leistungselektronik oder die Herstellung hocheffizienter Elektromotoren. Typischerweise war dies eher die Domäne einiger spezieller Zulieferunternehmen, die sicherlich zukünftig hervorragende Marktchancen bekommen, wenn die richtigen strategischen Weichenstellungen in der Zulieferindustrie gemacht werden. Andere Branchen wie etwa die Gießereiindustrie, müssen sich beispielsweise auf eine Veränderung des Produktportfolios vom Zylinderkopf und Kurbelgehäuse hin zu komplexen Gehäusen für hocheffiziente Elektromotoren einstellen. Die Grundstruktur der Karosserie zukünftiger Fahrzeuggenerationen wird zwar erhalten bleiben, allerdings müssen für immer komplexere Funktionsintegrationen und Mischbauweisen die Technologien rechtzeitig weiterentwickelt werden.

Eine Chance liegt für Deutschland in der Erforschung, Entwicklung und insbesondere der Produktion zukünftiger Generationen von Batteriezellen. Hierbei werden Hochenergiezellen und schnell ladbare Batterien eine wichtige Rolle spielen. Da die Produktion aktueller Batterietechnologie praktisch gar nicht in Deutschland verankert ist, besteht dringender Handlungsbedarf in der Entwicklung der Technologie für die nächste und übernächste Batteriegeneration wie beispielsweise Lithium-Schwefel-Systeme oder Metall-Luft-Systeme samt der dazugehörigen Produktionstechnik. Dadurch kann sich Deutschland nachhaltig sowohl als Technologiestandort, aber auch als Produktionsstandort mit hoher lokaler Wertschöpfungstiefe etablieren.

Produktion und Mobilität der Zukunft

Michael Frieß, Markus Völkel, Dr. Jan Erik Gans

1. Automobile Zukunftstrends – Herausforderung für die Automobilindustrie

Der Wandel ist ein bekanntes Phänomen in der Automobilproduktion: Globalisierung, Unternehmenszusammenlegungen, die wachsende Bedeutung von Elektronik und Leichtbautechnologien in den Produkten sowie der Siegeszug der Lean Production waren hierbei die umfassendsten Veränderungen der letzten Jahrzehnte. Doch welche Herausforderungen sind es heute, auf die sich die Hersteller einstellen müssen, um im Wettbewerb bestehen zu können? In diesem Beitrag geben wir einen Überblick über aktuelle Trends und zeigen Lösungsansätze der Automobilproduzenten auf.

Bei vielen Entwicklungen, die wir bereits heute beobachten, ist zu erwarten, dass diese sich auch in Zukunft fortsetzen werden. So ist davon auszugehen, dass sich der Konsolidierungstrend unter den Automobil-Herstellern weiter fortsetzen wird. Von den Herstellern, die nur auf ihren Heimatmärkten unterwegs waren, existieren heute nur noch wenige. Die meisten waren dem Preisdruck anderer global agierender Anbieter nicht mehr gewachsen und gingen entweder in die Insolvenz oder wurden aufgekauft. Auch in Zukunft werden die meisten großen Hersteller auf weltweites Wachstum setzen und versuchen, ihre Effizienz durch Stückzahleffekte zu steigern. Hierbei gilt es, sich auf die Bedürfnisse möglichst vieler Kunden

einzustellen: Ausgehend von einem Grundmodell, das in großer Stückzahl hergestellt und weltweit vertrieben werden kann, wächst die Varianz der Derivate und Sonderausstattungen, um die unterschiedlichen Vorstellungen der Kunden zu treffen. Die Aussage von Henry Ford aus dem Jahre 1923, „(a)ny customer can have a car painted any colour that he wants so long as it is black“, macht auch heute noch deutlich, wie der Wunsch des Kunden (möglichst individuelle Gestaltung) und des Produzenten (möglichst nur eine Variante) auseinandergehen. Erfolgreiche Produkt- und Produktionsstrategien werden auch in Zukunft daran zu messen sein, wie gut eine hohe äußere, für den Kunden sichtbare, Varianz durch eine möglichst geringe innere Varianz abgebildet werden kann.

Aber auch andere, weniger technische Trends gilt es zu beachten: War dem Kunden früher eine hohe Motorleistung wichtig, spielen heute Komfort und Sicherheit eine immer wichtigere Rolle. Hinzu kommt die zunehmende Vernetzung der Fahrzeugfunktionen, die mobile Nutzung von Informationsdiensten im Auto, modernes Image und Design sowie, immer wichtiger werdend, weiche Faktoren wie soziale Akzeptanz unter anderem durch geringe Verbrauchswerte und nachhaltige Herstellprozesse. Menschen sehen das Auto heute nicht mehr nur als reines Transportmittel, sondern wollen sich angesichts der verbrachten Zeit im Auto dort wohl fühlen und andere Dinge erledigen.

gen. Insbesondere in Märkten wie den asiatischen Metropolen oder den USA spielt Leben im Auto eine immer größere Rolle und zeigt sich in der zunehmenden Nachfrage nach einem großen und komfortablen Innenraum sowie der Einbindung von Internetdiensten in die Fahrzeug-Informationstechnik. In diesem Zusammenhang lösen sich auch klassische Werte wie die Markentreue auf und werden durch das Ausrichten des Kaufverhaltens an aktuellen Trends ersetzt. Diese Trends gehen teilweise sogar soweit, dass der Kauf und Besitz eines Fahrzeugs in den Hintergrund rücken und das Auto nur noch als eine Option der Mobilität gesehen wird, die man bedarfsgerecht mieten möchte. Angesichts der Parkplatznot und der guten Infrastruktur entwickelt sich insbesondere in Großstädten eine ernstzunehmende Kundengruppe, die die Automobil-Hersteller in Zukunft auch für sich gewinnen wollen.

In unserem Beitrag möchten wir uns auf zwei Themen fokussieren, anhand derer dieser Wandel besonders deutlich wird. Zum einen möchten wir aufzeigen, welche Auswirkungen die zunehmende Variantenvielfalt und Komplexität der Produkte auf die Automobil-Produktion hat und welche Antworten die Produktionstechnik und -logistik bereits heute darauf hat. Zum anderen wollen wir einen Blick auf die Entwicklung der ganzheitlichen Mobilitätsangebote werfen, in denen das Auto nur noch ein Baustein in einem Gesamtmobilitätskonzept ist. Wie sich ein klassischer Automobil-Hersteller auf diese Bedürfnisse mit neuen Geschäftsmodellen ausrichten kann, beschreiben wir im zweiten Teil dieses Beitrags.

2. Veränderte Anforderungen an das Produkt – Herausforderungen für die Produktion

Wie wirken sich nun diese veränderten Anforderungen auf das Produkt Automobil aus? Vergleicht man Fahrzeugmodelle aus den 1970er oder 1980er Jahren mit heutigen Modellen, so erkennt man, welchen Sprung insbesondere die Komfort- und Sicherheitstechnik gemacht hat. Kaum ein Modell kann heute noch ohne Klimaanlage oder ein umfassendes Portfolio an Airbags und Fahrsicherheitselektronik verkauft werden. All diese elektrischen und elektronischen Geräte sind in das Gesamtsystem Fahrzeug einzubinden und müssen reibungslos miteinander kommunizieren. So wundert es kaum, dass heute der Kabelbaum als eines der komplexesten Bauteile angesehen werden kann. Weniger augenscheinlich aber mindestens genauso relevant für den Komplexitätssprung der Produkte ist die Entwicklung der verbrauchssenkenden Technologien. Exemplarisch kann hier die Entwicklung der Dieselschicht für Personenkraftfahrzeuge herausgegriffen werden. Angefangen mit Turboladern und Direkt-Einspritztechnik wurde hier die Technik immer weiter ergänzt und optimiert, um die Effizienz des Verbrennungsprozesses zu steigern. Heute sind Start-Stopp-Automatik und Hochdruck-Common-Rail-Einspritztechnik Mindestanforderungen, um die CO₂-Ziele zu erfüllen. Hinzu kommen weitere Technologien wie schließbare Kühlerlamellen, Abgasrückführung, vom Motor abgekoppelte Klimakompressoren und Steuergeräte, die den Umfang an Bauteilen und den Platzbedarf im Motorraum erhöhen. War es für den Fahrer von Modellen aus der 1980er Jahren noch selbstverständlich, dass er beim Öffnen der Motorhaube unter dem Aggregat noch die

Straße sehen konnte, so sieht er dort heute einen durch verschiedenste Komponenten vollkommen ausgenutzten Raum. Multipliziert man nun diese Bauteilanzahl mit allen Motor-, Länder- und Ausstattungsvarianten, wird schnell deutlich, welche Bedeutung dieser Komplexitätssprung auf die Produktionsprozesse hat.

Im Folgenden wird exemplarisch auf zwei produktionstechnische Herausforderungen eingegangen, die aus der wachsenden Komplexität der Produkte entstehen: Die Materialbereitstellung und die Prüfung der elektrischen und elektronischen Komponenten.

In der Vergangenheit erfolgte die Bereitstellung aller Bauteile typischerweise direkt am Band in der Nähe des Verbauortes. Der Umfang der bereitgestellten Menge konnte dabei im Sinne der klassischen Andlerschen Losgrößenformel (1929) als Optimum aus Lager- und Versorgungs-(Rüst-)Kosten ermittelt werden. Hierbei ergeben sich häufig große Gebindeformen mit einer geringen Versorgungsfrequenz. Nachteilig an dieser Bereitstellungsform ist jedoch, dass zum einen relativ weite Wege beim Einsammeln des benötigten Materials durch den Werker am Band entstehen, wie zum Beispiel beim Bücken in große Ladungsträger. Zum anderen steigen die Laufwege sehr schnell stark an, wenn viele unterschiedliche Varianten in großen Ladungsträgern nebeneinander angeordnet werden müssen. Hinzu kommt, dass sich für einzelne, selten nachgefragte Varianten lange Lagerzeiten auf der vergleichsweise wertvollen Lagerfläche in der Produktion ergeben.

Angetrieben durch die Erkenntnisse aus japanischen Produktionssystemen setzten sich somit

andere Strategien in der Bereitstellung durch. Vorrangigstes Ziel ist es nun, die Verschwendungsumfänge (auch: Manufacturing Variable) vom Ort der Wertschöpfung, also dem eigentlichen Einbauprozess, zu eliminieren. Dazu gehören vor allem die Vorgänge zur Beschaffung des Materials, das idealerweise so anzuordnen ist, dass minimale Laufwege entstehen. Dies kann unter anderem durch die Strategie eines sogenannten Ein-Punkt-Abgriffes erreicht werden, bei dem der Werker bereits auf seinem Weg von einem Fahrzeug zum nächsten am Band sein Material an einer Stelle einsammelt. Dies setzt allerdings voraus, dass alle Varianten eng gepackt an einer Stelle des Materialstreifens bereitstehen. Dies gelingt nur dann, wenn kleine Gebindeformen oder gar Bereitstellungsformen ganz ohne Verpackung (Top-Up) gewählt werden.

Gemäß der Logik, Verschwendung vom Ort der Wertschöpfung, also dem Montageband, nach außen zu verlagern, kann auch eine Vorsortierung der Teile an einem anderen Ort stattfinden und das Material in Sequenz dem Werker am Band an einer Abgriffsposition bereitgestellt werden. Bei dieser sogenannten Line-Back-Strategie wird somit der Aufwand zum Einsammeln der Teile in einen Vorkommissionierungsbereich verlagert. In diesen Sequenz- und Setzbereichsbereichen können die Materialbehälter mit viel geringeren Platz- und Variantenbeschränkungen angeordnet werden und die Sammelprozesse zum Beispiel durch selbstfahrende Plattformen für die Kommissionierer optimiert werden. Durch computergestützte Systeme, die immer den richtigen Abgriffsort durch Lichtsignale anzeigen, kann zudem abgesichert werden, dass immer das richtige Teil genommen wird.

In beiden Fällen, der Reduzierung der Gebindegrößen und der Verlagerung in Vorkommissionierungsbereiche führt diese Veränderung dazu, dass die Versorgungsfrequenz zwischen Logistik- und Montagebereichen erhöht werden muss. Dies kann nur bedingt durch die klassische Versorgungsform mit Staplern oder Trolleys gelingen, da das Verkehrsaufkommen in der Halle enorm steigen würde. Somit kommen neue Versorgungskonzepte ins Spiel: Auf festgelegten und zeitlich getakteten Routen kann die Versorgungseffizienz für die kleineren Ladungsträger erheblich gesteigert werden. Gelingt es zusätzlich noch, die Übergabepunkte zu standardisieren, können im nächsten Schritt die sogenannten Shooter-Lösungen umgesetzt werden: Hierbei fährt das Versorgungsfahrzeug nahe von der Logistikseite an die zu versorgenden Regale heran. Dann wird der Versorgungswagen vom Versorgungsfahrzeug getrennt und an das Bandregal herangeschoben. Anschließend löst eine einfache Mechanik die Ladungsträger auf dem Versorgungswagen, die nun auf schrägen Rollenbahnen auf das Bandregal rutschen. Dieselbe Mechanik wird ebenfalls für die Rückführung der leeren Behälter vom Bandregal auf den Versorgungswagen genutzt.

Da diese Routen immer gleich abgefahren und gleiche Haltepunkte genutzt werden, eignen sich diese Strecken ideal zur Automatisierung durch fahrerlose Transportsysteme. Im Idealfall finden diese Transportsysteme selbst ihren Weg an die Andockpunkte und lösen selbstständig die Mechanik zum Austausch von vollen und leeren Behältern aus.

Als Extremform der Verschwendungsverdrängung kann der sogenannte Warenkorb gesehen

werden: Hierbei erfolgt die komplette Materialbereitstellung für einen Bandabschnitt auf einem Set-Ladungsträger, dem sogenannten Warenkorb. Dieser wird in einem Logistikbereich fahrzeugindividuell befüllt, so dass der Werker am Band nur noch die Teile aus dem Warenkorb aufnehmen und verbauen muss. Es erfolgt keinerlei Materialbereitstellung in Regalen am Band, so dass diese Versorgungsform insbesondere bei einer sehr hohen Variantenvielfalt, zum Beispiel in Multi Model Lines mit mehreren Fahrzeugvarianten, eingesetzt wird. Auch hier werden idealerweise fahrerlose Transportsysteme zur Bewältigung der Transportstrecke zwischen Kommissionierbereich und Montageband eingesetzt. Zudem ergibt sich in diesen Systemen der Vorteil, dass Veränderungen der Taktzeit und damit der Zuordnung der Verbauumfänge zu Stationen sehr einfach umgesetzt werden können. Nachteilig ist jedoch bei allen Line-Back-Ansätzen zu sehen, dass die Kommissionier- und Setbildungsvorgänge eine weitere Handling-Stufe im Prozess bedeuten, die durch Effizienzsteigerungen im Gesamtablauf gerechtfertigt sein muss.

Auch bei der Prüfung elektrischer und elektronischer (E/E) Funktionen im Fahrzeug zeigen sich die Auswirkungen steigender Komplexität. Konnten in der Frühphase des Automobilbaus die Funktionen durch einfaches Ausprobieren geprüft werden, ist dies heute aufgrund der vielen Sonderausstattungskombinationen und Länderspezifika praktisch unmöglich geworden. Hinzu kommt, dass die Systeme untereinander vernetzt arbeiten und je nach Konfiguration trotz äußerer Gleichheit unterschiedliche Funktionen anbieten.

Bereits in der Entwicklung beginnt die Herausforderung, alle E/E-Komponenten im Zusammenspiel

zu prüfen und zum Beispiel in Software-Tests oder in Hardware-in-the-Loop-Verfahren abzusichern. Auch in den Fahrversuchen mit realen Fahrzeugen gilt es, möglichst viele technische Varianten und Kombinationen abzusichern. Da es dabei unmöglich ist, jede theoretisch mögliche Kombination in der Testphase aufzubauen und zu prüfen, müssen sinnvolle Varianten möglichst intelligent gewählt werden, um alle später in der Serienphase auftauchenden Ausstattungskombinationen abzudecken.

Als beispielhaftes Bauteil kann hier der Leitungssatz genannt werden. Mit steigender Anzahl von Steuergeräten, Sensoren und mechatronischen Bauteilen steigt die Anzahl von Leitungen und Steckverbindungen. Dies führt nicht nur zu einer Steigerung des Gewichts des Leitungssatzes mit zunehmenden Fahrzeugfunktionen, sondern erhöht auch die Prüfkomplicität deutlich. Es ist somit nachvollziehbar, dass es eines der vorrangigsten Ziele der Leitungssatzentwicklung ist, Trennstellen zu minimieren, um mögliche Fehlerquellen auszuschließen. Auch die Reduzierung von Steuergeräten durch Funktionsintegration ist eine Zielsetzung, um die Komplexität des Gesamtsystems zu reduzieren. Zusätzlich gilt es, intelligente Prüfverfahren zu entwickeln, um die Vielzahl von Funktionen im Produktionsablauf prüfen zu können.

3. Neue Mobilitätskonzepte – mehr als nur das Auto

Neben Strategien zum Umgang mit Komplexität in Produkt und Produktion müssen Hersteller auch den Blick nach außen wenden und Antworten auf gesellschaftliche Trends finden. Wie bereits in der Einleitung beschrieben, entwickelt sich hier ein re-

levanter Markt, in dem der Besitz eines Fahrzeugs für den Kunden keine Rolle mehr spielt. Dieser Trend lässt sich in vielen Bereichen beobachten, wo Menschen nicht mehr nur Dinge besitzen wollen, sondern das Teilen und die gemeinsame Nutzung im Vordergrund stehen. Hierbei ist nicht nur der finanzielle Aspekt eine Motivation, sondern auch eine veränderte Lebenseinstellung der Nutzer. Leih man ein Produkt, so ist die Erwartungshaltung, dass es sich stets im betriebsbereiten Zustand befindet. Ein Aufwand zur Lagerung, Versicherung oder Instandhaltung entsteht für den Nutzer nicht und wird durch den Verleiher sichergestellt. Darüber hinaus bietet das Leihen die Option, unterschiedliche Produkte zu nutzen und immer dem jeweiligen Bedarf entsprechend auszuwählen. Auch das Gefühl, dass durch eine sogenannte Shared Economy weniger Ressourcen aufgewendet werden müssen, spielt sicher eine Rolle.

Das populärste Feld ist hierbei das sogenannte Carsharing. Insbesondere in Großstädten, wo verschiedene Mobilitätsoptionen verfügbar sind, wollen die Bewohner nur noch in bestimmten Situationen die Vorteile eines Autos nutzen. Hinzu kommt, dass bei vielen Carsharing-Systemen spezielle Parkplätze vorgehalten werden, die die lästige Parkplatzsuche entfallen lassen.

Attraktiv ist diese Nutzungsform jedoch nur, wenn eine hohe Verfügbarkeit sichergestellt ist und der Kunde bequem und zeitnah auf das Angebot zugreifen kann. Voraussetzung hierfür sind insbesondere leistungsfähige und gut zu bedienende Softwarelösungen, die den Zugriff von mobilen Endgeräten ermöglichen und in Echtzeit die Verfügbarkeit der Fahrzeuge anzeigen. Anbieter, die in diesem Markt erfolgreich sein wollen, müssen also

nicht nur ein attraktives Fahrzeugangebot haben, sondern müssen auch IT-Systeme entwickeln und betreiben, die intuitiv zu bedienen und hochverfügbar sind. Hinzu kommt ein Service-Portfolio, um die Fahrzeuge für die Nutzung bereitzuhalten und eine möglichst gute Abdeckung im Angebotsgebiet sicherzustellen.

In den vergangenen Jahren sind neben den klassischen Autovermietern auch einige OEM-Unternehmen (Original Equipment Manufacturer) in diesen Markt eingestiegen und haben ihre eigenen Lösungen entwickelt. Beispielhaft beschreiben wir hier das System Car2Go, das die Daimler AG gemeinsam mit Europcar gegründet hat. Gestartet mit einer Pilotphase in Ulm im Jahr 2008 ist Car2Go heute in 29 europäischen und nordamerikanischen Städten verfügbar und hat mehr als eine Million registrierte Nutzer. Direkte Konkurrenten mit vergleichbaren Systemen sind in Deutschland unter anderem DriveNow (BMW und Sixt) und Multicity (PSA Peugeot Citroën und DB Rent).

Die Besonderheit am Car2Go-System ist, dass die Fahrzeuge nicht wie bei anderen Carsharing-Angeboten an festen Verleihstationen zur Verfügung gestellt werden, sondern dass diese prinzipiell überall im Geschäftsgebiet abgestellt werden können. Teilweise stehen in den Innenstädten auch speziell vorgehaltene Abstellplätze zur Verfügung, insbesondere wenn es sich um Ladestationen für Elektrofahrzeuge handelt. Per Webseite oder Smartphone-App kann der Standort des nächstgelegenen Fahrzeugs ermittelt werden, so dass eine spontane Anmietung möglich ist. Nach einer einmaligen Registrierung erfolgt die Abrechnung im Minutentakt, ein regelmäßiger Mitgliedsbeitrag oder eine Kautions existieren nicht.

Während in den Car2Go-Gebieten ausschließlich zweisitzige Smarts eingesetzt werden, können bei dem ergänzenden Angebot Car2Go Black auch Mercedes-Benz B-Klassen gemietet werden. Die Fahrzeuge sind aufgrund ihrer fünf Sitze, dem größeren Platzangebot und diversen Sonderausstattungen auch für längere Strecken mit Gepäck geeignet und können zum Beispiel auch für One-Way-Fahrten zwischen Hamburg und Berlin eingesetzt werden. Hier steht der Komfort bei der Anmietung und Rückgabe im Vordergrund, da alle Prozesse vollständig mit dem Smartphone erledigt werden können.

Denkt man die Idee eines vollständigen Mobilitätsangebotes weiter, so gilt es verschiedene Transportmittel in ein Angebot zu integrieren und miteinander zu vernetzen. Der Kunde gibt dann nur noch seinen Start- und Zielpunkt vor und ein System ermittelt automatisch die entsprechend der Vorgaben optimale Verbindung. Ein Beispiel ist der Dienst moovel, der verschiedenste Transportmöglichkeiten in einem System kombiniert. Die Firma moovel GmbH, eine hundertprozentige Tochter der Daimler AG, kooperiert dazu mit Partnern wie Car2Go, Car2Go Black, Park2gether, mytaxi und RideScout. Hinzu kommt die Integration weiterer öffentlicher Angebote wie ÖPNV, Taxizentralen, Mitfahrgelegenheiten, Mietfahrräder und Zugverbindungen. Der Kunde tätigt dann nur noch eine Anfrage auf der Webseite oder der Smartphone-App und bekommt verschiedene Vorschläge, wie er zu seinem Ziel kommt. Bis auf wenige Ausnahmen können dann diese Angebote anschließend direkt über die Anwendung gebucht und bezahlt werden.

4. Zusammenfassung

Wir konnten in unserem Beitrag anhand von zwei exemplarischen Themenkomplexen zeigen, wie Automobilhersteller sich auf aktuelle Trends einstellen, um sich für die Zukunft zu rüsten. Das Management von Produktvielfalt und Varianz wird weiterhin ein Hauptthema bleiben, wenn Hersteller ihren Kunden ein möglichst individuelles Angebot machen und dadurch Marktanteile erobern wollen. Neben geeigneten Fahrzeugkonzepten wird hierbei die Entwicklung, die Umsetzung und das Betreiben von leistungsfähigen Produktionssystemen in der Zukunft eine zentrale Rolle für den Unternehmenserfolg spielen. Die von uns beschriebenen Methoden zur Beherrschung der Komplexität am Montageband sind dabei ein elementarer Baustein. Ein weiterer Erfolgsbaustein wird sein, wie sich die Hersteller auf veränderte Kundenbedürfnisse einstellen. Wenn plötzlich der Besitz, und damit der Kauf, für bestimmte Kundengruppen in den Hintergrund rückt, werden die Hersteller neue Geschäftsmodelle entwickeln müssen. Welche Bedeutung die multimodalen Mobilitätsdienste wie das von uns vorgestellte System moovel haben werden, gilt es dabei mit Spannung zu beobachten.

Weiterführende Literatur

- ANDLER, Kurt (1929): Rationalisierung der Fabrikation und optimale Losgröße. München.
- FORD, Henry (1923): My Life and Work. In Collaboration with Samuel Crowther. New York.

Grußwort der Senatorin für Bildung und Wissenschaft der Freien Hansestadt Bremen

Prof. Dr. Eva Quante-Brandt

Sehr geehrter Herr Dr. Staroßom,
sehr geehrter Herr Professor Kleiner,
sehr geehrter Herr Professor Scholz-Reiter,
meine sehr geehrten Damen und Herren,

ich freue mich sehr, Sie heute – in bereits guter Tradition – in der historischen Stadtwaage zur Eröffnung der 27. Bremer Universitäts-Gespräche begrüßen zu können.

Wir wissen alle: Deutschland ist ein rohstoffarmes Land. Es bezieht seine Wirtschaftskraft im Wesentlichen aus seiner Innovationsfähigkeit. Dies trifft ganz besonders auf die Produktion zu. Die weitere Entwicklung der industriellen Produktion ist eines der großen Zukunftsprojekte Deutschlands. Die kürzlich veröffentlichte neue Hightech-Strategie der Bundesregierung macht dies deutlich: Sie setzt die Prioritäten auf Forschung und Innovation in den Feldern, die von besonderer Innovationsdynamik geprägt sind und in denen Beiträge zur Lösung der globalen Herausforderungen geleistet werden können.

Schlagwörter sind hierbei unter anderen die digitale Gesellschaft, das nachhaltige Wirtschaften und die intelligente Mobilität. Themenkomplexe, die auch den Bereich der Produktion erheblich betreffen und verändern werden. Das Nachdenken über die Zukunft der Produktion ist auch nicht verwunderlich, wenn man bedenkt, dass Produktion und produktionsnahe Dienstleistungen mehr

als zwei Drittel der gesamten Wirtschaftsleistung in Deutschland erzielen.

Das Thema der 27. Bremer Universitäts-Gespräche ist also hochaktuell. Es kann auch umgekehrt formuliert werden: „Ohne Produktion keine Zukunft“.

In Deutschland liefern sowohl die Industriefirmen als auch die Hochschulen und Forschungseinrichtungen wesentliche Beiträge zur Produktion. Produktionsforschung ist insofern unverzichtbar und ein Garant für künftigen Wohlstand, wie uns der Präsident der Leibniz-Gemeinschaft, Professor Matthias Kleiner, den ich noch einmal ganz herzlich in Bremen begrüßen möchte, in seinem Festvortrag gleich darlegen wird.

Was sind die großen Herausforderungen und neuen Anforderungen, denen sich die Produktion heute gegenüber sieht? Wie sieht die Fabrik der Zukunft aus? Wir befinden uns in einer Zeit des schnellen Wandels des gesellschaftlichen und individuellen Bedarfs in einem globalisierten Markt. Klar ist, dass wir uns mitten im digitalen Wandel befinden und die weitere Digitalisierung der Produktion ein entscheidendes Element der Wettbewerbsfähigkeit darstellt. Das große Schlagwort ist Industrie 4.0, die 4. industrielle Revolution.

Industriellen Revolutionen, beginnend mit dem ersten mechanischen Webstuhl 1784, ist bislang gemein gewesen, dass sie eine neue Phase

der Automatisierung eingeleitet haben. Im Zeitalter von Industrie 4.0 sollen Maschinen, Transportcontainer und Produkte automatisch miteinander kommunizieren und zusammenarbeiten; der Kunde kann dann seine Produkte individuell und flexibel zusammenstellen. Dank eingebetteter Computerchips werden diese Produkte nunmehr intelligent. Sie verschmelzen mit der virtuellen Welt zum Internet der Dinge und Dienste.

Meine Damen und Herren, fest steht, dass innovative Produkte auch in Zukunft der Schlüssel zur Produktion in Deutschland sind. Um langfristig auf dem globalen Markt bestehen zu können, muss allerdings die Ausrichtung deutlich stärker als bisher auf den Menschen als Kunden und Anwender erfolgen. Der enge Schulterschluss zwischen Wissenschaft und Wirtschaft wird künftig noch bedeutsamer. Und klar ist auch, welche hohe Bedeutung die Ausbildung hochqualifizierter Fachkräfte und die Produktionsforschung auf hohem Niveau für die weitere Entwicklung der Produktion hat und auch künftig haben wird.

In dieser Hinsicht kann sich Bremen durchaus sehen lassen: Wir sind stolz darauf, dass Bremen und Bremerhaven mit ihrer facettenreichen Industrie mit einer Mischung aus Großunternehmen, wie z. B. Airbus und Mercedes-Benz, und diversen kleinen und mittelständischen Unternehmen (KMU) und den Hochschulen sowie zahlreichen – etwa der Hälfte der insgesamt 20 außeruniversitären Forschungseinrichtungen im Land Bremen – im Bereich der Produktion und Produktionsforschung sehr erfolgreich ist.

Mit seinen Innovationsclustern in den Bereichen Windenergie, Luft- und Raumfahrt sowie Maritime Wirtschaft und Logistik gehört das Land

Bremen zu DEN Innovationsregionen Deutschlands. Unsere Innovationscluster zeichnen sich durch eine starke industrielle Basis und exzellente Wissenschaft aus. Dies ist auch ein Resultat der gezielten Innovationsförderung des Landes, die mit der Clusterstrategie 2020 fortgesetzt wird.

Die erfolgreiche Flankierung durch die Wissenschaft wird in zahlreichen Rankings deutlich. So werden regelmäßig Spitzenplätze bei der Einwerbung von Drittmitteln pro Hochschullehrerin beziehungsweise -lehrer erreicht, zum Beispiel im DFG-Förderatlas und beim Ranking des Centrums für Hochschulentwicklung (CHE). Erfolgreich sind wir im Land Bremen sowohl in der Grundlagenforschung, was sich an Sonderforschungsbereichen – in diesem Jahr ist der SFB Prozesssignaturen hinzugekommen – ERC-Grants, unter anderem für die Entwicklung von umweltverträglichen Fertigungsprozessen mit Fokus auf Kühlschmierstoffe und energieeffiziente Prozessketten, und DFG-Forschergruppen zeigt. Aber auch in anwendungsnaher Forschung, was durch zahlreiche Drittmittel der Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen (AiF), des BMBF- und der EU zum Ausdruck kommt, ist Bremen stark. Ferner gibt es diverse direkte regionale und überregionale Firmenkooperationen.

Im Vordergrund der Wissenschaftspolitik des Landes steht die Konzentration auf fünf Wissenschaftsschwerpunkte, wozu auch die beiden für Industrie 4.0 zentralen Wissenschaftsschwerpunkte Materialwissenschaften und Informations- und Kommunikationswissenschaften zählen. In den Wissenschaftsschwerpunkten finden zwischen den Hochschulen und außeruniversitären Instituten konzentriert Kooperationen statt. Sie sind ein Garant für exzellente Forschung sowie äußerst

positive regionalökonomische Effekte. Letztere wurden durch die aktuell von dem Consulting-Unternehmen DIW Econ vorgelegte Studie Wirtschaftsfaktor Wissenschaft in Bremen gerade wieder bestätigt.

Dabei wurde insbesondere die Bedeutung der Hochschulen und außeruniversitären Forschungsinstitute für die Wirtschaft im Land Bremen dargestellt, die als Orte der Innovation und des gesellschaftlichen Fortschritts eine wichtige Funktion für die wirtschaftliche Entwicklung innehaben. Die bremischen Hochschulen und Forschungsinstitute sichern auf diese Weise hochqualifizierte Arbeitsplätze für Bremen, Bremerhaven und das Umland.

Die Wissenschaftspolitik leistet damit einen erheblichen Beitrag zur Entwicklung des Landes Bremen. Im Wissenschaftsplan 2020 haben wir nun die Weichen gestellt, diese Schwerpunkte gezielt weiterzuentwickeln und auch für die Breite der Lehre gewinnbringend nutzbar zu machen.

Zukunftsweisend ist auch das im Bereich Leichtbau geplante Forschungs- und Entwicklungszentrum EcoMaT (Center for Eco-efficient Material & Technologies) in der Airport-Stadt, in dem ab 2016 eng zwischen Wirtschaft und Wissenschaft – Kernpartner sind Airbus und das Faserinstitut – unter einem Dach zusammengearbeitet werden soll.

Meine Damen und Herren, erlauben Sie mir, dass ich an dieser Stelle noch einige Worte zur Bremer Universität anmerke. Als noch vergleichsweise junge und mittelgroße Universität sind wir stolz darauf, seit 2012 zu den elf Exzellenzuniversitäten in Deutschland zu gehören. Für den Bereich Produktion sind insbesondere die Fachbereiche Produktionstechnik, Physik/Elektrotechnik sowie

Mathematik/Informatik relevant, wo es zahlreiche Institute gibt, die auch fachbereichsübergreifend kooperieren.

Erwähnen möchte ich, dass in dem 1982 eingerichteten Fachbereich Produktionstechnik durch die Kombination von Elementen aus den klassischen Studienfächern Maschinenbau und Verfahrenstechnik gezielt ein in Deutschland einzigartiges Studien- und Forschungskonzept aufgebaut wurde. Der arbeitende Mensch wurde seinerzeit in den Fokus gerückt und als wesentliche Merkmale wurden Interdisziplinarität und Praxisorientierung definiert. Damit wurden bereits damals Ziele gesetzt, die auch heute die moderne Ingenieursausbildung prägen.

Beim heutigen forschungsorientierten Lernen werden junge Studierende in die Forschung mit einbezogen und lernen das Fachliche by doing sowie auch in größeren Ingenieurzusammenhängen zu denken. In den verschiedenen dualen Studiengängen, insbesondere der Hochschule Bremen, wird ferner zusammen mit Unternehmen im Wechsel von Theorie- und Praxisphasen zweigleisig ausgebildet. Bremen kann damit im Bereich der Produktion als sehr gut aufgestellt gelten. Unsere Wissenschaft und Wirtschaft leisten einen bedeutenden Beitrag für die Standortsicherung Deutschlands im digitalen Wandel.

Das betrifft die Ausbildung hochqualifizierter Fachkräfte und es betrifft Forschung auf hohem Niveau. Die enge Vernetzung von außeruniversitären Forschungseinrichtungen sowie den Hochschulen in Kooperation mit ansässigen Unternehmen ist ein fest etabliertes Merkmal der Forschungslandschaft in Bremen. Um auch künftig im Wettbewerb bestehen zu können, ist es erklärtes Ziel des Senats, dieses Netzwerk weiter zu stärken.

Meine Damen und Herren, aus diesem Grunde freue ich mich auch ganz besonders über die jüngst in der Gemeinsamen Wissenschaftskonferenz von Bund und Ländern gefassten Beschlüsse. Die dritte Phase des Paktes für Forschung und Innovation gibt der Wissenschaft in Forschung und Lehre verlässliche Rahmenbedingungen bis 2020. Ein Land wie Bremen, das weit über seinen eigenen Bedarf hinaus akademisch ausbildet und bereits heute – trotz seiner klammen Haushaltssituation – rund zehn Prozent des gesamten Haushaltsvolumens für Lehre und Forschung aufwendet, ist auf die zusätzlichen Mittel dringend angewiesen.

Auch freue ich mich über den Grundsatzbeschluss für eine neue Bund-Länder-Initiative zur Nachfolge der Exzellenzinitiative. Er sichert den erst seit 2012 geförderten Einrichtungen wie der Universität Bremen mit ihrem Zukunftskonzept die Chance zu einer zweiten Förderphase zu. Damit wird auch künftig ein wissenschaftspolitischer Akzent auf die Förderung von universitärer Spitzenleistung gesetzt. Ich glaube, dass diese Beschlüsse für die Weiterentwicklung der Leistungsfähigkeit des Wissenschaftssystems nicht nur in Bremen und Bremerhaven, sondern in Deutschland insgesamt von großer Bedeutung sind.

Zum Abschluss möchte ich den beiden wissenschaftlichen Koordinatoren Herrn Professor Brinksmeier und Herrn Professor Busse für die Programmgestaltung ganz herzlich danken. Ich bin sehr gespannt auf Ihre Tagungsergebnisse, von denen wir sicher alle profitieren werden, und freue mich jetzt auf den Festvortrag von Herrn Professor Matthias Kleiner.

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit.

Tischrede

Prof. Dr. Heiko Starößom
Die Sparkasse Bremen AG

Sehr geehrte Damen und Herren,

ich begrüße Sie sehr herzlich hier im Scotland-Saal des Atlantic Grand Hotels Bremen. Wieder einmal kommen wir zu den Bremer Universitäts-Gesprächen zusammen. Das diesjährige Thema lautet: Die Zukunft der Produktion. Nun, Produktion hat ja nach landläufiger Meinung mit Industrie zu tun, und da trifft es sich gut, dass ich aus der Finanzindustrie komme und deshalb zu diesem Thema etwas beitragen kann. Ich möchte Ihnen heute einige Gedanken zu den gesellschaftlichen Fragen vortragen, welche sich aus dem unglaublichen Produktivitätsfortschritt der Industrie ergeben.

Produktion ist in unserem Land ein positiv besetztes Wort. Ich bin oft neidisch, wenn ich die Produktion meiner Firmenkunden besichtige und sehe, wie – früher hätte man gesagt – unter ihren Händen etwas Reales entsteht, deshalb auch der seit der Finanzmarktkrise geläufige Begriff Realwirtschaft. Wir in der Kreditwirtschaft sind – trotz des Traums vom papierlosen Büro – zu einer großen Papierfabrik mit angeschlossenem Geldgeschäft geworden. Was bei uns entsteht, ist ein Datenstrom, den man aber nicht sehen kann, und mit dem man noch nicht einmal seine Kinder beeindrucken kann. Ja, bedenken Sie, wie schwierig es für einen Banker ist, seinen Kindern zu erklären, weshalb man so lange im Büro ist.

Produktion ist in Deutschland auch deshalb ein so positiv besetztes Wort, weil es eine große Vergangenheit hat. Die Produktverbesserungen in allen Bereichen sind Legion: Angefangen bei den Autos von heute, die nur noch sehr eingeschränkt mit dem VW Käfer meiner Großeltern vergleichbar sind, bis zu den intelligenten Haushaltsgeräten von heute, die meilenweit von der Waschmaschine entfernt sind, mit der meine Mutter noch die Windeln meiner Brüder gewaschen hat. Übrigens, Windeln wäscht heute bei uns kein Mensch mehr. Bis zu den Smartphones von heute, mit denen man so gut wie alles machen kann, von der Musik über das Fotoalbum bis zum großen Familienalbum, Social Network nennt man das. Ja, und man kann mit diesen Geräten auch telefonieren, wie mit dem Festnetz-Telefon mit Wählscheibe in meiner Jugend. Die Produktverbesserungen sind uns also geradezu zu einer Selbstverständlichkeit geworden, dass wir gelegentlich vergessen, sodass sie regelmäßig das Ergebnis von mühevoller Kleinarbeit sorgfältiger Entwicklungsingenieure sind.

Zu den Produktverbesserungen kommt noch hinzu, dass die (besseren) Produkte von heute zu einem Bruchteil der früheren Preise zu erwerben sind. Legt man die Nettoverdienste der Arbeitnehmer je geleisteter Stunde zugrunde, dann musste ein Arbeitnehmer 1960 noch 39 Minuten für ein halbes Pfund Butter arbeiten und

2011 noch vier Minuten. Für einen Herrenanzug reduzierte sich die notwendige Arbeitszeit von 68 Stunden (1960) auf rund 15 Stunden (2011), und für eine Waschmaschine waren statt 224,5 Stunden (1960) nur noch knapp 28 Stunden (2011) notwendig.

Die Kombination von verbesserten Produkten und realen Preissenkungen war nur möglich durch einen rasanten Anstieg der Produktivität, also dem Verhältnis zwischen dem mengen- beziehungsweise wertmäßigen Produktionsergebnis und den Einsatzmengen oder den Kosten der Produktionsfaktoren. Um meinen Vortrag nicht zu lang werden zu lassen, soll ein Beispiel genügen: „In den Vereinigten Staaten stieg die Stahlproduktion zwischen 1982 und 2002 von 75 Millionen auf 120 Millionen Tonnen, während die Zahl der Stahlarbeiter von 289.000 auf 74.000 sank.“ (Rifkin 2014: 183) Politiker – und auch die schlecht informierte Öffentlichkeit – schieben die Schuld für den Verlust an Arbeitsplätzen in der Produktion deren Auslagerung in Billiglohnländer wie China zu. Tatsache ist jedoch, dass etwas weit Folgenreichereres passiert ist: Zwischen 1995 und 2002 gingen weltweit auf dem Produktionssektor 22 Millionen Arbeitsplätze verloren, während die weltweite Produktion um mehr als 30 Prozent stieg (ebd.). Doch hierzu später mehr.

Es wird also deutlich, dass die Situation Deutschlands, welches aufgrund der starken Industrie einigermaßen gut durch die Wirtschaftskrise der vergangenen Jahre gekommen ist, eine Ausnahme in der Welt ist, die nicht so einfach auf alle anderen Länder übertragen werden kann. Die jetzige Position der deutschen Industrie als Werkzeugmacher und Produzent der Welt ist ein hart erarbeiteter Glücksfall, der für die Zukunft genauso hart verteidigt werden muss, wollen wir

als Gesellschaft die Früchte dieses Erfolges genießen.

Damit sind wir bei der Zukunft der Produktion, die voraussichtlich eine Zukunft des weiteren Produktivitätszuwachses sein wird. Stichworte hierzu sind unter anderen das Internet der Dinge und die 3D-Drucker. Die Vision vom Internet der Dinge (vgl. Mattern/Flörkemeier 2010: 107-121) beruht auf der Extrapolation des anhaltenden und uns fast zur Selbstverständlichkeit gewordenen Fortschritts von Mikroelektronik, Kommunikationstechnik und Informationstechnologie. Indem aufgrund ihrer abnehmenden Größe und ihres ständig zurückgehenden Preises und Energiebedarfs immer mehr Prozessoren, Kommunikationsmodule und andere Elektronikkomponenten in Gegenstände des täglichen Gebrauchs integriert werden, dringt Informationsverarbeitung, gekoppelt mit Kommunikationsfähigkeit, fast überall ein, sogar in Dinge, die zumindest auf den ersten Blick keine elektrischen Geräte darstellen. Damit rückt die Vorstellung einer umfassenden Informatisierung und Vernetzung der Welt und ihrer vielen Gegenstände in greifbare Nähe. Diese schleichende aber nachdrückliche Entwicklung eröffnet große Chancen für Wirtschaft und Privatleben, birgt jedoch auch Risiken und stellt zweifellos eine gewaltige technische und gesellschaftliche Herausforderung dar.

Eine zentrale Rolle kommt in dieser Vision den smarten (beziehungsweise intelligenten) Objekten zu: Ausgestattet mit Informations- und Kommunikationstechnik und angebunden an den Cyberspace mit seinen übermächtigen Diensten erhalten alltägliche Gegenstände eine neue Qualität: Diese können über Sensoren ihren Kontext wahrnehmen, sich miteinander vernetzen, auf Internet-Services zugreifen und mit dem Menschen interagieren.

Eine derartige, idealer Weise nicht sichtbare digitale Aufrüstung klassischer Gegenstände ergänzt deren physische Funktion um die flexiblen Fähigkeiten digitaler Objekte und schafft damit einen substanzialen Mehrwert. Vorboten dieser Entwicklung kündigen sich bereits an: Immer mehr Geräte wie Nähmaschinen, Heimtrainer, elektrische Zahnbürsten, Waschmaschinen, Stromzähler oder Fotokopierer werden informatisiert und mit einer Netzchnittstelle ausgestattet. Drahtlos mit dem Laptop oder direkt mit dem Internet verbunden, erhalten sie so eine erweiterte Funktionalität.

Mit dem Internet der Dinge verbinden sich folgende Erwartungen: Aus wirtschaftlicher Sicht eine Effizienzsteigerung von Unternehmensprozessen und eine Kostenreduktion in der Warenlogistik sowie im Servicebereich (durch Automatisierung und Verlagerung zum Kunden); ferner eine verbesserte Kundenbindung und -ansprache sowie neue Geschäftsmodelle mit smarten Dingen und damit verbundenen Dienstleistungen. Interessant aus gesellschaftlicher und politischer Sicht ist die allgemeine Steigerung der Lebensqualität durch eine umfassendere Informationsmöglichkeit von Konsumenten und Bürgern, durch eine bessere Betreuung Hilfsbedürftiger mittels smarter Assistenzsysteme sowie durch eine Erhöhung der Sicherheit, etwa im Straßenverkehr. In individueller Hinsicht zählen vor allem Dienstleistungen rund um smarte Objekte und das Internet der Dinge, die das Leben angenehmer, unterhaltsamer, unabhängiger und sicherer machen – letzteres zum Beispiel durch die Lokalisierung abhanden gekommener Dinge. Alle diese Möglichkeiten haben allerdings auch eine Kehrseite.

Schon längst ist das Internet von einem rein informatischen zu einem soziotechnischen Sys-

tem mutiert, welches eine soziale, gestalterische und politische Dimension aufweist. Die hohe Bedeutung der über die Technik hinausgehenden Gesichtspunkte gilt erst recht für die Weiterentwicklung zu einem Internet der Dinge, das diesen Aspekten eine ganz neue Qualität hinzufügt. Neben den angesprochenen positiven Erwartungen stellen sich hinsichtlich möglicher Konsequenzen daher auch einige kritische Fragen.

Viele Punkte der öffentlichen Diskussion, die Akzeptanz oder Ablehnung betreffen, lassen sich dabei den klassischen Dualismen Sicherheit – Freiheit und Komfort – Daten-Privatheit zuordnen. Insofern unterscheiden sich die Debatten dazu nicht grundsätzlich von den bekannten Auseinandersetzungen um Kundenkarten, Videoüberwachung oder E-Pass. Wie früher schon artikuliert sich das Unbehagen primär in Bezug auf die persönlichen Daten, die automatisch anfallen und ohne Zustimmung und eigenes Wissen von Fremden zu unbekanntem und potenziell schädlichen, die individuelle Freiheit einschränkenden Zwecken genutzt werden könnten.

Ein 3D-Drucker (vgl. Rifkin 2014: 133-162) ist eine Maschine (in einer Analogie Drucker genannt), die dreidimensionale Werkstücke aufbaut. Der Aufbau erfolgt computergesteuert aus einem oder mehreren flüssigen oder festen Werkstoffen nach vorgegebenen Maßen und Formen. Beim Aufbau finden physikalische oder chemische Härtings- oder Schmelzprozesse statt. Typische Werkstoffe für das 3D-Drucken sind Kunststoffe, Kunstharze, Keramiken und Metalle. Unter 3D-Drucken versteht man in erster Linie den Fertigungsprozess des Urformens. 3D-Drucker dienen zunächst vor allem der Herstellung von Prototypen und Modellen, dann der Herstellung von Werkstücken, von denen nur geringe Stückzahlen benötigt werden.

Einige grundlegende Vorteile gegenüber konkurrierenden Herstellungsverfahren führten und führen zu einer zunehmenden Verbreitung der Technik auch in der Massenproduktion von Teilen. Gegenüber dem Spritzgussverfahren hat das 3D-Drucken den Vorteil, dass das aufwendige Herstellen von Formen und das Formenwechseln entfällt. Gegenüber allen Material wegnehmenden Verfahren wie Schneiden, Drehen, Bohren hat das 3D-Drucken den Vorteil, dass der Materialverlust entfällt. Meist ist der Vorgang auch energetisch günstiger, weil das Material nur einmal in der benötigten Größe und Masse aufgebaut wird.

Eine weitere Stärke des 3D-Drucks ist die Möglichkeit, sehr komplexe Formen aufzubauen, die mit existierenden Maschinen schwer oder gar nicht herstellbar sind. So verwendet die Bauhütte der Sagrada Familia 3D-Drucker, um Modelle für die sehr anspruchsvollen architektonischen Formen von Antonio Gaudi anzufertigen. Die Raumfahrtfirma SpaceX von Elon Musk etwa fertigt die kleinen SuperDraco-Raketentriebwerke mit 3D-Druckern.

Das Drucken von Kunststoffen in unterschiedlichen Härtegraden und Farben ist inzwischen auch simultan möglich. Dies macht Prozesse, die bisher mehrere Fertigungsschritte benötigten, in einem Arbeitsgang durchführbar. So kann beispielsweise ein Objekt stellenweise mit gummiähnlichen Flächen stoßresistent gemacht werden.

3D-Drucker für Heimanwender sind bereits ab rund 200 US-Dollar erhältlich. Die passende Software wird mitgeliefert oder kann heruntergeladen werden. Objekte wie kleine Spielzeuge, Schmuck oder Stiftebecher sind damit möglich. Strukturell komplexere, sehr belastbare Objekte und einwandfreie Kurven sind jedoch nur mit professionellen Druckern herstellbar. Unterschiede in Leistungen

und Funktionen sind beispielsweise in der Verarbeitung erkennbar.

In der Wissenschaft hat parallel zur technischen Weiterentwicklung und der zunehmenden Verbreitung von 3D-Druckverfahren eine Diskussion über die wirtschaftlichen und gesellschaftlichen Folgen dieser Entwicklung begonnen. Einige Forscher erwarten einschneidende Veränderungen im wirtschaftlichen Gefüge. Diese seien beispielsweise durch die Verlagerung von Produktionsprozessen zu den Konsumenten zu erwarten. Außerdem würden Innovationsprozesse deutlich beschleunigt. Einige Wissenschaftler sehen die Technik sogar als Grundlage für eine dritte industrielle Revolution. Kritiker dieser Annahme halten dem entgegen, dass die Prozess- und Materialkosten bei der individuellen Fertigung wesentlich höher seien als bei der Massenfertigung. Aus diesem Grund sei die Ausrufung einer weiteren industriellen Revolution übertrieben. Es ist gleichwohl nicht unplausibel, dem 3D-Drucken eine langfristig interessante Perspektive zuzutrauen, die den althergebrachten Produktionsprozess in Frage stellt. Allerdings wird der Durchbruch hier von Fachleuten erst in fünf bis zehn Jahren erwartet.

Ich komme nun noch einmal zurück auf den Produktivitätszuwachs. Produktivitätszuwachs ist ein zentraler Begriff der Wachstumstheorie und beschreibt eine Steigerung des Outputs pro Input-einheit, also eine positive Veränderung des Verhältnisses von Produktionsergebnis zu den dafür eingesetzten Produktionsfaktoren (zum Beispiel Arbeit, Kapital und Umwelt) im Zeitverlauf. Produktivitätszuwächse können unter anderem durch effizientere Arbeitsabläufe, verbesserte Organisationsstrukturen, verbesserte Rahmenbedingungen

des Staates sowie durch technischen Fortschritt im Allgemeinen entstehen. Der technische Fortschritt ist unter anderem abhängig von den Ergebnissen von Forschung und Entwicklung sowie vom Zufall bestimmt. Der Wettbewerb der Märkte treibt die Unternehmen zu Innovationen und zu dem daraus entstehenden Prozess der Kreativen Zerstörung, beschrieben durch Joseph Schumpeter.

Hier beginnen nun auch die gesellschaftlichen Probleme, die der Produktivitätszuwachs mit sich bringt. Ich möchte hier nur auf die Arbeitsplatzverluste durch Rationalisierung eingehen.

Der technische Fortschritt verringert kurzfristig die Zahl der Beschäftigten, die notwendig sind, um eine bestimmte Menge zu produzieren. Er bedeutet, dass immer mehr Güter mit derselben Zahl von Beschäftigten produziert werden können; die Effizienz steigt. Hier werden die zwei Seiten des Produktivitätsfortschritts deutlich: Einerseits verbessert er die Effizienz der Unternehmen, andererseits wird er als Bedrohung der Arbeitnehmer gesehen. Die gängigen Stichworte sind zum Beispiel, dass die Arbeitnehmer Gefahr laufen, den Wettlauf gegen die Maschine zu verlieren. Dass „smarte Maschinen“ zu einer Wirtschaft des „langfristigen Elends“ führen werden, da sich Arbeitnehmer, deren Arbeit durch Automation abgewertet wird, die Humankapital-Investitionen nicht leisten können, die ihre Kinder von einer verbesserten Technologie profitieren lassen könnten (vgl. Autor 2014: 23). Dass das „Ende der Arbeit“ bevorstehen könnte (vgl. Rifkin 2014: 179-197).

Tatsächlich gibt es eine lange Geschichte davon, dass Menschen ihre Arbeit und ihre Verdienstmöglichkeiten durch neue Technologien verloren haben: Die grüne Revolution machte die Landarbeiter arbeitslos. Die industrielle Revolution

ersetzte die handwerkliche Arbeit durch einfache Fabrikarbeit. Die Massenproduktion der Autos reduzierte drastisch die Nachfrage nach Schmieden und anderen Reiterberufen. Allerdings wurden diese kurzfristigen Arbeitsplatzverluste stets mehr als ausgeglichen durch Arbeitsplatzgewinne entweder in den innovativen Branchen oder in vielen Fällen anderswo. Die Maschinenstürmer, die sich diesen Entwicklungen entgegen gestellt haben, waren also erstens nicht erfolgreich und zweitens waren ihre Sorgen höchstens auf kurze Sicht berechtigt. Es ist eben nicht so, dass eine Erhöhung der Arbeitsproduktivität automatisch die Beschäftigung reduziert, weil nur eine bestimmte Menge Arbeit zur Verfügung steht. Diese Ansicht ist zwar intellektuell ansprechend, findet aber keine Bestätigung in der Geschichte.

Im Jahre 1900 waren beispielsweise noch 41 Prozent der amerikanischen Arbeitnehmer in der Landwirtschaft beschäftigt, ein Wert, der hundert Jahre später auf nur noch zwei Prozent zurückgegangen ist. Es ist unwahrscheinlich, dass sich Bauern um die Wende zum 20. Jahrhundert hätten vorstellen können, dass heute das Gesundheitswesen, die Finanzindustrie, die Informationstechnologie, die Konsumgüterelektronikindustrie, der Tourismus, die Freizeitindustrie und das Entertainment viel mehr Menschen beschäftigen als die Landwirtschaft.

Aber hat die jetzige Entwicklung vielleicht doch eine neue Qualität? Schließlich hat das vergangene Jahrzehnt gezeigt, dass die Informationstechnologie sich in Sphären der menschlichen Aktivität vorgearbeitet hat, die noch vor einigen Jahren undenkbar waren, bis zum selbstständigen Autofahren.

Dagegen spricht, dass es den meisten automatischen Systemen an Flexibilität mangelt, sie sind

spröde. Beispielsweise werden in modernen Autofabriken Industrieroboter eingesetzt um Windschutzscheiben in die Autos einzusetzen. Wenn aber eine solche Windschutzscheibe später kaputt geht, dann werden Techniker beschäftigt um die Scheibe zu ersetzen. Warum keine Roboter? Weil alle mit dem Ersetzen der Scheibe verbundenen Arbeiten eine Flexibilität und Anpassung voraussetzen, die heutige Roboter einfach nicht mitbringen. Während Maschinen nicht autonom in unvorhersehbarem Umfeld agieren können, so ist dies für Menschen oft leicht möglich. Wir Menschen wissen also mehr, als wir sagen – und programmieren – können.

Selbst das oft mythologisierte Google Car ist vielleicht ein solcher Fall. Manche Wissenschaftler haben gesagt, dass das Google Car nicht auf Straßen, sondern auf Landkarten fährt. Es kann, anders als ein menschlicher Fahrer, nicht auf unbekanntes Straßen fahren. Es vergleicht mit seinen Sensoren die Umwelt mit den vorher genauestens vermessenen Karten. Wenn die Software des Autos feststellt, dass die Umwelt da draußen nicht mit den vorprogrammierten Daten übereinstimmt, dann stoppt es und bittet den menschlichen Fahrer um weitere Anweisungen. Deshalb ist das Google Car in der Realität eher mit einem auf unsichtbaren Schienen fahrenden Zug vergleichbar, auch wenn es nach außen so anpassungsfähig und flexibel aussieht, wie ein menschlicher Fahrer.

Was muss vor diesem Hintergrund der Kern einer langfristigen Strategie zur Entwicklung von Fähigkeiten sein, die eher komplementär zur Technologie stehen, als dass sie durch diese substituiert werden? Nun, dies ist die Investition in Humankapital (Autor 2014b: 850)! Ich bin sicher, dass ich für diesen Schluss hier Zustimmung bekomme.

Weiterführende Literatur

- AUTOR, David H. (2014a): Polanyi's Paradox and the Shape of Employment Growth. MIT, NBER and JPAL. <http://www.kansascityfed.org/publicat/sympos/2014/093014.pdf> [Zugriff am 3.9.2014].
- DERS. (2014b): Skills, education, and the rise of earnings inequality among the „other 99 percent“. In: *Science* 344, Nr. 6186, S. 843–851.
- MATTERN, Friedemann/FLÖRKEMEIER, Christian (2010): Vom Internet der Computer zum Internet der Dinge. In: *Informatik-Spektrum* 33, Nr. 2, S. 107–121.
- RIFKIN, Jeremy (2014): Die Null-Grenzkosten-Gesellschaft. Das Internet der Dinge, kollaboratives Gemeingut und der Rückzug des Kapitalismus. Frankfurt a. M.

Teilnehmerinnen und Teilnehmer der 27. Bremer Universitäts-Gespräche

Michael Bothe
Hamburg

Prof. Dr.-Ing. Christian Brecher
RWTH Aachen

**Prof. Dr.-Ing. habil. Dr.-Ing. E. h.
Ekkard Brinksmeier**
Universität Bremen

Prof. Dr.-Ing. habil. Matthias Busse
Universität Bremen

Reinhard Cordes
FRERICHS GLAS GmbH

Prof. Dr.-Ing. Armin Dekorsy
Universität Bremen

Dr.-Ing. Günther W. Diekhöner
Industrie Club Bremen e. V.

Prof. a. D. Dr.-Ing. Reinhard Döpp
Clausthal-Zellerfeld

Dr. Reiner Fageth
CEWE Color AG

Sebastian Gerhold
Vector Foiltec GmbH

Jens Groth
DD Denkfabrik

Prof. Dr.-Ing. habil. Carsten Heinzel
Stiftung Institut für Werkstofftechnik IWT

Dr.-Ing. Ulrich Große Herzbruch
VDI e. V. Bezirksverein Bremen

Cord Hinrich
Bremer Hubert Stüken GmbH

Prof. Dr.-Ing. Wolfgang Hintze
TUHH | Institut für Produktionsmanagement und
Technik

Dr.-Ing. Rolf Janssen
PwC Strategy& (Germany) GmbH

Dr. Christina Jung
Universität Bremen

Prof. Dr. Arvid Kappas
Jacobs University Bremen

Prof. Dr.-Ing. Dr. h. c. Matthias Kleiner
Präsident der Leibniz-Gemeinschaft Berlin

Dr. Leif Kramp
Universität Bremen

Prof. Dr.-Ing. Karl-Ludwig Krieger
Universität Bremen

Prof. Dr.-Ing. Bernd Kuhfuß
Universität Bremen

Jörg Landau
Dorint Park Hotel Bremen

Dennis Lappe
BIBA Bremer Institut für Produktion und
Logistik GmbH

Jan Oliver Löffken
Wissenschaft aktuell, Hamburg

Dr.-Ing. Michael Lütjen
BIBA Bremer Institut für Produktion und
Logistik GmbH

Dr. Carl Maywald
Vector Foiltec GmbH

Prof. Dr.-Ing. habil. Marion Merklein
Universität Erlangen-Nürnberg

Uwe A. Nullmeyer
Unifreunde, Bremen

Prof. Dr. Eva Quante-Brandt
Senatorin für Bildung und Wissenschaft Bremen

Dr. Rainer Rauh
Airbus Group

Prof. Dr.-Ing. Kurosch Rezwan
Universität Bremen

Prof. Dr.-Ing. Bernd Scholz-Reiter
Universität Bremen

Derk Schönfeld
Universität Bremen

Prof. Dr. Hartmut Stadtler
Universität Hamburg

Volker Stahmann
IG Metall Bremen

Prof. Dr. Heiko Staroßom
Die Sparkasse Bremen AG

Dr.-Ing Ute Steinbauer
Schaeffler Technologies AG & Co. KG

Hendrik Thamer
BIBA Bremer Institut für Produktion und
Logistik GmbH

Prof. Dr. Klaus-Dieter Thoben
Universität Bremen

Dr. Volker Thum
Airbus Deutschland GmbH

Dipl.-Ing. Hans E. Timm
Siemens AG

Prof. Dr.-Ing. Kirsten Tracht
Universität Bremen

Dr.-Ing. Ingo Uckelmann
BEGO Bremer Goldschlägerei

Burkhard Volbert

Stroever GmbH & Co. KG

Markus Völkel

Mercedes-Benz Werk Bremen

Dr. Klaus Werner

Verband Deutscher Schleifmittelwerke e.V.

Heinrich Winkelmann

Winkelmann Powertrain Components GmbH &
Co. KG

Die Bremer Universitäts-Gespräche

- 1988 Akademiker für das Jahr 2000**
Wirtschaft und Wissenschaft unter Innovationszwang
Schirmherr: Jürgen W. Möllemann,
Bundesminister für Bildung und Wissenschaft, Bonn
- 1989 Forschung an der Schwelle zum 3. Jahrtausend**
Wissenschaft zwischen Ökologie und Ökonomie
Schirmherr: Dr. Heinz Riesenhuber,
Bundesminister für Forschung und Technologie, Bonn
- 1990 Auf dem Wege zur Informationsgesellschaft**
Nutzen und Risiken neuer Kommunikationstechniken
Schirmherr: Dr. Christian Schwarz-Schilling,
Bundesminister für Post- und Telekommunikation, Bonn
- 1991 Die Verantwortung der Wissenschaft für eine ökologische Politik**
Globale und regionale Veränderungen der Umweltbedingungen
Schirmherr: Professor Dr. Klaus Töpfer,
Bundesminister für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, Bonn
- 1992 Wissenschaft und Medien in gemeinsamer Verantwortung vor der Öffentlichkeit**
Schirmherr: Helmut Schmidt,
Altbundeskanzler, Hamburg
- 1993 Der Wirtschafts- und Sozialraum Europa**
Schirmherr: Hans-Dietrich Genscher,
Bundesaußenminister a. D., Bonn

- 1994 Wissenschaftsmanagement zwischen akademischer Freiheit und Dienstleistung**
Autonome Universitäten auf dem Weg zum Großbetrieb
Schirmherr: Dr. Henning Scherf,
Senator für Bildung und Wissenschaft, Bremen
- 1995 Die Mikro-Systemtechnik**
Schlüssel für die Zukunft Europas
Schirmherr: Dr. Jürgen Rüttgers,
Bundesminister für Bildung, Wissenschaft, Forschung und Technologie, Bonn
- 1996 Was können wir aus der Hirnforschung lernen?**
Schirmherr: Professor Dr. Dr. Hans-Jürgen Warnecke,
Präsident der Fraunhofer-Gesellschaft, München
- 1997 Zwei Welten in der Krise**
Neue Perspektiven im Dialog zwischen Natur- und Geisteswissenschaften
Schirmherr: Professor Dr. Wolfgang Frühwald,
Präsident der Deutschen Forschungsgemeinschaft, Bonn
- 1998 Globale Umweltveränderungen und ihre Wahrnehmung in der Gesellschaft**
Schirmherrin: Bringfriede Kahrs,
Senatorin für Bildung, Wissenschaft, Kunst und Sport, Bremen
- 1999 Neue Materialien durch Nanotechnologie**
Schirmherrin: Edelgard Bulmahn,
Bundesministerin für Bildung und Wissenschaft, Bonn
- 2000 Religiöser Pluralismus – Wie viele Religionen verträgt eine Gesellschaft?**
Schirmherr: Dr. Henning Scherf,
Präsident des Senats der Freien Hansestadt Bremen
- 2001 Risiken im unternehmerischen Handeln durch Individualisierung und Globalisierung**
Schirmherr: Dr. Werner Müller,
Bundesminister für Wirtschaft und Technologie, Berlin

- 2002 Demokratie und Menschenrechte in einer globalisierenden Welt**
Schirmherr: Hans-Dietrich Genscher,
Bundesaußenminister a. D., Bonn
- 2003 Neue Keramik: Aufbruch in Biosphäre und Nanowelt**
Schirmherr: Professor Dr. Sigmar Wittig,
Vorsitzender des Vorstands des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt (DLR), Köln
- 2004 Erfolgreiche Führung in stagnierenden und schrumpfenden Märkten**
Schirmherr: Professor Dr. Georg Milbradt,
Ministerpräsident des Freistaates Sachsen, Dresden
- 2005 Mathematik – eine gesellschaftliche Ressource**
Schirmherr: Professor Dr.-Ing. h. c. Hans-Olaf Henkel,
Präsident der Leibniz-Gemeinschaft, Berlin
- 2006 Europa und USA im Kulturkonflikt?**
Schirmherr: Dr. Lutz Raettig,
Aufsichtsratsvorsitzender der Morgan Stanley Bank AG, Frankfurt am Main
- 2007 Der Mensch**
Krone der Schöpfung oder Zufallsprodukt der Evolution?
Schirmherr: Professor Dr.-Ing. Matthias Kleiner,
Präsident der Deutschen Forschungsgemeinschaft, Bonn
- 2008 Mensch und Küste – eine Schicksalsgemeinschaft und der Meeresspiegelanstieg**
Schirmherr: Matthias Piepgras,
Bürgermeister der Hallig Hooge
- 2009 Migration und regionale Entwicklung**
Schirmherr: Vural Öger,
Europa-Abgeordneter und Geschäftsführer ÖGER TOURS GmbH

- 2010 Warum ist ethisches Entscheiden in der Wirtschaft so schwer?**
Reflexionen über Handlungs- und Ermessensspielräume und mögliche Konsequenzen
Schirmherr: Josef Hattig,
Senator a. D., Bremen
- 2011 Wie viel Wissen brauchen wir? Und welches Wissen wollen wir?**
Verständigungen über Bildung zwischen Wissenschaft, Wirtschaft und Politik
Schirmherr: Dr. Klaus Kinkel,
Bundesaußenminister a. D., Sankt Augustin
- 2012 Wind als Zukunftsenergie – wie kann das gelingen?**
- 2013 Die Zukunft des Sozialstaates**
- 2014 Die Zukunft der Produktion**

