



Bundesministerium
für Bildung
und Forschung



BMBF-Kongress

10. Karlsruher Arbeitsgespräche Produktionsforschung 2010

**Produktion in Deutschland hat Zukunft
09. und 10. März 2010, Kongresszentrum Karlsruhe**



HIGHTECH-STRATEGIE

Ideen zünden!

Produktion in Deutschland hat Zukunft

**Ergebnisse aus dem BMBF-Rahmenkonzept
„Forschung für die Produktion von morgen“**

Karlsruher Institut für Technologie (KIT)

Wissenschaftliche Berichte

KIT-PTKA-PFT 1

Der Projektträger Karlsruhe (PTKA) im Karlsruher Institut für Technologie koordiniert und betreut im Auftrag des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF) das Förderprogramm „Forschung für die Produktion von morgen“.

Hierbei arbeitet PTKA eng mit Unternehmen der gewerblichen Wirtschaft und Einrichtungen der öffentlichen Hand zusammen. Herausgeber der Schriftenreihe KIT-PTKA-PFT-Berichte ist der Projektträger Karlsruhe, Produktion und Fertigungstechnologien (PTKA-PFT).

Diese Schriftenreihe hat den Zweck, die in dem genannten Programm entwickelten und erprobten Methoden, Verfahren, Technologien und Organisationsformen zur Verbesserung der Produktion bekannt zu machen und ihre rasche und breite Anwendung und Nutzung in der Praxis zu unterstützen.

Verantwortlich für den Inhalt sind die Autoren. Der Projektträger Karlsruhe übernimmt keine Gewähr insbesondere für die Richtigkeit, Genauigkeit und Vollständigkeit der Angaben sowie die Beachtung privater Rechte.

Produktion in Deutschland hat Zukunft

**Ergebnisse aus dem BMBF-Rahmenkonzept
„Forschung für die Produktion von morgen“**

**Zusammenfassungen der Beiträge
zum BMBF-Kongress
„10. Karlsruher Arbeitsgespräche
Produktionsforschung 2010“
09. und 10. März 2010 in Karlsruhe**

Dr.-Ing. Robert Ruprecht (Hrsg.)

Projekträger Karlsruhe (PTKA)
im Karlsruher Institut für Technologie (KIT)

Veranstalter: Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF)

Organisation: Projektträger Karlsruhe
Produktion und Fertigungstechnologien (PTKA-PFT)

Impressum

Karlsruher Institut für Technologie (KIT)
Projektträger Karlsruhe (PTKA)
Hermann-von-Helmholtz-Platz 1
76344 Eggenstein-Leopoldshafen

KIT – Universität des Landes Baden-Württemberg und nationales
Forschungszentrum in der Helmholtz-Gemeinschaft

Der Tagungsband besteht aus diesen Zusammenfassungen der Beiträge
und einer CD-ROM.

Karlsruhe, 2010

ISSN 1869-9006

Inhaltsverzeichnis

Grußworte zu den Karlsruher Arbeitsgesprächen 2010

Prof. Dr. Annette Schavan, MdB Bundesministerin für Bildung und Forschung	11
Dr. Manfred Wittenstein Präsident, VDMA – Verband Deutscher Maschinen- und Anlagenbau e.V., Frankfurt (Main)	12
Prof. Dr. Eberhard Umbach und Prof. Dr. Horst Hippler Präsidenten des Karlsruher Instituts für Technologie (KIT), Karlsruhe	13
Bernd Bechtold Präsident der IHK Karlsruhe, Karlsruhe	14
Prof. Dr. Reimund Neugebauer Präsident der Wissenschaftlichen Gesellschaft für Produktionstechnik (WGP) Institutsleiter Fraunhofer-Institut für Werkzeugmaschinen und Umformtechnik IWU Geschäftsführender Direktor Institut für Werkzeugmaschinen und Produktionsprozesse (IWP), TU Chemnitz	15
BMBF-Rahmenkonzept „Forschung für die Produktion von morgen“ „Karlsruher Arbeitsgespräche Produktionsforschung“ Dr. Robert Ruprecht Leiter Projektträger Karlsruhe im Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Karlsruhe	16

Plenarveranstaltung

Festvortrag

Perspektiven der Produktionstechnik – Vorsprung durch Innovation Prof. Dr. Hans-Jörg Bullinger Präsident der Fraunhofer-Gesellschaft, München	19
--	----

Impulsvortrag

Erfolgsfaktoren von produzierenden Unternehmen am Standort Deutschland Dr. Günter Jordan Partner, A.T. Kearney GmbH, München	22
---	----

Forum I: Produkte von morgen entwickeln

Sitzung 1: Produktentwicklung – Engineeringprozesse gestalten

Zielgerichtete und fehlerarme Klärung kundenindividueller Projekte und deren effektive und effiziente Abwicklung in der Angebots- und Auftragsphase Dr. Gunther Grein INTENSIO Software und Consulting GmbH, Karlsruhe Prof. Dr. Hans-Joachim Franke Institut für Konstruktionstechnik, TU Braunschweig	24
Frühzeitige und qualifizierte Kostenprognose für Produktionssysteme – Praxisbeispiel anhand einer mechatronischen Baugruppe Thomas Günther Robert Seuffer GmbH & Co. KG, Calw	32

Gekoppelte, unternehmensübergreifende Simulation mobiler Arbeitsmaschinen 40
Dr. Heinz Böhler
AGCO GmbH, Marktoberdorf

Potentiale im standardisierten Austausch zeitwirtschaftlicher Daten in der Digitalen Fabrik 48
Jan Stahl
Gigatronik München GmbH, München

Forum I: Produkte von morgen entwickeln

Sitzung 2: Innovationen gegen Produktpiraterie – entwickeln, sichern und schützen

Conlmit – Contra Imitatio: Informations-, Kommunikations- und Kooperationsplattform für präventiven Schutz vor Produktpiraterie 55
Oliver Köster
Heinz Nixdorf Institut, Universität Paderborn

Entwicklung von Investitionsgütern im Maschinen- und Anlagenbau mit präventivem ganzheitlichem Produktschutz 63
Klaus Meissner
Terex Demag GmbH, Zweibrücken

Übergreifende Dienste für die fälschungssichere Produkt-Authentifizierung und -Verfolgung in der Supply-Chain 71
Dirk Kunert
novero GmbH, Düsseldorf

Integrierter Produktpiraterieschutz durch Kennzeichnung und Authentifizierung von kritischen Bauteilen im Maschinen- und Anlagenbau 79
Ulrich Doll
Homag Holzbearbeitungssysteme AG, Schopfloch

Forum II: Ressourceneffiziente Produktion wird Realität

Sitzung 1: Ressourceneffizienz durch innovative Technologien und Anlagen

Projekt „Energiebedarfsoptimierte Motorspindel und angepasster elektrischer Antriebsstrang“ (EnergieMSP) 87
Dr. Uwe Rondé
Franz Kessler GmbH, Bad Buchau

Ganzheitliche Ansätze zur Erhöhung der Energie- und Ressourceneffizienz in der Produktion 94
Dr. Christoph Herrmann
Institut für Werkzeugmaschinen und Fertigungstechnik, TU Braunschweig

Innovationsallianz Green Carbody Technologies 102
Prof. Dr. Reimund Neugebauer
Fraunhofer-Institut für Werkzeugmaschinen und Umformtechnik IWU, Chemnitz

Produktionsforschung für Hochleistungs-Lithium-Ionen-Batterien 110
Dr. Claus-Rupert Hohenthanner
Li-Tec Battery GmbH, Kamenz
Dr. André Mecklenburg
Evonik Litarion GmbH, Kamenz

**Forum II: Ressourceneffiziente Produktion wird Realität
Sitzung 2: Gezielte Erzeugung von Produkteigenschaften mit effizienten
Technologien**

Gewusst wie – Funktionsgerechte Produkteigenschaften aus Hartfeinbearbeitungsprozessen	114
Dr. Bastian Maier Grindaix GmbH, Aachen	
Gezielte Gestaltung von lokalen Bauteileigenschaften durch Integration einer flexiblen Wärmebehandlung in den Warmumformprozess	123
Prof. Dr. Vasily Ploshikhin Neue Materialien Bayreuth GmbH, Bayreuth	
Effizient und langlebig – funktionale Oberflächenveredlung am Beispiel Mikrobrennstoffzelle	131
Dr. Volker H. Meywald Dr.-Ing. Meywald GmbH & Co. KG, Bad Arolsen	
Duplex-Plasma-Oberflächenbehandlung von Aluminiumlegierungen am Beispiel Kolben	139
Jürgen Niehues KS Kolbenschmidt GmbH, Neckarsulm	

**Forum III: Der innovative Mittelstand – Problemlöser im globalen Umfeld
Sitzung 1: KMU-innovativ – Produktionsforschung in kleinen und mittleren
Unternehmen**

Hochdynamische Laserbearbeitung mit kombinierten NC- und Galvanometerachsen	144
Dr. Klaus Baier Kugler GmbH, Salem	
Entwicklung umformtechnischer Prozessketten für Leichtbauteile aus Rohr – von der Motorradachse zur Getriebewelle für Omnibusse	153
Dr. Eberhard Rauschnabel IFUTEK Ingenieurbüro für Umformtechnik GmbH, Karlsbad	
Entwicklung eines laserunterstützten Ablegesystems zur lokalen Verstärkung von flächigen Bauteilen mittels Faserverbundkunststoffen	161
Dr. Patrik Kölzer AFPT GmbH, Dörth	
Superscharfe DLC-beschichtete Schneidklingen für sehr hohe Standzeiten	169
Dr. André Flöter GFD Gesellschaft für Diamantprodukte mbH, Ulm	
Stoßgeführte Nahtführung mit richtungsunabhängiger Triangulation	176
Andreas Bauer Scansonic MI GmbH, Berlin	
Intelligente elektronische Formulare als autonome Bausteine eines Product Lifecycle Managements für KMU	184
Bernd Schmittgall Sauter Elektrotechnik GmbH & Co. KG, Bretten	

Forum III: Der innovative Mittelstand – Problemlöser im globalen Umfeld

Sitzung 2: Zukunftsweisende internationale Kooperationen

- Erhöhung der Liefertreue bei mittelständischen Maschinenbauern – Beispiel eines Projekts aus dem 7. EU-Forschungsrahmenprogramm** 191
Tobias Brosze
FIR - Forschungsinstitut für Rationalisierung e. V. an der RWTH Aachen
- Informationsportal zur Steigerung der Kooperations- und Wettbewerbsfähigkeit von KMUs – Beispiel für ein ERA-NET-Projekt** 199
Sébastien Kicin
CAS Software AG, Karlsruhe
- Lebensdauererlängerung bestehender und neuer geschweißter Stahlkonstruktionen – Beispiel eines EUREKA-Umbrella-PRO-FACTORY-Projekts** 206
Prof. Dr. Thomas Ummenhofer
Versuchsanstalt für Stahl, Holz und Steine, Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Karlsruhe
- Virtuelles Automatisierungsnetzwerk – ein EU-Projekt mit KIT als Projektmanagementpartner** 214
Ralf Greiner-Jacob
Siemens AG, Nürnberg

Plenarvorträge

- Herausforderungen für die Produktion(sforschung) 2020** 223
Prof. Dr.-Ing. Eberhard Abele
Institutsleiter, Institut für Produktionsmanagement, Technologie und Werkzeugmaschinen (PTW), TU Darmstadt
- Warum wir in Deutschland eine starke Produktion brauchen – ein Beispiel** 241
Dr. Joachim Schulz
Mitglied des Vorstands, Aesculap AG, Tuttlingen

Forum IV: Entwicklungstrends in der Produktentstehung

- Von der fachdisziplinorientierten zur vorausschauenden und systemorientierten Produktentstehung** 248
Prof. Dr. Albert Albers
IPEK – Institut für Produktentwicklung, Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Karlsruhe
- Herausforderungen der Produktentstehung in globalen Unternehmensstrukturen** 257
Dirk Spindler
Schaeffler Technologies GmbH & Co. KG, Herzogenaurach
- Produktentwicklung komplexer technischer Systeme** 265
Dr. Frank Thielemann
Smart Mechatronics GmbH, Dortmund

Forum V: Produktionstechnik und -ausrüstung der Zukunft

- Produktionstechnik im nächsten Jahrzehnt – innovativ und integrativ** 271
Prof. Dr. Christian Brecher
Werkzeugmaschinenlabor der RWTH Aachen

Forschungsbedarf in der Massivumformung – Einschätzung eines Automobilzulieferers 286
Michael Dahme
Hirschvogel Automotive Group, Denklingen

Werkzeugmaschinen der Zukunft – Sicht eines Herstellers 293
Dr. Gerhard Hammann
TRUMPF Werkzeugmaschinen GmbH & Co. KG, Ditzingen

Forum VI: Unternehmensentwicklung – zukünftige organisatorische und personelle Herausforderungen

Elemente dynamischer Unternehmensstrukturen 301
Prof. Dr. Hartmut Hirsch-Kreinsen
Lehrstuhl für Wirtschafts- und Industriosozilogie, TU Dortmund

Erfolgreiche Wandlungsfähigkeit eines kleinen und mittleren Unternehmens 309
Stefan Kaiser
Friedrich Freek GmbH, Menden

Marktorientierte Unternehmensentwicklung 317
Frank Ziegler
Neugart GmbH, Kippenheim

Abschlussplenum

Impulsvortrag

Ressourcen, Innovation, Zukunft: ein doppelter Faktor 10 als Schlüssel 323
Prof. Dr. Franz-Josef Radermacher
Vorstand des Forschungsinstituts für anwendungsorientierte Wissensverarbeitung/n (FAW/n),
Professor für Informatik, Universität Ulm

Referenten und Moderatoren 324



Stillstand bedeutet Rückschritt – das gilt insbesondere für die Produktion. Um nachhaltiges Wachstum und Wohlstand zu sichern, muss sich das verarbeitende Gewerbe als tragende Säule der deutschen Wirtschaft stets neuen Herausforderungen stellen. Deutschland wird seine Spitzenstellung auf dem Weltmarkt mit starker klassischer Industrie und hochqualifiziertem Handwerk nur halten können, wenn wir globale Maßstäbe im Bereich der Innovation und Forschung setzen.

Voraussetzung für eine wettbewerbsfähige Produktion und die Herstellung bedarfsgerechter Produkte ist die zielgerichtete Verbindung von Menschen und Ideen, Verfahren und Ausrüstungen, produktionsbezogenen Dienstleistungen, Material und Kapital. Die Forschung zu neuen Produktionstechnologien und -systemen schafft die Voraussetzungen für die Zukunft der Produktion in Deutschland – für mehr Kundenindividualität, Ressourcenschonung und Zuverlässigkeit.

Das Bundesministerium für Bildung und Forschung fördert die Erforschung neuer Produktionstechnologien mit dem Ziel, beispielhafte Lösungen für eine zukunftsfähige Produktion in Deutschland zu entwickeln und Forschungsergebnisse für die breite Anwendung besonders kleinen und mittleren Unternehmen zur Verfügung zu stellen. Nur so werden wir langfristig und nachhaltig Beschäftigung und Wohlstand in Deutschland und Europa sichern.

Im Rahmen der Fortführung der Hightech-Strategie der Bundesregierung wird in den nächsten Jahren die Förderung der Produktionsforschung noch stärker auf die gesellschaftlich relevanten Bedarfsefelder Klimaschutz und Energie, Gesundheit, Sicherheit, Kommunikation und Mobilität ausgerichtet. Wir wollen Deutschland zum Leitmarkt für Elektromobilität entwickeln. Um bis 2020 mehr als 1 Million Elektrofahrzeuge fertigen zu können, brauchen wir einen entscheidenden Beitrag der Produktionsforschung: Sie muss nicht zuletzt die notwendigen Voraussetzungen für die effiziente Fertigung von Batteriesystemen schaffen.

Wenn wir uns gemeinsam diesen Herausforderungen stellen, hat die Produktion in Deutschland weiterhin eine Zukunft. Allen Teilnehmerinnen und Teilnehmern an den 10. Karlsruher Arbeitsgesprächen Produktionsforschung wünsche ich interessante Begegnungen und der Veranstaltung einen erfolgreichen Verlauf.

Prof. Dr. Annette Schavan, MdB
Bundesministerin für Bildung und Forschung



Die Unternehmen des deutschen Maschinen- und Anlagenbaus befinden sich derzeit in einer Ausnahmesituation. Die durch die Turbulenzen am Finanzmarkt ausgelöste Wirtschaftskrise hat in der Investitionsgüterindustrie zu Auftragseinbrüchen geführt, die in diesem Ausmaß einzigartig sind. Dieses schwierige Umfeld erfordert von den Unternehmen außerordentliche Anstrengungen. Doch die Zukunftschancen sind da.

Produktionstechnik als Schlüsseltechnologie ist die Basis für Innovationen in vielen Feldern. Als weltweit führender Anbieter von Umwelt- und Energieeffizienztechnologien hat der Maschinenbau die besten Voraussetzungen, nach der Krise auch weiterhin zu den wettbewerbsfähigsten Industrien zu gehören. Auch das Thema Mobilität und die neue Autogeneration mit Hybrid- bzw. Elektroantrieben benötigen Innovationen in der Produktionstechnik. Erst die kostengünstige Produktion dieser alternativen Antriebskonzepte öffnet neue Absatzmärkte und sichert Arbeitsplätze und Wertschöpfung in Deutschland.

Mehr Investitionen in Forschung und Bildung sind notwendig, um diese Chancen zu nutzen und Deutschland als Leitmarkt für Produktionstechnik langfristig zu stärken. Wir dürfen in den Innovationsanstrengungen nicht nachlassen und müssen alle Möglichkeiten der Effizienzverbesserung nutzen. Gerade in der Kooperation mit anderen Unternehmen beziehungsweise Forschungsinstituten sind viele Herausforderungen im Maschinenbau erst lösbar.

Die Karlsruher Arbeitsgespräche Produktionsforschung sind eine hervorragende Möglichkeit, um sich über die aktuellen Trends in der Produktionsforschung zu informieren, Anregungen für die betriebliche Praxis zu bekommen und den Austausch zwischen Wissenschaft und Wirtschaft zu pflegen.

Ich wünsche allen Beteiligten interessante und erfolgreiche Karlsruher Arbeitsgespräche Produktionsforschung 2010.

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'M. Wittenstein'. The signature is fluid and cursive, with a long horizontal stroke at the end.

Dr.-Ing. E.h. Manfred Wittenstein

Präsident, VDMA – Verband Deutscher Maschinen- und Anlagenbau e.V., Frankfurt (Main)



Die weltweite enge Vernetzung der wirtschaftlichen Güter-, Informations- und Kapitalströme verändert gegenwärtig die industrielle Produktion grundlegend. Für eine wettbewerbsfähige Güterproduktion in Deutschland sind hoch qualifiziertes Fachpersonal und ein hoher Technisierungsgrad Voraussetzung.

Das Karlsruher Institut für Technologie (KIT) verbindet in seinem einmaligen Konzept der Fusion einer Universität und

einer Großforschungseinrichtung Lehre, Forschung und Innovation, um so hoch qualifizierte Fachleute auszubilden. In den neuen Strukturen des KIT stellen die Verbindungen zwischen Menschen und Ideen, Verfahren und Infrastruktur die Basis für eine zukunftsfähige Entwicklung dar. So wurden die „Shared Professorship“ und die „Shared Research Group“ eingeführt, die es Nachwuchswissenschaftlern ermöglichen, in zwei Einrichtungen zugleich zu arbeiten und so Erfahrungen in Wissenschaft, Lehre und Industrie zu sammeln und weiterzugeben. Damit wird die Durchlässigkeit zwischen KIT und Wirtschaft im Sinne eines Talent-Transfers in beide Richtungen erhöht.

Genau diese Verknüpfung steht auch bei der Förderung durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) im Vordergrund. Das BMBF fördert die Forschung zu neuen Produktionstechnologien mit dem Ziel, beispielhafte Lösungen für eine zukunftsfähige Produktion in Deutschland zu entwickeln und Forschungsergebnisse für die breite Anwendung besonders für kleinere und mittlere Unternehmen (KMU) bereitzustellen.

Gemeinsam mit dem Projektträger Karlsruhe (PTKA), der seit beinahe vier Jahrzehnten die Produktionsforschung des BMBF betreut, können Innovationen so auf ihrem gesamten Wertschöpfungsweg von der Forschung über die Industrie zum Produkt und dessen Marketing und schließlich zum Verbraucher begleitet werden. PTKA, der in dem soeben gegründeten Karlsruher Institut für Technologie (KIT) am Campus Nord angesiedelt ist, schafft damit die Verknüpfung zwischen Bildung, Wissenschaft und Wirtschaft.

Die „Karlsruher Arbeitsgespräche Produktionsforschung“ führen regelmäßig Vertreter aus Forschung und Industrie zusammen, um sich über neueste Forschungsergebnisse und künftigen Forschungsbedarf auszutauschen.

Allen Teilnehmern der diesjährigen „Karlsruher Arbeitsgespräche 2010“ wünschen wir eine informative Veranstaltung und einen intensiven und konstruktiven Dialog, der eine zukünftige Zusammenarbeit stimuliert und voranbringt.

Prof. Dr. Eberhard Umbach
Präsidenten des Karlsruher Instituts für Technologie (KIT)

Prof. Dr. Horst Hippler



Zu den 10. Karlsruher Arbeitsgesprächen Produktionsforschung“ unter dem Motto "Produktion in Deutschland hat Zukunft" heiÙe ich alle Teilnehmer herzlich willkommen.

Der Südwesten und die TechnologieRegion Karlsruhe stehen auch durch den Maschinen- und Anlagenbau für den nachhaltigen Erfolg durch Innovation im Bereich Produktion und Fertigungstechnologien. Auch in wirtschaftlich schwierigen Zeiten sind und bleiben die produzierenden Unternehmen der „Wirtschaftsmotor“. Wie der Deutsche Industrie und Handelskammertag erst kürzlich feststellte, ergreifen viele Unternehmen gerade jetzt die Chance, in Forschung,

Entwicklung und Innovationen zu investieren, um vom nächsten Aufschwung in besonderem Maße zu profitieren.

Nur wenn es uns gelingt, auch in Zukunft innovative Produkte und Dienstleistungen „Made in Germany“ anzubieten, werden wir die globalen Märkte weiter mitgestalten und Wohlstand sichern. Eine wichtige Voraussetzung hierfür ist die Stärkung der Innovationskraft, insbesondere von kleinen und mittleren Unternehmen (KMU). Dies gelingt nur, wenn das in der Forschung erarbeitete Wissen für diese Unternehmen verfügbar ist und in Innovationen umgesetzt werden kann.

Das aus der Universität Karlsruhe (TH) und der Forschungszentrum Karlsruhe GmbH hervorgegangene Karlsruher Institut für Technologie (KIT) kann hier neue Maßstäbe setzen. Zum ersten Mal wurde „Innovation“ und damit der Transfer von Wissen in die Wirtschaft als Ziel einer öffentlich finanzierten FuE-Einrichtung, gleichberechtigt neben „Forschung“ und „Lehre“, gesetzlich verankert. Dies gilt es jetzt mit konkreten Maßnahmen umzusetzen.

Ein gutes Beispiel für den Wissenstransfer sind die Karlsruher Arbeitsgespräche Produktionsforschung. Die nunmehr 10. Auflage dieses BMBF-Kogresses macht nicht nur die anhaltend hohe Bedeutung der Produktionsforschung deutlich sondern dokumentiert auch den nachhaltigen Erfolg des gewählten Veranstaltungskonzepts. Hierzu beglückwünsche ich den Projektträger Karlsruhe (PTKA) im KIT. Ich bin mir sicher, dass die 10. Auflage durch intensiven Austausch aktuellen Wissens im Bereich Fertigung und Produktionstechnologien für alle Beteiligten wieder ein Erfolg wird.

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'B. Bechtold'. The signature is stylized and cursive.

Bernd Bechtold
Präsident der IHK Karlsruhe



Die Zukunft der industrialisierten Gesellschaft ist untrennbar mit der Entwicklung der Produktionstechnik verknüpft, da sich die Produktionsmittel mit ihrer ökonomischen und energetischen Effizienz unmittelbar auf die Leistungsfähigkeit der Wirtschaft auswirken. Um im globalen Wettbewerb Bestand zu haben, muss Deutschland, nicht zuletzt wegen der hohen Arbeits- und Lohnnebenkosten, seine Vorreiterstellung in Bezug auf Produktivität und Qualität langfristig absichern und weiter ausbauen. Exzellenz und Schnelligkeit der Verfügbarkeit von signifikantem Know-how sind dafür essentiell. Die produktionstechnischen Forschungsinstitute übernehmen dabei eine Schlüsselrolle als Vordenker und Innovationsschmiede. Einen wesentlichen Beitrag leistet die Wissenschaftliche Gesellschaft für Produktionstechnik (WGP), ein Netzwerk der führenden produktionstechnischen Forschungsstandorte in Deutschland.

Der Widerspruch zwischen zunehmender Ressourcenverknappung und wachsender Nachfrage erfordert die ganzheitliche Betrachtung des Produktlebenszyklus vom Design über Produktion und Produktbetrieb bis hin zum Recycling. Gerade die Produktion ist an natürliche Ressourcen gebunden. Deshalb ist die Steigerung der Ressourceneffizienz in der Produktion durch kognitive Innovationen zu Recht ein vom BMBF und dem Projektträger Karlsruhe identifiziertes Thema höchster Priorität und erhält folgerichtig eine Plattform in Vorträgen und Ausstellungen der 10. Karlsruher Arbeitsgespräche Produktionsforschung 2010. Im Fokus stehen ressourceneffiziente und zugleich nachhaltige Prozesse in Verbindung mit einem effektiven Energiemanagement im Sinne von Speicherung und Rückgewinnung von Verlustenergie. Wenn verbleibende Energiedefizite außerdem durch alternative Energien ausgeglichen werden können, dann entsteht die Vision einer energieautarken Fabrik.

Eine weitere Herausforderung ist die Auseinandersetzung mit der Produktionstechnik für die Elektromobilität. Will die deutsche Automobilindustrie ihre Konkurrenzfähigkeit im weltweiten Wettbewerb erhalten, dann muss die produktionstechnische Forschung für die Elektromobilität und der Innovationstransfer in die Unternehmen grundsätzlich forciert werden.

Prof. Dr.-Ing. habil. Prof. E. h. Dr.-Ing. E. h. Dr. h. c. Reimund Neugebauer
Präsident der Wissenschaftlichen Gesellschaft für Produktionstechnik (WGP)
Institutsleiter Fraunhofer-Institut für Werkzeugmaschinen und Umformtechnik IWU
Geschäftsführender Direktor Institut für Werkzeugmaschinen und Produktionsprozesse (IWP), Technische Universität Chemnitz

„Karlsruher Arbeitsgespräche Produktionsforschung“



Einleitung

Mehr als die Hälfte der Arbeitsplätze in Deutschland sind im produzierenden Gewerbe und den davon direkt und indirekt abhängigen Bereichen zu finden. Die Zukunft dieser von der Produktion abhängigen Arbeitsplätze ist deshalb von besonderem gesellschaftlichem Interesse.

Im internationalen Wettbewerb können Arbeitsplätze in Deutschland erhalten oder neu geschaffen werden, wenn unsere produzierende Industrie einen Wissens- und Innovationsvorsprung gegenüber globalen Wettbewerbern hat. Um diesen Vorsprung zu halten, ist Produktionsforschung der passende Schlüssel.

Im vorwettbewerblichen Bereich von Forschung und Entwicklung, der durch risikoreiche Projekte gekennzeichnet ist, bedarf es der Forschungsförderung durch die öffentliche Hand. Diese Förderung des BMBF trug in der Vergangenheit dazu bei, dass Deutschland sich als globaler „Produktionsausrüster“ einen Namen gemacht hat. Um auch künftig attraktive Arbeitsplätze in Deutschland zu schaffen und zu sichern, sind die Chancen der Verbundforschung zu nutzen. Dies heißt, die Unterstützung der Zusammenarbeit von unterschiedlich kleinen und großen Unternehmen und deren Kooperation mit Forschungseinrichtungen über öffentlich geförderte Verbundprojekte. Damit werden Stärken am Standort Deutschland gestärkt und für künftige Wachstumsfelder wettbewerbsfähige Produktionssysteme und innovative Produkte entwickelt. Deshalb hat sich die Bundesregierung das Ziel gesetzt, auch künftig die Produktionsforschung als zentralen Bestandteil der Hightech-Strategie zu fördern.

Rückblick

Seit nunmehr 17 Jahren bietet der BMBF-Kongress „Karlsruher Arbeitsgespräche Produktionsforschung“ eine herausragende Plattform für Forscher und Entwickler, um für aktuelle Themen aus dem Industrialltag neue Wege, Lösungen und Ergebnisse zu präsentieren, sich darüber auszutauschen und weiteren Forschungsbedarf zu diskutieren.

1993, zu den 1. Karlsruher Arbeitsgesprächen, damals noch im BMBF-Programm Qualitätssicherung, haben sich Forscher und Entwickler über das bestmögliche Bestehen im Qualitätswettbewerb ausgetauscht. Dabei ging es nicht nur um die Qualität der Produkte und Dienstleistungen, sondern darum, wer die wirkungsvollste Qualitätsstrategie hat und sich durch ein geeignetes Qualitätsmanagement das Vertrauen der Kunden erwirbt. Wenn heute das Vorhandensein von Qualitätsmanagementsystemen in den Unternehmen eine Selbstverständlichkeit ist, so haben sicherlich auch die über 400 geförderten Entwicklungsprojekte zur Einführung der DIN/ISO 9000ff und der Austausch von Praktikern aus den Unternehmen zu diesem Thema wesentlich dazu beigetragen.

Zu den 3. Karlsruher Arbeitsgesprächen 1996 lag bereits das BMBF-Rahmenkonzept „Produktion 2000 – Strategien für die Produktion im 21. Jahrhundert“ vor. Schwerpunkte dieses Rahmenprogramms bildeten neue Wege der Produktentwicklung, Weiterentwicklungen der Produktionsprozesse, dynamischen Organisationen für mittelständische Betriebe, Wirtschaften in Kreisläufen und integrierte Logistikprozesse sowie fortschreitende Internationalisierung von Unternehmen. Neue Berufsbilder, wie z. B. das des Mechatronikers, wurden diskutiert. In etwa 130 Verbundprojekten konnten neue Werkstoffe, moderne Fertigungsverfahren und Technologien, aber auch veränderte Organisationsformen intelligent zur Entwicklung neuer, innovativer Produkte und Produktionsweisen genutzt

werden, um im globalen Wettbewerb besser bestehen zu können. Der Technologietransfer über Vorträge und Exponate des Forums der Karlsruher Arbeitsgespräche ist für jeweils 400 bis 500 Teilnehmer aus Industrie und Wissenschaft Anreiz und gute Gelegenheit, Neues kennen zu lernen und das vorhandene Netzwerk auszubauen.

Es kann festgestellt werden, dass spätestens ab dem Jahr 2000 die Karlsruher Arbeitsgespräche ein in Deutschland anerkanntes und etabliertes Forum der Produktionsforschung darstellen. Alle zwei Jahre werden unter der Federführerschaft des BMBF und in Kooperation mit großen Fachverbänden, Informationen und Ergebnisse über die „Forschung für die Produktion von morgen“ – dies ist der Name des aktuellen BMBF-Rahmenprogramms – ausgetauscht. Besonderes Anliegen dieser Arbeitsgespräche ist es, gerade kleine und mittlere Unternehmen, die – wie in keinem anderen Förderprogramm – über 50 % der geförderten Partner ausmachen, anzusprechen. Damit werden diese in den Informationsaustausch einbezogen, dass diese tragende Säule der deutschen Wirtschaft weitere Impulse für den Ausbau der Innovationskraft erhält.

Stand des BMBF-Rahmenkonzepts „Forschung für die Produktion von morgen“

Seit Etablierung des BMBF-Rahmenkonzepts „Forschung für die Produktion von morgen“ im Jahr 1999 wurden 28 Bekanntmachungen zu 51 Ideenwettbewerben über Forschungsvorhaben veröffentlicht. Die Themen der bundesweit bekannt gemachten Wettbewerbe basieren auf dem ermittelten Forschungsbedarf in einem oder mehreren der vier Handlungsfelder Marktorientierung, Produktplanung, Dienstleistung, Technologien und Produktionsausrüstungen. Bis Ende 2009 haben sich 2.648 Konsortien an den Wettbewerben beteiligt. Daraus sind 407 Projekte fast ausschließlich als Verbundprojekte hervorgegangen. Bis Ende 2009 wurden vom BMBF 633 Millionen Euro Fördermittel zur Verfügung gestellt. Einen vergleichbar hohen Beitrag haben die beteiligten Unternehmen in diese Projekte investiert. Der Anteil der Industrie an der Zahl der Zuwendungsempfänger betrug 78 Prozent. Die Beteiligung von kleinen und mittleren Unternehmen (KMU) lag bei 51 Prozent.

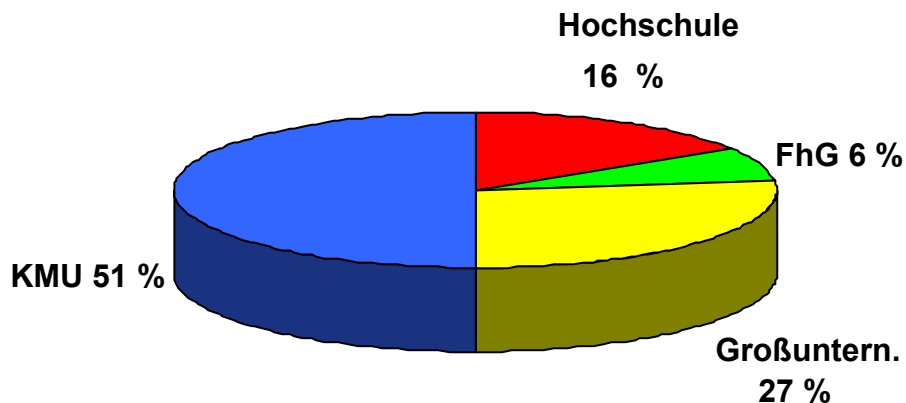


Abb. 1: Verteilung der Partner in den BMBF-Projekten Produktionsforschung 1999-2009 (insgesamt), FhG: Fraunhofer-Institute, GU: Großunternehmen, KMU: kleine und mittlere Unternehmen

10. Karlsruher Arbeitsgespräche Produktionsforschung 2010

Um auch künftig durch öffentliche Förderung Impulse in der Wirtschaft geben zu können, ist es notwendig, die anstehenden Herausforderungen für die produzierenden Unternehmen in den Vordergrund der Betrachtungen zu rücken. Die gesellschaftlichen Herausforderungen der Gegenwart dulden keinen Aufschub. Gerade in schwierigen Zeiten wird sich die Nachfrage nach Innovationen auf die Bedarfslfelder Arbeitsplätze, Gesundheit, Mobilität, Energie, Sicherheit sowie Klima- und Ressourcenschutz konzentrieren. Darauf muss sich auch die Produktion einstellen.

Zur Ermittlung des Handlungs- und Forschungsbedarfs produzierender Unternehmen hat das BMBF die Untersuchung „Produktionsforschung 2020“ initiiert. Ergebnisse der Untersuchung werden am zweiten Tag der Öffentlichkeit vorgestellt. Am ersten Tag werden in drei parallelen Foren aktuelle Ergebnisse aus Forschungsprojekten zur Produktentwicklung, Produktpiraterie, Ressourceneffizienten Produktion und Elektromobilität sowie aus Vorhaben von kleinen und mittleren Unternehmen bzw. aus internationalen Projekten präsentiert. Die umfangreiche Ausstellung bietet einen Überblick über Projektergebnisse aus den Bereichen:

- Ressourcen- und Energieeffizienz in der Produktion
- Produktion für Elektromobilität
- Innovationen gegen Produktpiraterie
- Produktentstehung/Mechatronik
- Ur- und Umformen
- Nano- und Mikrotechnologien
- Spitzenforschung im Mittelstand (KMU-innovativ)

Darüber hinaus besteht die Gelegenheit, sich im Rahmen der Ausstellung gezielt über das Leistungsangebot des Projektträgers Karlsruhe zu informieren. Angeboten wird die Vermittlung zur Mitwirkung in Industriearbeitskreisen ebenso wie Hilfestellungen bei Förderanträgen auch an die EU in Brüssel oder die Durchführung des Projektmanagements bei EU-Projekten. Ich möchte Sie einladen, diese Angebote zu nutzen!

Dass das BMBF mit dem Kongress – unterstützt von unserem Projektteam in Karlsruhe und Dresden – den Interessierten an den Fortschritten der Produktionsforschung eine gute Gelegenheit zu Gedanken- und Informationsaustausch bieten kann, freut mich sehr. Allen unseren Partnern und Gästen wünsche ich eine gewinnbringende Veranstaltung.

Ausblick

Im Jahr 2010 wird ein Wettbewerb um BMBF-Förderung zum Thema „Leichtbau produzieren“ ausgeschrieben. Darüber hinaus wird erwartet, dass das BMBF auf Basis der Untersuchung „Produktionsforschung 2020“ ein Programm für die nächste Dekade entwickelt.

Im Rahmen der „Hightech-Strategie“ hat sich die Fördermaßnahme „KMU-innovativ“, ein themenoffenes BMBF-Programm mit kontinuierlichem Einreichungstermin, speziell für kleine und mittlere Unternehmen, etabliert. Die nächsten Stichtage, nach denen die eingegangenen Projektskizzen zu „KMU-innovativ“ innerhalb von ca. 2 Monate bewertet und zur Antragstellung ausgewählt werden, sind der 15. April und der 15. Oktober 2010. Mehr Informationen dazu finden Sie unter www.produktionsforschung.de.



Dr.-Ing. Robert Ruprecht
Leiter Projektträger Karlsruhe im KIT,
Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Karlsruhe

Perspektiven der Produktionstechnik – Vorsprung durch Innovation

Prof. Dr.- Ing. Hans-Jörg Bullinger

Präsident der Fraunhofer-Gesellschaft

1. Die produzierende Industrie ist nach wie vor der Kernbereich der deutschen Wirtschaft und zentraler Treiber für Wertschöpfung und Beschäftigung.

In keinem anderen Industrieland ist der Anteil der Arbeitsplätze, die direkt (7,5 Mio.) und indirekt (6,8 Mio.) von der Produktion abhängen, so hoch wie in Deutschland. Zusammen mit den produktionsnahen Dienstleistungen beträgt der von der Industrie induzierte Wertschöpfungsanteil 37 Prozent (BMW 2008). Die Bedeutung der Industrie wird auch durch ihren Exportbeitrag (90 Prozent) und ihren Anteil an den FuE-Ausgaben der Wirtschaft (über 90 Prozent) deutlich.

Ein Hochlohnstandort wie Deutschland kann im harten internationalen Preis- und Qualitätswettbewerb nur bestehen, wenn die Unternehmen ihre Produktionsprozesse kontinuierlich technologisch und organisatorisch weiterentwickeln. Ziel muss sein, auch langfristig eine weltweit führende Position in Innovation und Effizienz der Produktion zu erhalten.

Daher sollte die Hightech-Strategie um ein »Aktionfeld Arbeitsplätze« ergänzt werden. Wichtige Voraussetzungen sind: Forschungs- und Entwicklungsergebnisse sind schnell in marktfähige Produkt- und Produktionsverfahren umzusetzen. Das einzigartige Ausbildungssystem muss erhalten und ausgebaut werden, Arbeitsbedingungen sind noch attraktiver zu gestalten, um exzellente Fachkräfte in Deutschland zu halten.

2. Die ausgeprägte Industrie- und Produktionsorientierung der deutschen Wirtschaft seit Beginn der Industrialisierung bietet auch spezifische Stärken, die als Wettbewerbsvorteile genutzt werden können.

Die Frage ist nicht, ob die produzierende Industrie am Standort Deutschland eine Chance hat, sondern mit welchen Technologien und Produkten die Krise überwunden und wie die bisherigen Stärken ausgebaut und weiterentwickelt werden können. Die exportorientierten Kernbranchen wie Maschinen- und Anlagenbau, Automobilindustrie, Elektrotechnische und Chemische Industrie werden weiterhin die Hauptlast tragen müssen. Sie sind eng verknüpft mit jungen, dynamisch wachsenden Branchen und tragen maßgeblich zu deren Innovationskraft bei.

Deutschland hat als Maschinen- und Anlagenbauer und Systemlieferant einen weltweit hervorragenden Ruf. Dieser basiert in starkem Maße auf mittelständischen Unternehmen, viele davon Weltmarktführer in Spezialmärkten. Deutschland kann seine Position als Ausrüster für die Weltwirtschaft nur halten, wenn die Unternehmen auf innovative Produktionstechnik setzen.

Die Breite der Produktionskompetenz gilt es weiter zu entwickeln und für Zukunftsmärkte auszubauen. Hierzu gehört insbesondere auch die Einnahme einer Führungsrolle für die Produktionstechnik in den Wachstumsmärkten Energie- und Umwelttechnik, Medizintechnik und Life Science, Informationstechnik und Mobilität.

3. Drei Trends dominieren derzeit die Produktionstechnik:

- **Globalisierung**
- **Individualisierung der Märkte**
- **Steigern und Dynamisieren der Innovationsfähigkeit**

Aufgabe ist heute, nicht nur immer schneller neue Produkte auf den Markt zu bringen, sondern sie auch den individuellen Wünschen der Kunden anzupassen. Die Kernfrage für eine künftige Produktion in Deutschland lautet daher, wie können eine hohe Kundenorientierung und eine individuelle Problemlösung mit effizienten sowie robusten und standardisierten Prozessen in Einklang gebracht werden.

Das Agieren in weltweiten Märkten verlangt von den Unternehmen auch in fernen Märkten präsent zu sein, unmittelbar liefern und Service bieten zu können. Dabei muss der Schutz vor Produkt- und Markenpiraterie bei Investitionsgütern gewährleistet sein.

Ziel der Produktionsforschung ist daher, ein nachhaltiges Wachstum durch Innovationen in Produkten und Produktionen sowie in der Produktionsorganisation zu schaffen. Deutschland muss Technologietreiber bleiben und über eine Technologieführerschaft die Markführerschaft anstreben.

Das Exzellenzcluster »Integrative Produktionstechnik für Hochlohnländer« der RWTH Aachen bearbeitet z.B. in einem sehr umfangreichen Forschungsverbund und in Begleitung von mehr als 60 führenden Industrieunternehmen Fragen, durch deren Beantwortung Produktionsorganisation und Produktionsbetrieb in Hochlohnländern neu gestaltet und effektiv organisiert und geführt werden können. Deutsche Unternehmen werden dazu befähigt, Komplexität zu beherrschen, Alleinstellungsmerkmale zu entwickeln und Wettbewerbsvorteile abzuleiten.

4. Der Trend geht zum Produzieren in Netzwerken

Das „Produzieren in Netzwerken“ ist ein Megatrend der Industrie, mit dem neue dynamische und kooperative Produktions- und Wertschöpfungsnetzwerke entstehen. In Zukunft konkurrieren nicht mehr Konzerne miteinander, sondern länderübergreifende Unternehmensnetzwerke. Die Bildung von Netzwerken ist ein entscheidendes Fähigkeitsmerkmal zukunftsfähiger Unternehmen. Die Produktion am Standort Deutschland kann auch dann intelligent weiterentwickelt werden, wenn künftig der Netzwerkgedanke stärker in die Praxis umgesetzt wird. Die kooperative Zusammenarbeit im Bereich Forschung und Entwicklung in regionalen High-Tech-Clustern ist ein bewährter Lösungsansatz zur Beherrschung von Variantenvielfalt bei gleichzeitig geringen Stückzahlen. Die Bildung von Netzwerken und Produktionsverbänden ist hier ein entscheidendes Fähigkeitsmerkmal.

Der Antrieb muss selbstverständlich aus den Unternehmen kommen. Ein Beispiel hierfür bildet eine erfolgreiche Initiative des VDMA, in der Maschinenbauer, Kunden, Zulieferer und produktionstechnische Institute eng miteinander in der Wertschöpfungskette verbunden werden. Ziel ist, insbesondere mittelständischen Unternehmen Zugang zu größeren Märkten und Zugang zu neuen Technologien zu ermöglichen.

Auf europäischer Ebene hat sich seit 2003 die MANUFUTURE-Initiative etabliert. Diese Initiative, bestehend aus allen relevanten Interessengruppen wie Unternehmen, Verbänden sowie Forschungseinrichtungen und Universitäten in Europa, startete mit dem Anspruch, die entscheidenden Ansatzpunkte zum strukturellen Wandel zu identifizieren. Ziel ist die gezielte Integration der industriellen Bedürfnisse zur Gestaltung der zukünftigen Forschungsaktivitäten im Sinne einer praxisnahen und branchenorientierten Forschungsförderung.

Aus der räumlichen Nähe von Forschungsorganisationen, Investoren und Unternehmen entstehen Netzwerke, die zu neuen Geschäftsideen und Firmengründungen führen. Regionale Innovationscluster schließen die Lücke zwischen Wirtschaft und Wissenschaft. Die Förderung von Clusterinitiativen ist deshalb ein zentraler Teil der Hightech-Strategie der Bundesregierung. Die Fraunhofer-Gesellschaft hat inzwischen über 16 regionale Innovationscluster gestartet. Aufgabe der Innovationscluster ist, die verteilten Kräfte in einer Region zu bündeln und für die Lösung von anspruchsvollen Aufgaben zu aktivieren. Schon jetzt hat sich das Instrument der Innovationscluster als erfolgreiche Plattform für regionale Kooperationen erwiesen, die neue Formen der Zusammenarbeit zwischen Wirtschaft und Wissenschaft stimuliert.

Am Standort Stuttgart hat die Fraunhofer-Gesellschaft z.B. seit mehreren Jahren sehr erfolgreich das Innovationscluster „Digitale Produktion“ etabliert und bearbeitet in zahlreichen Projekten die Beschleunigung, qualitative Verbesserung und kostengünstigere Gestaltung wertschöpfender produkt- und produktionsbezogener Prozesse in produzierenden Unternehmen.

Die RWTH Aachen beabsichtigt, in den kommenden Jahren einen Campus mit bis zu 19 Forschungscluster für mehr als 10.000 Mitarbeiter aufzubauen. Die räumliche Verzahnung von Forschungsinstituten und Industrieunternehmen soll eine völlig neue Qualität in der Zusammenarbeit und des Austausches zwischen Wissenschaft und Wirtschaft ermöglichen.

5. Qualitätsmerkmal der Zukunft ist ressourceneffizientes Produzieren.

Energieeffizientes Wirtschaften gewinnt für Unternehmen weltweit immer stärker an Bedeutung. Energieeffizienz betrifft alle produzierenden Firmen, denn die Rohstoff- und Energiepreise sind in den vergangenen sieben Jahren durchschnittlich um 70 Prozent gestiegen. Bei den für das produzierende Gewerbe signifikanten Rohstoffen wie Kohle, Stahl und Öl sind die Steigerungsraten deutlich höher.

Am Beispiel Auto soll gezeigt werden, dass es nicht erst im Einsatz, sondern bereits in der Produktion klimafreundlicher werden muss. Beim Herstellungsprozess verbraucht die Karosserie mit 26 Prozent den größten Anteil der eingesetzten Energie. Diese Erkenntnis ist Ausgangspunkt für die Innovationsallianz Green Carbody Technologies, die vom BMBF gefördert wird. In dieser Innovationsallianz arbeiten namhafte Automobilhersteller, Zulieferer und Produktionsausrüster gemeinsam mit Partnern der Fraunhofer-Gesellschaft und weiteren Forschungseinrichtungen daran, den Energieverbrauch und Materialausschuss bei der Karosseriefertigung drastisch zu senken. Eine Energie-Einsparung von bis zu 50 Prozent soll möglich gemacht werden. Damit dies erreicht wird, müssen Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler neue Technologien und Verfahrensabläufe entwickeln, die sich für den breiten Einsatz in der Praxis eignen.

Steigende Energiepreise und die knapper werdenden Energieressourcen lassen den Bedarf an solchen Technologien wachsen, die den Energieverbrauch senken. Zurzeit entwickelt sich ein weltweiter Markt für Systeme, Produkte und Dienstleistungen, die die Energieeffizienz verbessern. Deutsche Unternehmen bieten zahlreiche innovative Konzepte und Lösungen an, die auf internationalen Märkten großes Interesse finden. Gerade in der jetzigen wirtschaftlich schwierigen Situation gilt es die Chancen zu nutzen, die Effizienz-Technologien bieten.

Erfolgsfaktoren von produzierenden Unternehmen am Standort Deutschland

Dr. Günter Jordan

Partner, A.T. Kearney GmbH, München

Ein Zurück zur „Normalität“ vor der Krise wird es nicht geben – Produzierende Unternehmen müssen sich auf neue Umfeldbedingungen einstellen

Es gibt zunehmend Signale, die auf eine wirtschaftliche Erholung hindeuten, aber eine Rückkehr zur „Normalität“ vor der Krise ist nicht zu erwarten, da die Verschuldung von Staaten und Haushalten historisch einmalig ist und auch die derzeitigen Import/Export Ungleichgewichte dauerhaft nicht aufrechtzuerhalten sind. Das alte Modell – China exportiert und spart, die USA importieren und konsumieren – funktioniert nicht mehr. Außerdem wird sich früher oder später die Erkenntnis, dass das bisherige Wirtschaften nicht nachhaltig ist, erneut auf der Agenda von Konsumenten, Unternehmen und Politik nach oben schieben.

Produzierende Unternehmen am Standort Deutschland müssen sich deshalb auf neue Umfeldbedingungen einstellen:

- **Extremer Wettbewerb:** Langfristig werden wir in Industrieländern wie USA, Japan und Europa geringere Wachstumsraten im Bruttoinlandsprodukt sehen. Der bisherige Konsum ist insbesondere in den USA nicht aufrechtzuerhalten. Staaten und Konsumenten müssen Ausgaben kürzen, um die teilweise horrende Verschuldung abzubauen. Das wird in vielen Industrien zu Überkapazitäten und enormem Preisdruck führen. Erschwerend kommt hinzu, dass sich neue Anbieter aus Niedriglohnländern wie China und Indien auf Auslandsmärkte drängen. Dabei handelt es sich längst nicht nur um technologisch einfache Produkte. Huawei als chinesischer Anbieter von Infrastruktur für die Telekommunikation hat inzwischen NokiaSiemens auf Platz 3 der Weltrangliste verdrängt. Byd, erst 1995 gegründet, baut seit 2008 das erste Vollhybrid Auto und plant mit seinen Elektroautos den Weltmarkt aufzurollen.
- **Extreme Volatilität:** Die Finanz- und Wirtschaftskrise führte zu Absatzrückgängen von bis zu 80% (LKWs), Exporteinbrüchen in Japan von fast 50% (2/08 – 2/09), zusätzlich begleitet von Schwankungen in Rohmaterialpreisen und Nahrungsmitteln von mehreren hundert Prozenten. Auch die Zukunft wird schwer prognostizierbar und von großer Volatilität geprägt sein. Absatzplanungen können über Nacht durch Staatsbankrotte in Europa, Platzen der Immobilienblase in China oder protektionistische Maßnahmen überholt werden.
- **Nachhaltiges Wirtschaften:** Konsumenten, Gesellschaft und Politik werden die ökologische und soziale Verantwortung insbesondere bei produzierenden Unternehmen aktiv einfordern. Der regulatorische Druck wird steigen und damit die Herausforderung, mehr Output mit weniger Input zu produzieren.

Um auch zukünftig erfolgreich am Standort Deutschland zu produzieren sind vier Faktoren entscheidend

Extremer Wettbewerb erfordert **operative Exzellenz (1)** in unseren Fabriken. Wer glaubt, dass es sich hier an einem Hochlohnstandort wie Deutschland um eine Selbstverständlichkeit handelt, irrt. A.T. Kearney hat in den letzten 20 Jahren über 1000 deutsche Fabriken gebenchmarkt. Ergebnis ist, dass jede sechste Fabrik ein unzureichendes Leistungsniveau aufweist und bei weitem nicht fit für den globalen Wettbewerb ist. 47% der Fabriken überschätzen die eigene Leistungsfähigkeit. In unseren Fabriken schlummern noch gewaltige Effizienzpotentiale. Bei der Lean Transformation – obwohl seit Ende der 80-er Jahre darüber geredet wird – stehen viele Unternehmen noch eher am Anfang als am Ende.

Weitere große Potentiale um sich im extremen Wettbewerb durchzusetzen, ergeben sich in der **Zusammenarbeit mit Kunden, interner Produktentwicklung und Lieferanten (2)**. Europa ist der größte Marktraum der Welt und bietet damit ein enormes Marktpotential in geographischer Nähe von deutschen Fabriken. Diesen Standortvorteil gilt es zu nutzen, indem Kunden Wertschöpfungspartnerschaften angeboten werden, die ihnen zusätzliche Umsätze ermöglichen oder aber zumindest diverse Dienstleistungen um das physische Produkt herum. Solche Leistungen können aus Niedriglohnländern, die eine sechswöchige Schiffsreise entfernt sind, nicht oder nur mit großem Aufwand erbracht werden. Ähnliche Vorteile lassen sich erschließen, indem das Know-how von Lieferanten ausgeschöpft wird. In zahlreichen Industrien (z.B. Maschinenbau, Medizintechnik, Automobilindustrie) haben sich sehr leistungsfähige Industrie Cluster herausgebildet, um die wir beneidet werden und die es anderswo so nicht gibt. Die besten Unternehmen erzielen alleine durch gemeinsame Verbesserungen mit ihren Lieferanten 2-5% Kostenreduzierung pro Jahr. Hinzu kommen Innovationspotentiale, die attraktivere Produkte und damit höhere Umsätze ermöglichen.

Anpassungs- und Wandlungsfähigkeit (3) sind kritisch, um in einem Umfeld mit extremer Volatilität zu bestehen. Hier haben deutsche Unternehmen in den letzten 10 Jahren bereits große Fortschritte gemacht, was sich in der aktuellen Krise massiv ausgezahlt hat. Kurzarbeit und unsere flexiblen Arbeitszeitmodelle haben im Ausland viel Aufmerksamkeit erfahren und oft wurde von Deutschland als Vorbild geredet. Gleichwohl muss auch hier noch viel getan werden. Dies gilt insbesondere für die mentale Anpassungs- und Wandlungsfähigkeit bei den Mitarbeitern, die vom schnellen Wandel zunehmend überfordert werden. Extreme Beispiele zeigten sich in französischen Werken, in denen Mitarbeiter Fabriken belagerten, das Management in Haft nahmen und mit der Sprengung drohten. Führungsstil, Kommunikation, aber auch permanentes Training und Weiterbildung sind hier wesentliche Hebel.

Nachhaltiges Wirtschaften bedingt, dass die Produktion zukünftig an der „**Triple Bottom Line**“ (4) gemessen wird: Neben dem wirtschaftlichen Erfolg zählen auch der Umgang mit natürlichen Ressourcen und soziales Engagement.

In einer umfassenden Analyse vor der Krise untersuchte A.T. Kearney die Abhängigkeit von Lohnkosten (gemessen in Kosten pro direktem Mitarbeiter) und wirtschaftlichem Erfolg (gemessen in Umsatzsteigerung von 2004-2007) in deutschen produzierenden Unternehmen. Interessanterweise ergab sich, dass 82% der besten Fabriken (Top Quartil) sowohl überdurchschnittliches Wachstum als auch überdurchschnittliche Lohnkosten aufwiesen. Das zeigt, erfolgreiche Produktion im Hochlohnland Deutschland ist möglich, wenn die beschriebenen Erfolgsfaktoren ausgeschöpft werden.

Zielgerichtete und fehlerarme Klärung kundenindividueller Projekte und deren effektive und effiziente Abwicklung in der Angebots- und Auftragsphase

Dr.-Ing. Gunther Grein und em. Prof. Dr.-Ing. Hans-Joachim Franke

INTENSIO Software und Consulting GmbH, Karlsruhe
Institut für Konstruktionstechnik, TU Braunschweig

Zusammenfassung

Um als Unternehmen in einer globalen Wirtschaft langfristig erfolgreich zu sein, muss man nicht nur die Anforderungen seiner Kunden und Märkte genau kennen, sondern diese durch innovative Produkte mit Alleinstellungsmerkmalen auch effizient erfüllen. Je schneller und treffsicherer die Kundenanforderungen erfasst werden, je hochwertiger die darauf aufbauenden Angebote sind und je zuverlässiger die Wünsche des Kunden im Auftragsfall erfüllt werden, desto größer ist der Unternehmenserfolg durch die Bindung von Bestandskunden und die Gewinnung von Neukunden. Hohe Kundenzufriedenheit steigert die Wahrscheinlichkeit von Folgeaufträgen; insbesondere dann, wenn auch die Produktserviceleistungen (z. B. Wartung, Upgrade etc.) mit höchsten Qualitätsstandards durchgeführt werden. Eine höchste Qualität und Effizienz im Kreislauf aus Anfrage, Angebot, Auftrag und Service hilft Unternehmen, Bestandskunden zu halten und Neukunden zu gewinnen.

Damit auch kleine und mittlere Unternehmen (KMU) auf dem Weltmarkt bestehen können, müssen praktikable Methoden und Tools bereitgestellt werden, die die Kundenanforderungen von Beginn an virtualisieren und auf technische Funktionen der Lösung abbilden.

Vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) werden im Themenfeld „Management und Virtualisierung der Produktentstehung“ des Rahmenkonzepts „Forschung für die Produktion von morgen“ u. a. die beiden Verbundprojekte DIALOG [1] und KOMSOLV [2] gefördert. Während DIALOG seinen Schwerpunkt auf Methoden und Tools für das Anforderungsmanagement entlang der Prozessketten Angebotsbearbeitung und Produktnutzung einschließlich der Verarbeitung von Feedback-Informationen sieht, konzentriert sich KOMSOLV auf die Erforschung von Werkzeugen zur Constraint- und Konfliktanalyse und zur schnellen Konfiguration mit parametrischen CAD-Systemen. Beide Projekte werden vom Projektträger Karlsruhe (PTKA) betreut.

1 Ausgangssituation und Zielsetzung

Die Erstellung qualitativ hochwertiger Angebote, die den Wünschen potentieller Kunden gerecht werden, ist von größter Bedeutung für den Erfolg produzierender Unternehmen. Die Anforderungen des Kunden müssen schnell und treffsicher in geeignete Produktmerkmale umgesetzt werden. Anforderungen aus sämtlichen Produktlebensphasen müssen dabei effektiv erkannt und an den richtigen Stellen der Produktentstehung beachtet werden [3, 4, 5]. Der Kunde erwartet eine individuelle Lösung für seine oft nur grob spezifizierte Problemstellung.

Nach übereinstimmender Meinung von Experten sind weit über die Hälfte, einzelne sprechen von 80 %, aller Beanstandungen und Reklamationen vermeidbar, wenn im Vertrieb vom Angebot bis zur Auftragsabwicklung mit derselben Sorgfalt, Genauigkeit und Vollständigkeit gearbeitet würde, wie dies bei der finanziellen Abwicklung durch die Buchhaltung selbstverständlich ist [6]. Die Ursache dafür liegt primär in den unterschiedlichen Blickwinkeln, aus denen zukünftige Produkte betrachtet werden (Abb. 1). Die Kunden äußern unklare Anforderungen und Wünsche, die oft dem tatsächlichen Bedarf oder den

Rahmenbedingungen vor Ort nicht entsprechen. Die Herstellersicht ist dagegen von den bis jetzt realisierten Projekten und den produktionstechnischen Gegebenheiten geprägt. Der Vertrieb muss zur Verbesserung dieser Situation mit allen notwendigen Informationen aus den Bereichen Produktentwicklung und Kundenservice versorgt werden, um kompetent gegenüber Kunden auftreten zu können. Dadurch lassen sich schon in dieser frühen Phase mögliche Problembereiche lokalisieren und vermeiden. Im allgemeinen gibt es auch erhebliche Informationsdefizite und Verständnisprobleme zwischen Verkauf und Entwicklung/Konstruktion, die dringend behoben werden müssen.

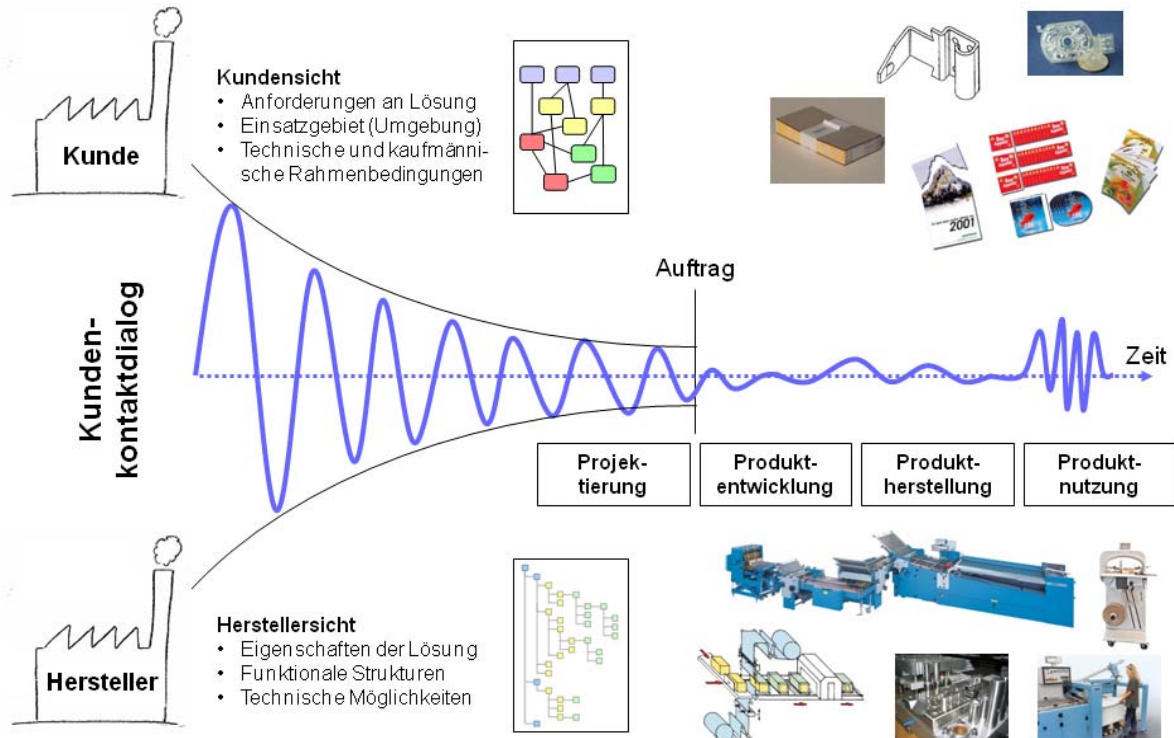


Abb. 1: Intensität des Kundenkontaktdialogs entlang der Prozesskette

Die Beziehung zwischen Kunde und Hersteller des Produktes ist langfristig nur dann erfolgreich, wenn eine schnelle Bearbeitung der Kundenanfrage zu einem individuellen Angebot führt und die Abwicklung des zugehörigen Auftrages, einschließlich aller zukünftig geforderten Produktserviceleistungen, zur vollsten Zufriedenheit des Kunden erfolgt. Aus dieser erzielten Kundenzufriedenheit heraus können neue Anfragen zu bereits eingesetzten und neuen Produkten entstehen.

Für einen nachhaltigen Geschäftserfolg eines Herstellers von Konsumgütern und Produkten des Maschinen- und Anlagenbaus ist es besonders wichtig, zum einen neue Kunden für diesen Kreislauf bestehend aus Anfrage, Angebot, Auftrag und Service zu gewinnen, zum anderen bestehende Kunden in diesem Kreislauf zu halten. Erreicht werden kann dies nur durch ein transparentes Kundenkontaktmanagement, in dem die Abteilungen Vertrieb (Angebotsbearbeitung) und Kundenservice (Servicemanagement) eng zusammenarbeiten. Der Erstkontakt mit einem Interessenten ist dabei genauso wichtig wie die Bearbeitung von Reklamationen.

Insbesondere kleine und mittlere Unternehmen (KMU) sind mit einer Reihe von Problemfeldern konfrontiert, die es zukünftig zu lösen gilt:

1. Zielkonflikte zwischen Kundenanforderungen und Produkteigenschaften werden zu spät erkannt, weil Anforderungen innerhalb der technischen Klärung nicht von Beginn an systematisch beschrieben werden und Prüfmethode fehlen.
2. Die Entwicklung kundenindividueller Produkte nutzt zu wenig bewährte Standardbausteine.

3. Die Prozessdurchgängigkeit in einer verteilten Produktentwicklung, an der mehrere KMUs sowie Kunden und Hersteller unmittelbar beteiligt sind, ist nicht gewährleistet.

Die unterschiedlichen Blickwinkel, mit denen die beiden Verbundprojekte DIALOG und KOMSOLV an die Lösung dieser Aufgabenstellung herangehen, sind in Abb. 2 dargestellt. Das Projekt KOMSOLV stellt die *Produktentwicklung* und deren verwandte Prozesse in den Vordergrund. Über DIALOG wird dagegen angestrebt, auf Basis einer *lebenszyklusorientierten Betrachtung* Produkterfahrungen zu sammeln, um den Kunden-Hersteller-Dialog bis zur Vertragsunterzeichnung zielgerecht zu unterstützen. Die nach Auslieferung der Produkte einsetzende zweite Phase der DIALOG-Prozesskette, die Produktnutzung inkl. Wartung und Service, wird im KOMSOLV-Projektvorhaben nicht vertieft.

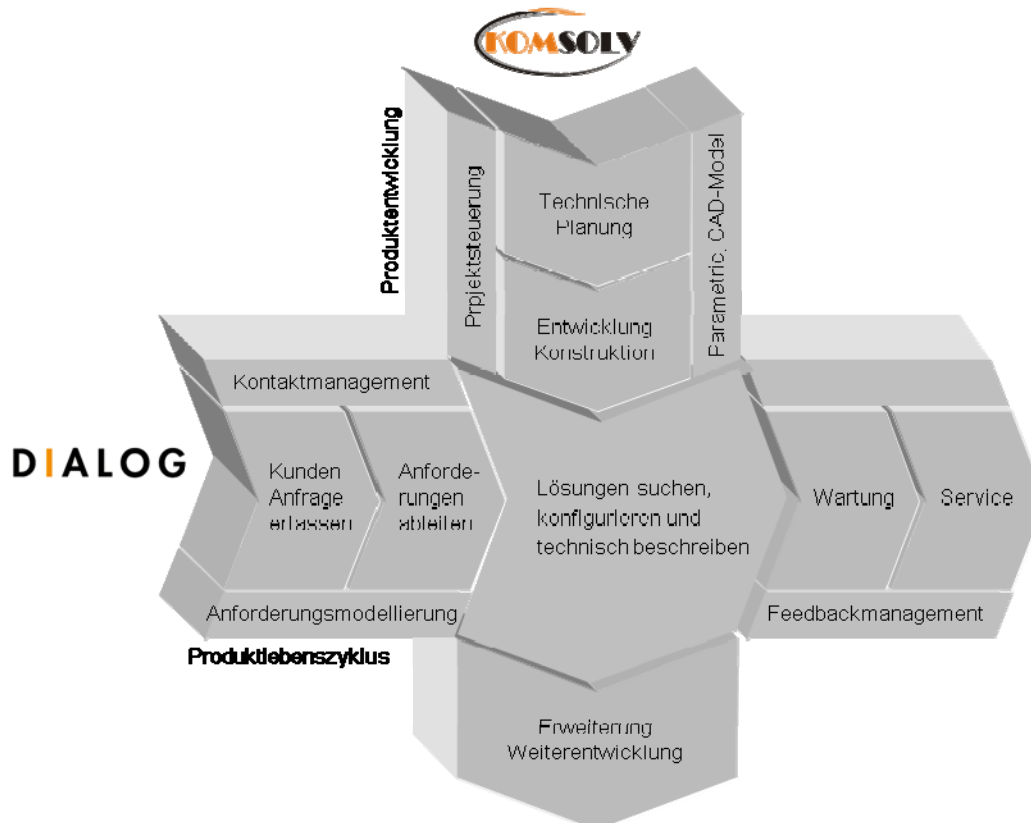


Abb. 2: Verschiedene Blickwinkel der Projekte DIALOG und KOMSOLV

Die Prozesse, die das Projekt KOMSOLV unterstützt, sind mit der Planung, Entwicklung, Konstruktion, Arbeitsvorbereitung und dem Testen von neuen Produkten und Produktmodellen verbunden. Änderungen, die aus neuen Marktforschungsergebnissen oder aus identifizierten suboptimalen technischen Lösungsalternativen resultieren, sollen sicher und zuverlässig abgewickelt werden. Die effiziente Gestaltung dieser Prozesse ist mit einer effektiven Informationsunterstützung bezüglich der künftigen Produkteigenschaften verbunden. Virtuell vorhandene Produktmodelle sind Basis für Simulationen und Optimierungsverfahren, die in möglichst kurzer Zeit Daten über das Produktverhalten unter unterschiedlichen Umweltbedingungen liefern können.

Die im Projekt DIALOG betrachteten Prozesse berücksichtigen alle Phasen des Produktlebenszyklus. Schwerpunktmäßig werden aber die Kontaktabwicklung bis zum Vertragsabschluss und die Nutzungsphase untersucht. Aus den gewonnenen Erfahrungen über die Verwendung eines Produktes während seines Gebrauchs entsteht das notwendige Wissen darüber, wie künftige Produkte ihre Funktionen besser und effizienter erfüllen können. Diese Erfahrung ist aber zwischen den unterschiedlichen Akteuren, die mit dem Produkt interagieren, verteilt. Einerseits handelt es sich hierbei um die Bediener und Nutzer des Produkts und andererseits sind es diejenigen Personen, die Wartung, Instandhaltung und die produktbegleitenden Dienstleistungen übernehmen. Alle Informationen aus der Nutzungsphase können für die Definition besserer Eigenschaften und für eine Verkürzung

der Übereinstimmungszeit zwischen Hersteller und Kunden verwendet werden (Feedback Management). Die effiziente Unterstützung dieser Prozesse ist deshalb mit einer Rückführung von Informationen aus den späteren Lebenszyklusphasen in die Produktdefinitionsphase verbunden.

2 Lösungsbausteine und erwartete Ergebnisse

Da sich beide Verbundprojekte DIALOG und KOMSOLV dem gemeinsamen Ziel widmen, Anforderungen des Kunden mit den Eigenschaften der Produktlösung des Herstellers effizient abzugleichen und Konflikte frühzeitig zu erkennen, ergeben sich aus den unterschiedlichen Lösungsansätzen und Vorgehensweisen Synergien, die in gemeinsamen Projektsitzungen genutzt werden.

Gemeinsame Arbeitsgebiete von besonderem Interesse sind dabei:

1. Erfassung, Klassifizierung und Modellierung von Kundenanforderungen,
2. Management von Produkt- und Prozesswissen,
3. Produktkonfiguration unter Einbeziehung der Lösungsumgebung und
4. Schnittstellen (z. B. zu PPS/ERP, PPM, CAD) und Datenstrukturen.

Auf eine detaillierte Beschreibung der wissenschaftlichen Lösungsansätze wird an dieser Stelle verzichtet und auf die Fachliteratur verwiesen [7, 8, 9, 10, 11, 12]. Nachfolgend werden stattdessen die Lösungsbausteine und erwarteten Ergebnisse anhand zweier Beispielszenarien erläutert.

2.1 Beispielszenario aus dem DIALOG-Projekt

Seit über 30 Jahren ist MBO Maschinenbau Oppenweiler Binder GmbH & Co. KG in Oppenweiler zuverlässiger Partner der Buchbinder und Druckweiterverarbeiter. Die Produktpalette beinhaltet Kombi-Falzmaschinen und Taschen-Falzmaschinen in den Arbeitsbreiten von 53 bis 162 cm, die Siegelfalzmaschine ZSF66 in der Arbeitsbreite von 66 cm sowie Lösungen für Digitaldruck Finishing. Bei den MBO-Produkten handelt es sich um komplexe, langlebige Wirtschafts- bzw. Investitionsgüter.

MBO ist Projektpartner im DIALOG-Projekt und repräsentiert die Rolle eines Herstellers. Die Komplexität und Variantenvielfalt der MBO-Produkte stellt hohe Anforderungen an die Angebotsbearbeitung, ihre Langlebigkeit an das Service Management und den Kundendienst. Durch die weltweit verteilten Produktionsstandorte und Serviceabteilungen unterliegen beide Bereiche der Notwendigkeit einer kontinuierlichen Prozessverbesserung und Rationalisierung.

Kunden und Interessenten der Firma MBO sind graphische Betriebe, Druckereien, Buchbindereien etc., die den Kauf von Papierfalzmaschinen für die Produktion von Broschüren, Büchern, Zeitschriften, Zeitungen oder Packungsbeilagen erwägen. In Abb. 3 ist das Szenario eines MBO-Projekts dargestellt, in dem ein Kunde Glückwunschkarten mit Passepartout-Stanzung herstellen möchte und neben der reinen Falzfunktionalität deshalb auch die Funktionen *Stanzen* und *Ausbrechen* benötigt.

Der *DIALOG-Kontaktmanager* unterstützt die Anbahnung und den Informationsaustausch in den frühen Phasen durch Präsentation der Lösungen des Herstellers in Form illustrierter Preislisten und vorkonfigurierter Systeme. Mit dem *Spezifikationseditor* wird die Anfrage systematisch erfasst und ein Angebot ausgearbeitet. Notwendige Schritte sind

1. Anfrageerfassung inkl. Virtualisierung der initialen Anforderungen an die Lösung und Rahmenbedingungen
2. Darstellen und Bewerten von Lösungsvarianten
3. Schnittstellen zu Anforderungsmodellierer und Konfigurator



Abb. 3: Papierfalzmaschinen-Szenario bei dem DIALOG-Projektpartner MBO

Der *Service manager* unterstützt die Wartung und Instandhaltung der Maschinen und Aggregate sowie die Planung und Vorbereitung der Monteurseinsätze. Teilaufgaben sind insbesondere der Aufbau einer integrierten Maschinen- und Kundenakte durch Protokollierung sämtlicher Anfragen, Umbauten, Reparaturen, Wartungs- und Instandhaltungsaktivitäten, weiterhin die Unterstützung des Wartungs- und Bedienungspersonals durch Teleservice-Funktionen und das systematische Erfassen und Auswerten von Feedback.

2.2 Beispielszenario aus dem KOMSOLV-Projekt

Abb. 4 zeigt beispielhaft einen vereinfachten Ausschnitt aus dem komplexen Beziehungsnetz der Produktmerkmale eines Druckbehälters. Ein Baukastensystem für solche Behälter besteht lediglich aus ca. 20 verschiedenen Bauelementen, mit denen sich allerdings, selbst unter Vernachlässigung von Werkstoffen und Abmessungen, bereits über tausend technisch sinnvolle Kombinationen bilden lassen. Obwohl ein Druckbehälter im Vergleich zu den Produkten der anderen Industriepartner des Verbundprojektes relativ einfach ist, resultiert

selbst hieraus schon ein komplexes Anpassungsproblem bei spezifischen und unter Umständen konfliktären Anforderungen [13].

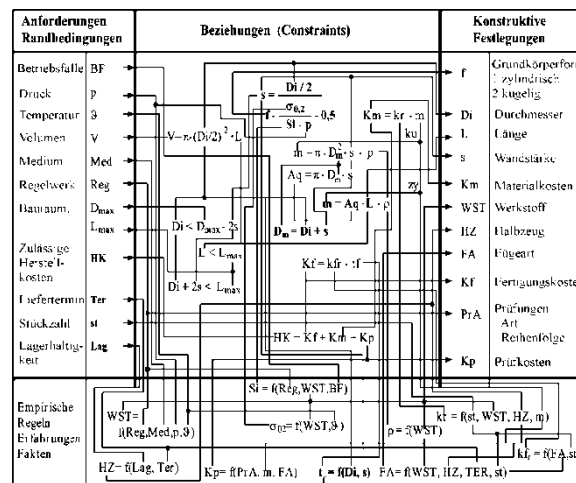


Abb. 4: Beziehungssystem (Constraintsystem) für Druckbehälter als Beispiel für die Visualisierung komplexer Zusammenhänge und Zielkonflikte

Ein Kraftwerkspumpenaggregat, wie in Abb. 5 links dargestellt, besteht aus ca. 3000 Stücklistenpositionen. Das vollständige Erfassen und transparente Darstellen des Gesamtsystems ist nicht nur aufgrund der hohen Anzahl der geometrischen, stofflichen und topologischen Merkmale, sondern vor allem durch ihre komplexen Wirkzusammenhänge ohne eine geeignete methodische und softwaretechnische Unterstützung unmöglich.

Insbesondere zum Erkennen von Zielkonflikten sind geeignete komplexitätsabbildende Visualisierungsmethoden erforderlich.

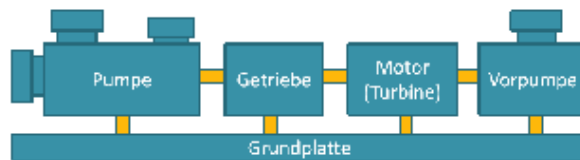


Abb. 5: Foto und schematischer Aufstellungsplan eines Pumpenaggregates

Ein Top-down-Ansatz auf der Basis parametrischer 3D-Modelle soll durch eine hierarchische Stufung des Modellsystems die Komplexität der einzelnen Entwicklungsschritte verringern. Beispielsweise kann die gesamte Pumpenanlage ausgehend von einem sogenannten "Aufstellungsplan" in die wesentlichen Maschinen, dann diese in Komponenten und diese wiederum in Teile gegliedert werden (vgl. Abb. 6). Diese Systematik soll, mit angepassten Strukturen, auf alle Unternehmen übertragen werden. Wesentlicher Bestandteil der Methodik sind constraintgesteuerte 3D-Modelle (Parametrics). Die Constraints stellen den Zusammenhang zwischen den Anforderungen und Topologie, Geometrie und Werkstoffen der Produkte dar. Sie bilden gleichzeitig einen wesentlichen Teil des Produktwissens ab.

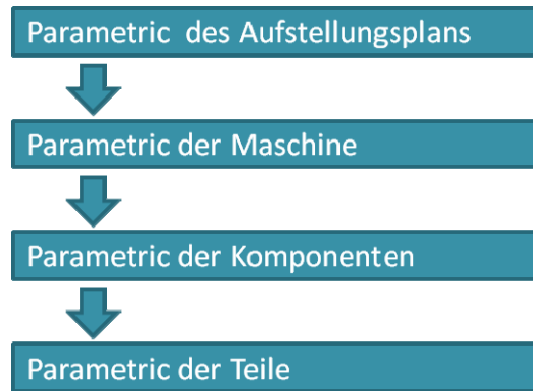


Abb. 6: TOP-DOWN-Ansatz der für die Parametrischen CAD-Modelle

3 Ausblick

Mittels verbesserter Methoden, insbesondere auch geeigneter Software-Werkzeuge, wird es leichter, komplexe Produkte kundenspezifisch und dennoch zuverlässiger und schneller anzubieten und abzuwickeln. Ein wichtiges Teilproblem ist dabei das frühzeitige Erkennen von Zielkonflikten und Lösungsstrategien zu ihrer Beherrschung. Die so erarbeiteten Vorteile sind nicht nur auf die Produkte selbst beschränkt, sondern wirken sich wesentlich auch auf die Produktentstehungsprozesse aus. Sie sind daher weit schwieriger nachzuahmen und versprechen robuste Wettbewerbsvorteile.

Die systematische Erfassung und Rückkopplung von Produktinformationen aus der Fertigungs- und Betriebsphase sind ein entscheidender Schritt, um sowohl für kundenspezifische Anpassungen als auch für innovative Neuentwicklungen zuverlässige Anforderungen bereitzustellen. Immer vor dem Hintergrund, zielgerichtet zu projektieren, anzubieten und nach Auftragserhalt abzuwickeln.

Literatur:

- [1] Grein, G. et al.: DIALOG - Effizientere Produktentstehung im Rahmen der Angebotsbearbeitung durch KMU-gerechtes Kundenkontakt- und Servicemanagement; Vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) gefördertes und vom Projektträger Karlsruhe (PTKA) betreutes Verbundprojekt; Förderkennzeichen: 02PC1020; Zeitraum: Juli 2008 - Juni 2011; Projekt-Homepage: www.dialog-das-projekt.de
- [2] Franke H.-J. et al: KOMSOLV - Komplexe Produkte mit konfliktären Anforderungen optimiert anbieten und abwickeln; Vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) gefördertes und vom Projektträger Karlsruhe (PTKA) betreutes Verbundprojekt; Förderkennzeichen: 02PC1030; Zeitraum: Juli 2008 - Juni 2011; Projekt-Homepage: www.komsolv.de
- [3] Ehrlenspiel, Klaus: Integrierte Produktentwicklung, Methoden für Prozessorganisation, Produkterstellung und Konstruktion, 3.Auflage, München, Wien, Carl Hanser Verlag, 1995
- [4] Grabowski, Hans et al.: Universal Design Theory: Elements and Applicability to Computers, S. 209-222. In Grabowski, H.; Rude, S.; Grein, G. (Hrsg.): Universal Design Theory, Aachen, Shaker 1998
- [5] Pahl, G.; Beitz, W.: Konstruktionslehre Methoden und Anwendung, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg New York London Paris Tokyo, 4. Auflage, 1997
- [6] VDI-Gesellschaft Entwicklung Konstruktion Vertrieb (Hrsg.): Angebotsbearbeitung – Schnittstelle zwischen Kunden und Lieferanten, kundenorientierte

- Angebotsbearbeitung für Investitionsgüter und industrielle Dienstleistungen, ISBN 3-540-64281-1, Springer-Verlag, 1999
- [7] Pana-Schubert, V.; Rogalski, S.: Wissensbasierte Produktkonfiguration im Anlagenbau; ZWF Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb; Carl Hanser Verlag; 12/2009, Seite 1109-1113
 - [8] Pana-Schubert, V.; Rogalski, S.; Ovtcharova, J.: Harmonisierung von Kunden- und Herstellersicht im Anlagenbau; Industrie Management; geplant in Ausgabe 1/2010
 - [9] Alexandrescu, I.; Franke, H.-J.: Vereinfachte Visualisierung der Produktparameter komplexer Produkte In: ZWF Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb, Carl Hanser Verlag, ZWF 103, 5/2008
 - [10] Alexandrescu, I.; Franke, H.-J.: Fast Offer and Optimized Design for Complex Custom Products, 1st Symposium on Multidisciplinary Studies of Design in Mechanical Engineering, Bertinoro, 26-28 June 2008, ISBN. 88-901080-3-7
 - [11] Alexandrescu, I.; Franke, H.-J.: Schnelles Konfigurieren komplexer kundenspezifischer Produkte, In: Berliner Kreis Newsletter 2/2008, Nr.11
 - [13] Brey, M.: Konfiguration und Gestaltung mit Constraintsystemen, Diss. TU Braunschweig, 2003

Frühzeitige und qualifizierte Kostenprognose für Produktionssysteme – Praxisbeispiel anhand einer mechatronischen Baugruppe

Thomas Günther¹, Rinje Brandis², Daniel Nordsiek², Steven Peters³, Jan Rühl³

¹Robert Seuffer GmbH & Co. KG, Calw, ²Heinz Nixdorf Institut, Paderborn, ³Institut für
Produktionstechnik (wbk), Karlsruhe

Zusammenfassung

Innerhalb des BMBF-Verbundforschungsprojektes VireS (Virtuelle Synchronisation von Produktentwicklung und Produktionssystementwicklung) entsteht ein ganzheitliches Instrumentarium, welches die parallele und aufeinander abgestimmte Entwicklung von Produkt- und Produktionssystem sowie eine frühzeitige Bewertung von Produkt und Produktionssystem hinsichtlich Kosten und Robustheit ermöglicht. Die entwickelten Methoden werden in eine durchgängige IT-Landschaft integriert, um eine einfache Anwendbarkeit im Industrielltag sicherzustellen. Erste Ergebnisse wurden am Beispiel eines mechatronischen Produkts der Robert Seuffer GmbH & Co. KG erfolgreich validiert.

1 Einleitung

Unternehmen müssen aufgrund der vorherrschenden Markt- und Wettbewerbssituation Produkte immer schneller und kostengünstiger entwickeln und produzieren. Innovative Produkte beispielsweise im Maschinenbau oder der Automobilindustrie beruhen vielfach auf dem Zusammenwirken von Mechanik, Elektronik, Regelungstechnik und Softwaretechnik. Der Begriff Mechatronik bringt dies zum Ausdruck. Der Entwurf mechatronischer Systeme ist geprägt durch die Zusammenarbeit von Mitarbeitern der beteiligten Domänen. Ihre Kommunikation und Koordination im Entwicklungsprozess stellt eine Herausforderung dar. Darüber hinaus sind die Wechselwirkungen zum Produktionssystem schon frühzeitig in der Entwicklungsphase zu betrachten. Diese Abhängigkeiten zwischen Produkt und Produktionssystem werden heute nur unzureichend berücksichtigt. Die Folgen sind aufwändige Iterationsschleifen im Entwicklungsprozess und eine Überschreitung der Zielkosten für das Produkt sowie den geplanten Investitionen für das Produktionssystem. Produkt und Produktionssystem müssen daher im Wechselspiel entworfen werden. Das Ziel des BMBF Verbundprojektes VireS (Virtuelle Synchronisation von Produktentwicklung und Produktionssystementwicklung) ist ein Instrumentarium zur integrativen Entwicklung von Produkt und Produktionssystem, welches Möglichkeiten zur Analyse und Bewertung von Entwicklungs- und Herstellkosten sowie der Robustheit gegenüber Änderungen und Störungen bietet. Hierdurch sollen aufwändige Iterationsschleifen in einem langwierigen Entwicklungsprozess vermieden werden. Gleichzeitig bietet die frühzeitige Kostenprognose den Unternehmen Hilfestellung bei Entwicklungsentscheidungen sowie bei der Angebotserstellung.

Das Instrumentarium besteht aus einem Vorgehensmodell, einer domänenübergreifenden Spezifikationstechnik zur Beschreibung der Prinziplösung von Produkt und Produktionssystem, Methoden für die ganzheitliche Bewertung von Kosten und Robustheit und einer Wissensbasis. Die Entwicklung des Instrumentariums erfolgt in vier Querschnittsprojekten. In vier Pilotprojekten bei den Unternehmen Behr, Océ Printing Systems, Robert Seuffer und Wincor Nixdorf International wird das Instrumentarium erprobt. Die dort betrachteten Demonstratoren liefern die Anforderungen sowie Einsatz- und Evaluationsmöglichkeiten für das Instrumentarium (Abb. 1).

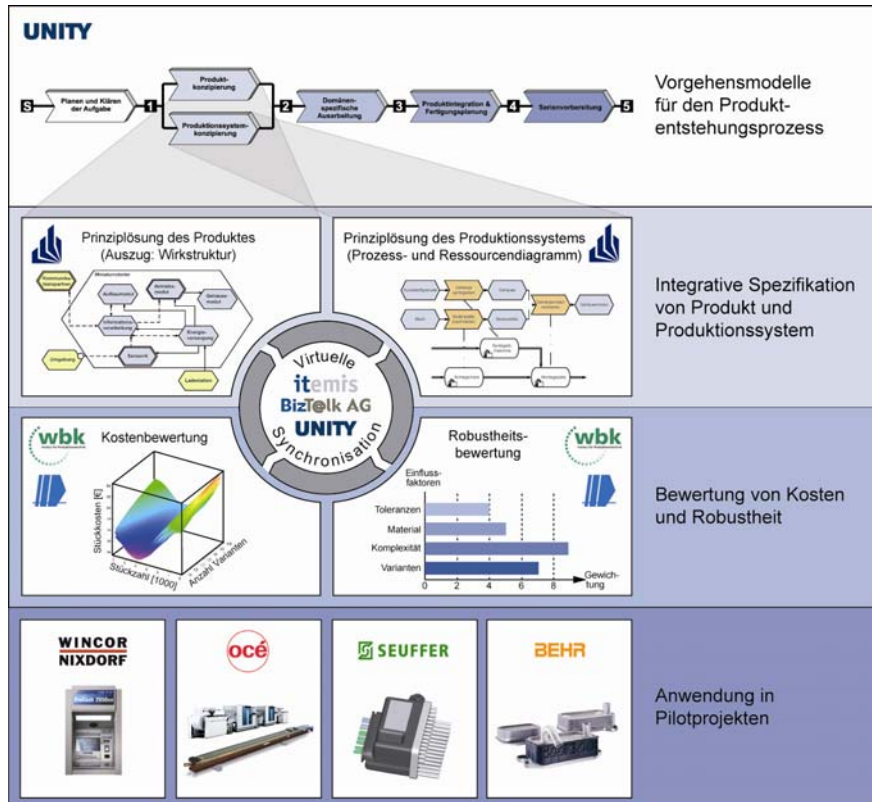


Abb. 1: Zusammenspiel des Instrumentariums im Verbundprojekt VireS

Die Spezifikationstechnik und die Bewertungsmethoden werden in Softwarewerkzeuge umgesetzt, welche die Erstellung rechnerinterner Modelle der Prinziplösung ermöglichen. Die in den Modellen enthaltenen Informationen werden an die Bewertungstools übergeben, welche Kosten und Robustheit messen.

2 Konzipierung von Produkt und Produktionssystem

Für die domänenübergreifende Entwicklung des Produkts sind etablierte Entwicklungsmethodiken nicht ausreichend. Hierzu zählen die Konstruktionslehre nach Pahl/Beitz [1] sowie die VDI-Richtlinie 2206 „Entwicklungsmethodik für mechatronische Systeme“ [2]. Dies gilt insbesondere in den frühen Phasen „Planen und Klären der Aufgabe“ und „Konzipierung“, deren wesentliches Ergebnis die sogenannte Prinziplösung ist. Die Prinziplösung legt den grundsätzlichen Aufbau und die Wirkungsweise des Systems fest. Sie ist Grundlage für die Konkretisierung des Produkts sowie für die Konzipierung des Produktionssystems. Für die Beschreibung der Prinziplösung eines mechatronischen Produkts und darauf aufbauend der Prinziplösung des Produktionssystems ist am Heinz Nixdorf Institut in Paderborn ein Set an Spezifikationstechniken erarbeitet worden [3,4,5].

Die Prinziplösung eines hoch komplexen mechatronischen Produkts wird durch die Aspekte Anforderungen, Umfeld, Anwendungsszenarien, Funktionen, Wirkstruktur, Gestalt und Verhalten beschrieben. Die Aspekte Anforderungen, Prozesse, Ressourcen und Gestalt des Produktionssystems beschreiben die Prinziplösung des Produktionssystems. Abbildung 2 zeigt die genannten Aspekte. Diese werden rechnerintern durch Partialmodelle repräsentiert. Da die Aspekte zueinander in Beziehung stehen und ein konsistentes Ganzes ergeben, besteht die Prinziplösung aus einem kohärenten System von Partialmodellen. Sie werden in der Software Mechatronic Modeller umgesetzt, welche im Rahmen des Projektes vom Heinz Nixdorf Institut und der itemis AG gemeinsam entwickelt wird.

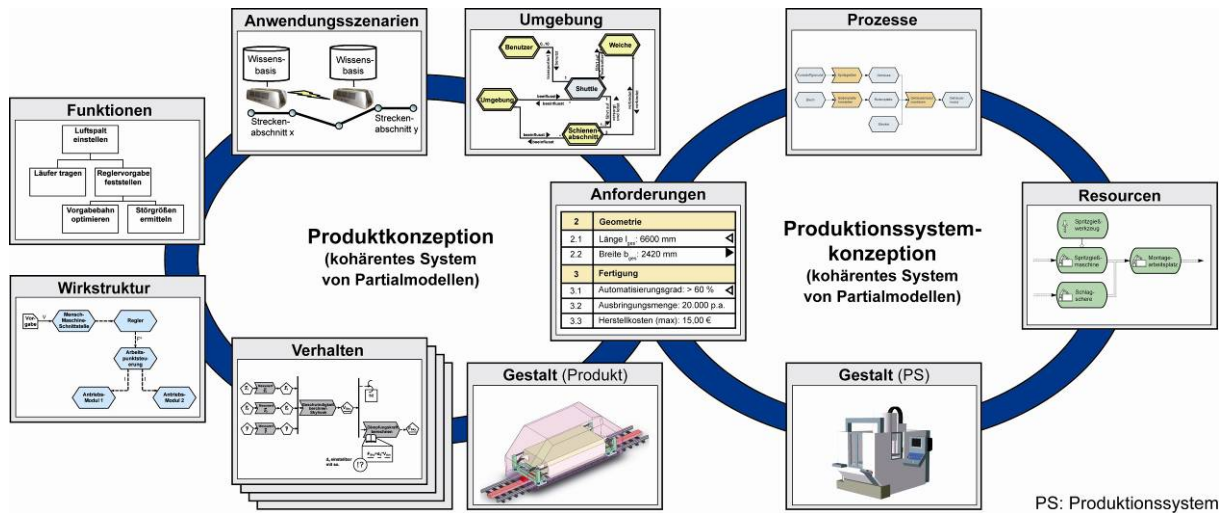


Abb. 2: System kohärenter Partialmodelle zur domänenübergreifenden Beschreibung der Prinziplösung des mechatronischen Systems und des zugehörigen Produktionssystems

Die Aspekte und die entsprechenden Partialmodelle sind im Wechselspiel zu bearbeiten, wenngleich es eine gewisse Reihenfolge gibt. Den Startpunkt bildet die Phase „Planen und Klären der Aufgabe“ mit der Modellierung des Umfelds, der Anwendungsszenarien und der sich daraus ergebenden Anforderungsliste.

Bei der Firma Seuffer wurde die Spezifikationstechnik zur Konzipierung eines Kühlerlüftersteuergerätes eingesetzt. Das grundsätzliche Vorgehen ist wie folgt: Das System wird zu Beginn als „Black Box“ in seinem Umfeld abgebildet. Alle Einflüsse, die auf das System wirken, sowie Systemelemente des Umfelds, die in Wechselwirkung mit dem System stehen, werden modelliert (Abb. 3). Anwendungsszenarien werden verwendet, um die Aufnahme von Anforderungen und die Identifikation der Betriebsmodi zu unterstützen. Dazu beschreiben Anwendungsszenarien eine situationsspezifische Sicht auf das in der Prinziplösung beschriebene System und das Systemverhalten. Aus den beiden Partialmodellen Umfeld und Anwendungsszenarien sowie aus der Aufgabenstellung ergeben sich Anforderungen an das System. Sie werden tabellarisch aufgeführt. Aus den Anforderungen werden Funktionen abgeleitet und hierarchisch angeordnet. Die anschließende Modellierung der Wirkstruktur zeigt die Verknüpfung von Wirkprinzipien mehrerer Teilfunktionen zur Erfüllung der Gesamtfunktion. In der Wirkstruktur werden die Systemelemente, deren Merkmale sowie die Beziehungen der Systemelemente untereinander beschrieben. Aufbauend auf der Wirkstruktur wird die Gestalt des Systems modelliert. Dies geschieht in üblichen 3D CAD Systemen. Die Wirkstruktur und die Gestalt bilden im klassischen Maschinenbau den Kern der Prinziplösung. Bei der Spezifikation von mechatronischen Systemen spielen darüber hinaus die Modellierung von Zuständen und Zustandsübergängen sowie die Auswirkungen auf die Wirkstruktur eine wesentliche Rolle. Diese Art der Modellierung erfolgt im Partialmodell Verhalten.

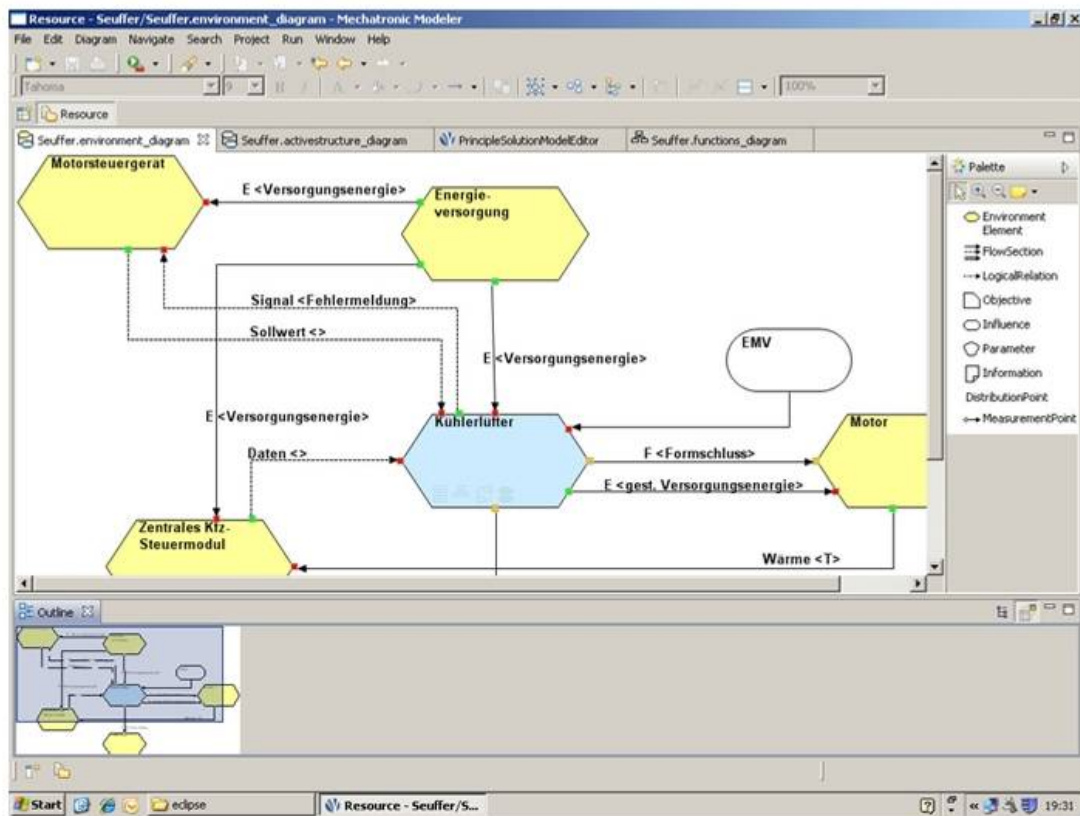


Abb. 3: Modellierung des Umfelds in der Software Mechatronic Modeler

Mit dem Vorliegen von Anforderungen, Wirkstruktur und ersten Gestaltinformationen des Produktes wird mit der Konzipierung des Produktionssystems begonnen. Produktionsanforderungen werden aus der Anforderungsliste des Produktes gefiltert. Die Wirkstruktur und erste Gestaltinformationen dienen dazu, das Produktkonzept in eine gestaltorientierte Struktur zu überführen (vgl. [6]). Anschließend wird eine erste Montage- bzw. Fertigungsreihenfolge ermittelt. Diese beinhaltet sowohl Herstellungs-, Montage- als auch Transportprozesse. Die Prozessschritte werden im Laufe der Ausarbeitung des Produktentwurfs verfeinert und konkretisiert. Die Einflüsse der Fertigungsprozesse auf das Produkt fließen in die Produktentwicklung ein. Im weiteren Verlauf des Entwicklungsprozesses werden den einzelnen Prozessen Ressourcen zugeordnet. Sie werden durch Attribute und Gestaltinformationen konkretisiert. Das Resultat der Konzipierung ist eine auf das Produktkonzept abgestimmte Prinziplösung des Produktionssystems. Sie bildet die Grundlage für die weitere Konkretisierung und liefert die Eingangsinformationen für eine frühzeitige Bewertung der Herstellkosten.

3 Frühzeitige Kostenprognose

Eine frühzeitige Bewertung der Herstellkosten hilft Unternehmen bei der Abstimmung der Produkt- und Produktionssystementwicklungen wie auch bei der Angebotserstellung, die beispielsweise in der Automobilindustrie drei bis vier Jahre vor dem eigentlichen Serienstart liegen kann. Als besondere Schwierigkeit bei einer fundierten Kostenschätzung hat sich im Projekt die hohe Unsicherheit in den frühen Phasen des Produktentstehungsprozesses herausgestellt. Stückzahl- und Variantenoptionen sind häufig nur unzureichend bekannt. Kunden fordern seit einigen Jahren individuelle und vielfältige Produkte [7]. Kürzer werdende Produktlebenszyklen [8] [9] und Kostendruck u.a. durch die Globalisierung führen zu weiteren, großen Herausforderungen [7]. Die Herstellkosten der Endprodukte dürfen trotz zunehmender Vielfalt und der damit verbundenen Komplexität nicht ansteigen, um die Deckungsbeiträge nicht zu beeinträchtigen. Dies stellt ein schwieriges Problem dar, weil

Vielfalt in aller Regel negative Auswirkungen auf die Produktionskosten, die Durchlaufzeiten und die Qualität hat. Dies ist u.a. bedingt durch schwankende Auslastung, höhere Rüstkosten, erhöhte Lagerbestände und größere Fehlerhäufigkeit und einen erhöhten Schulungsbedarf der Mitarbeiter sowohl in Produktion als auch in Vertrieb und Planung [10]. Unternehmen müssen die Effekte der Variantenproduktion frühzeitig untersuchen um sie dem potentiellen Marktnutzen einer breiten Produktpalette gegenüberstellen zu können. Zu dem Zeitpunkt strategischer Marktentscheidungen liegen sehr wenige, belastbare Daten über Stückzahlverläufe eines Produkts und dessen Variantenoptionen vor. Dies erschwert die so dringend nötige Verhaltensanalyse der Kosten und letztlich auch die Auswahl optimaler Konzepte.

Um die Lösung dieser Problemstellung zu unterstützen, wurde am Institut für Produktionstechnik (wbk) das Simulationsprogramm *F-One* entwickelt und bei der Firma Seuffer erfolgreich validiert. Ausgehend von einer dynamischen Simulationstechnik werden für denkbare Stückzahl- und Variantenbereiche Herstellkosten mit den zugehörigen Unsicherheiten, verursacht durch Schwankungen, ermittelt.

F-One unterstützt den Vergleich zwischen verschiedenen Produktionssystemscenarien. So können beispielsweise manuelle Arbeitsplätze mit vollautomatisierten Plätzen verglichen werden oder gesamte Produktionssysteme hinsichtlich ihres Verhaltens gegenüber Stückzahl- und Variantenschwankungen untersucht werden (Abb. 4).

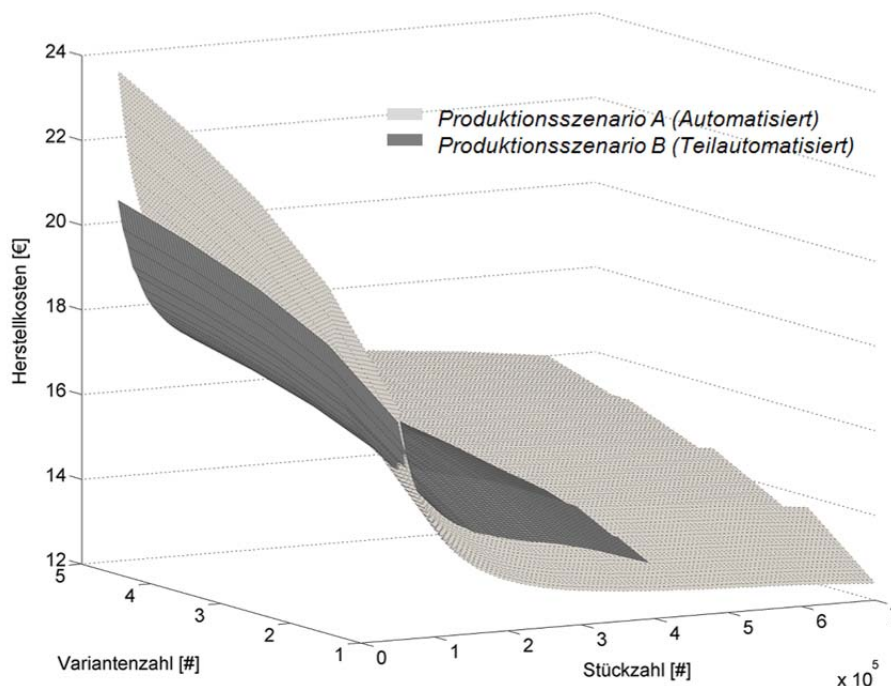


Abb. 4: Vergleich zweier fiktiver Produktionsszenarien

Ausgangspunkt eines abzubildenden Produktionssystems sind allgemeine Daten wie geplante Lebensdauer des Systems, Stückzahl- und Variantenbereiche, Wechselkurse, Schichtzuschläge und Arbeitszeiten. Wesentlich ist die Abbildung der einzelnen Produktionsvorgänge (z.B. Montage- oder Fertigungsschritte) mit definierten Kennzahlen, die z.B. durchschnittliche Qualität, Leistung und Verfügbarkeit erfassen. Wichtig ist dabei die Definition der Schwankungen dieser Kennzahlen, die aus historischen Daten oder Erfahrungswerten gewonnen werden. Neben Takt- und Rüstzeiten werden für die Berechnung der Kosten Maschinenstundensätze und Stundenlöhne benötigt. Der vom Anwender definierte Stückzahl- und Variantenbereich wird iterativ abgearbeitet, so dass für

jede Kombination aus möglicher Stück- und Variantenzahl Herstellkosten prognostiziert werden können.

Die OEE-Overall Equipment Effectiveness als Kennzahl der Wertschöpfung eines Produktionssystems wird simuliert und dient als Grundlage für Kapazitäts- und Kostenkalkulationen. Mit Hilfe des aus den Taktzeiten ermittelten Zeit- bzw. Kapazitätsbedarfs werden Personal- und Maschinenkosten aus den Stundenlöhnen bzw. Maschinenstundensätzen berechnet. Zusätzlich werden Material-, Puffer- und evtl. entstehende Ausfallkosten (z.B. durch Konventionalstrafen oder teure Fremdvergabe im Falle eines kurzfristigen längeren Produktionsausfalls) betrachtet.

Mit Hilfe mehrerer Simulationsläufe erkennt die Software Unsicherheiten im System. Es werden prinzipiell drei Arten von Unsicherheiten unterschieden: Unsicherheiten aus der Umwelt z.B. sich ändernde Kundenwünsche, Unsicherheiten aus dem System selbst z.B. schwankende Verfügbarkeiten und letztlich Unsicherheiten verursacht durch die Verwendung von ungenauen Erfahrungswerten in frühen Planungsstadien. Das mit diesen Unsicherheiten verbundene Risiko spielt stets eine zentrale Rolle in der zugrundeliegenden Methodik des Tools. Mit Hilfe der Stochastik wird das Risiko explizit mit Hilfe zweier begrenzender Ebenen sichtbar gemacht und monetär erfasst (Abb. 5). Die mittlere Ebene in Abbildung 5 stellt den Mittelwert der Kosten aus allen Simulationsläufen dar, während die beiden begrenzenden Ebenen die mögliche Schwankungsbreite nach oben und unten zu einer vom Benutzer anzugebenden Sicherheit gemäß eines Value-at-Risk-Ansatzes angeben. Damit sind Aussagen wie beispielsweise „mit 95%-iger Wahrscheinlichkeit liegen die Herstellkosten pro Stück bei einer Stückzahl von 20.000 und bei zwei Varianten zwischen 39 und 43 Euro“ ableitbar (Abb. 5).

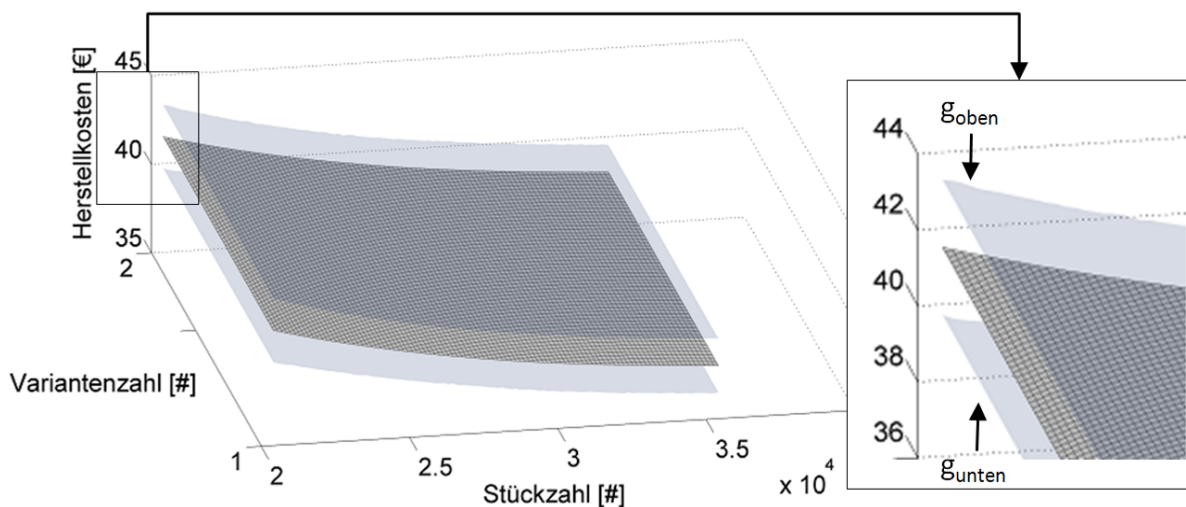


Abb. 5: Darstellung der Unsicherheiten

Neben dieser Auswertung mit Hilfe der Grenzebenen wird eine sogenannte Robustheitskennzahl R für jeden Stückzahl-Varianten-Punkt berechnet. Im Projektkontext gilt ein Produktionssystem dann als robust, wenn es die Produktion von Produkten gemäß den Anforderungen unabhängig von schlecht vorhersehbaren Ereignissen erlaubt.

Formel 1 versucht diese Definition mathematisch zu beschreiben:

$$R = \frac{1}{1+v} \quad \text{Formel 1}$$

Dabei ist v der stets nicht-negative Variationskoeffizient, d.h. die Standardabweichung der Herstellkosten dividiert durch den Erwartungswert dieser Kosten. Je näher R bei eins liegt, desto robuster ist das Produktionssystem gegenüber allen betrachteten Unsicherheits- und Schwankungsquellen.

Innerhalb des Forschungsprojekts VireS wurde an einem mechatronischen Produkt der Firma Seuffer (Abb. 6) und dem zu planenden Produktionssystem das Programm *F-One* validiert. Zukünftige Produktionsszenarien, die sich v.a. durch ihren Automatisierungsgrad unterscheiden, wurden mit Hilfe der Spezifikationstechnik abgeleitet, mit *F-One* simuliert und so letztlich bzgl. der Kosten vergleichbar gemacht. Es konnten Erkenntnisse darüber gewonnen werden, in welchem Stückzahlbereich sich welches Szenario am besten eignet und wie weit die Herstellkosten auseinander liegen. Des Weiteren wurden die jeweiligen Schwankungsbreiten der Herstellkosten als Maß für das Risiko der Szenarien verglichen. Die integrierte Kapazitätsanalyse zeigte auf, wo evtl. Schwachstellen (Bottle-Necks) liegen könnten bzw. wo die Kapazität nicht ausreicht.



Abb. 6: Produktbeispiel der Robert Seuffer GmbH & Co. KG (Kühlerlüftersteuergerät)

4 Zusammenfassung und Ausblick

Das Verbundforschungsprojekt VireS befindet sich gerade in der Projekthalbzeit und endet im Sommer 2011. Die bisherigen Ergebnisse sind vielversprechend und für die Praxis von hoher Relevanz. Insbesondere die Integration der verschiedenen Teilprojekte und ihrer IT-Tools in eine einheitliche IT-Landschaft sowie die Verknüpfung mit einer allgemeinen Wissensbasis bilden die Arbeitspakete der zweiten Projekthälfte. Darüber hinaus werden die Methoden weiterentwickelt und begleiten die sich in der Entwicklung befindenden Produkte aus den Pilotprojekten bis zu deren Serienstart.

5 Danksagung

Die Autoren dieses Beitrags möchten sich bei dem Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) für die Förderung dieses Projektes sowie beim Projektträger Forschungszentrum Karlsruhe (PTKA) für die Betreuung bedanken.

6 Literatur

- [1] Pahl, G., Beitz, W., Feldhusen, J., Grote, K.-H.: Konstruktionslehre – Grundlagen; Springer Verlag, 7. Auflage; 2006
- [2] Verein Deutscher Ingenieure (VDI): VDI-Richtlinie 2206 - Entwicklungsmethodik für mechatronische Systeme; Beuth Verlag; 2004
- [3] Frank, U.: Spezifikationstechnik zur Beschreibung der Prinziplösung selbst-optimierender Systeme; HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 175, Dissertation, Fakultät für Maschinenbau, Universität Paderborn; 2006
- [4] Gausemeier, J.; Frank, U.; Donoth, J.; Kahl, S.: Spezifikationstechnik zur Beschreibung der Prinziplösung selbstoptimierender Systeme des Maschinenbaus - Teil 2; Konstruktion, September, Heft 9, Springer-VDI-Verlag; 2008, S. 91-108
- [5] Michels, J.: Integrative Spezifikation von Produkt- und Produktionssystemkonzeptionen; HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 196, Dissertation, Fakultät für Maschinenbau, Universität Paderborn; 2006
- [6] Steffen, D.: Ein Verfahren zur Produktstrukturierung für fortgeschrittenen mechatronische Systeme; HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 207, Dissertation, Fakultät für Maschinenbau, Universität Paderborn; 2007
- [7] Piller, F.: Mass Customization; in: Albers, S.; Herrmann, A.: Handbuch Produktmanagement, Gabler, 3. Auflage, 2007, ISBN: 978-3-8349-0268-9, S. 943f.
- [8] IBM Global Business Services: The perfect product launch, IBM Corporation, 2006
- [9] Nyhuis, P.; Wiendahl, H.-P.: Logistische Kennlinien, 2.Auflage 2003, Springer-Verlag Berlin, Heidelberg, ISBN: 3540437002, S.1
- [10] Firchau, N.; Franke, H.-J.; Hesselsbach, J.; Huch, B.: Variantenmanagement in der Einzel- und Kleinserienfertigung, Carl Hanser Verlag, München Wien 2002, ISBN: 3-446-21730-4, S.7

Gekoppelte, unternehmensübergreifende Simulation mobiler Arbeitsmaschinen

Dr.-Ing. Heinz Böhler
AGCO GmbH, Marktoberdorf

Dipl.-Ing. Lars Völker
Lehrstuhl für Mobile Arbeitsmaschinen, KIT

Zusammenfassung

Im Entwicklungsprozess von mobilen Arbeitsmaschinen spielt die Simulation eine immer wichtigere Rolle. Dabei müssen komplexe Systeme aus Mechanik, Hydraulik und Regelung abgebildet werden. Die heute verfügbaren Simulationsprogramme bieten nur mit Einschränkungen die Möglichkeit, diese Systeme mit einem Programm komplett abzubilden. Daneben ist es möglich, für jede Disziplin ein spezialisiertes Programm zu verwenden und durch eine so genannte Co-Simulation zu verbinden. Zahlreiche Programme bieten bereits derartige Schnittstellen an, aber insbesondere bei der Einbindung komplexer hydraulischer Systeme sind noch verschiedene Schwierigkeiten zu überwinden.

Hier soll das Projekt GUSMA Grundlagen erarbeiten und die Anwendung einer Co-Simulation an einem typischen Beispiel einer geregelten Komforthydraulik aufzeigen. Der Prozess der Co-Simulation soll standardisiert und eine Plattform etabliert werden, auf der die gekoppelte Simulation anhand einer standardisierten Vorgehensweise durchgeführt werden kann. Um die gewachsene enge Lieferantenbeziehung, die für den Bereich der mobilen Arbeitsmaschinen typisch ist, auszubauen, soll die Möglichkeit geschaffen werden, Teilsimulationsmodelle des Lieferanten in das Gesamtmodell einzubauen. Dabei muss ein besonderes Augenmerk auf das Thema Know-how Schutz gelegt werden.

1 Ausgangssituation aus Sicht des Fahrzeugherstellers

Als Hersteller der Traktoren der Marke Fendt steckt die AGCO GmbH in einem Spannungsfeld, das auch viele andere Hersteller und Zulieferer von Mobilien Arbeitsmaschinen betrifft. Auf der einen Seite werden hochkomplexe Systemfahrzeuge entwickelt, die viele Technologien aus den Bereichen Automatisierung, Hydraulik und Pneumatik mit der Fahrzeugmechanik verbinden, und dies bei immer kürzeren Entwicklungszeiten. Auf der anderen Seite zwingen die im Vergleich zum On Road Bereich (PKW, Truck) kleineren Stückzahlen und die dadurch kleineren Entwicklungsbudgets den Fahrzeughersteller dazu, die häufig noch im Aufbau befindlichen eigenen Simulationskapazitäten möglichst effektiv zu nutzen und dabei auch die Kompetenz der Zulieferer mit einzubinden.

Die Komplexität der Fahrzeuge soll beispielhaft an den Komfortsystemen eines Fendt-Großtraktors aus der Vario 900 Baureihe (**Abbildung 1**) vorgestellt werden [1]:

- Hydropneumatische Einzelradfederung an der Vorderachse mit einer fahrgeschwindigkeitsabhängigen Wankabstützung (FSC: Fendt Stability Control) und mit automatischer Niveauregulierung
- Drei-Punkt-Kabinenlagerung mit Luftfederelementen mit automatischer Niveauregulierung
- Fahrersitz mit semiaktiver Luftfederung und mit automatischer Niveauregulierung
- Aktive Schwingungstilgung des Krafthebers beim Gerätetransport im Heck
- Passive Federung des Krafthebers bei Gerätetransport in der Front

- Hohe Automatisierung, z.B. Motor-Getriebe-Management-System TMS mit dem stufenlosen VARIO Getriebe, Vorgewendemanagement Variotronic, GPS basiertes automatisches Spurführungssystem Autoguide

Diese Ausstattung ergibt einen Federungs- und Lenkkomfort auf LKW-Niveau und ermöglicht erstmals eine Höchstgeschwindigkeit von 60 km/h bei Standardtraktoren. Das Gesamtfederungspaket muss dabei auf unterschiedliche Fahrprofile und Einsätze abgestimmt werden.

Zukünftige Entwicklungen werden verstärkt aktiv regelnde Systeme beinhalten, so dass eine effektive Abstimmung z.B. des Fahrkomforts und eine Erprobung der dazugehörigen Software ohne Simulation kaum mehr möglich sein wird.



Abbildung 1: Großtraktor Fendt 900 Vario (265 kW)

Um diese komplexen Systeme simulieren und optimieren zu können, müssen die Teilsysteme Mechanik, Hydraulik bzw. Pneumatik und Regelung miteinander verknüpft betrachtet werden. Das Ziel ist es, dass die entsprechenden Teilmodelle vom jeweiligen Fachexperten mit dessen bevorzugtem Programm erstellt werden und in eine der jeweiligen Aufgabenstellung angepasster Detaillierungstiefe auch den anderen Bereichen für deren Aufgaben zur Verfügung gestellt werden können. Ein Gesamtmodell muss also verschiedene Modelle durch eine Co-Simulation verknüpfen.

Für jede der genannten Disziplinen Mechanik, Hydraulik, Regelung gibt es spezialisierte Software, die die Modellierung durch z.B. zahlreiche Bibliothekselemente unterstützen, aber andere Disziplinen nur sehr schlecht abbildet.

Für die Modellierung der mechanischen Struktur mit den Fahrzeugreifen haben sich Mehrkörpersimulationsprogramme wie z.B. ADAMS oder SIMPACK bewährt. Hydraulische Systeme können mit Programmen wie z.B. AMESIM oder DSHplus gut modelliert werden. Für die Entwicklung und Modellierung von Regelkreisen hat das Programm Matlab/Simulink eine große Verbreitung gefunden.

Da zum Teil komplette mechatronische Systeme von Zulieferern gekauft werden (z.B. Fahrersitz), kann hier eine Modellierung nur mit Unterstützung des Zulieferers erfolgen.

Die im Projekt verwendete Software wird oft auch von den Zulieferern verwendet, so dass dort im Prinzip Teilmodelle von deren Komponenten zur Verfügung gestellt werden könnten, wenn die gleiche Software genutzt wird und sichergestellt werden könnte, dass deren Know-how dabei geschützt wird. Die Zulieferer verfügen oft über geeignete Prüfstände, um deren Modelle parametrieren und validieren zu können, so dass eigene aufwändige Versuche zur Parameterbestimmung überflüssig würden.

2 Stand der Simulationstechnik

Zur Abbildung technischer Systeme in der Simulation haben sich im Laufe der Jahre verschiedene Simulationsmöglichkeiten entwickelt. So gibt es heutzutage für jedes Fachgebiet ein spezialisiertes Softwaretool, mit dem dieses Gebiet simuliert werden kann. Teilweise wurden diese Tools zu so genannten Multi-Domänen-Tools weiterentwickelt, indem dem Anwender Programmbibliotheken aus verschiedenen Fachgebieten zur Verfügung gestellt werden. Somit lassen sich komplexe Systeme in einem Tool abbilden, wobei die mögliche Detaillierungstiefe der Modelle bei manchen Fachgebieten begrenzt ist und die Bedienfreundlichkeit leidet. [2]

Darüber hinaus wurden Schnittstellen entwickelt, um verschiedene Softwaretools und somit auch verschiedene Fachgebiete miteinander koppeln zu können. Diese Simulationsform wird mit dem Begriff der Co-Simulation oder der gekoppelten Simulation bezeichnet. Grundlage dieser Simulationsform ist der Austausch von Energien und Leistungen über Zustandsvariablen. Zustandsvariablen beschreiben die Zustände eines Systems (Wege, Geschwindigkeiten, Drücke, etc.). Sie werden durch Integration aus den Eingangsgrößen berechnet und stellen die Systemreaktion auf die Eingangsgröße dar.

Mit Hilfe der gekoppelten Simulation können somit fachgebietsübergreifende Systeme abgebildet werden. Im Gegensatz zu Multi-Domänen-Tools wird bei dieser Art der Simulation für jedes Fachgebiet ein hierfür speziell entwickeltes Softwareprodukt eingesetzt. Grundsätzlich ist die Wahl der jeweiligen fachgebietspezifischen Software frei, lediglich die Austauschgrößen müssen zum jeweils anderen Modell passen.

Durch die Verwendung spezialisierter Software lassen sich die Teilsysteme und somit auch das Gesamtsystem sehr detailliert abbilden. Allerdings wächst mit der Detaillierung der Modelle auch der Rechenaufwand, wodurch die Rechenzeit ansteigt. Selbst bei einfachen Modellen liegt die Rechenzeit bei der gekoppelten Simulation deutlich über der Rechenzeit bei einer Simulation mit einem Multi-Domänen-Tool. Dies hängt mit der festen Kommunikationsschrittweite bei der gekoppelten Simulation gegenüber der variablen Simulationsschrittweite bei der Simulation mit einem Softwaretool zusammen.

Darüber hinaus benötigt es spezielles Wissen auf dem Gebiet der Simulation z.B. im Bereich der Kommunikationsintervalle, um eine gekoppelte Simulation durchführen zu können. Viele Firmen aus dem Bereich der mobilen Arbeitsmaschinen haben dazu noch wenig Erfahrung. Auch für die Erstellung der einzelnen Teilmodelle besitzt nicht jede Firma die dafür notwendigen Experten. Daher wird die gekoppelte Simulation heute nur in wenigen Unternehmen eingesetzt.

Allerdings bietet die gekoppelte Simulation neben der hohen möglichen Modellierungstiefe theoretisch die Möglichkeit, Zulieferer besser in die Modellerstellung einzubinden, da das Gesamtsystem aus verschiedenen Teilmodellen aufgebaut wird und so eine Arbeitsteilung relativ einfach möglich ist. Hierfür sind jedoch Themen wie der Know-how-Schutz der Teilmodelle oder die Parameter- und Datenverwaltung bei der gekoppelten Simulation zu klären.

Die Untersuchung der gekoppelten Simulation hinsichtlich einer unternehmensübergreifenden Nutzbarkeit und eine Verbreitung der Methode der gekoppelten Simulation im Bereich der Mobilien Arbeitsmaschinen sind Inhalt des Projekts GUSMA, dessen Projektidee nachfolgend beschrieben werden soll [3].

3 Projektidee GUSMA

Mit Hilfe der gekoppelten Simulation kann der Entwicklungsprozess mobiler Arbeitsmaschinen im Bereich der Simulation unterstützt werden. Das Projekt GUSMA – **G**ekoppelte **U**nternehmensübergreifende **S**imulation **M**obiler **A**rbeitsmaschinen – hat sich daher zum Ziel gesetzt, den Simulationsprozess bei der gekoppelten Simulation an einem Beispiel aus dem Bereich der mobilen Arbeitsmaschinen zu untersuchen und zu vereinfachen, so dass diese Simulationsart eine breitere Anwendung auf dem Gebiet der mobilen Arbeitsmaschinen findet. Hierfür soll der Prozess standardisiert werden. Besonderes Augenmerk wird auf den Know-how-Schutz der Teilmodelle gelegt, um eine unternehmensübergreifende Verwendung von (Teil-) Modellen bei der Simulation zu ermöglichen.

Kernstück der Projektidee ist der Gedanke einer Plattform, auf der die gekoppelte Simulation anhand einer standardisierten Vorgehensweise durchgeführt werden soll. Das zu simulierende System soll dabei in Teilmodelle unterschiedlicher Fachdisziplinen aufgeteilt werden. Mit Hilfe spezialisierter Software werden die einzelnen Teilmodelle erzeugt und auf der gemeinsamen Plattform zu einem Gesamtmodell zusammengefügt. Durch die Einbindung der Softwarehersteller soll ein Know-how Schutz der Teilmodelle realisiert werden.

Auf der Plattform soll der Benutzer die Möglichkeit haben, über eine grafische Benutzeroberfläche durch Vernetzung der einzelnen Teilemodelle das Gesamtmodell aufzubauen. Anschließend muss eine Parameterverwaltung die für verschiedene Teilmodelle gemeinsamen Parameter identifizieren und eine Bestimmung der Startwerte für die Simulation ermöglichen. Während der Simulation wird eine Visualisierung der Ein- und Ausgabegrößen benötigt. Eine Möglichkeit der Datenspeicherung schließt die Anforderungsliste an eine Plattform ab.

Die Vorgehensweise soll an einem konkreten Beispiel aus dem Bereich der Komforthydraulik untersucht werden. Die Simulationsergebnisse werden mit Prüfstandsversuchen verglichen.

Die Projektleitung liegt beim Lehrstuhl für Mobile Arbeitsmaschinen MOBIMA des Karlsruher Instituts für Technologie (KIT). Daneben sind noch die Firmen AGCO GmbH als Fahrzeughersteller, die HYDAC International GmbH als Komponentenhersteller für Hydraulik und die Firmen FLUIDON GmbH, LMS Deutschland GmbH und SIMPACK AG als Hersteller von Simulationssoftware beteiligt. Das Projekt wurde am 01.08.2008 gestartet und hat eine Laufzeit von 3 Jahren.

Nachfolgend soll der bisherige Stand des Projektes dargestellt und auf bestimmte Details eingegangen werden.

4 Umsetzung der Projektziele

Im Projekt GUSMA wird die Vorgehensweise für die gekoppelte Simulation am Beispiel einer hydropneumatischen Vorderachsfederung eines Traktors mit automatischer Niveauregulierung untersucht, die in dieser Form bereits seit vielen Jahren auf dem Markt ist [4]. Diese besteht aus mechanischen, hydraulischen und Regelungs-Elementen. In **Abbildung 2** ist das Prinzip der Vorderachsfederung dargestellt.

An einer Rahmenkonstruktion (1) ist die Federschwinge (2) angekoppelt, die eine Federung der Vorderachse ermöglicht. Die Pendelachse (3) lässt eine Pendelbewegung der Vorderachse zu. Die Federwirkung der Vorderräder wird durch zwei Hydraulikzylinder (4) ermöglicht. Diese sind an zwei Hydrospeicher (5) angeschlossen, zwischen denen ein Ölaustausch stattfinden kann. Durch eine Regelung der Drücke auf der Bodenseite des Zylinders wird eine Niveauregulierung bei verschiedenen Betriebszuständen des Fahrzeugs realisiert.

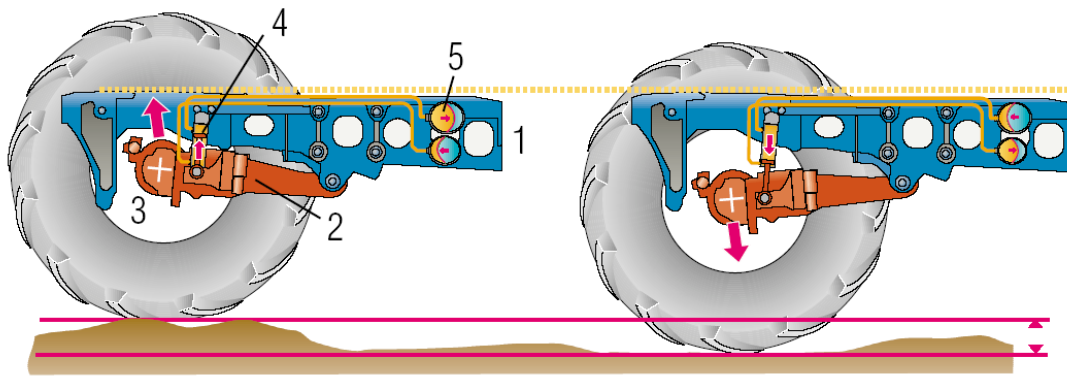


Abbildung 2: Detaildarstellung der Vorderachsfederung

Die Vergleichsmessungen werden an einem servohydraulischen Prüfstand des Lehrstuhls MOBIMA durchgeführt (**Abbildung 3**). Dabei können sowohl synthetische Sinusanregungen als auch reale Fahreregungen aufgebracht werden.

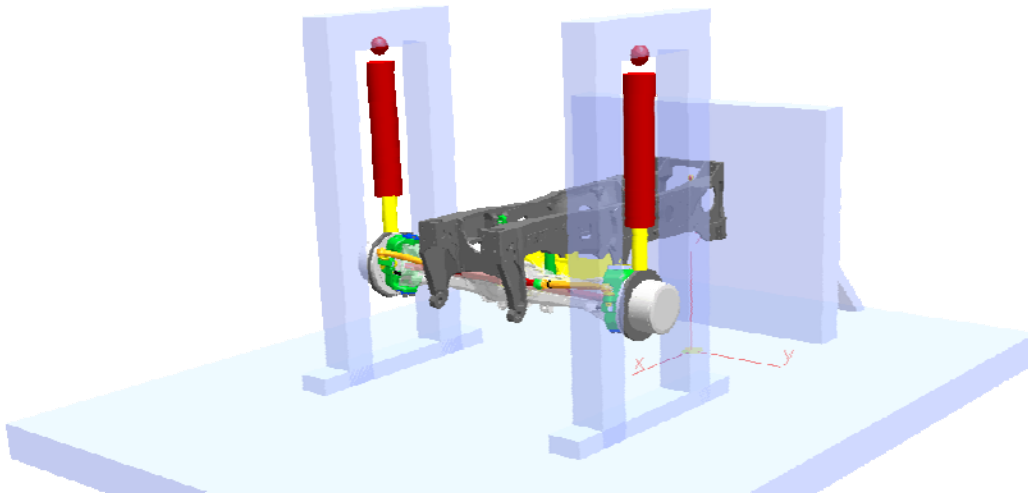


Abbildung 3: Modell des Prüfstandsbaus am Lehrstuhl MOBIMA

Der mechanische Teil des gesamten Prüfstandsbaus wurde bei der Modellierung mit dem Mehrkörpersimulationstool SIMPACK in einzelne Substrukturen (Vorderachse mit allen Federungselementen, Fahrzeugrumpf, Prüfstandsbaus mit Anregung) untergliedert. Dadurch kann die Substruktur der Vorderachse nach einer Validierung am Prüfstand direkt in ein Fahrzeugmodell übernommen werden.

Das Regelungsmodell wurde mit der Software MATLAB/ Simulink erstellt. Dieser Regler könnte zukünftig im Rahmen eines Rapid Control Prototyping Prozesses nach einer Überprüfung an den Simulationsmodellen für die Entwicklung des Seriencodes verwendet werden.

Die Fachabteilung Hydraulik oder in diesem Projekt der Zulieferer stellt ein hydraulisches Teilmodell mit dem Simulationsprogramm AMESIM der Fa. LMS auf, bestehend aus den Zylindern, Speichern und der Ventilbetätigung. Ein Modell der Hydraulikversorgung wird mit dem Programm DSHplus der Fa. Fluidon erstellt.

Die Simulation des Gesamtsystems in Form einer gekoppelten Simulation erfolgt in diesem Projekt durch den Lehrstuhl MOBIMA, der damit die Rolle des Fahrzeugherstellers übernimmt.

Als Plattform für eine Zusammenführung der Teilmodelle wird zunächst MATLAB/Simulink gewählt. Dieses Softwaretool ist speziell für die Regelungsentwicklung weit verbreitet und bietet dem Anwender eine grafische Benutzeroberfläche mit Visualisierungs- und Speichermöglichkeiten.

Die Teilmodelle werden über ihre jeweiligen Zustandsgrößen miteinander verknüpft. Zustandsgrößen sind zeitabhängige, während der Simulation veränderliche Größen, die die Input- und Outputgrößen der Teilmodelle darstellen. Die Zustandsgrößen ergeben sich aus der mathematischen Beschreibung der Teilmodelle und verändern sich während der Integration des Gesamtmodells.

Die Verknüpfung verschiedener Teilmodelle ist in **Abbildung 4** beispielhaft dargestellt. Dieses fiktive System besteht aus einem mechanischen, zwei hydraulischen und zwei regelungstechnischen Teilmodellen. Für jedes Teilmodell sind die jeweiligen Input- und Outputgrößen dargestellt.

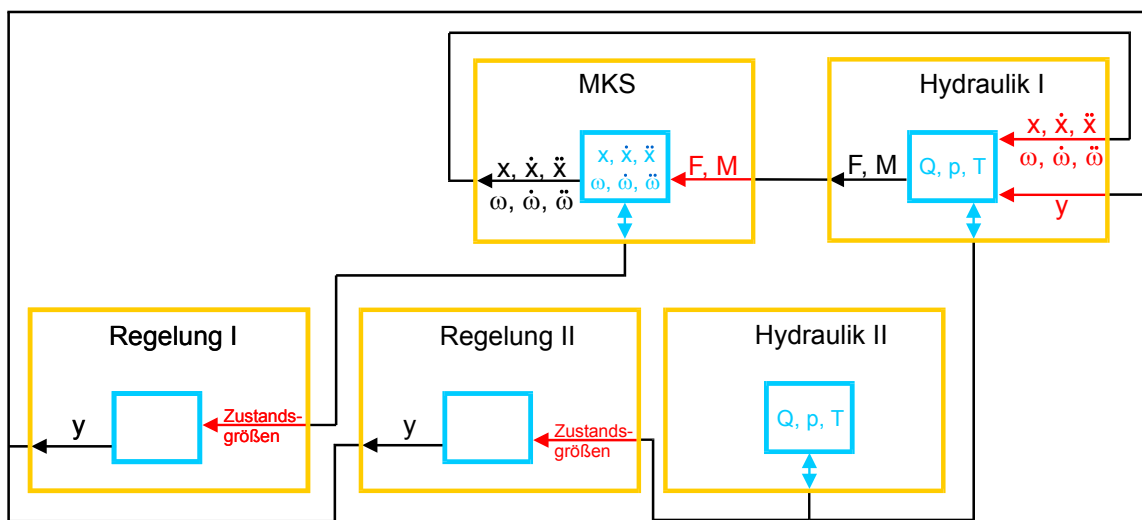


Abbildung 4: Verknüpfung der einzelnen Teilmodelle unterschiedlicher Simulationsprogramme

Die Grundlage dieser Struktur sind die Material-, Energie- und Informationsflüsse zwischen den Teilmodellen. Die Plattform ermöglicht sowohl Teilmodelle aus unterschiedlichen als auch aus gleichen Fachdisziplinen miteinander zu koppeln. Die Austauschgrößen lassen sich somit noch in interne (innerhalb einer Fachdisziplin, blaue Pfeile) und externe (fachdisziplinübergreifend, schwarze Pfeile) unterscheiden.

Ein wesentlicher Bestandteil bei der Erstellung der Teilmodelle ist die Parametrierung der Modelle. Parameter sind zeitunabhängige, während der Simulation unveränderliche Größen. Mit Parametern werden beispielsweise Geometrien beschrieben. Im Projekt GUSMA werden drei Parametergruppen unterschieden. Es gibt geschützte Parameter: Sie können nur vom Modellersteller gelesen und verändert werden. Mit ihrer Hilfe soll das Know-how geschützt werden. Änderbare Parameter können vom späteren Anwender geändert werden (z.B. Blendengröße). Dadurch sollen Optimierungsrechnungen beim Anwender ermöglicht werden. Als Drittes gibt es noch gemeinsame Parameter. Dies sind Parameter, die von verschiedenen Teilmodellen verwendet werden müssen (z.B. Kolbendurchmesser) und daher im Gesamtsimulationsmodell einheitlich gesetzt werden sollen.

Somit ergibt sich für die standardisierte gekoppelte Simulation folgender, in **Abbildung 5** dargestellter Ablauf. Nachdem die Teilmodelle auf die Plattform gebracht und miteinander vernetzt wurden, wird ein Pre-Process durchlaufen. Im Pre-Process werden alle Ein- und Ausgabegrößen visualisiert und bei Bedarf deren Startwerte berechnet. Die gemeinsamen Parameter werden identifiziert und zusammen mit den änderbaren Parametern gesetzt. Die im Pre-Process erzeugten Simulationsdatensätze werden im anschließenden

Initialisierungsprozess auf die Teilmodelle übertragen. Anschließend kann die Simulation gestartet werden. Die Simulationsdaten werden fortlaufend in eine Datei geschrieben und können auch visualisiert werden. Mit dem Simulationseende werden die Daten in einer oder mehreren Dateien gespeichert und stehen anschließend für den Post-Prozess zur Verfügung.

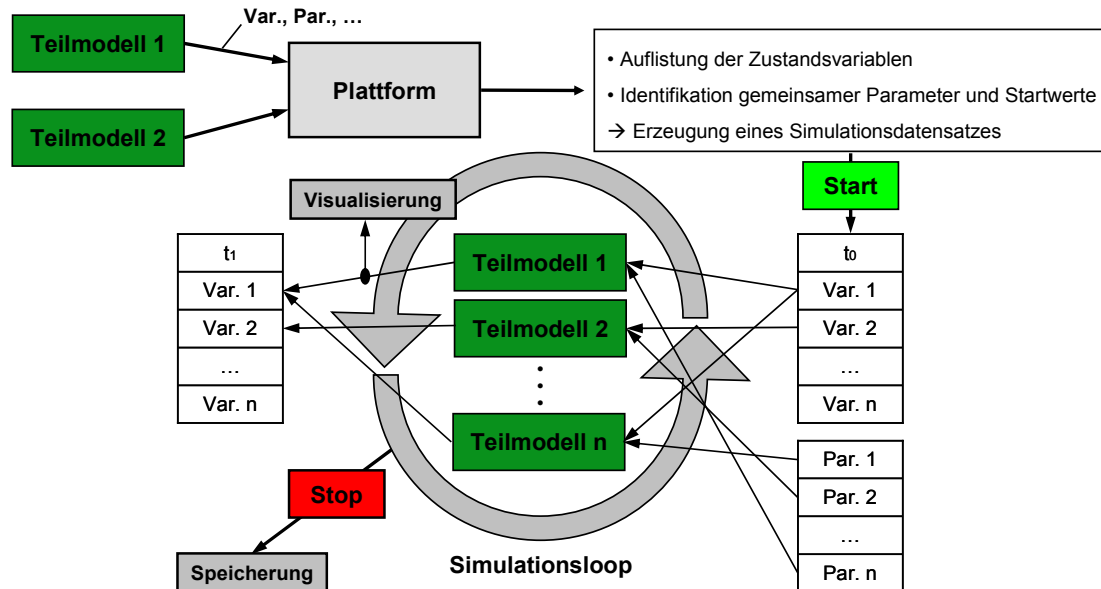


Abbildung 5: Ablauf einer standardisierten Co-Simulation

Der Fahrzeughersteller kann mit Hilfe des vorgestellten Konzepts sein Fahrzeug als virtuellen Prototyp aufbauen. Er nutzt dabei das Know-how der spezialisierten Fachabteilungen und kann die Zulieferer einbinden. Dadurch liegt ein detailliertes Modell des Gesamtfahrzeugs mit validierten Teilmodellen vor.

Der Zulieferer hingegen stärkt durch die Erweiterung seiner Kompetenz, neben Hardware nun auch Simulationsmodelle zu liefern, seine Wettbewerbsposition. Dabei bleibt aber sein Know-how geschützt. Darüber hinaus kann er nun sein Teilmodell bereits in der Simulation im Gesamtfahrzeug testen und auf die Kundenwünsche hin abstimmen.

Die Softwarehersteller entwickeln ihre Produkte weiter und passen sie so den Kundenanforderungen an. Dadurch können sie die geforderten Schnittstellen früher als ihre Marktbegleiter bereitstellen. Sie haben außerdem die Möglichkeit, die Schnittstelle mitzugestalten.

5 Aktueller Stand

Im Projekt wurde zunächst mit Hilfe der bisher zur Verfügung stehenden Möglichkeiten durch den Lehrstuhl ein Simulationsmodell der Traktorvorderachsfederung unter MATLAB/Simulink aufgebaut. **Abbildung 6** zeigt dieses Gesamtsimulationsmodell.

Die vier großen Funktionsblöcke in Abbildung 6 entsprechen dem mechanischen (1) und hydraulischen (2) Teil der Federung, der hydraulischen Versorgung (3) sowie dem Regler für die Niveauregelung (4). Das Gesamtmodell wurde durch Verknüpfung der Teilmodelle erstellt. Zusätzlich sind noch Visualisierungselemente, Umrechnungsglieder und Schalter für die Benutzerinteraktion zu sehen.

Die Ergebnisse der ersten Simulationsläufe waren plausibel. Die bei der Erstellung des Modells gewonnenen Erkenntnisse werden für die Programmierung der Plattform genutzt, an der parallel zu den Simulationsarbeiten gearbeitet wird. So zeigte sich beispielsweise, dass ein einheitliches Layout der Funktionsblöcke mit einer Visualisierung der Ein- und

Ausgabegrößen wichtig für die Bedienfreundlichkeit ist. Auch eine Beschreibung des Modells, welches dem Funktionsblock hinterlegt ist, trägt hierzu bei.

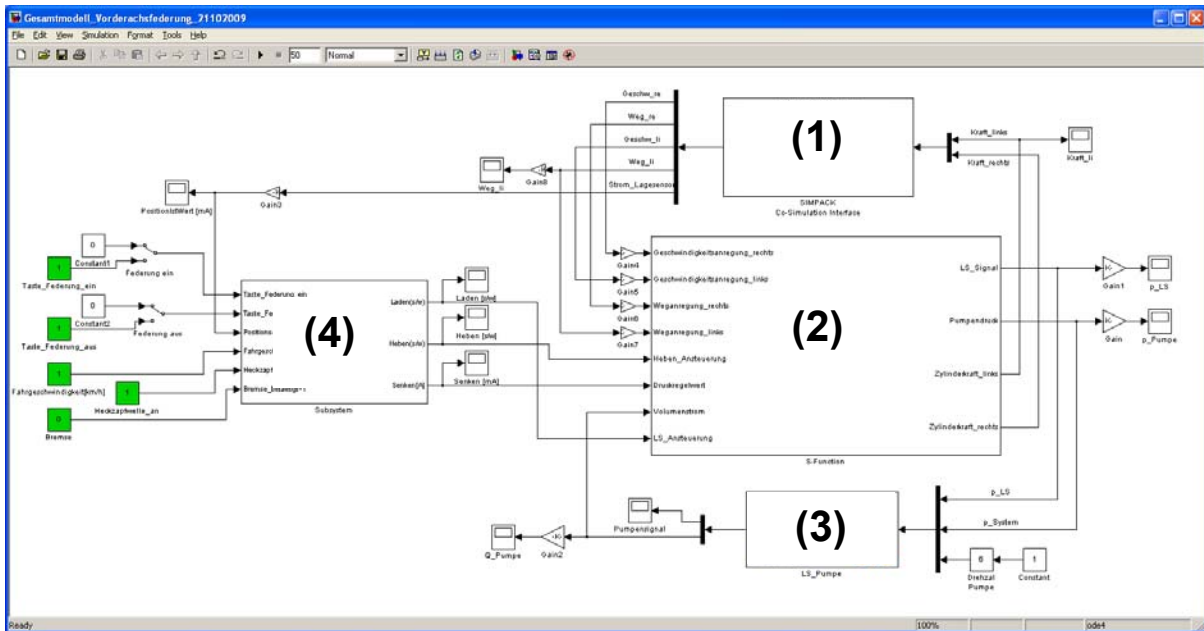


Abbildung 6: Gesamtsimulationsmodell der Traktorvorderachsfederung

6 Zusammenfassung und nächste Schritte

Im bisherigen Projektverlauf wurde ein Konzept für eine standardisierte gekoppelte Simulation anhand einer Plattform erarbeitet. Der Aufbau der einzelnen Teilmodelle ist abgeschlossen, ebenso die Verknüpfung der Teilmodelle miteinander und die Co-Simulation des Gesamtsimulationsmodells. Als nächste Schritte ist ein Abgleich mit Messergebnissen geplant. Die beteiligten Softwarefirmen überarbeiten ihre Schnittstellen, um diese an den neuen Standard anzupassen. Zusätzlich wird weiter an den grafischen Benutzeroberflächen programmiert, die den Pre-Process ermöglichen sollen. Auch die Datenspeicherung im Post-Process bedarf einer Untersuchung und eines Konzepts, was zukünftig noch erarbeitet werden muss. Die Arbeiten werden durch Untersuchungen des Kommunikationsintervalls und daraus abgeleiteten Handlungsempfehlungen vervollständigt.

Literatur:

- [1] Heisler, R.; Heinle, H.; Brenninger, M.; Kraus, S. Hofmann, R.: Der Fendt 936 Vario. ATZoffhighway 08/2009, S. 38-49
- [2] Böhler, H.: Traktormodell zur Simulation der dynamischen Belastungen bei Transportfahrten. Dissertation TU München 2001, Fortschritt-Berichte VDI, Reihe 14, Nr. 104, Düsseldorf: VDI-Verlag 2001
- [3] Völker, L.; Han, S.; Geimer, M: Standardisation of the co-simulation of mobile machines with participation of of different business partners. Vortrag: Tagung Landtechnik 2009, Hannover, 6.-7.11.2009, Tagungsband (VDI-Berichte Nr. 2060), S. 469-474; Düsseldorf: VDI Verlag 2009.
- [4] Leutner, S.; Heinle, H.: System einer hydropneumatischen Vorderachsfederung für Standard- und Systemschlepper. Vortrag: 53. Internationale Tagung Landtechnik, Braunschweig, 12./13.10.1995, Tagungsband (VDI-Berichte 1211), S. 23-25; Düsseldorf: VDI Verlag 1995.

Potentiale im standardisierten Austausch zeitwirtschaftlicher Daten in der Digitalen Fabrik

Nikolaus Pichler, Jan Stahl
Gigatronik München GmbH, München

Zusammenfassung

Mit der Digitalen Fabrik wird die durchgängige Produktionsplanung in dem Produktentstehungsprozess angestrebt. Derzeit kommen jedoch die Potentiale der Digitalen Fabrik nicht vollends zur Geltung, weil die Möglichkeiten für den standardisierten Austausch der Planungsdaten in den herkömmlichen Produktionsplanungstools noch nicht vollkommen ausgeschöpft werden. Diese Tatsache ist in der gesamten Bandbreite der produzierenden Industrie, ob in einem kleinen, mittleren oder großen Unternehmen, vorherrschend.

Mit Hilfe eines standardisierten und wissensbasierten Zeitdatenmodells soll dieses Defizit aufgearbeitet und eine höhere Vernetzung der Produktionsplanungsdaten erreicht werden. Die Forschungsaktivitäten der Projektgruppe ADiFa (Anwendungsprotokoll zur Prozessharmonisierung in der Digitalen Fabrik) beinhalten das Ziel der Entwicklung eines anwendungsspezifischen Datenmodells (Anwendungsprotokolls), in dem exemplarisches Anwendungsgebiet der Zeitwirtschaft. Dieses Datenmodell erlaubt den standardisierten Austausch von zeitwirtschaftlich relevanten Planungsdaten zwischen den einzelnen Softwareplanungswerkzeugen. Durch diesen Schritt wird der erhebliche Ressourcenaufwand für die Entwicklung von proprietären Schnittstellen deutlich reduziert. Desgleichen wird damit ein Beitrag zur Verkürzung der Produktentstehungszeit geliefert, und ein weiterer Schritt in Richtung der standardisierten Systemwelt unternommen, der in der heutigen komplexen Welt der IT-Systeme ein dauerhaftes Ziel darstellt.

1 Einleitung

Der kontinuierliche Druck auf die Automobilindustrie, die steigende Nachfrage an Modellvarianten in immer kürzeren Produktentwicklungszyklen zu generieren, zwingt die Entwicklungs- und Planungsabteilungen zum Handeln [1]. Davon sind sowohl Unternehmen mit variantenreicher Serienfertigung als auch kleinere und mittelständische Unternehmen (KMU) mit vorwiegender Einzel-, Klein- und Mittelserienproduktion betroffen. In diesem Zusammenhang erlangt die Digitale Fabrik zunehmend an Bedeutung [2].

Der durchgängige Einsatz von IT-Werkzeugen von der frühen Phase des Produktentstehungsprozesses (PEP) bis hin zum Produktionsstart (SOP) verfolgt die Ziele, die Entwicklungszeiten zu verkürzen, die Planungsqualität zu erhöhen, die steigende Variantenvielfalt und Komplexität zu beherrschen und gleichzeitig die Kosten zu senken [3]. Gegenwärtig wird in der Praxis beobachtet, dass die Potenziale der Digitalen Fabrik nicht im angestrebten Maße ausgeschöpft werden können. Ein wesentlicher Grund liegt in der Tatsache, dass keine einheitlichen Standards zur Vernetzung von IT-Systemen existieren, die sowohl unternehmensinterne wie auch -übergreifende Zusammenarbeit ermöglichen [4]. Insbesondere in dem standardisierten Austausch von zeitwirtschaftsrelevanten Planungsdaten zwischen einzelnen Produktionsplanungssystemen ist ein deutliches Defizit erkennbar [5].

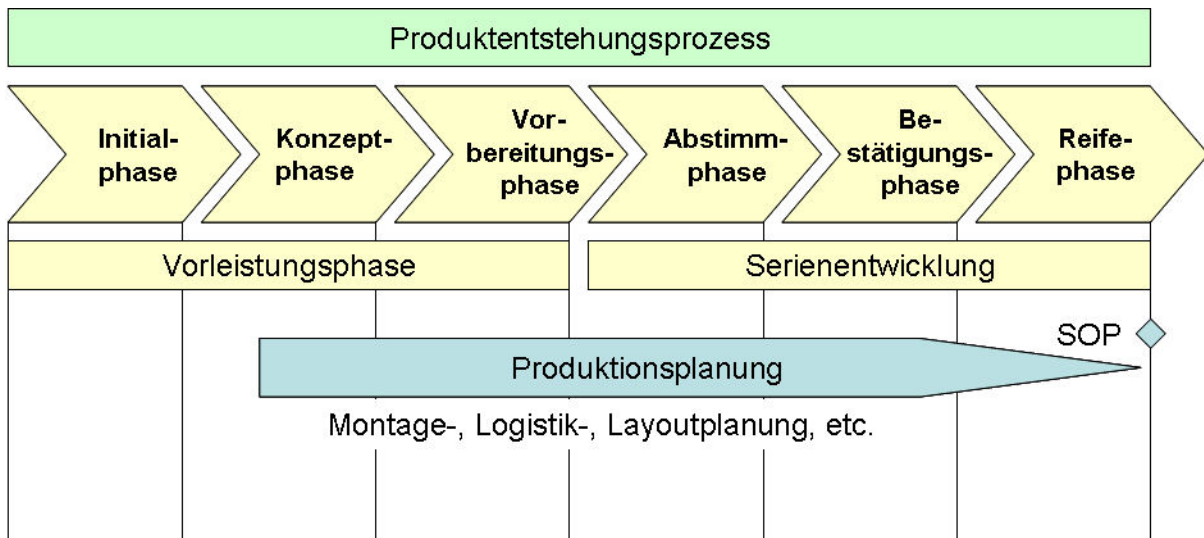


Abb. 1: Generischer Produktentstehungsprozess.

In einer Studie des Fraunhofer Instituts für Produktionstechnik und Automatisierung konnte die große Bedeutung der Digitalen Fabrik für kleinere und mittlere Unternehmen (KMU) nachgewiesen werden [6]. Gerade bei den KMU ist jedoch festzustellen, dass die Integration der Daten und der Werkzeuge nicht gegeben ist, obwohl gerade darin wertvolle Potenziale der Digitalen Fabrik liegen. Ein wesentlicher technisch bedingter Grund hierfür ist, dass sowohl kommerzielle Softwarelösungen der Digitalen Fabrik, darunter zunehmend Gesamtsysteme, als auch selbst entwickelte Einzel- und Speziallösungen, die zu einem hohen Anteil als Insellösungen betrieben werden, parallel zum Einsatz kommen. Kommerziell erhältliche Softwarelösungen bieten derzeit nur eingeschränkt die Möglichkeit, in einer heterogenen Systemlandschaft Planungsdaten durchgängig auszutauschen, wengleich ihr Lösungsspektrum auf eine Unterstützung innerhalb der gesamten Prozesskette der digitalen Fabrik ausgelegt ist. Diese Tatsache ist auf die mangelnde Konformität der Schnittstellen und somit auf die fehlende Integration aller notwendigen Produkt-, Prozess- und Ressourcendaten zurückzuführen.

Im Rahmen des durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) geförderten Forschungsprojektes ADiFa wird eine umfassende Analyse und systematische

Klassifikation der Planungsobjekte in den Planungsprozessen des PEP durchgeführt. Die daran anknüpfenden Forschungsaktivitäten zielen auf die Entwicklung eines anwendungsspezifischen Datenmodells (Anwendungsprotokolls) im exemplarischen Anwendungsgebiet der Zeitwirtschaft ab. Am Beispiel von zeitwirtschaftlich relevanten Daten soll aufgezeigt werden, wie Daten standardisiert ausgetauscht und Softwarewerkzeuge sowohl zur Unterstützung der Zeitwirtschaft als auch der Digitalen Fabrik durch das Konzept des Anwendungsprotokolls stärker integriert werden können. Durch diese Schritte werden die wesentlichen Vorteile einer prozess- und datendurchgängigen Planung auf Basis genormter Spezifikationen demonstriert. Das Konzept des Anwendungsprotokolls bleibt hierbei jedoch nicht auf den Austausch von Zeitdaten beschränkt.

Ein Blick auf den herkömmlichen Aufbau einer IT-Landschaft in der Produktionsplanung von produzierenden Unternehmen veranschaulicht, dass ein Datenaustausch zwischen den einzelnen Softwaretools über proprietäre Schnittstellen umgesetzt wird, siehe Abbildung 2. Die Entwicklung und Implementierung von proprietären Schnittstellen zwischen einzelnen Softwaretools ist sehr zeit- und damit auch kostenintensiv. Bei einem standardmäßigen Releasewechsel dieser Softwaretools müssen die betroffenen Schnittstellenprotokolle erneut angepasst werden, welches ebenfalls eine zeitliche und damit monetäre Ressourcenbindung mit sich bringt. Eine Reduzierung dieses Anpassungsaufwandes würde auch gleichzeitig eine Verkürzung der Entwicklungszeit im PEP bedeuten.

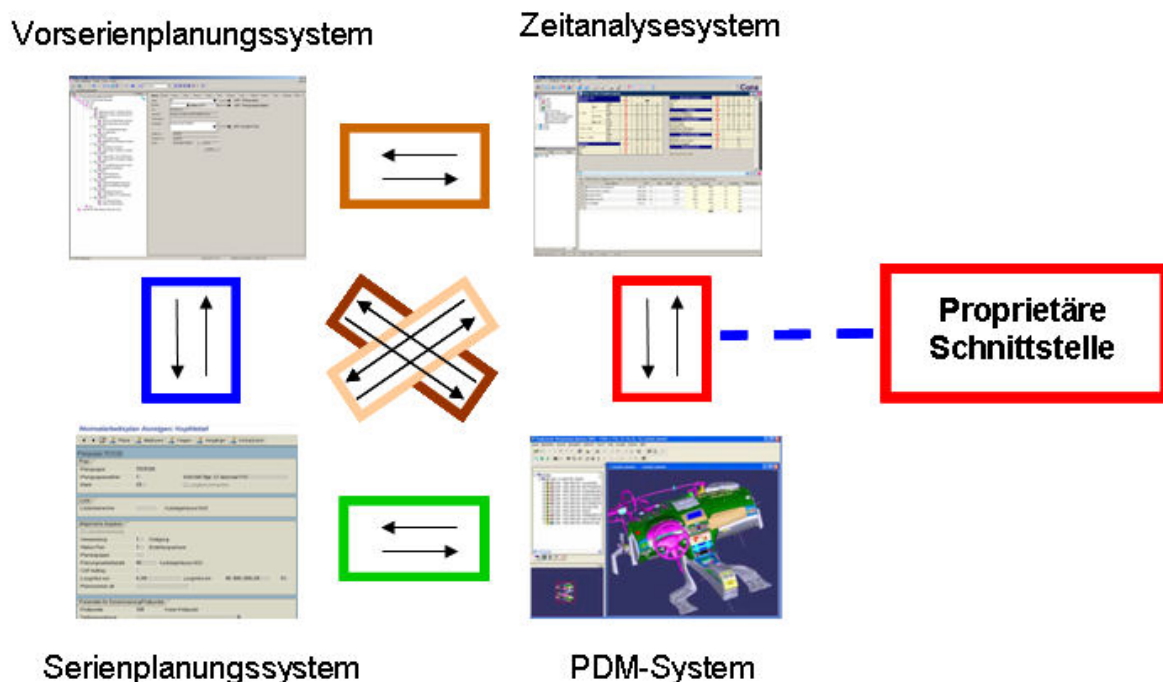


Abb. 2: Schnittstellen in der herkömmlichen IT-Landschaft.

Des Weiteren führt der Einsatz von proprietären Schnittstellen zu einer Erhöhung der Datenredundanz, weil ein Planungstool, das mit mehreren anderen SW-Systemen vernetzt ist, gleiche Planungsdaten mit mehreren Zielsystemen austauscht. Eine Steigerung der Variantenvielfalt und Komplexität in der Produktentwicklung würde gleichzeitig zu einem exponentiellen Anstieg des Datenvolumens führen. Diese Tatsache wirkt unter anderem dem übergeordneten Ziel entgegen eine fertigungsgerechte Produktentwicklung zu verwirklichen, die eine komplexe Produktionsplanung in noch kürzerer Zeit mit noch weniger Mitarbeiterressourcen zulässt. Diese Fakten zeigen die deutlichen Potentiale auf, welche in den Bereichen der Flexibilisierung und Standardisierung der IT Landschaft vorhanden sind.

2 Ziel und Ansatz des Forschungsprojektes ADiFa

Aus Sicht des Systemanwenders wird seit geraumer Zeit ein Rahmenwerk gefordert, das die Zusammenführung aller am PEP beteiligten Anwendungssysteme ganzheitlich ermöglicht. Um sich dieser Gesamtforderung in weiteren Schritten anzunähern, verfolgt das Forschungsprojekt ADiFa die Entwicklung eines anwendungsspezifischen Datenmodells in Form eines Anwendungsprotokolls, welches den standardisierten Austausch von zeitwirtschaftlichen Planungsdaten erlaubt. Dadurch könnten Zeitdaten, die zwischen den Vorserienplanungs-, Serienplanungs-, Zeitanalyse- und PDM-Systemen benötigt werden, standardisiert über eine genormte Schnittstelle ausgetauscht werden, siehe Abbildung 3. Durch den Einsatz eines solchen Anwendungsprotokolls, welches schon bei der Weiterentwicklung bzw. Programmierung von digitalen Planungstools als Standard berücksichtigt wird, ist der standardisierte Austausch zeitwirtschaftlicher Daten möglich.

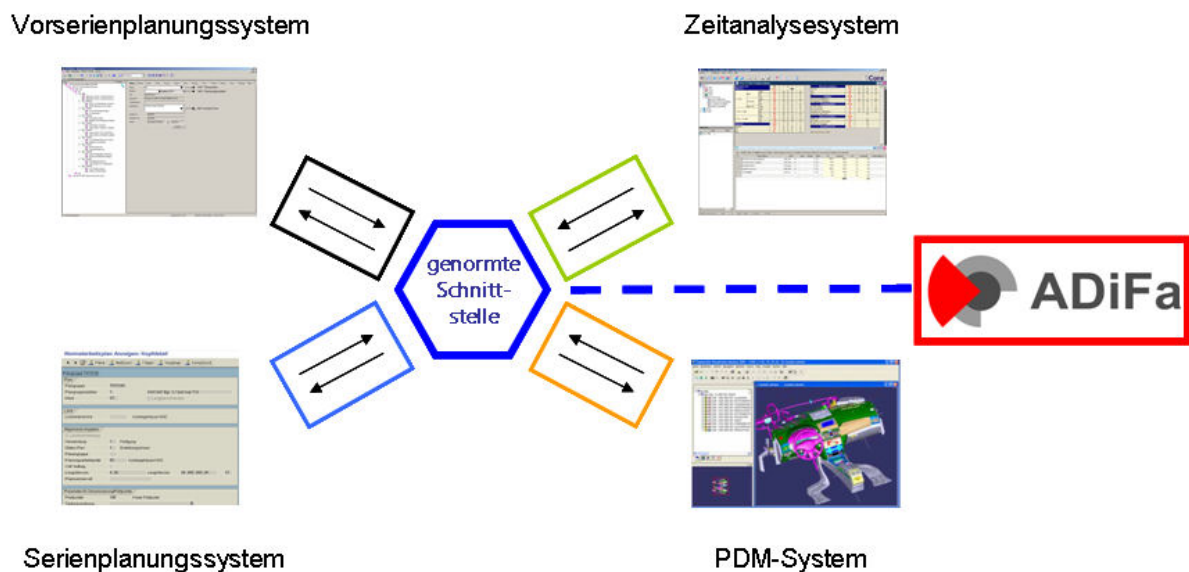


Abb. 3: Schnittstellenlandschaft unter Einsatz eines Anwendungsprotokolls.

Bei einem Releasewechsel würde das als Standard geltende Anwendungsprotokoll berücksichtigt werden, sodass keine firmenspezifischen Kundenanpassungen mehr notwendig sind. Dieser Schritt wird ebenfalls von führenden IT-Unternehmen gewünscht, die gegenwärtig die proprietären Schnittstellenentwicklungen und -anpassungen vornehmen. Durch die immer komplexer werdenden Produktionsplanungstools und den umfangreichen Austausch von Datenströmen durch proprietäre Schnittstellen wird eine Absicherung der Datenkonsistenz immer schwieriger. Durch das offene Format und die damit verbundene Schnittstellentransparenz wird diese Problematik deutlich reduziert. Das zu entwickelnde ADiFa - Anwendungsprotokolls (ADiFa AP) wird auf Basis der bereits bestehenden ISO-Norm 10303 (STEP AP214, „Core Data for automotive mechanical design processes“) aufgesetzt. Dabei werden die vorhandenen Strukturen und Objekte des AP214 Datenmodells verwendet und um eine ADiFa Ergänzung erweitert, siehe Abbildung 4. Diese Grundlagen werden für das ADiFa Basisdatenmodell benötigt, welches standardisierte Datenstrukturen für die zeitwirtschaftlich relevanten Attribute beinhaltet, die in der Lage sind, die zeitrelevanten Informationen abzubilden. Des Weiteren wurde ein Basisprozessmodell entwickelt, welches die relevanten Planungsprozesse mit den grundlegenden Planungsobjekten beinhaltet, die in der Produktionsplanung Anwendung finden. Dadurch hat der Anwender aus dem Industrieunternehmen die Möglichkeit, die nur für ihn zeitwirtschaftlich relevanten Planungsprozesse für sein anwendungsspezifisches Anwendungsprotokoll in Betracht zu ziehen. Damit bleibt die notwendige Flexibilität erhalten,

die von den Anwendern gefordert wird. Das Basisdaten- und das Basisprozessmodell bilden zusammen den Kern der ADiFa Basissystematik, die die Rolle eines „Baukastensystem“ zur Entwicklung von Anwendungsprotokollen einnimmt. In ihr sind die gesamtheitlichen Methoden und Definitionen zur Entwicklung von anwendungsspezifischen Anwendungsprotokollen der Digitalen Fabrik enthalten [7].

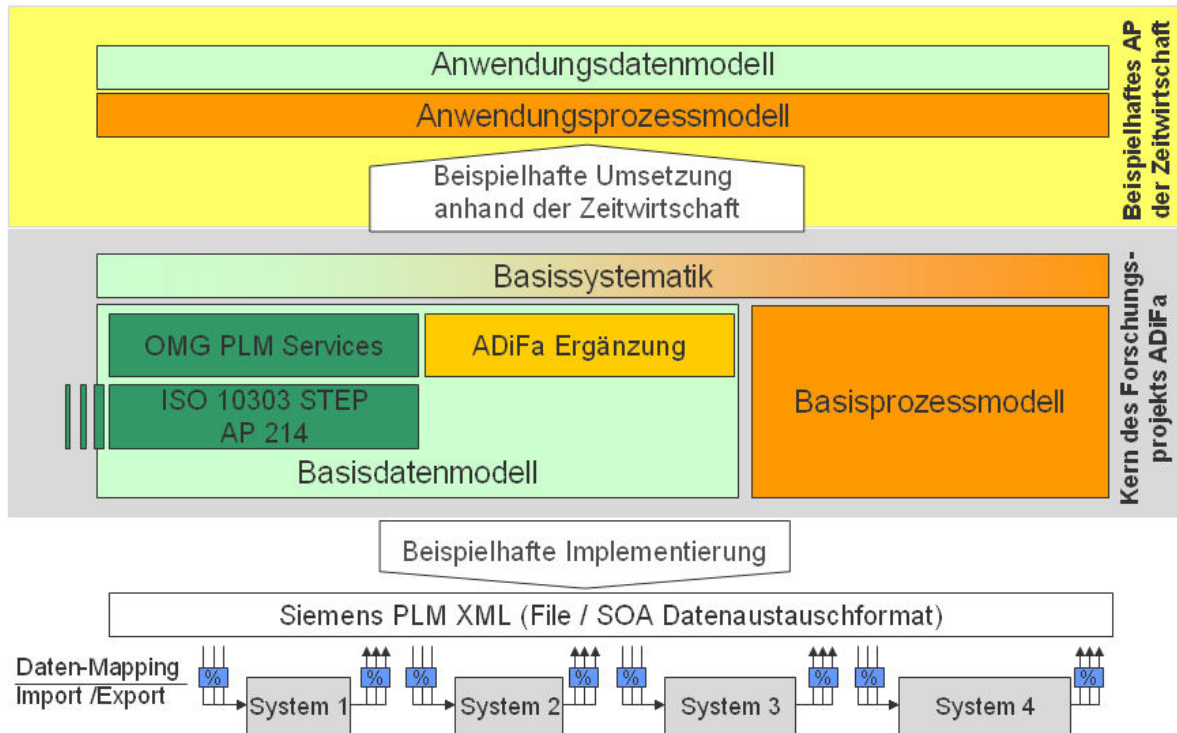


Abb. 4: Darstellung der Modellzusammenhänge für das exemplarische Anwendungsprotokoll (Quelle: ADiFa Projektgruppe).

Mit dem entwickelten Anwendungsprotokoll besteht dann die Möglichkeit, dass in Zukunft Planungssysteme, die in der herkömmlichen Produktionsplanung eingesetzt werden, zeitwirtschaftliche Planungsdaten standardisiert austauschen können. Damit wurden weitere Schritte in Richtung des allgemein geforderten Zieles einer standardisierten Systemwelt unternommen. Durch den Einsatz dieses „Baukastensystems“ wird eine systematische Ergänzung des Anwendungsprotokolls AP214 für die Anwendung im Bereich der Digitalen Fabrik ermöglicht und das erweiterte Ziel verfolgt, dieses Konzept auf weitere Planungsbereiche und -daten in der Digitalen Fabrik zu übertragen.

Damit wird die Standardisierung des Datenaustausches weiter vorangetrieben und gleichzeitig die Reduzierung der Datenredundanz und Planungszeit im PEP ermöglicht. Dieser Schritt trägt damit auch zu dem Gedanken des Concurrent Engineering bei, der einen möglichst frühen Start der Produktionsplanung im Einklang mit der Produktentwicklung in der frühen Phase des PEP vorsieht [1]. Dadurch werden konstruktionsbedingte Produktionsprobleme frühzeitig aufgedeckt und die Kosten für deren Änderungen reduziert.

Zusammenfassend soll nochmals darauf hingewiesen werden, dass der große Vorteil von einheitlichen und standardisierten Integrationslösungen, wie diese im BMBF Forschungsprojekt ADiFa konzipiert und entwickelt werden, vor allem darin liegt, dass ein breites Spektrum planungsunterstützender Werkzeuge in der Digitalen Fabrik über einheitliche und standardisierte Technologien miteinander gekoppelt werden können.

3 Ausblicke und weitere Projektarbeit

Die im Rahmen der Karlsruher Arbeitsgespräche vorgestellten Aktivitäten des Verbundprojektes ADiFa gilt es während der Laufzeit des Projektes bis 2011 zielgerichtet fortzuführen. Wesentlicher Arbeitsbereich ist hierbei die Gestaltung des Anwendungsprotokolls „Zeitwirtschaft“. Sowohl inhaltlich als auch formal sind weitere Anpassungen und Erweiterungen notwendig, um den Ansprüchen einer ganzheitlichen Berücksichtigung des Arbeitsgebietes der Zeitwirtschaft und den technischen Anforderungen moderner, serviceorientierter Architekturen in vollem Umfang gerecht zu werden. Diese Arbeiten umfassen die Daten- und Prozessmodellierung, die Validierung und Verifikation der Ergebnisse sowie die Implementierung von Schnittstellen und Integration der Daten in bestehende Softwaresysteme.

Die Erweiterung des Anwendungsdatenmodells ist ebenso Arbeitsgegenstand wie die Ausweitung der zur Verfügung stehenden IT-Services an der Schnittstelle des ADiFa-Anwendungsprotokolls. Zudem ist die einheitliche und umfassende Dokumentation des Datenmodells zwingend erforderlich. Neben den Arbeiten am Datenmodell wird auch die Definition, Ausgestaltung und Dokumentation von Anwendungsprozessen des Arbeitsgebietes Zeitwirtschaft in den Fokus der Projektarbeit rücken. Um dem Anwender die Definition geeigneter Schnittstellenspezifikationen zu ermöglichen sind Eingangs- und Ausgangsinformationen der Anwendungsprozesse zu detaillieren und mit den Datentypen des Anwendungsdatenmodells abzugleichen.

Durch eine mehrschichtige Validierung und Verifizierung der Projektergebnisse werden diese schon während der Projektlaufzeit umfassend abgesichert. Die Arbeiten umfassen hierbei den Bereich der Erfüllung der Anforderungen, die an das System Anwendungsprotokoll „Zeitwirtschaft“ als Grundlage des Datenaustauschs an Softwareschnittstellen in der Praxis gestellt werden. Darüber hinaus wird auch die Methodik zur Anwendungsprotokollentwicklung einer gründlichen Prüfung unterzogen. Hierbei gilt es vorrangig die Fragestellung zu beantworten, ob die angewandte Vorgehensweise innerhalb des ADiFa Projektes als geeignete Methode für den Anwendungsfall eingesetzt werden kann.

Im Bereich der Praxisanwendung ist die Funktionalität der standardisierten Schnittstelle in weiteren Pilotanwendungen zu überprüfen und Anpassungen an Anwenderbedürfnisse vorzunehmen. Neben den inhaltlichen Fragestellungen ist hierbei insbesondere die Performance der angestrebten Schnittstellenlösung zu hinterfragen und zu optimieren. Zudem müssen die ausgetauschten Daten auf ihre Verwendung in den verbundenen Softwaretools analysiert und in der Folge sinnvoll in bestehende Strukturen integriert werden. Insbesondere für Fragestellungen der Integration verspricht der umfangreiche Dokumentationsansatz in Daten- und Prozessmodellen Vorteile zu bieten, wenngleich auch dies einer praktischen Prüfung unterzogen werden muss.

Die aufgezeigten Aktivitäten dürfen, soll die nachhaltige Verwertung der Projektergebnisse sichergestellt werden, nicht mit dem Projektende eingestellt werden. Um dieses sicherzustellen, ist mit Gründung der Projektgruppe „Digital Manufacturing“ innerhalb des ProStep iViP-Vereins bereits jetzt ein wichtiger Schritt in Richtung Verbreitung, Absicherung und nachhaltige Nutzung der Ergebnisse bereits jetzt eingeschlagen worden. Das offenkundige Interesse, das der Gruppengründung entgegengebracht wurde, gibt Anlass zur Hoffnung, dass die ADiFa Forschungsergebnisse auch im Hinblick auf Standardisierungs- und Normierungsaktivitäten weiter genutzt und ausgearbeitet werden können. Folgeprojekte in diesem Bereich sowie die Ausweitung der Forschungsaktivitäten im Anschluss an ADiFa sind ebenfalls ein erfolversprechender Ansatz.

Literatur:

- [1] Stahl, J.: Development of a Methodology for optimal Joining Technology Selection based on Cost Information in the Preliminary Automotive Body-in-White Product Development Process, Cranfield University, PhD Thesis, 2006
- [2] Verein Deutscher Ingenieure (VDI): Digitale Fabrik – Grundlagen. VDI-Richtlinie 4499, 2006
- [3] Deuse, J.; Petzelt, D. ; Sackermann, R.: Modellbildung im Industrial Engineering. In: Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb (ZwF) 101, 2006
- [4] Kühn, W.: Digitale Fabrik – Fabriksimulation für Produktionsplaner. München, Wien: Carl Hanser Verlag, 2006
- [5] REFA Bundesverband e.V.: Ausgewählte Methoden zur prozessorientierten Arbeitsorganisation. Darmstadt: REFA, 2002.
- [6] Bierschenk, S.; Kuhlmann, T.; Ritter, A.: Stand der Digitalen Fabrik bei kleinen und mittelständigen Unternehmen – Auswertungen einer Breitenbefragung. Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag, 2005.
- [7] Schallow, J.; Petzelt, D.; Deuse, J.: Process Harmonisation in Digital Manufacturing, University of TU Dortmund, 2009.

Conlmit – Contra Imitatio Informations-, Kommunikations- und Kooperationsplattform für präventiven Schutz vor Produktpiraterie

Jürgen Gausemeier, Martin Kokoschka, Oliver Köster
Heinz Nixdorf Institut, Universität Paderborn

Zusammenfassung

Produktpiraterie hat in Deutschland erschreckende wirtschaftliche Ausmaße angenommen. Sie bedroht insbesondere die Unternehmen der Investitionsgüterindustrie (Maschinen- und Anlagenbau, Automobilindustrie, Medizintechnik etc.), die sich durch FuE-Investitionen Wettbewerbsvorteile erarbeiten, verursacht Milliardenschäden und den Verlust von zehntausenden Arbeitsplätzen. Angesichts der Schlüsselstellung dieser Industrie ist es an der Zeit, wirkungsvolle Mechanismen für den präventiven Schutz zu erarbeiten und den betroffenen bzw. gefährdeten Unternehmen zugänglich zu machen.

Ziel des Vorhabens „Conlmit – Contra Imitatio“ ist eine Innovationsplattform zur Förderung von Prävention gegen Produktpiraterie in der Investitionsgüterindustrie. Die Plattform bietet ein Netzwerk von Partnern, die über Methoden und Wissen im Bereich des präventiven Plagiatschutzes verfügen sowie Kommunikations- und Kooperationsmechanismen.

Insbesondere soll durch Conlmit Unternehmen der Investitionsgüterindustrie dargestellt werden, wie aus den Methoden und Instrumenten der Verbundprojekte der Forschungsoffensive „Innovationen gegen Produktpiraterie“ umfassende Schutzkonzeptionen entstehen und verwirklicht werden können. Die Schutzkonzeptionen umfassen die Bereiche Produkt, Prozess, Technologie, Information und Recht. Es wird ein Verfahren entwickelt, mit dem Unternehmen ihren Leistungsstand und den Handlungsbedarf bzgl. des Schutzes vor Produktpiraterie ermitteln können. Über die Internetplattform werden betroffenen, Gefährdetem und interessierten Unternehmen aktuelle Informationen zum Thema Produktpiraterie bereitgestellt.

Das Vorhaben wird von den Projektpartnern Heinz Nixdorf Institut der Universität Paderborn, dem Lehrstuhl für Produktentwicklung der Technischen Universität München und der VDMA Gesellschaft für Forschung und Innovation (VFI) im Rahmen des BMBF-Programms „Forschung für die Produktion von morgen“ bearbeitet und vom Projektträger Karlsruhe im Karlsruher Institut für Technologie (KIT) betreut.

1 Produktpiraterie

Die deutsche Investitionsgüterindustrie differenziert sich im internationalen Wettbewerb durch ihre hohe Produktqualität und Innovationskraft. Beide Faktoren sind durch Produktpiraterie bedroht. Produktpiraterie ist das verbotene Nachahmen und Vervielfältigen von Waren, für die der Originalhersteller gültige Schutzrechte¹ besitzt [2].

An den EU-Außengrenzen wurden 2008 49.000 Pirateriefälle registriert (2007: 43.500; 2006: 37.000). Die Zahl der durch die Zollbehörden beschlagnahmten Artikel betrug dabei 179 Millionen (2007: 79 Millionen; 2006: 129 Millionen). In 42% der registrierten Fälle wurde ein Patent, in 55% ein Markenrecht verletzt [3]. Zu 71% der Fälle kommen Plagiate aus China. 46% der weltweit hergestellten Plagiate wurden in China abgesetzt. Damit belegt China weiterhin den Spitzenplatz unter den Herstellungsländern und Absatzmärkten für Plagiate [4].

In dem Maße wie die Pirateriefälle in den letzten Jahren zugenommen haben, sind auch die durch Produktpiraterie verursachten wirtschaftlichen Schäden gewachsen. Dies belegen ebenfalls aktuelle Untersuchungen und Umfragen. Die weltweit durch Produktpiraterie zu

¹ Zu den Schutzrechten zählen sowohl Gewerbliche Schutzrechte (Patentschutz, Markenschutz, Geschmacksmusterschutz, Gebrauchsmusterschutz, Halbleiterschutz, Sortenschutz) als auch Urheber und Wettbewerbsrechte [1].

verzeichnenden Schäden werden auf \$ 750 Mrd. geschätzt, was ca. 5-7% des Welthandels entspricht [5] [6]. Übertragen auf den gesamtdeutschen Markt würde dies einem Verlust von € 50 Mrd. bedeuten [7]. Die geschätzten Werte decken sich zu großem Teilen mit denen, die der Verband Deutscher Maschinen- und Anlagenbau e.V. (VDMA) in einer Umfrage unter den Mitgliedsunternehmen ermittelt hat. 24% der befragten Unternehmen bezifferten die Verluste mit mehr als 5%, was einem absoluten Wert von € 7 Mrd. entspricht [4].

Die Verluste setzen sich aus direkten und indirekten monetären Aufwendungen zusammen. Zu den direkten Aufwendungen zählen Umsatz- und Gewinnverluste, Kosten für Schutzmaßnahmen sowie Kosten für das Anmelden und Verfolgen von Schutzrechten. Senkung des Preisniveaus, Imageverlust, Produkthaftung und Know-how-Verlust sind indirekte Folgen von Produktpiraterie, die sich nur schwer in monetären Größen quantifizieren lassen [7] [8]. Letztere können jedoch den Ruf und die Wettbewerbsstärke eines Unternehmens oder einer Marke nachhaltig gefährden.

68% der deutschen Maschinen- und Anlagenbauer sind laut VDMA-Befragung bereits von Produkt- und Markenpiraterie betroffen gewesen. Die am häufigsten gefälschten Produkte sind ganze Maschinen (52%), Komponenten (50%) und Ersatzteile (32%). Zu den am stärksten betroffenen Branchen des Maschinen- und Anlagenbaus zählen Armaturen (14%), Antriebstechnik (13%), Textilmaschinen (12%) und Werkzeugmaschinen (10%) [4].

Drei von vier Unternehmen versuchen sich durch Schutzrechte vor Produktpiraterie zu schützen. Nur jedes vierte Unternehmen greift auf technische Schutzmaßnahmen zurück. Die Gründe für die geringe Anwendung technischer Schutzmaßnahmen sind unterschiedlich. 23% der befragten Unternehmen erachten verfügbare technische Schutzmaßnahmen als nicht geeignet zum Schutz der eigenen Produkte. 17% sind keine geeigneten technischen Maßnahmen bekannt und für 6% sind diese zu teuer [4].

Der sich daraus ableitende Handlungsbedarf ist offenkundig: Es bedarf der Präzisierung existierender, aber auch der Entwicklung innovativer Schutzmaßnahmen um einen effektiven und kostengünstigen Schutz vor Produktpiraterie zu ermöglichen. Des Weiteren sind betroffene, gefährdete und interessierte Unternehmen über die vielfältigen Möglichkeiten des präventiven Produktschutzes zu informieren um die Bekanntheit der verfügbaren Maßnahmen in der Industrie zu erhöhen. Angesichts der Schlüsselstellung des deutschen Maschinen- und Anlagenbaus liegt es nahe, insbesondere hier wirkungsvolle Schutzmechanismen zu erfordern und umzusetzen.

2 Die Forschungsoffensive „Innovationen gegen Produktpiraterie“

Der aufgezeigte Handlungsbedarf wird durch die Forschungsoffensive „Innovationen gegen Produktpiraterie“ aufgegriffen. Diese ist Teil der Hightech-Strategie der Bundesregierung und wird vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) gefördert. Durch zehn Verbundprojekte und die Transfermaßnahme Conlmit (Contra Imitatio) wird die Prävention vor Produktpiraterie im Maschinen- und Anlagenbau ausgebaut.

An der Forschungsoffensive beteiligen sich über 70 Partner, darunter Universitäten, Hochschulen und mehr als 25 Maschinen- und Anlagenbauer. Die Förderung beträgt 15 Millionen Euro für drei Jahre. Die Industriepartner beteiligen sich an den Forschungsprojekten ebenfalls mit Investitionen in Höhe von 15 Millionen Euro.

In den Projekten werden Maßnahmen zum Schutz vor Produktpiraterie entwickelt und erprobt. Die Schwerpunkte liegen dabei auf drei Ansätzen: die pirateriesichere Gestaltung von Produkten und Prozessen, die Kennzeichnung von Produkten und Systemen sowie die Verknüpfung einzelner technischer, organisatorischer und rechtlicher Maßnahmen zu umfassenden Schutzkonzeptionen.

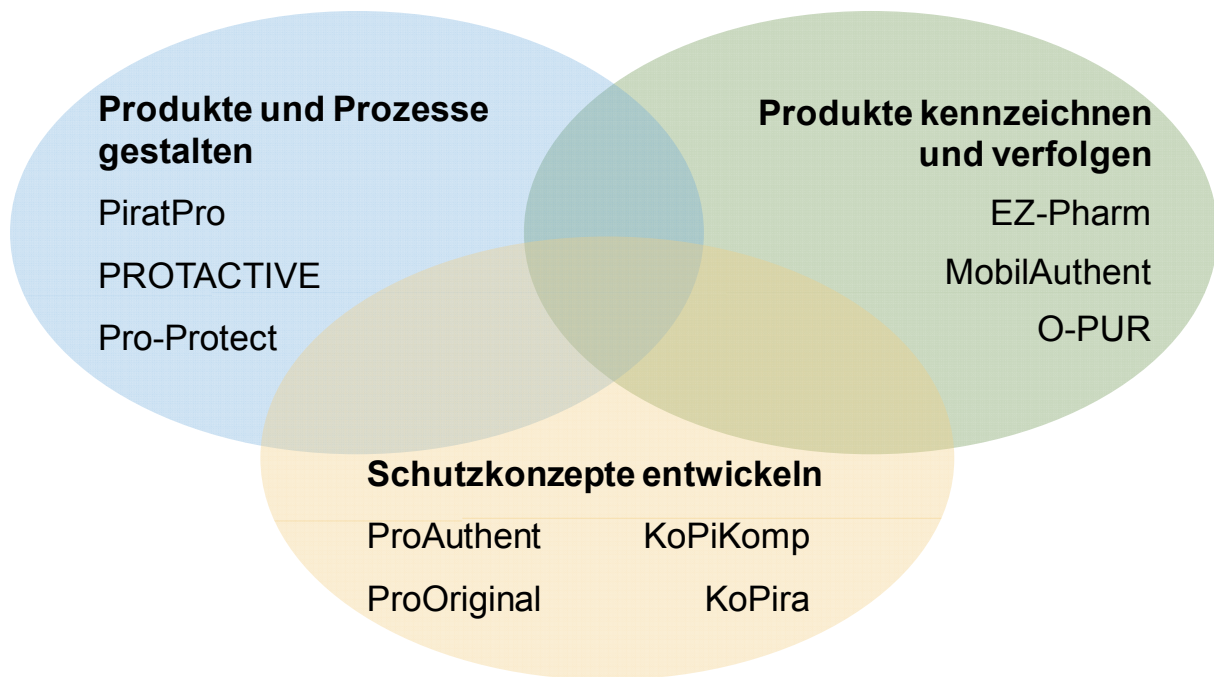


Abb. 1: Projekte der Forschungsoffensive „Innovationen gegen Produktpiraterie

Pirateriesichere Gestaltung von Produkten und Prozessen

Zukünftige Produkte müssen so entwickelt werden, dass der Nachbau erschwert wird und das Kopieren nicht mehr lukrativ ist. Außerdem müssen Entwicklung, Herstellung und Vertrieb so organisiert werden, dass weder Produkt- noch Prozesswissen leicht zugänglich ist. Dieser Know-how-Schutz ist nicht nur im eigenen Unternehmen, sondern in der ganzen Wertschöpfungskette vom Zulieferer bis zum Vertriebspartner notwendig. So ist das Ziel des Projektes **PiratPro** die Entwicklung eines ganzheitlichen Schutzkonzeptes. Dabei werden neben der Produktgestaltung auch Dienstleistungsprozesse beachtet und diese zu einer unkopierbaren Einheit zusammengeführt. Auch das Projekt **PROACTIVE** verfolgt einen ganzheitlichen Ansatz: Betrachtet werden dabei Organisation, Technologie und Wissensmanagement, um ein präventives Schutzkonzept für Investitionsgüter zu erarbeiten. Der Softwareschutz steht im Mittelpunkt von **Pro-Protect**. Durch Schutz der Embedded Software wird der Nachbau kompletter Maschinen und Anlagen erschwert. Digitale Produktionsdaten werden geschützt und deren Nutzung gemessen. Ein digitales Maschinentagebuch wird erzeugt. Da der Anteil von Software im Maschinen- und Anlagenbau stetig steigt, ist der Schutz von Softwarekomponenten zugleich Voraussetzung für den effektiven Schutz von Produktinnovationen.

Kennzeichnung von Produkten und Systemen

Hier geht es um Verfahren für eine wirtschaftliche und fälschungssichere Kennzeichnung von Produkten. So werden im Projekt **O-Pur** die individuellen Wechselwirkungen der am Druck-, Gravur- und Prägeprozess beteiligten Komponenten ausgenutzt, um eindeutig Produkte, Verpackungen, Etiketten und Dokumente zu identifizieren. Zum Schutz gegen Arzneimittelfälschungen entwickelt das Projekt **EZ-Pharm** ein bei Verpackungsherstellern einfach zu integrierendes Druckverfahren für RFID-Antennen als Alternative zu teureren, aufgeklebten RFID-Etiketten. Im Projekt **MobilAuthent** werden mit Hilfe von kryptografisch gesicherten RFID-Tags Produkte fälschungssicher gekennzeichnet. Die Authentifizierung von Produkten kann dadurch an jedem Ort mit Hilfe mobiler RFID-Leser und einer Onlineverbindung zu einem zentralen Authentifizierungsserver erfolgen.

Entwicklung von Schutzkonzepten

In den vier Verbundprojekten **KoPiKomp**, **KoPira**, **ProAuthent** und **ProOriginal** steht die Verknüpfung einzelner technischer, organisatorischer und rechtlicher Schutzmaßnahmen zu umfassenden Schutzkonzeptionen im Vordergrund. Ein Schwerpunkt dieser Projekte ist die Entwicklung von Analyseinstrumenten, mit denen Unternehmen ihr spezifisches Risiko einschätzen können: Welche Produkte müssen geschützt werden, welche Absatzmärkte sind betroffen etc. Ebenso wichtig ist die Kosten-Nutzen-Bewertung der Schutzmaßnahmen: Kunden werden nicht bereit sein, die Mehrkosten für den Produktschutz zu tragen. Deshalb sollte das Ziel sein, in Schutzmaßnahmen neue Produktfunktionalitäten zu integrieren und damit zusätzlichen Kundennutzen zu schaffen. Auch das Monitoring der Schutzmaßnahmen ist wichtig, um die Wirkung des gewählten Produktschutzes zu messen und kontinuierlich zu verbessern.

3 Conlmit – Innovationsplattform für präventiven Produktschutz

Als Ergänzung zu den Verbundprojekten wurde das Querschnittsprojekt Conlmit – Contra Imitatio gestartet. Ziel ist, die Stoßkraft und die Breitenwirkung der vorgestellten Projekte zu erhöhen und die Prozesse und Maßnahmen gegen Produktpiraterie in der betrachteten Industrie zu fördern. Dazu bietet sich eine Plattform an, die insbesondere die mittelständischen Unternehmen informiert und die die Kommunikation von potentiellen Kooperationspartnern und entsprechende Kooperationen fördert. Die Plattform besteht aus einem Netzwerk von Partnern, die über Methoden und Wissen im Bereich des präventiven Plagiatschutzes verfügen, aus Kommunikations- und Kooperationsmechanismen sowie einer internetbasierten Informationsplattform.

Die Begleitmaßnahme wird von den Projektpartnern Heinz Nixdorf Institut, dem Lehrstuhl für Produktentwicklung der Technischen Universität München und der VDMA-Gesellschaft für Forschung und Innovation (VFI) bearbeitet. Im Folgenden werden die von Conlmit bearbeiteten Teilaufgaben vorgestellt.

Informieren über die vielfältigen Möglichkeiten der Prävention

Dazu zählt insbesondere die „Bedarfsanalyse Produktschutz“, die einem Unternehmen zeigt, wie gut es aktuell vor Produktpiraterie geschützt ist und wo potentielle Angriffspunkte für Produktpiraten liegen sowie aus der Fülle der möglichen Maßnahmen diejenigen vorschlägt, die für das Unternehmen angebracht sind.

Konzertierung der vielfältigen Aktivitäten gegen Produktpiraterie

Die in den Verbundprojekten erarbeiteten Maßnahmen und weitere Aktivitäten ergänzen sich. Für ein einzelnes Unternehmen wird dann die gewünschte hohe Wirkung erzielt, wenn diejenigen Maßnahmen und Aktivitäten zu Schutzkonzeptionen gebündelt werden, die für den spezifischen Bedrohungsfall besonders geeignet sind. Dies zu fördern und die Kommunikation und Kooperation der Verbundprojekte zu intensivieren, ist ein wichtiges Anliegen von Conlmit.

Fördern von Netzwerken im Kampf gegen Produktpiraterie

Dies kann sich an der Branchenwertschöpfungskette orientieren (vertikale Kooperationen), im Sinne von vorwettbewerblicher Zusammenarbeit (horizontale Kooperation) geschehen und in Hinblick auf innovative Kombinationen von Sach- und Dienstleistungen (hybride Leistungsbündel) erfolgen. Durch entsprechende Industriearbeitskreise wird der Erfahrungsaustausch zwischen Unternehmen im Kampf gegen Produktpiraterie gefördert. Hier sind die Verbände ein wichtiger Zugang zu den Industrieunternehmen. Daher arbeitet Conlmit sehr eng mit Verbänden wie dem VDMA zusammen.

Zur Zielerreichung sind eine Reihe von Instrumenten entwickelt worden; auf einige wird im Folgenden eingegangen.

3.1 Das 4-Stufen-Modell der Transferaktivitäten

Um die Stoßkraft und Breitenwirkung der vorgestellten Projekte zu erhöhen und den Transfer der neuen Prozesse und Maßnahmen gegen Produktpiraterie in die betrachtete Industrie zu fördern, bedarf es leistungsstarker Kommunikations- und Kooperationsmechanismen. Hierzu wurden etablierte Mechanismen auf Ihre Leistungsfähigkeit untersucht und zu einem innovativen Gesamtkonzept integriert. Das Ergebnis dieser Arbeit ist das 4-Stufen-Modell der Transferaktivitäten (vgl. Abb. 2). Die einzelnen Stufen des Modells bauen aufeinander auf. Durch die gewählte Reihenfolge der zum Einsatz kommenden Mechanismen wird erreicht, dass die Aspekte „Informationstiefe“ und „Adressaten“ gegenläufig zueinander sind. Während über das Internet die breite Öffentlichkeit mit grundlegenden Informationen versorgt werden kann (Stufe 1), werden sensible und sehr konkrete Informationen wie Umsetzungs- und Erfahrungswissen im Rahmen von Netzwerkaktivitäten nur an einen kleinen Personenkreis vermittelt (Stufe 4). Im Folgenden werden die wesentlichen Elemente der einzelnen Stufen des Modells kurz vorgestellt.



Abb. 2: Das 4-Stufen-Modell der Transferaktivitäten

Stufe 1: Internet

Die erste Stufe des Modells ist das Internet. Mit Hilfe einer Internetplattform (www.conimit.de) wird die breite Öffentlichkeit zum einen für das Thema Produktpiraterie und die damit verbundenen Gefahren sensibilisiert. Zum anderen werden konkrete Informationen über die Möglichkeiten und Grenzen heute existierender Schutzmaßnahmen und die Aktivitäten der Verbundprojekte vermittelt. Die internetbasierte Plattform ist in einen öffentlich zugänglichen und einen geschützten Bereich aufgeteilt, in den Nutzer nach erfolgter Registrierung Zutritt erhalten. Die Registrierung ist kostenlos. Die auf Conlmit registrierten Nutzer werden zum Beispiel in regelmäßigen Newslettern über die aktuellen Entwicklungen im Themenfeld und anstehende Veranstaltungen informiert. Bereits 700 Personen haben sich der Community seit dem Start der Plattform Anfang 2008 angeschlossen.

Die Online-Plattform stellt allgemeine **Informationen** wie z. B. aktuelle Studien und Ratgeber oder Veranstaltungshinweise bereit und informiert übersichtlich über die zehn Verbundprojekte der Forschungsoffensive. Eine kompakte Darstellung von präventiven Möglichkeiten

zum Schutz vor Produktpiraterie bietet ein **Schutzmaßnahmenkatalog**, der derzeit rund 80 Einzelmaßnahmen enthält. Eine Schutzmaßnahme wird durch eine Kurzbeschreibung und Hinweise zu ihrer Anwendung dargestellt. Über eine **Expertendatenbank** können interessierte Unternehmen die Liste der Schutzmaßnahmen nach unterschiedlichen Kriterien durchsuchen und die für sie interessanten Maßnahmen zusammenstellen. Jeder Schutzmaßnahme sind Experten zugeordnet, die im Bedarfsfall weiterführende Informationen liefern und fachkundige Unterstützung bei der Erstellung einer spezifischen Abwehrstrategie anbieten. Durch die vorgestellten Funktionalitäten wird die Internetplattform Conlmit zu einer zentralen Anlaufstelle für Unternehmen, die Unterstützung im Kampf gegen Produktpiraterie suchen.

Stufe 2: Printmedien

Printmedien sind die zweite Stufe des Modells. Conlmit veröffentlicht u.a. in **Fachjournalen** (z.B. Industrie Management) und **Fachzeitungen** (z.B. VDI Nachrichten, Handelsblatt) und betreibt damit gemeinsames Marketing der Projekte und der Forschungsinitiative. Darüber hinaus werden über Conlmit **projektübergreifende Publikationen** zum Themenfeld koordiniert. Dadurch wird eine sehr hohe Breitenwirkung erreicht: Während der Projektlaufzeit hat Conlmit an ca. 100 Beiträgen mitgearbeitet.

Stufe 3: Veranstaltungen

Auf Veranstaltungen wie **Messen** und **Konferenzen** berichtet Conlmit über die Projekte und die Forschungsoffensive. Dadurch werden insbesondere KMU in persönlichen Gesprächen und durch Vorträge für das Thema sensibilisiert und über die sich bietenden Möglichkeiten informiert. Während der Projektlaufzeit hat Conlmit bereits vier Veranstaltungen organisiert, an denen über 600 Unternehmensvertreter teilgenommen haben. Zu den wichtigsten Veranstaltungen zählen der Aktionstag der deutschen Investitionsgüterindustrie gegen Produktpiraterie (22. Januar 2008, Berlin) und der Expertenmarktplatz „Innovationen gegen Produktpiraterie“ (21. April 2009, Hannover). Darüber hinaus hat Conlmit ungefähr 40mal die Forschungsoffensive auf Konferenzen oder Messen vorgestellt.

Auf der Hannover Messe 2010 präsentieren alle Projekte erste Ergebnisse (Gemeinschaftsstand Produktschutz: Halle 17, Stand C14 bis D17). Im Mittelpunkt steht dabei eine durch technische Maßnahmen abgesicherte Werkzeugmaschine. In täglichen Führungen über den Gemeinschaftsstand wird Conlmit einen kompakten Überblick über die Forschungsprojekte geben. In einer begleitenden Vortragsveranstaltung am Messedienstag werden Lösungen aus Forschung und Praxis gezeigt. Die Verbundforschungsprojekte schließen im Laufe des Jahres ihre Arbeiten ab. Am 16. November 2010 werden daher alle Projekte im Rahmen einer großen Abschlussveranstaltung ihre Forschungsergebnisse der Öffentlichkeit vorstellen.

Stufe 4: Netzwerk

Unsere Erfahrungen zeigen, dass viele Unternehmen nur ungern vor großem Publikum darüber sprechen, ob und wie sie von Produktpiraterie betroffen sind. Der Austausch von sensiblen Informationen kann nur in kleinen Runden stattfinden. Eine weitere Bedingung ist, dass sich die teilnehmenden Personen kennen sind. Sind diese Rahmenbedingungen gegeben, tauschen betroffene, gefährdete und interessierte Unternehmen ihr Erfahrungs- und Umsetzungswissen offen aus – ganz gleich ob sie in derselben Branche aktiv sind und untereinander im Wettbewerb stehen oder aus anderen Branchen kommen. Solche **Erfahrungsaustausche** wurden von Conlmit in den letzten zwei Jahren zwölfmal mitorganisiert und durchgeführt.

Um einen solchen Erfahrungsaustausch erfolgreich zu installieren bedarf es eines **Netzwerks** mit starken Partnern. Aus diesem Grund hat sich Conlmit mit den führenden Branchen-, Wirtschafts- und Interessensverbänden zusammengeschlossen, allen voran dem Verband Deutscher Maschinen- und Anlagenbau e.V. (VDMA).

3.2 Bedarfsanalyse Produktschutz

Die von den Projektpartnern Technische Universität München und Heinz Nixdorf Institut entwickelte Bedarfsanalyse unterstützt Unternehmen bei der Identifizierung des vorliegenden Bedrohungspotentials und der Auswahl geeigneter Schutzmaßnahmen. Ein zentrales Element ist hierbei die Kombination von existierenden und innovativen Schutzmaßnahmen zu firmenspezifischen Schutzkonzeptionen. Hierzu wurde eine Methodik entwickelt, mit der sich der individuelle Handlungsbedarf eines Unternehmens ermitteln, konkrete Handlungsoptionen ableiten, sowie eine Konzeption zur Umsetzung erstellen lässt. Abbildung 3 zeigt exemplarisch das Ergebnis der Bedarfsanalyse in Form einer Roadmap zur Einführung der ausgewählten Schutzmaßnahmen.

Beispiel einer Roadmap zum Schutz vor Produktpiraterie

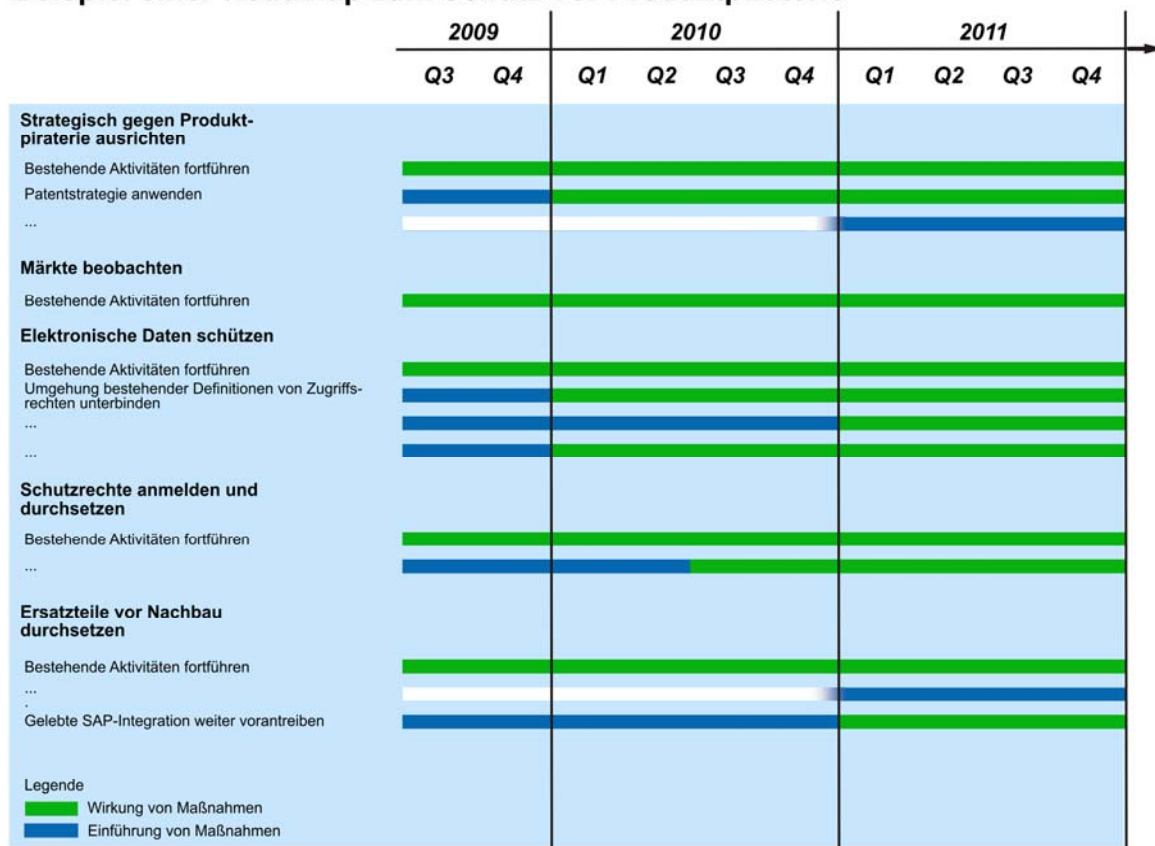


Abb. 3: Roadmap zur Einführung ausgewählter Schutzmaßnahmen

Die Bedarfsanalyse wurde bereits in sechs deutschen Unternehmen der Größenordnung von 100 bis 2500 Mitarbeitern durchgeführt. Der Umsatz der untersuchten Unternehmen lag zwischen € 12 Millionen und € 300 Millionen. Das Spektrum der plagiierten Produkte umfasste Antriebssysteme, Bahnübergangssysteme, Verpackungsmaschinen, Textilmaschinen, Holzbearbeitungsmaschinen sowie Schaltelemente. Alle Unternehmen generieren den Umsatz zu großen Teilen mit Produkten und nur zu einem geringen Anteil mit begleitenden Dienstleistungen. Plagiate wurden in der ganzen Welt gefunden – von China über Indien, Russland bis Europa.

Die durchgeführten Analysen haben gezeigt, dass eine Bedrohungssituation immer unternehmensspezifisch und nicht vergleichbar ist. Dementsprechend unterscheiden sich auch die mit technischen Schutzmaßnahmen verfolgten Zielsetzungen von Fall zu Fall. Während für ein Unternehmen externe Kosten und interner Aufwand entscheidend sind, ist es für ein

anderes die potentiell zu erzielenden Schutzeffekte einer Maßnahme. Das bedeutet, dass die Auswahl von Schutzmaßnahmen immer unternehmensspezifisch anzupassen ist.

Die theoretische Vorgehensweise zur Durchführung einer Bedarfsanalyse, eine übersichtliche Darstellung existierender Schutzmaßnahmen sowie die Ergebnisse der sechs durchgeführten Fallstudien werden zum Ende der Projektlaufzeit in einer Studie veröffentlicht. Conlmit gibt der Investitionsgüterindustrie somit einen Werkzeugkasten nebst Anwendungsleitfaden an die Hand, der Entscheidungsträger dabei unterstützen wird ihre eigene Strategie im Kampf gegen Produktpiraterie zu wählen.

4 Ausblick

Produktpiraterie war lange Zeit ein Phänomen, das nur die Konsumgüterindustrie betraf. Nun ist sie auch zu einer enormen Bedrohung für die Innovationskraft und Wettbewerbsfähigkeit der deutschen Investitionsgüterindustrie geworden. Unternehmen müssen sich dieser Bedrohung stellen und eine eigene Abwehrstrategie entwickeln. Hierzu benötigen sie sowohl Schutzmaßnahmen, die einen kostengünstigen und effektiven Schutz ermöglichen, als auch einen Leitfaden zur firmenspezifischen Auswahl und Kombination von Schutzmaßnahmen.

Conlmit hat hierzu durch seine verschiedenen Aktivitäten bereits während der ersten beiden Jahre der Projektlaufzeit einen signifikanten Beitrag geleistet. Damit die Unternehmen der Investitionsgüterindustrie auch in Zukunft einen kompetenten Ansprechpartner zur Seite haben, werden die einzelnen Aktivitäten auch über die Förderlaufzeit hinaus betrieben. Der Projektpartner VDMA hat die Arbeitsgemeinschaft Produkt- und Knowhow-Schutz (AG Protect) gegründet. Deren Ziel lautet, Maschinenbauer mit Unternehmen zusammenzubringen, die Technologien zur Abwehr von Fälschern anbieten. Der Projektpartner Technische Universität München wird mit seiner Ausgründung Avalano GmbH die Bedarfsanalyse Produktschutz kommerzialisieren und Unternehmen dabei unterstützen, ihr individuelles Schutzkonzept gegen Produktpiraterie und Know-how-Abfluss zu erstellen. Der Projektpartner Heinz Nixdorf Institut wird die Internetplattform www.conimit.de und die damit verbundenen Leistungsangebote (z.B. Expertendatenbank) und Netzwerkaktivitäten weiter betreiben.

Literatur:

- [1] Geiger, R.: Piraterierisiken: State-of-the-Art und eine Systematik zur Identifizierung; 2008; Seite 13
- [2] Ann, C.; Broy, M.; Günthner, A., Lindemann, U.; Wildemann, H.: Positionspapier – Handlungsspielräume der produzierenden Industrie gegen Produktpiraterie; 2006
- [3] EU Commission-Taxation and Customs Union: 2008 Report on EU Customs enforcement of Intellectual Property Rights – Results at the European Border; 2009
- [4] Verband Deutscher Maschinen- und Anlagenbau e.V.: Untersuchung zur Produkt- und Markenpiraterie 2008; 2008
- [5] U.S. Chamber of Commerce; URL: <http://www.uschamber.com/issues/index/counterfeiting/default>; Abrufdatum: 4. März 2008
- [6] International Chamber of Commerce; URL: <http://www.iccwbo.org/uploadedFiles/BASCAP/Pages/BASCAP%20Guidelines%20Release%20Mexico%20Launch.pdf>; Abrufdatum: 1. Dezember 2009
- [7] Blind, K.: Die volkswirtschaftliche Bedeutung geistigen Eigentums und dessen Schutzes mit Fokus auf den Mittelstand; Harzdruckerei Wernigerode GmbH, 2009
- [8] Wildemann, H.; Ann, C.; Broy, M.; Günthner, A., Lindemann, U.: Plagiatschutz - Handlungsspielräume der produzierenden Industrie gegen Produktpiraterie; 2007

Entwicklung von Investitionsgütern im Maschinen- und Anlagenbau mit präventivem ganzheitlichen Produktschutz

Dipl.-Ing Klaus Meissner
Terex Demag GmbH, Zweibrücken

Zusammenfassung

Die in der jüngsten Vergangenheit bei Investitionsgütern verstärkt beobachtete Produktpiraterie zeigt wiederholt die Grenzen des Schutzes durch die üblichen klassischen Schutzrechte (Patente und Marken). Dabei sind zunehmend neben Ersatzteilen und Komponenten auch komplette Maschinen und Anlagen das Ziel der Produktpiraten.

Aus dieser Situation heraus gilt es Methoden bereit zu stellen, die die Entwicklung technisch-konstruktive Maßnahmen unterstützen, so dass durch diese Maßnahmen präventiv die Nachahmung/Kopie verhindert oder zumindest erschwert wird. Diese Methoden sollten darüber hinaus so in die Unternehmensumgebung eingebettet werden, das ein weitgehender Schutz der sensiblen Informationen (u.a. der Informationen über die angewendeten technisch-konstruktiven Schutzmaßnahmen) durch geeignete organisatorische Maßnahmen und ein kontrolliertes Wissensflussmanagement gewährleistet wird. Damit werden auch notwendige Schnittstellen und Informationsflüsse zu Lieferanten und Technologiepartnern außerhalb des Unternehmens untersucht und interne Schnittstellen erhalten genau nur die Informationen die wirklich benötigt werden.

Zusammen mit den bekannten reaktiven Schutzstrategien (Schutzrechte, Authentifizierung etc.) entsteht so ein neuartiges, umfassendes Schutzkonzept mit deutlich verbesserter Wirksamkeit. Dieser präventive und ganzheitliche Ansatz wird in einem BMBF-geförderten Verbundprojekt entwickelt und verifiziert.

1 Ausgangssituation

1.1 Zunehmende Piraterievorfälle bei Investitionsgütern

Das Volumen der Produktpiraterie in der Investitionsgüterindustrie nimmt im Trend nochmals deutlich zu, dabei werden längst nicht nur Ersatzteile oder Komponenten nachgebaut sondern auch komplette Maschinen, wie gerade in letzter Zeit Beispiele zeigen /ENR/. Die enorme Nachfrage im zurückliegenden wirtschaftlichen Hoch, die seitens der Originalhersteller nicht immer befriedigt werden konnte, hat dies vermutlich noch begünstigt.

Das Beispiel in Abb. 1 zeigt einen Gittermastkran mit einer Tragkraft von 450t der in einigen Exemplaren nachgebaut wurde. Eine eingehende Analyse verwendeter Technologien ergab ein weites Spektrum das von der platten Kopie einzelner Kernelemente bis hin zur Substitution von Technologien für andere Kernelemente reicht.

Die Investitionsgüterindustrie ist offenbar noch in gänzlich anderer Weise als andere Industriezweige bedroht, da die Produktpiraten bei komplexen Gütern bereits eigenes Know-how entwickeln müssen, um überhaupt eine Kopie erstellen zu können. Im Gegensatz dazu stellen viele andere Piraterievorfälle wohl mehr ein „Herstellen zu günstigeren Bedingungen“ dar, ohne dass die dafür notwendige Technologie beherrscht wird.

Für die Investitionsgüterindustrie besteht daher die Gefahr, dass sich aus Piraten mittelfristig Wettbewerber entwickeln!



Abb. 1: Piraterieprodukt, Nachbau eines Gitterkranes in China

Die bisherigen Versuche der Originalhersteller (OEM) zur Bekämpfung von Produktpiraterie stützen sich oft eher auf reaktive Maßnahmen wie z.B. Schutzrechte (Patente und Marken) zur Verfolgung beobachteter Verstöße. Derartige Ansätze können aber erst greifen, wenn die Verstöße bereits erfolgt sind und auf dem Markt Piraterieprodukte bereits erhältlich sind oder wie in obigem Fall angeboten werden.

1.2 Ansatzpunkte zur Pirateriebekämpfung

Abb. 2 zeigt den typischen Verlauf eines Produktlebenszyklus mit den zu erwartenden Gewinnen aus dem Produktverkauf zur Refinanzierung bzw. Vorfinanzierung neuer Produktentwicklungen und die empfindliche Störung durch Produktpiraten.

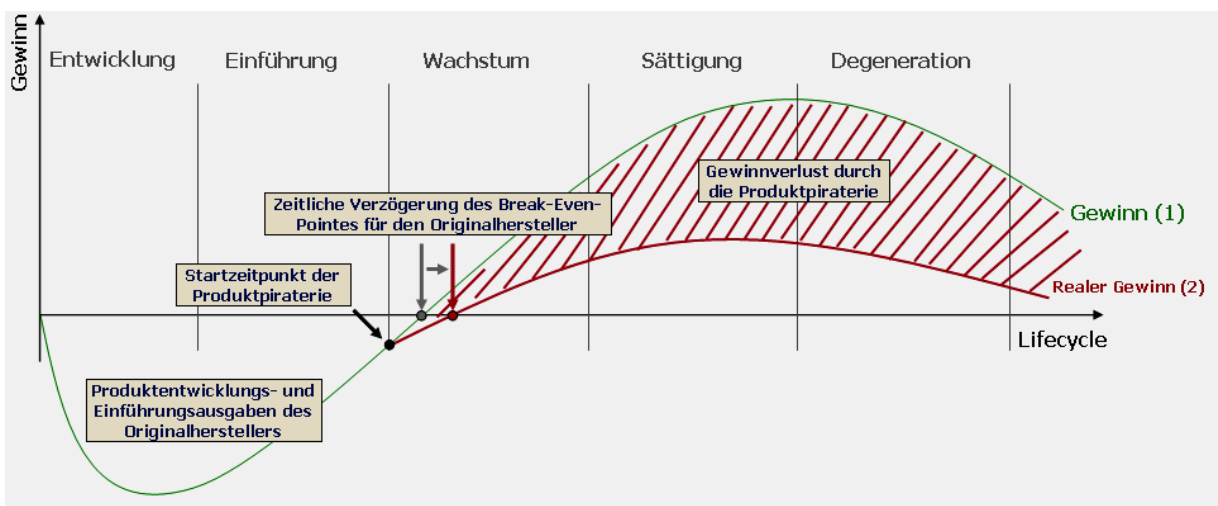


Abb. 2: Produktlebenszyklus und Refinanzierung der Originalhersteller (OEM)

Produktpiraten kopieren Produkte zum Teil nach einem legalen Erwerb. Sie bieten diese Nachbauten (oft sklavische Kopien) zu einem späteren Zeitpunkt an, z.B. zu Beginn der Wachstumsphase im Lebenszyklus des Originals. Hintergrund dafür ist, dass sie in diesem Fall selbst Zeit brauchen, um die Lösung serienreif kopiert zu haben und oft ist es Bestandteil ihrer Strategie abzuwarten, um die Marketingaktivitäten des Originalherstellers nutzen zu können.

Jede Verschiebung des Startzeitpunktes der Produktpiraterie und jede Beeinflussung des Umsatzvolumens der Piraten durch Verbesserungen im organisatorischen Umfeld und in der Technik der Produkte (Erschweren der Kopie im Extremfall das Vermeiden der Kopie) führt zu maßgeblichen Verbesserungen der Situation für den Originalhersteller oder anders gesagt zu empfindlichen Störungen für das Geschäftsmodell des Piraten (siehe Abbildung 3).

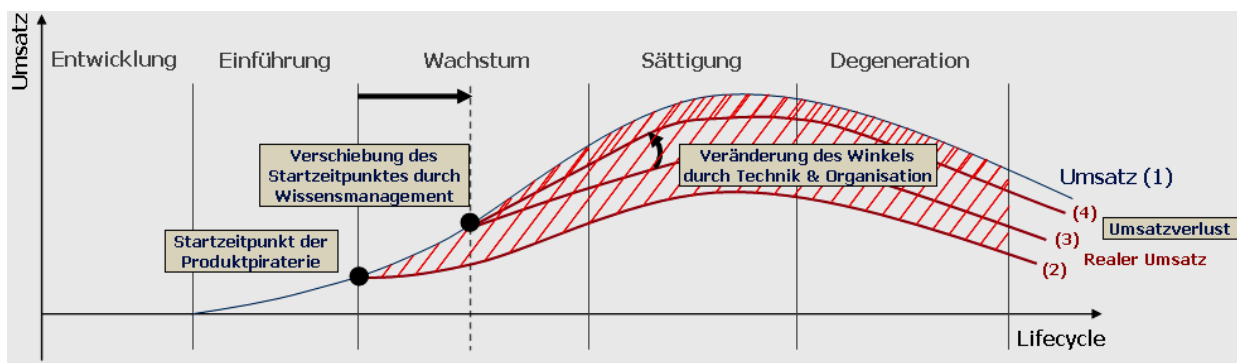


Abb. 3: potentielle Eingriffe in das Geschäftsmodell des Piraten

Mit dem vergleichsweise frühen Eintritt der Kopie in den Produktlebenszyklus hat der Produktpirat häufig bereits erhebliche Gewinne abschöpfen können und den Innovationszyklus des Originalherstellers gestört. Zusätzlich sind Imageschäden bzw. Produkthaftungsprobleme bei mangelhaften Kopien gewissermaßen vorprogrammiert und führen möglicherweise Jahre später zu erheblichen „Folgeschäden“.

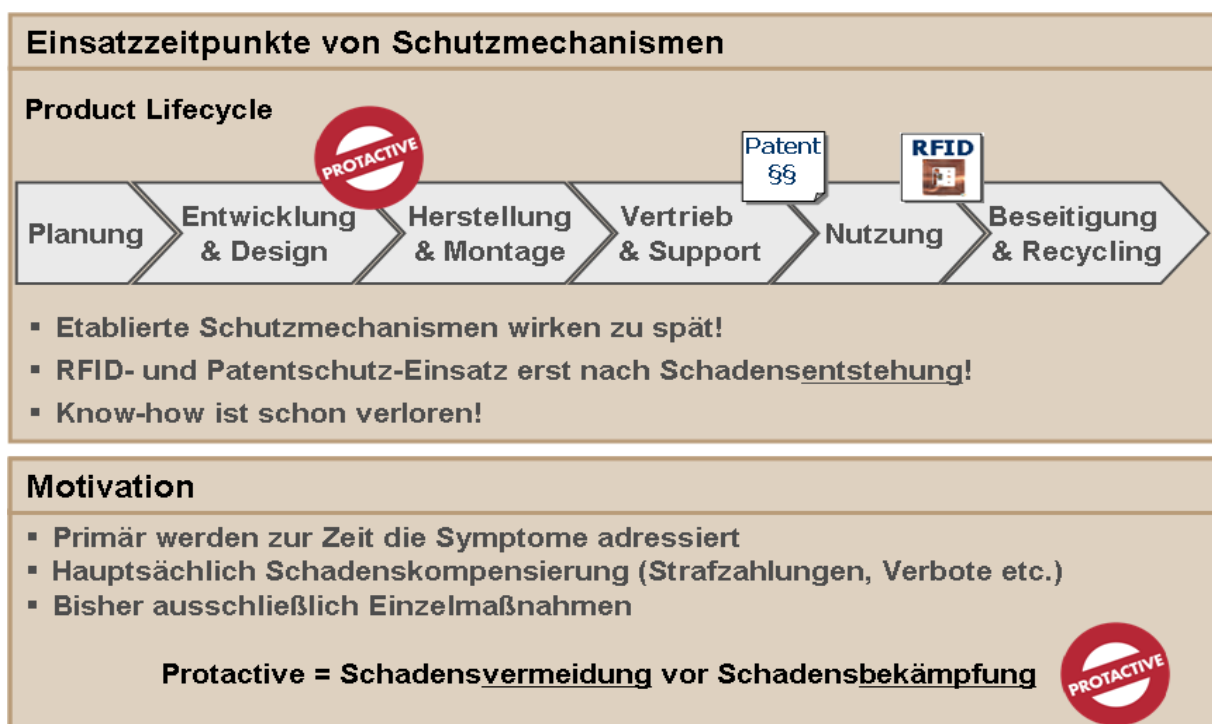


Abb. 4: Schutzmechanismen und ihr Einsatzzeitpunkt

Reaktive Maßnahmen haben daher den Nachteil, dass sie erst bei Vorliegen des Piraterieproduktes angewendet werden können (der wirtschaftliche Schaden ist also schon entstanden) und das bei einer alleinigen Absicherung durch Schutzrechte ein Durchsetzen bestehender Rechte in den betroffenen Märkten im Einzelfall auch nicht gewährleistet ist.

Im Falle von komplexen Investitionsgütern ist darüber hinaus festzustellen, dass der Produktpirat sich oft bereits nicht unerhebliches Produkt-Know-how angeeignet hat und sich gewissermaßen auf dem Weg vom Kopisten zum Wettbewerber befindet! Daher greifen reaktive Schutzmaßnahmen wie Schutzrechte und Authentifizierungen häufig zu spät – auch wenn sie unverzichtbarer Bestandteil eines umfassenden Produktschutzes sind (vgl. Abb. 4)!

Es gilt also durch zusätzliche präventive Ansätze die Entstehung von Piraterieprodukten zu verhindern oder zumindest so zu erschweren dass der Markteintrittszeitpunkt der Piraterieware spürbar verzögert wird oder der Kopist das wirtschaftliche Interesse daran verliert.

2 Präventiver ganzheitlicher Produktschutz

2.1 Allgemeines

Unternehmen sind der Bedrohung allerdings nicht schutzlos ausgeliefert. Es gibt bereits zahlreiche einzelne Schutzmaßnahmen, um der Produktpiraterie zu begegnen. Die Wirkung dieser Schutzmaßnahmen soll durch einen gemeinsamen und ergänzenden Einsatz potenziert werden, sie sollen zu einem präventiven, ganzheitlichen Schutzkonzept zusammengefasst werden:

Präventiver Produktschutz bedeutet hierbei, dass die Maßnahmen schon vor der Schadensentstehung wirken, also proaktiv sind, im Gegensatz zu den mehr oder minder als reaktiv bezeichneten Maßnahmen wie z.B. Schutzrechte oder Authentifizierungstechniken. Proaktive Maßnahmen sollen die Produktkopie selbst verhindern oder erschweren – mit dem Effekt, dass der Produktpirat sich Produkten und Techniken zuwenden wird, die für ihn deutlich einfacher zu kopieren sind; zu diesen Maßnahmen zählen vor allem technisch-konstruktive Maßnahmen.

Ganzheitlicher Produktschutz bedeutet, dass sich die Maßnahmen nicht auf einen einzigen, isolierten Schutzbereich in der Wertschöpfungskette beziehen, sondern möglichst umfassend wirken müssen. Auf diese Weise lässt sich ein technisch-konstruktiver Schutz mit einer organisatorischen Absicherung im Unternehmen sowie dem Schutz der internen Wissensflüsse und dem Wissensaustausch mit externen Partnern kombinieren.

Auch die besten technisch-konstruktiven Maßnahmen werden auf Dauer nicht erfolgreich sein, wenn sie nicht durch organisatorische Maßnahmen abgesichert werden! Wissensverlust droht an den vielfältigen Schnittstellen in den Häusern der Originalhersteller zu den Lieferanten und Technologiepartnern und auch durch das simple Abwerben von Mitarbeitern. Zu den wichtigsten organisatorischen Maßnahmen gehört daher die Einbettung eines Schutzkonzepts in die Unternehmensprozesse und die Beherrschung und juristische Absicherung der Wissensflüsse im Unternehmen und zu externen Partnern.

2.2 Das Verbundprojekt PROACTIVE

Im Forschungsprojekt PROACTIVE¹⁾ wird ein präventives ganzheitliches Schutzkonzept für Investitionsgüter erarbeitet, das die drei eng miteinander verbundenen Schwerpunkte Technologieschutz, Aufbau- und Ablauforganisation und Wissensflussmanagement behandelt. Mit diesem Ansatz kann jedweder Schutz selbst in eine Landschaft aus weiteren Schutzmaßnahmen eingebettet werden, um so seine Wirkung besser entfalten zu können.



Abb. 5: Grob-Struktur des Verbund-Projektes PROACTIVE

Das Konzept von PROACTIVE sieht die verzahnte Kombination aus einem technologischen Schutz, aus kontrollierten Wissens- und Datenflüssen sowie einer Reihe aufbau- und ablauforganisatorischer Maßnahmen zur Minimierung des Risikos von Know-how-Abflüssen jedweder Art vor.

Der Ansatz beschränkt sich nicht nur auf das eigene Unternehmen, sondern betrachtet die Wertschöpfungskette über die Unternehmensgrenzen hinaus. Eine erschwerte Kopierbarkeit bedeutet in diesem Zusammenhang vor allem, den Kostenaufwand für Produktpiraten um ein derartiges Maß zu erhöhen, dass lukrative Gewinne für die Piraten kaum noch zu erzielen sind und sich das Kopieren unattraktiv und aufgrund hoher Investitionen risikoreich gestaltet.

2.3 Vorgehen des Piraten und Gegenmaßnahmen

In der Veröffentlichung von Neemann /NEE/ findet sich eine Zusammenfassung die idealtypisch das Vorgehen der Produktpiraten (bei Neemann auch als Imitator bezeichnet) den Gegenreaktionen der Originalhersteller (Innovator) gegenüberstellt, siehe Abbildung 5.

¹⁾ Das Projekt Forschungsprojekt PROACTIVE wird durch das BMBF gefördert (siehe auch <http://www.proactive.de>) ist ein Verbundprojekt unter Einbeziehung verschiedener Partner aus der Investitionsgüterindustrie

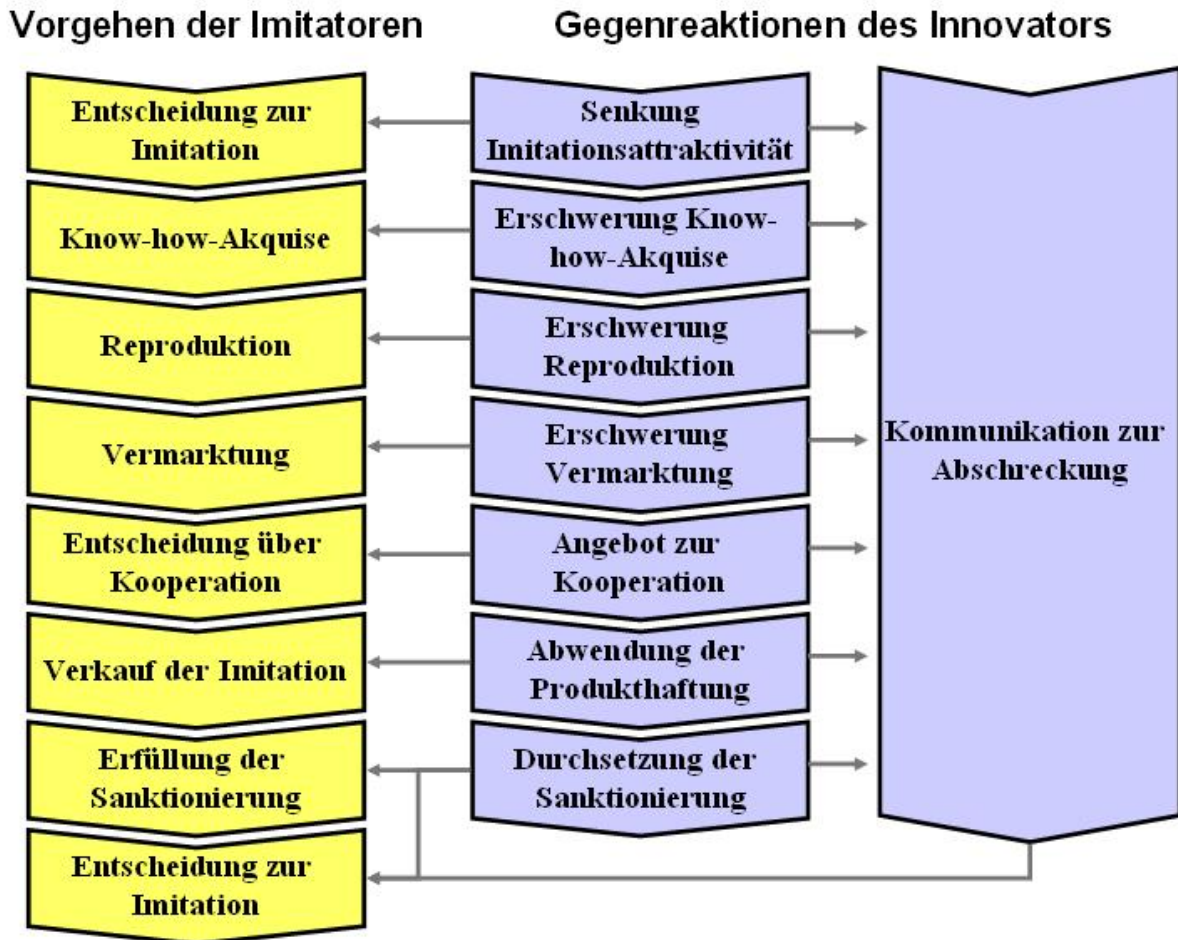


Abb. 6: [nach Neemann /NEE/] Vergleich Vorgehen Produktpirat mit Reaktion Innovator

Ein präventiver ganzheitlicher Schutz fokussiert hierbei auf die Bereiche Know-How-Akquise und Reproduktion und berücksichtigt ebenfalls die sogenannte Imitationsattraktivität und die Vermarktung. Betrachtet man typische Gegenmaßnahmen der Originalhersteller wie etwa:

- Erschwerung der Know-how-Akquise durch Maßnahmen zur Personalbindung, Chinese Walls, Kodifizierung von Dokumenten, Produktaktivierung, Sondervereinbarung zur Veröffentlichungsverpflichtungen, Dekompositionsbarrieren, Funktionale Black Boxes, Fake Black Boxes, etc. oder
- Erschwerung der Reproduktion durch De-Standardisierung, Erhöhung der Leistungsdichte, Eigenentwicklung von Betriebsmitteln, vertragliche Zuliefererbindung, Rationierung von Rohmaterialien etc.

so ist leicht zu erkennen, dass es sich im Grunde genommen um Maßnahmen aus den Bereichen technologisch-konstruktiver Schutz, Organisation und Kontrolle von Wissensflüssen handelt.

2.4 Strukturierung des Verbundprojektes

In der folgenden Abbildung ist die Aufgliederung des Verbundprojektes in die Querschnittsaufgaben QA1 – QA 4 über der zeitlichen Gliederung dargestellt. QA3 bildet hierbei die „Klammer“, die die übrigen Aufgabenbereiche in einer einheitlichen Methodik zusammenfasst (vgl. auch Abb. 4), das Ergebnis wird in Form eines Leitfadens veröffentlicht.



Abb. 7: Strukturierung des Verbundprojektes

Die Erarbeitung verschiedener Ansätze zu technisch-konstruktiven Schutzmaßnahmen sowie die Untersuchungen zu den organisatorischen Aspekten und dem Wissensflussmanagement werden von den Hochschulpartnern bei insgesamt 3 Firmenpaaren (Technologiepartnern) aus der Investitionsgüterindustrie durchgeführt. Durch die Auswahl verschiedener Firmen und (Produkt, Firmengröße, Markt) wird hierbei eine möglichst umfassende Sicht auf die Thematik angestrebt. Dabei bilden jeweils ein Originalhersteller und einer seiner Zulieferer ein Firmenpaar, welches untereinander gegenseitige Abhängigkeiten bewusst eingegangen ist.

3 Aktueller Stand

3.1 Technologieschutz

Ausgehend von einer Identifikation der Produktkernelemente werden diese auf ihre Relevanz für Produktpiraterie untersucht. Bei entsprechend sensiblen Kernelementen werden dann technologisch-konstruktive Lösungen zur Vermeidung oder Erschwerung der Kopie unter Anwendung bekannter Konstruktionsmethodiken gefunden. Hierzu sind Lösungskataloge in Entwicklung; die Methoden befinden sich derzeit in Überprüfung. Für die einfache Handhabung wird eine einfache Einbindung in übliche Konstruktionsprozesse angestrebt.

3.2 Aufbau- und Ablauforganisation

Nach eingehenden Analysen der Organisationsstruktur über die gesamte Wertschöpfungskette werden insbesondere die Lieferanten- und Supportprozesse untersucht und optimiert. Generell können bei der Analyse (mit Ansätzen zur Verschlinkung) Schnittstellen auf das wesentliche (Inhalt und Anzahl) reduziert werden, die Informationsflüsse an diesen Schnittstellen werden dann hinsichtlich der Wissensflüsse weiter beurteilt. Die Methoden hierzu wurden exemplarisch angewendet und werden derzeit validiert.

3.3 Wissensflussmanagement

Die Informations- und Wissensschnittstellen in den Wertschöpfungsnetzwerken, über die Information und Wissen das Unternehmen verlässt, werden identifiziert und formal in einem Modell beschrieben. Dabei dienen eine Checkliste sowie die Geschäftsprozessmodelle als Grundlage um alle Schnittstellen zu erkennen. Im Modell werden die an den Schnittstellen preisgegebenen Inhalte mit den Aktivitäten und Akteuren vernetzt.

Es hat sich gezeigt, dass Unternehmen sehr oft mehr als nötig preisgeben; die Ursachen liegen in mangelndem Bewusstsein des Risikos, in der historischen Entwicklung der Schnitt-

stellen („das war schon immer so...“) und dem – nicht immer gerechtfertigten – Vertrauen in den juristischen Schutz. Oft wird in Unternehmen nach Bauchgefühl entschieden, wem kritische Informationen anvertraut werden.

Mit einer systematischen Bewertung können die Risiken dieser Vorgehensweise erkannt werden und durch entsprechende Gegenmaßnahmen verringert werden.

4 Ausblick

Mit Abschluss des Verbundprojektes PROTACTIVE wird ein Leitfaden vorliegen, der neben Methoden zur Überprüfung des organisatorischen Umfeldes und des Wissensmanagements auch Methoden bereitstellt, die die Entwicklung von technisch-konstruktiven Schutzmaßnahmen unterstützen; dies umfasst die Anwendung bereits bekannter Methoden sowie neuartige Ansätze. Der Leitfaden zielt hierbei insbesondere auf die praktische Anwendung.

5 Literatur

[ENR] <http://enr.construction.com/products/equipment/2009/0304-FakeCranes.asp>

[NEE], C. W. Neeman: C. W. Neemann: Methodik zum Schutz gegen Produktimitation, Shaker Verlag Aachen

Alle Bilder, soweit nicht anders angegeben, Copyright Terex Corporation 2010

Übergreifende Dienste für die fälschungssichere Produkt-Authentifizierung und -Verfolgung in der Supply-Chain

Prof. Dr.-Ing. Michael Abramovici, Matthias Flohr, Andreas Krebs
Ruhr-Universität Bochum, Lehrstuhl für Maschinenbauinformatik (ITM)

Dirk Kunert
novero GmbH, Düsseldorf

Zusammenfassung

Angesichts der Bedrohung durch Produktpiraterie sind viele Unternehmen dazu gezwungen, wirksame Maßnahmen gegen Plagiate und Produktfälschungen zu ergreifen. Neben juristischen und organisatorischen Maßnahmen kommt insbesondere auch dem Einsatz von technischen Verfahren zum Schutz der Originalprodukte und -komponenten eine erhebliche Bedeutung zu. Im Rahmen des vom BMBF geförderten Projekts MobilAuthent wird eine RFID-basierte Lösung für die fälschungssichere Produktauthentifizierung und -verfolgung entlang der Supply-Chain und des Produktlebenszyklus entwickelt. Die Bausteine der entwickelten Lösung können entsprechend der unternehmens- und produktspezifischen Anforderungen zu einer integrierten Gesamtlösung kombiniert und konfiguriert werden. Dieser Beitrag stellt den Lösungsansatz sowie den aktuellen Stand der Arbeiten vor.

1 Einleitung

Plagiate und Produktfälschungen machen verschiedenen Schätzungen zur Folge mehr als 5% des Welthandelsaufkommens aus [1, 2]. Im Jahre 2007 schätzte der VDMA die durch Plagiate bedingten Jahresumsatzverluste des deutschen Maschinen- und Anlagenbaus auf sieben Milliarden Euro [3]. Neben einzelnen Komponenten und Ersatzteilen sind häufig auch ganze Maschinen von Plagiaten betroffen. Die Auswirkungen äußern sich u.a. in finanziellen Verlusten und Imageschäden für die betroffenen Anbieter und Marken sowie in Qualitätseinbußen und möglichen Gefahren für den Kunden. Nicht zuletzt ergeben sich hierbei insbesondere auch Probleme im Hinblick auf Haftungs- und Gewährleistungsfragen.

Zum Schutz vor Produktpiraterie wird im vom BMBF geförderten Projekt MobilAuthent eine Lösung in Form von RFID-basierten Services entwickelt und prototypisch realisiert, mit der Produkte einfach und effektiv auf ihre Authentizität hin überprüft werden können. Hierdurch sollen die Anwender in die Lage versetzt werden, Originalprodukte und -komponenten eindeutig und sicher von Nicht-Originalen (Nachbauten, Imitaten, Fälschungen) zu unterscheiden. Das Projektkonsortium besteht aus der novero GmbH (Projektkoordinator), dem Lehrstuhl für Maschinenbauinformatik (ITM) der Ruhr-Universität Bochum (Co-Koordinator), der escrypt GmbH, der DTE Automation GmbH sowie den Anwendungspartnern Presstec Pressentechnologie GmbH und Zeitlauf GmbH & Co. KG.

2 Anforderungen

Auf Basis der im Projekt durchgeführten Befragungen sowie Analysen von Angriffsszenarien und des Istzustandes bei den Projektpartnern sowie bei weiteren Unternehmen wurden die Kernanforderungen an die MobilAuthent-Lösung ermittelt. Diese Anforderungen werden im Folgenden kurz zusammengefasst:

2.1 Übergreifende Anforderungen

Durchgängigkeit: Eine Einschleusung von Fälschungen innerhalb fester Lieferbeziehungen mit vertrauenswürdigen Partnern ist zunächst eher unwahrscheinlich. Gelangen die Produkte jedoch z.B. im Rahmen globaler Lieferketten oder im After-Sales-/Ersatzteilgeschäft über weitere Kanäle (etwa diverse Zwischenhändler) an den (End-)Kunden, steigen die Anforderungen hinsichtlich der zu treffenden Schutzmaßnahmen. Die Produktauthentifizierung muss daher durchgängig über alle beteiligten Akteure in der Supply-Chain und im weiteren Produktlebenszyklus erfolgen können.

Globale Zugriffsmöglichkeit: Die Authentifizierungslösung muss von den Akteuren bei bestimmten Anwendungsfällen auch ortsunabhängig und unmittelbar ohne zusätzliche technische Infrastrukturen eingesetzt werden können. Daher ist insbesondere auch ein mobiler Einsatz der Lösung zu gewährleisten.

Sicherheit: Die Lösung muss einen für das zu schützende Produkt hinreichend hohen Schutz gegenüber Fälschungen bieten, der dazu führt, dass ein Angriff mit realistischem bzw. vertretbarem Aufwand nicht zu realisieren ist. Alle Bestandteile der Lösung (Produktkennzeichnung, eingesetzte Verfahren zur Überprüfung, die Softwarekomponenten sowie die Kommunikation) müssen entsprechend abgesichert werden.

Flexibilität und Konfigurierbarkeit: Die konkreten technischen Anforderungen sind abhängig von den jeweils zu betrachtenden Produkttypen und Unternehmen. Die Lösung muss daher entsprechend dieser speziellen Anforderungen flexibel anpassbar und konfigurierbar sein. Dies betrifft zum Beispiel die Auswahl und Abbildung der zu schützenden Komponenten sowie deren relevanter Produktdaten, die Art des Zugriffs, die Integration mit vorhandenen Lösungen sowie das Niveau des Fälschungsschutzes und der damit verbundenen Kosten. Eine entsprechende Flexibilität und Konfigurierbarkeit ist sowohl für einen wirtschaftlichen als auch einen branchenübergreifenden Einsatz der Lösung notwendig.

2.2 Anforderungen an die Produktkennzeichnung

Die einzelnen Exemplare der Produkte und Produktkomponenten („Produktindividuen“) müssen auf Unikatsebene eindeutig und fälschungssicher gekennzeichnet werden können. Die Kennzeichnungstechnologie muss hierbei robust gegenüber den herrschenden Umgebungsbedingungen sein, sich für die eingesetzten Materialien und Werkstoffe eignen und darf die Funktionsfähigkeit der Produkte nicht beeinträchtigen. Auf Basis einer individuellen Produktkennzeichnung lässt sich eine Reihe von weiteren zusätzlichen Anwendungen (z.B. Produkt-Rückverfolgbarkeit) realisieren. Möchte man solche Synergieeffekte nutzen, muss die Produktkennzeichnungstechnologie auch den Anforderungen hinsichtlich dieser weiteren Einsatzzwecke genügen.

2.3 Anforderungen an die Servicefunktionalitäten

Um die Originalprodukte über die Supply-Chain und den weiteren Produktlebenszyklus hinweg vor Produktfälschungen zu schützen, sollte die Lösung folgende Kernfunktionalitäten bieten, die in Form von IT-Services zu erbringen sind:

- Überprüfung und fälschungssicherer Nachweis der Echtheit der einzelnen gekennzeichneten Produkte bzw. Produktkomponenten
- Überprüfung der Ist-Konfiguration des Produktindividuums und Abgleich mit der Originalkonfiguration des vom Hersteller in Verkehr gebrachten Originalproduktes
- Logistische Verfolgung der Produktindividuen und Möglichkeiten zur Überprüfung der Trackinghistorie auf Plausibilität
- Abbildung, Verwaltung und Bereitstellung der für den Produktschutz relevanten zusätzlichen produkttypbezogenen und produktindividuellen Daten

3 Konzept

Der im Projekt entwickelte Lösungsansatz [4, 5] basiert auf dem Einsatz der RFID-Technologie zur individuellen Kennzeichnung, Verfolgung und Authentifizierung der zu schützenden Originalprodukte und -komponenten. Die Auswahl und Implementierung einer geeigneten RFID-Technologie für das metallische Umfeld steht hierbei im Vordergrund. Mithilfe von RFID-Tags, welche über spezielle Krypto-Chips verfügen (Krypto-RFID-Tags), können produktseitig kryptographische Operationen durchgeführt werden sowie die hierbei notwendigen geheimen Informationen (Schlüssel) in einem geschützten Bereich im RFID-Tag und somit direkt am Produkt abgelegt werden. Dies sind notwendige Voraussetzungen für die Implementierung kryptographisch sicherer Authentifizierungsprotokolle. Neben stationären Geräten sind für das Auslesen der RFID-Tags sowie den Servicezugriff außerhalb fester IT-/RFID-Infrastrukturen mobile Lesegeräte vorgesehen.

Durch den Einsatz von RFID, die durchgängige Verfolgung der Produkte entlang des gesamten Produktlebenszyklus sowie die Möglichkeit des mobilen Zugriffs lassen sich darüber hinaus eine Reihe weiterer Anwendungen realisieren. Zu nennen sind hier z.B. die Steuerung, Überwachung und Dokumentation von Logistik- und Produktionsprozessen, die Produktrückverfolgbarkeit („Traceability“) für den Fall von Produktfehlern oder Qualitätsproblemen sowie die Unterstützung bei der Realisierung ganzheitlicher Konzepte für ein produktindividuelles Informations- und Wissensmanagement entlang des Produktlebenszyklus [6].

Um den verschiedenen unternehmens- und produktspezifischen Anforderungen Rechnung tragen zu können, umfasst das MobilAuthent-Konzept vier Lösungsbausteine (Abbildung 1), die den Anforderungen entsprechend zu einer integrierten Gesamtlösung kombiniert und konfiguriert werden können. Durch ein stufenbasiertes Sicherheitsmodell können das benötigte Niveau an Fälschungssicherheit und die damit verbundenen Kosten für den Anwender skalierbar gestaltet werden.



Abb. 1: Lösungsbausteine und Basisfunktionalitäten der MobilAuthent-Lösung

3.1 Lösungsbausteine

Die fälschungssichere **Produktkennzeichnung** bildet die Basis der weiteren Lösungsbausteine und umfasst zum einen spezielle Anbringungs- bzw. Integrationsmethoden der RFID-Tags an bzw. in die zu schützenden Produkte und Produktkomponenten. Diese Methoden sind so ausgelegt, dass sie Umetikettierungsversuche verhindern, d.h. der RFID-Tag kann nicht unerkannt von einem Originalprodukt abgelöst und an ein anderes Produkt (oder Plagiat) angebracht werden. Derartige Versuche führen entweder zu einer Zerstörung des RFID-Tags oder können zumindest optisch bzw. datentechnisch sicher und eindeutig erkannt werden. Zum anderen verhindert der Einsatz von Krypto-RFID-Tags, dass die für die Authentifizierung verwendeten geheimen Informationen (Schlüssel) von Dritten unbefugt aus dem Tag ausgelesen und auf einen anderen Tag kopiert werden.

Im Rahmen der **Produktauthentifizierung** werden die gekennzeichneten Produkte bzw. Produktkomponenten mithilfe kryptographischer Algorithmen und Protokolle auf ihre Echtheit hin überprüft. Zum Einsatz kommen hierbei lediglich solche Verfahren, die offengelegt sind und als anerkannt sicher gelten. Bei der Produktauthentifizierung kommunizieren der MobilAuthent-Service und der fälschungssicher am Produkt angebrachte Krypto-RFID-Tag entsprechend des Authentifizierungsprotokolls miteinander. Der Krypto-RFID-Tag ist neben der sicheren Schlüsselspeicherung in der Lage, die hierzu notwendigen produktseitigen mathematischen/kryptographischen Operationen durchzuführen.

Die **Produktverfolgung** (Tracking & Tracing) ist der dritte Baustein des MobilAuthent-Konzepts und dient insbesondere zwei Zwecken: Einerseits können beim Tracking die Verbauungen der Originalkomponenten zu den übergeordneten Originalprodukten individuell erfasst und dokumentiert werden. Im Rahmen späterer Überprüfungen lassen sich Abweichungen der tatsächlichen Konfiguration von der Originalkonfiguration feststellen. Von besonderer Bedeutung ist dies für den Fall, dass der Hersteller die Produktfunktionalität und/oder -sicherheit nur in der Originalkonfiguration garantieren kann. Andererseits kann auf Basis der Erfassung des logistischen Material- bzw. Produktflusses eine Überprüfung der Trackinghistorie in Hinblick auf ihre Plausibilität vorgenommen werden. Dies kann ergänzend zur eigentlichen Produktauthentifizierung geschehen oder im alleinigen Einsatz vorrangig für niederpreisige oder nicht funktions- oder sicherheitskritische Produkte. Daneben können auf Basis der Produktverfolgung auch die Produktrückverfolgbarkeit bei Produktfehlern oder Qualitätsproblemen sowie weitere Anwendungen realisiert werden.

Im Rahmen des Bausteins **Verwalten und Bereitstellen produktindividueller Daten** können beim MobilAuthent-Service von den Unternehmen definierte produktindividuelle Daten hinterlegt werden, die relevante Eigenschaften des Produktes beschreiben und von anderen Akteuren in der Supply-Chain abgerufen werden können. Der MobilAuthent-Service fungiert hierbei als interessensneutrale Instanz und stellt die Datenauthentizität sicher.

3.2 Lösungskonfiguration in der Supply-Chain und im Produktlebenszyklus

Die unternehmens- und produktspezifische **Kombination und Konfiguration** der Lösungsbausteine richtet sich nach einer Reihe von Faktoren, wie z.B.:

- Produktbezogene Faktoren, wie z.B. Produktstruktur, Sicherheitsrelevanz, Preisniveau und Fälschungsrisiko
- Umgebungsbedingungen, Bedrohungsszenarien und Angriffspunkte
- Bestehende inner- und überbetriebliche Unternehmensprozesse und IT-Systeme in Logistik, Produktion und Vertrieb
- Vertretbare Kosten bzw. Wirtschaftlichkeitsanforderungen an die Lösung

Die Ausprägung dieser Faktoren beeinflusst unter anderem die Auswahl der zu schützenden Produkte/Komponenten, die Position und Dichte der Erfassungs- und Authentifizierungs-

punkte, die Festlegung weiterer einzubeziehender produkttypbezogener bzw. produkt-individueller Daten, die Notwendigkeit der Integration mit bestehenden IT-Systemen sowie die Anforderungen an die RFID-Kennzeichnungstechnologie (Robustheit, Anbringungsmöglichkeiten und Zugänglichkeit).

Die individuell kombinier- und konfigurierbaren Lösungsbausteine bzw. die zugehörigen Basisfunktionalitäten können von den verschiedenen Akteuren in der Supply-Chain bzw. im Produktlebenszyklus genutzt werden (Abbildung 2). Hierbei handelt es sich u.a. um Zulieferer verschiedener Stufen sowie um den OEM (Produktherstellung), um Händler (Produktdistribution), Anwender (Produktnutzung) sowie Hersteller bzw. Service-Dienstleister in Wartung/Instandhaltung und Entsorgung/Recycling. Ebenso können die zwischen den genannten Akteuren befindlichen Logistikdienstleister, die mit der Durchführung von TUL-Prozessen (Transportieren, Umschlagen, Lagern) betraut sind, die MobilAuthent-Lösung nutzen. So können die individuellen Produkte und Produktkomponenten über ihren gesamten Lebenszyklus hinweg durchgängig verfolgt und authentifiziert werden.

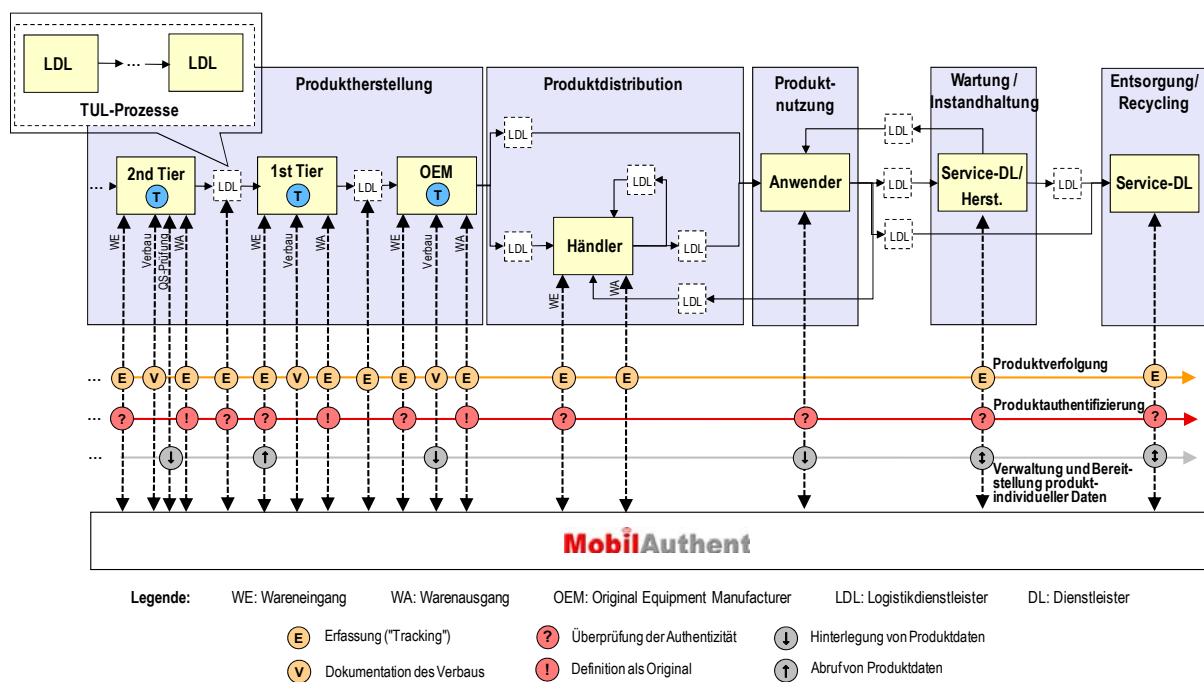


Abb. 2: Kombination und Konfiguration der Lösungsbausteine in der Supply-Chain und im Produktlebenszyklus

3.3 Stufenbasiertes Sicherheitsmodell

Das stufenbasierte Sicherheitsmodell (Abbildung 3) bietet die Möglichkeit, für unterschiedliche Produkte bzw. Anforderungen das benötigte Niveau an Fälschungssicherheit und die damit verbundenen Kosten für den Anwender skalierbar zu gestalten.

Die **erste Stufe (Grundstufe)** des Sicherheitsmodells umfasst von allen drei Stufen das geringste Niveau an Sicherheit gegenüber Produktfälschungen sowie an dafür anfallenden Kosten. Sie bietet lediglich eine Identifizierung gekennzeichnete Produkte und Komponenten basierend auf Seriennummern gewöhnlicher RFID-Transponder und ggf. eine zusätzliche Überprüfung anhand der beim MobilAuthent-Service hinterlegten Daten, wie z.B. der Trackinghistorien.

Die **zweite Stufe** des Sicherheitsmodells bietet mittels der zusätzlichen auf kryptographischen Verfahren basierenden Authentifizierung ein höheres Sicherheitsniveau. Bedingt durch die höheren anfallenden Kosten (z.B. für den RFID-Krypto-Tag) eignet sich die

zweite Sicherheitsstufe vor allem für höherpreisige oder sicherheitsrelevante Produkte. Diese Stufe bildet den Schwerpunkt der Projektarbeiten.

Die **dritte Stufe** beinhaltet eine Erweiterung der Funktionen der zweiten Stufe um eine logische Verknüpfung des RFID-Krypto-Tags mit dem gekennzeichneten Produkt. Hierbei werden eindeutige Merkmale (z.B. Mikro- oder Nanostruktur) des jeweiligen Produkt-individuums erfasst und mit dem RFID-Krypto-Tag assoziiert. Hierdurch kann der Versuch des Umetikettierens von Tags nicht nur physisch, sondern auch datentechnisch erkannt und nachgewiesen werden. Eine ähnliche Form der logischen Verknüpfung wurde bereits für den Schutz von Banknoten mittels RFID-Transpondern vorgeschlagen [7]. Dort werden Daten spezieller physischer Merkmale von Banknoten in eine auf einem RFID-Transponder gespeicherte digitale Signatur einbezogen.

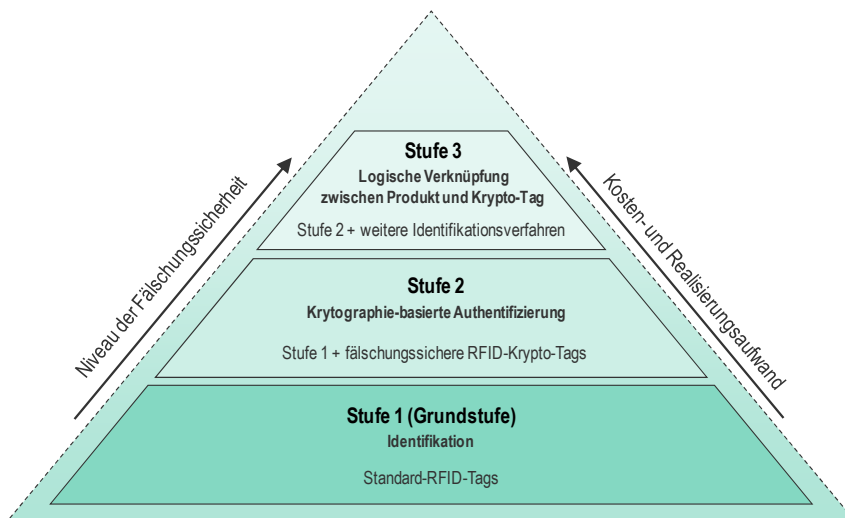


Abb. 3: Stufenbasiertes Sicherheitsmodell zur Produktauthentifizierung

4 Realisierung der Authentifizierungslösung

Die im Rahmen des Projekts zu entwickelnde Lösung umfasst zum einen die bereits erwähnten Hardwarekomponenten (Krypto-RFID-Tags, stationäre bzw. mobile Geräte für das Auslesen der RFID-Tags und den Servicezugriff). Zum anderen beinhalten die Projektarbeiten die Implementierung der notwendigen Softwarekomponenten, die auf dem MobilAuthent-Server bzw. auf den Nutzer-Endgeräten ausgeführt werden und die Servicefunktionalitäten realisieren (Abbildung 4).

4.1 Softwarekomponenten

Die im Rahmen einer Produktüberprüfung vom Servicenutzer gestellten Anfragen werden durch die **Entscheidungskomponente** bearbeitet. Diese Komponente überprüft die Authentifizierungsschlüssel sowie ggf. je nach Anwendungsfall weitere Produktdaten. Das Management der zur kryptographischen Authentifizierung erforderlichen Schlüssel wird serverseitig durch die **Schlüsselverwaltungskomponente** realisiert. Die Schlüssel werden hierbei auf besonders gesicherte Weise gespeichert und können auch - falls erforderlich - individuell gesperrt werden. In der **Produktdatenbank** werden die von den Unternehmen festgelegten Produktdaten in Bezug zum individuellen Produktexemplar vorgehalten. Die Nutzer interagieren mit dem Server bei manuellen Zugriffen über eine Client-Applikation, die auf den mobilen Geräten bzw. auf dem mit dem Reader verbundenen PC installiert ist.

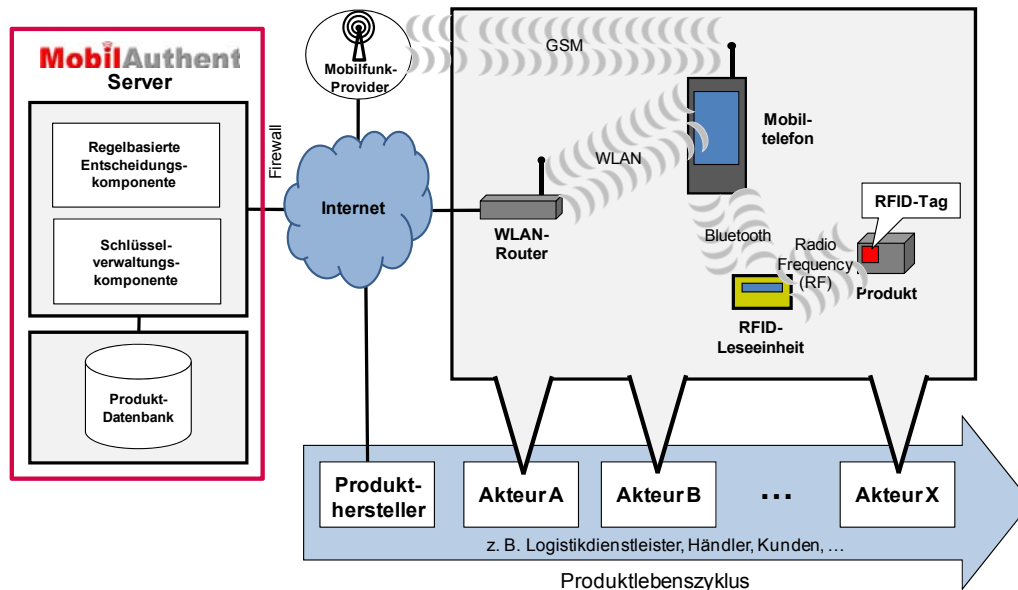


Abb. 4: Komponenten der MobilAuthent-Lösung

4.2 Nutzung der Authentifizierungslösung durch den Anwender

Die Nutzung des MobilAuthent-Services zur Produktauthentifizierung umfasst im Wesentlichen drei Einsatzszenarien: Anlegen/Abbildern der typbezogenen Datenstruktur beim Service, Registrieren von Produktindividuen sowie Überprüfen von Produktindividuen. Diese Anwendungsszenarien werden im Folgenden kurz beschrieben:

Anlegen/Abbildern der typbezogenen Datenstruktur

Bevor ein Unternehmen seine Produkte mithilfe des MobilAuthent-Services schützen kann, müssen zunächst die betreffenden Typen von Produkten bzw. Komponenten beim Service abgebildet werden. Hierbei werden die Struktur sowie die relevanten Parameter definiert, die später für die einzelnen Produktindividuen dieses Typs erfasst und überprüft werden können. Das Anlegen eines neuen Produkttyps in der Datenbank des Servers kann direkt von den Anwenderunternehmen vorgenommen werden.

Registrieren von Produktindividuen

Die zu schützenden Produktindividuen werden innerhalb oder nach der Fertigung beim MobilAuthent-Service registriert. Hierbei wird jeweils ein RFID-Transponder appliziert bzw. integriert, initialisiert und mit dem Produktindividuum in der Datenbank verknüpft. Anschließend werden die für den betreffenden Produkttyp definierten zusätzlichen Parameter mit den konkreten Werten des Individuums belegt. Diese Tätigkeiten erfolgen entweder automatisiert oder werden manuell von den Mitarbeitern der Anwenderunternehmen vorgenommen.

Überprüfung von Produktindividuen

Das Überprüfen von Produktindividuen auf Echtheit kann von jedem (ggf. beim Service registrierten) Teilnehmer der Supply-Chain oder Kunden vorgenommen werden. Im Rahmen des Überprüfungsvorgangs wird zunächst mit Hilfe eines RFID-Readers der auf dem Produktindividuum angebrachte RFID-Transponder ausgelesen und anschließend das Authentifizierungsprotokoll zwischen dem MobilAuthent-Server und dem RFID-Krypto-Tag durchgeführt. Ebenso wird überprüft, ob der betreffende Schlüssel bzw. Tag ggf. gesperrt ist.

Bei der nichtkryptographischen Produktidentifikation (Stufe 1 des Sicherheitsmodells) kann anstelle der kryptographischen Authentifizierung eine Überprüfung der vorhandenen Daten des Produktindividuum in Hinblick auf Plausibilität vorgenommen werden. Das Ergebnis der serverseitigen Überprüfung sowie Daten zum Produktindividuum (z.B. ein Bild des Produktes) werden an den Client gesendet und versetzen den Anwender/Nutzer in die Lage, zu bewerten, ob ein Original vorliegt.

5 Demonstrator

Innerhalb des Projekts wird der vorgestellte Lösungsansatz zunächst prototypisch in Form eines Demonstrators realisiert. Der Demonstrator umfasst zwei mit Krypto-Tags gekennzeichnete Originalkomponenten, ein stationäres und ein mobiles RFID-Lesegerät, die Client-Applikation sowie den MobilAuthent-Server. Der Server ist mithilfe des Applikationsservers *JBoss* sowie dem Datenbank-Managementsystem *mySQL* implementiert, die beide kostenfrei und als Open-Source verfügbar in stabilen Versionen vorliegen und skalierbar sind. Anhand des Demonstrators sollen die wesentlichen Anwendungsfälle der MobilAuthent-Lösung (Anlegen/Abbilden der typbezogenen Datenstruktur, Registrieren und Überprüfen der Produktindividuen) für exemplarische Bauteile der im Projekt vertretenen Anwendungspartner Presstec und Zeitlauf gezeigt werden. Diese mit RFID-Krypto-Tags versehenen Produktkomponenten können mithilfe der RFID-Lesegeräte unter Einsatz der implementierten kryptographischen Verfahren authentifiziert werden. Die Lesegeräte fungieren hierbei lediglich als Relay und gelangen nicht in Besitz der verwendeten Authentifizierungsschlüssel. Der Anwender interagiert mit dem Demonstrator über die Client-Applikation, die auf dem mobilen Gerät bzw. auf dem am stationären Reader angeschlossenen Rechner installiert ist.

6 Ausblick

Nach Fertigstellung des Demonstrators/Prototyps wird die entwickelte Lösung im realen Umfeld bei den Anwendungspartnern evaluiert und optimiert. Parallel dazu wird an der Ruhr-Universität Bochum ein Plagiatschutz-Labor aufgebaut, das sowohl für die Studierenden als auch für künftige potentielle Anwender als Lern- und Experimentierumgebung genutzt werden soll. Die Erweiterung und Anpassung des Systems im Hinblick auf den Einsatz in anderen Branchen sowie die Entwicklung von Geschäftsmodellen sind einige der Schwerpunkte der zukünftigen Projektarbeiten.

Literatur:

- [1] Blind, K.; Cuntz, A.; Köhler, F.; Radauer, A.: Die volkswirtschaftliche Bedeutung geistigen Eigentums und dessen Schutzes mit Fokus auf den Mittelstand, Endbericht, Studie im Auftrag des Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie, 2009
- [2] Möller, D.; Köblitz, H.; Helmreich, S.; Mix, A.; Mies, D.: Schön falsch. Echt gefährlich. Gefälschte Produkte gefährden Gesundheit und Arbeitsplätze, Hrsg.: Aktionskreis gegen Produkt- und Markenpiraterie (APM) e.V., 2008
- [3] Ergebnisse der VDMA-Untersuchung Produkt- und Markenpiraterie in der Investitionsgüterindustrie 2008, Verband Deutscher Maschinen- und Anlagenbau (VDMA) e.V., 2008
- [4] Abramovici, M.; Flohr, M.; Krebs, A.: RFID-basierte Services für die fälschungssichere Authentifizierung und Verfolgung von Produkten - Ein flexibles Konzept zur integrierten Produkt-Verfolgung und -Authentifizierung entlang der Supply-Chain. In: *Industrie Management* 25 (2009) 5, S. 47-50, GITO-Verlag
- [5] Abramovici, M.; Flohr, M.; Kunert, D.: Produkte mittels RFID-Technologie fälschungssicher authentifizieren und verfolgen. In: *Intelligenter Produzieren* 5/2009, S. 24-25, VDMA-Verlag
- [6] Abramovici, M.; Bellalouna, F.; Flohr, M.: Integrated Product Traceability along the Supply Chain in the Automotive Industry. In: *Proceedings of the 15th CIRP International Conference on Life Cycle Engineering (LCE 2008)*, The University of New South Wales, Sydney, Australia, 17-19 March 2008, pp. 432-437
- [7] Juels, A.; Pappu, R.: Squealing Euros: Privacy Protection in RFID-Enabled Banknotes. In: Wright, R.N. (Ed.): *Financial Cryptography. Proceedings of the 7th International Conference, FC2003*, Guadeloupe, French West Indies, January 27-30, 2003. Springer (LNCS 2742), 2003, pp. 103-121

Integrierter Produktpiraterieschutz durch Kennzeichnung und Authentifizierung von kritischen Bauteilen im Maschinen- und Anlagenbau

Dipl.-Ing. Ulrich Doll

Homag Holzbearbeitungssysteme AG, Schopfloch

Zusammenfassung

Der durch Produktpiraterie entstehende Schaden verursacht weltweit einen volkswirtschaftlichen Gesamtschaden von 360 bis 650 Milliarden Euro pro Jahr mit einer zunehmenden Tendenz. Speziell im Maschinen- und Anlagenbau stehen die Unternehmen vor dem Problem, dass neben ganzen Maschinen insbesondere die für die Funktion der gesamten Maschine bzw. Anlage kritischen Komponenten und Ersatzteile kopiert werden. Neben den direkten Umsatzausfällen sieht sich der Maschinenhersteller im Falle eines Versagens der Piraterieware mit Ansprüchen des Kunden konfrontiert, die zugesagten Verfügbarkeiten und Leistungen der Maschine einzuhalten. Gravierende Folgen können sich auch im Zusammenhang mit einer möglichen Produkthaftung und drohenden Schadensersatzklagen ergeben, da der Einsatz von gefälschten Komponenten sowohl zu Schäden an Maschinen und Anlagen als auch zur Gefährdung insbesondere der Anwender führen kann. Um kritische Bauteile in Maschinen und Anlagen wirksam vor Produktpiraterie zu schützen, müssen diese sicher als Originale erkennbar sein. Im Rahmen des durch das BMBF geförderten und vom Projektträger Karlsruhe (PTKA) betreuten Verbundprojektes ProAuthent haben sich sechs Unternehmen und drei Lehrstühle das Ziel gesetzt, aufbauend auf einer systematischen Auswahlmethodik, für relevante Bauteile eine jeweils technisch und wirtschaftlich geeignete Kennzeichnungstechnologie zu identifizieren und zu implementieren. Durch die Kennzeichnung der Originalbauteile sowie die strukturierte Aufnahme, Speicherung und Auswertung von Echtheitsinformationen werden neben einem rechtlich abgesicherten präventiv wirkenden Produktpiraterieschutz vielfältige Zusatznutzen möglich und in einem IT-gestützten Schutzsystem realisiert. Anhand von Pilotanwendungen wird das System bei den beteiligten Anwenderunternehmen evaluiert, um zukünftig Produktpiraterie wirksam vermeiden zu können.

1 Ziele des Forschungsprojektes ProAuthent

Produktpiraterie entwickelt sich zunehmend zu einer Bedrohung für die produzierende Industrie und die Volkswirtschaft Deutschlands. Dieses weltweite Phänomen verursacht bei den Originalherstellern jährliche Umsatzverluste von 5-9 % [1]. Doch trotz der hohen Aufmerksamkeit in Öffentlichkeit, Politik und Wirtschaft fehlt es noch immer an wirkungsvollen Methoden und ausgereiften Technologien zum tatsächlichen Schutz der Produkte [1]. Der Maschinen- und Anlagenbau ist nach einer Umfrage des Deutschen Industrie- und Handelskammertags (DIHK) und des Aktionskreises gegen Produkt- und Markenpiraterie (APM e.V.) zusammen mit dem Automobilbau, der Umwelttechnik und der Konsumgüterindustrie eine der in Deutschland am meisten von Produkt- und Markenpiraterie betroffenen Branche [2]. Ziel der Fälscher sind dabei neben vollständigen Maschinen vor allem lukrative Komponenten und Ersatzteile [1, 3].

Im Forschungsprojekt ProAuthent arbeiten die in ihren jeweiligen Bereichen führenden Unternehmen des Maschinen- und Anlagenbaus

- Homag Holzbearbeitungssysteme AG, Schopfloch;
- Multivac Sepp Haggenmueller GmbH & Co. KG, Wolfertschwenden;
- Müller Martini GmbH, Ostfildern-Kemnat;
- Vollmer Werke Maschinenfabrik GmbH, Biberach/Riss,

ein Unternehmen für Kennzeichnungstechnologien

- Schreiner Group GmbH & Co. KG, Oberschleißheim,

ein IT-Systemhaus

- Infoman AG, Stuttgart

sowie drei renommierte Forschungseinrichtungen der Technischen Universität München

- Lehrstuhl für Fördertechnik Materialfluss Logistik
- Lehrstuhl für Betriebswirtschaft Unternehmensführung, Logistik und Produktion
- Lehrstuhl für Wirtschaftsrecht und Geistiges Eigentum

zusammen, um gemeinsam ein wirkungsvolles Schutzsystem gegen Produktpiraterie zu realisieren. Ziel des Forschungsprojekts ist es, für Unternehmen und ihre Kunden erstmals einen integrierten Schutz vor Piraterieware durch eine fälschungssichere Überprüfung der Echtheit von Produkten und ihrer Komponenten entlang der Wertschöpfungs- und Logistikkette sowie integriert am Produkt über die Produktlebensdauer zu realisieren. Es wird ein umfassendes, präventiv wirkendes Produktpiraterieschutzsystem entwickelt, so dass zukünftig die Inbetriebnahme von gefälschten Komponenten und Ersatzteilen mit ihren schädlichen Folgen im Maschinen- und Anlagenbau effektiv verhindert werden kann. Die dabei entwickelte Lösung soll zudem einen hohen Kundennutzen durch den Produktpiraterieschutz und integrierte neue Dienstleistungen und Produktfunktionalitäten bieten.

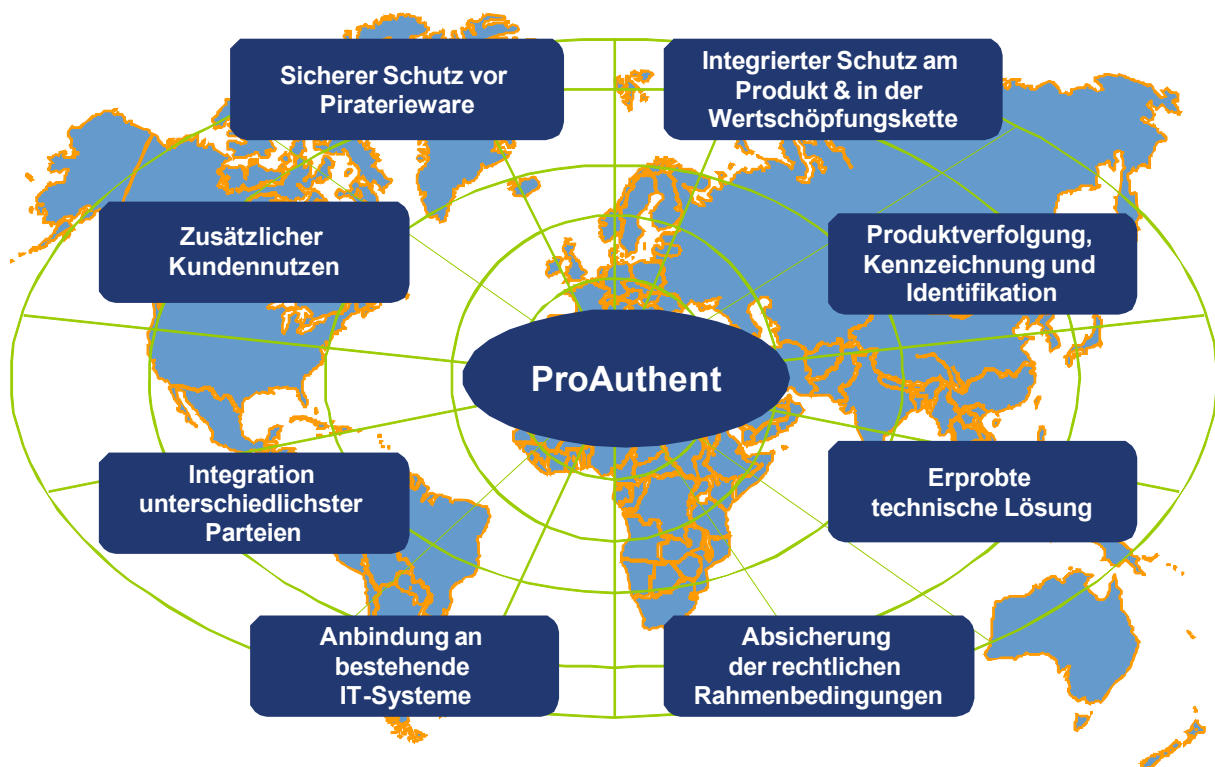


Abb. 1: Ziele des Forschungsprojektes ProAuthent

Derzeit bestehen keine technischen Lösungen, die den Anforderungen an die sichere Authentifizierung eines Produkts und das Erkennen von Piraterieware in der logistischen Kette bis zum Einsatz gerecht werden. Aus diesem Grund ist es Ziel des Konsortiums ein innovatives Schutzsystem zu entwickeln, welches den umfangreichen Angriffsmöglichkeiten von Produktpiraten entgegen treten kann. Hierzu müssen die technologischen Hürden der verschiedenen Kennzeichnungs- und Erkennungssysteme überwunden und die Fälschungs- und Manipulationssicherheit gewährleistet werden. Zur selbständigen Durchführung der

Bauteilauthentifizierung können auch neue Produktgestaltungen (z.B. die Integration von dezentraler „Prüfintelligenz“) einen wichtigen Beitrag leisten.

Kern der Forschungsarbeit ist zum Einen die Nutzung und Weiterentwicklung von zur Integration in Komponenten und Bauteile geeigneten Kennzeichnungs- und Authentifizierungstechnologien und zum Anderen die Entwicklung eines IT-gestützten Systems zur Produktverfolgung. Diese technische Lösung wird bei den Anwenderunternehmen prototypisch in Pilotanwendung umgesetzt. Neben der anspruchsvollen technischen Realisierung des Schutzsystems ist die Gestaltung der entsprechenden unternehmensübergreifenden Prozesse und Schnittstellen entscheidend.

Zu Beginn des Projektes wird daher geklärt, wo und wann die Bauteile und Produkte gekennzeichnet werden müssen, welche Kontroll- und Steuerungsinstanzen in der Wertschöpfungskette einzurichten sind und wie Zulieferer, Originalteilehersteller, Händler, Kunden und Behörden die Originalware selbstständig und dezentral auf Echtheit prüfen können. Darüber hinaus muss das Schutzsystem, um auf dem Markt erfolgreich zu sein, den Kosten-Nutzen-Aspekten gerecht werden, den Kunden wertvolle Zusatznutzen bieten sowie zwingend juristische Aspekte berücksichtigen.

Mit den Ergebnissen des Forschungsprojekts und der dadurch ermöglichten eindeutigen Unterscheidbarkeit von Original und Piraterieware wird die notwendige Transparenz bezüglich der Echtheit von Bau- und Ersatzteilen geschaffen. Mit ihr wollen die anwendenden Forschungspartner das Einschleusen von Piraterieware in die logistische Kette bis zum Einsatz in Maschinen und Anlagen effektiv verhindern. Die Integration der Kundenwünsche in die technische Spezifikation der Lösung, die Sicherstellung der Kompatibilität zu verbreiteten Standard-Softwaresystemen und die rechtliche Absicherung sind geeignet, letztlich eine hohe Akzeptanz des Systems und damit einen marktreifen Ansatz zu ermöglichen. Dieser soll bereits während der Laufzeit des Projektes vorwettbewerblich umgesetzt und nach der Einführung in weiteren Schritten auf andere Branchen übertragen werden.

2 Bedrohungspotenzial durch Produktpiraterie

Die Basis der Arbeiten im Forschungsprojekt ProAuthent stellt eine Analyse des heutigen Bedrohungspotenzials bei den beteiligten Anwenderunternehmen des Maschinen- und Anlagenbaus dar. Analog zu den Ergebnissen der Studie des VDMA sind auch die am Projekt beteiligten Unternehmen von Nachbauten kompletter Maschinen betroffen. Dabei zeigt sich, dass dieses Bedrohungspotenzial stark von der Komplexität der Maschine und dabei insbesondere von der Maschinensteuerung abhängig ist. Eine hohe Komplexität macht einen Nachbau wesentlich aufwändiger und damit deutlich weniger lukrativ für Nachahmer. In gleichem Maße wächst allerdings das Bedrohungspotenzial für den Nachbau einzelner Komponenten und Baugruppen. Für den Hersteller wirft diese Tatsache eine Reihe von Problemen auf: Zunächst ist das After-Sales-Geschäft mit Ersatz- und Verschleißteilen ein zunehmend wichtiger Bestandteil der Unternehmensstrategie, das in nicht unerheblichen Maß zum Umsatz und Ergebnis beiträgt. Darüber hinaus leistet das Ersatzteilgeschäft auch einen ganz wesentlichen Beitrag zur Kundenbindung und bildet damit die Basis für die Neumaschinenverkäufe in der Zukunft. Außerdem weisen die Nachbauten in der Regel eine deutlich schlechtere Qualität auf als die Originalteile, was natürlich zu einer Unzufriedenheit beim Kunden und einem nachhaltigen Imageschaden beim Originalhersteller zur Folge hat. Die Qualitätsmängel können sogar so weit führen, dass die Nachbauten an der Maschine Folgeschäden verursachen, die im schlimmsten Fall sogar zu Personenschäden führen.

Gerade in Zeiten, in denen auch die Betreiber von Maschinen- und Anlagen einer wirtschaftlich schwierigen Situation gegenüber stehen, wächst die Bereitschaft, bewusst Komponenten einzusetzen, die nicht vom Originalhersteller stammen. Da diese Entscheidung gerade in größeren Unternehmen jedoch nicht vom Maschinenverantwortlichen sondern vom Einkauf getroffen werden, wirken sich die imageschädigenden

Aspekte noch stärker aus, da Leistungseinbußen seitens des Bedienpersonals direkt dem Hersteller und nicht dem Produktpiraten zugeordnet werden.

Bei der Analyse der heute betroffenen Bauteile hat sich gezeigt, dass nicht – wie zunächst vermutet – überwiegend hochwertige Komponenten kopiert werden, mit denen am Markt ein entsprechender Preis erzielt werden kann. Das Spektrum der Bauteile reicht von hochkomplexen intelligenten Komponenten mit hohem Wert bis zu einfachen mechanischen Bauteilen, die dafür in hoher Stückzahl und verhältnismäßig geringem Aufwand kopiert werden können. In Bild 2 sind exemplarisch zwei Komponenten gegenübergestellt, die das Spektrum der Bedrohung aufzeigen.

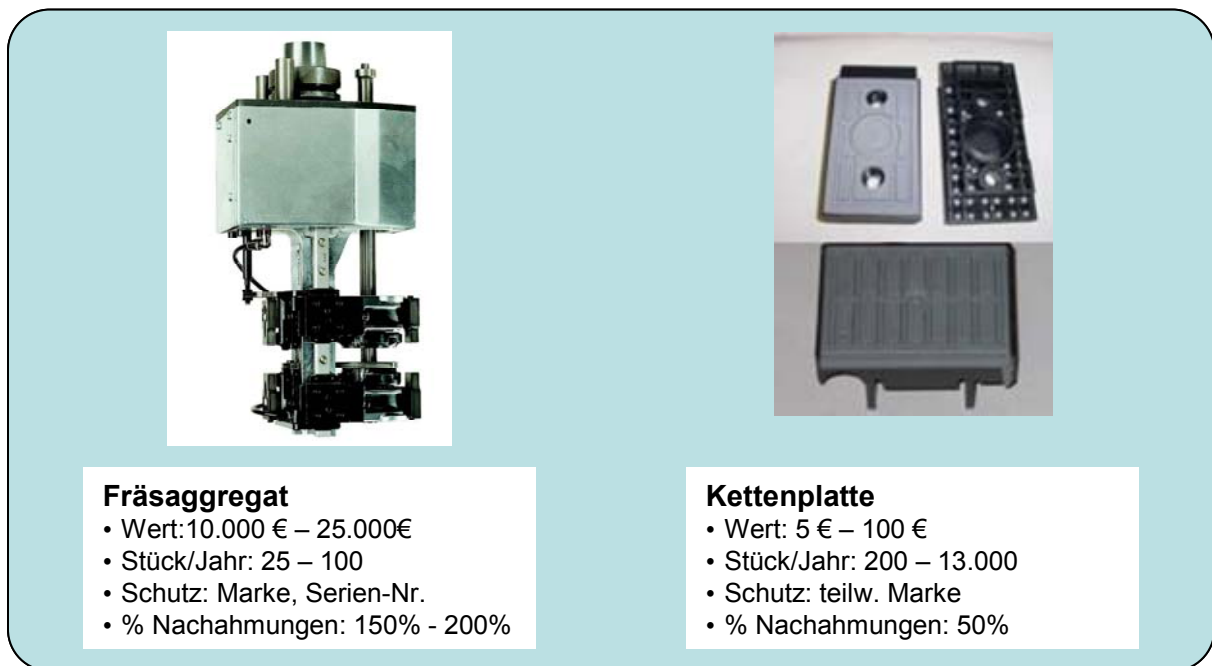


Abb. 2: Beispiele für gefährdete Bauteile

Gerade bei einfachen Komponenten wie der Kettenplatte zeigt sich die besondere Problematik. Trotz ihres geringen Wertes verursachen diese Bauteile aufgrund der hohen Stückzahl einen wirtschaftlichen Schaden, der dem einer teureren Komponente nicht nachsteht. Da es sich hierbei um eine in ihrer Funktion einfache mechanische Komponente handelt, ist eine rechtliche Absicherung dieser Komponente mit gewerblichen Schutzrechten nicht möglich. Die Kettenplatten verfügen jedoch über spezifische Materialeigenschaften, die für den störungsfreien Betrieb der Anlage essentiell sind, und naturgemäß von einem Nachahmer nur unzureichend reproduziert werden können. Die einzige Schutzmöglichkeit besteht im Aufbringen eines Markenzeichens auf dem Bauteil. Zwar lässt sich eine Markenschutzverletzung für den Nachahmer verhältnismäßig einfach vermeiden, indem ein vorhandenes Logo nicht mit kopiert wird, allerdings sind Original und Nachbau dann eindeutig voneinander zu unterscheiden.

Wie das Beispiel zeigt, haben die Anzahl der eingesetzten Bauteile sowie ihr Wert einen wesentlichen Einfluss auf die wirtschaftlich nutzbare Schutztechnologie. Während bei einer hochpreisigen Komponente ein größerer Aufwand für die Kennzeichnung aber auch für die Identifikation der Komponente gerechtfertigt ist, muss bei einfachen Massenbauteilen Schutz und Identifikation in einem wirtschaftlich sinnvollen Verhältnis zum Bauteilwert stehen.

3 Kennzeichnungstechnologien und Auswahlmethodik

Unter anderem aus den oben dargestellten Gründen stellt die Auswahl der geeigneten Kennzeichnungstechnologie einen wesentlichen Aspekt beim Aufbau eines wirkungsvollen

Schutzsystems dar. Bereits heute existieren auf dem Markt eine Reihe von wirkungsvollen Technologien, die eine dauerhafte und fälschungssichere Kennzeichnung erlauben. Dabei reicht das Spektrum von einfachen Originalitätskennzeichen wie Hologramm-Ettiketten bis hin zu technisch anspruchsvollen Lösungen wie RFID-basierte Lösungen.

Im Rahmen des Forschungsprojektes ProAuthent wurden für über 30 Technologien Steckbriefe erzeugt, in denen die wesentlichen Eigenschaften der Kennzeichnungstechnologien aufgenommen wurden. Wie in Abbildung 3 dargestellt, wurde dabei zwischen technische Eigenschaften und betriebswirtschaftlich-organisatorischen Eigenschaften unterschieden.

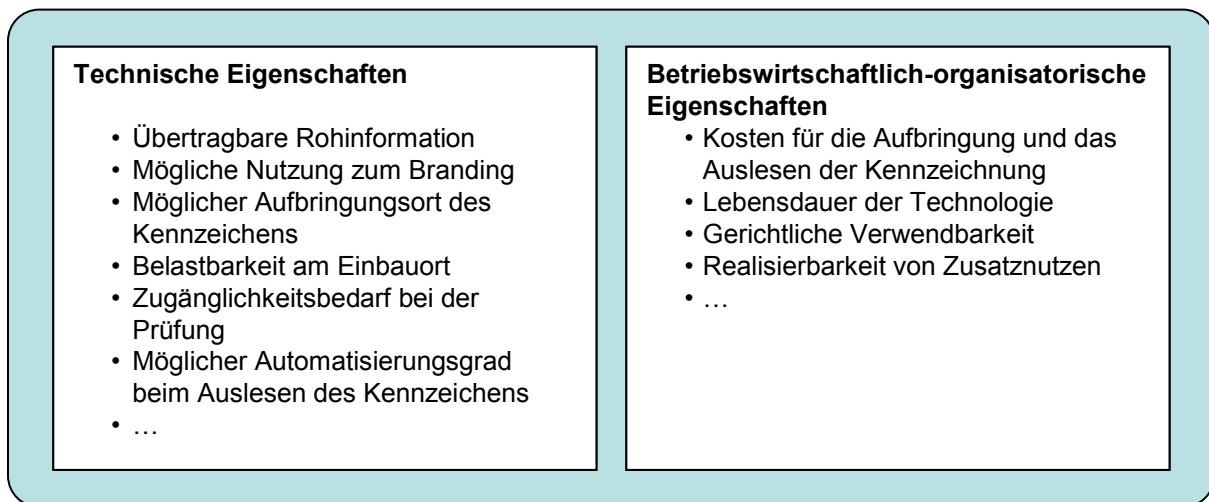


Abb. 3: Eigenschaftsklassen von Kennzeichnungstechnologien

Es wurde ein rechnergestütztes Auswahlssystem entwickelt, bei dem die Kennzeichnungstechnologien den Anforderungen aus Sicht der Eigenschaften der Bauteile bzw. deren Einsatzcharakteristika gegenübergestellt werden. Durch den systematischen Ausschluss von Kennzeichnungstechnologien, die die technischen Anforderungen nicht erfüllen, wird die Anzahl der nutzbaren Technologien reduziert. Unter anderem werden folgende Bauteilanforderungen berücksichtigt:

- Notwendige Information (Originalität- oder Unikatprüfung)
- Variable Daten (z. B. zur Aufnahme von Belastungs- bzw. Felddaten)
- Identifizierungs-/Authentifizierungshäufigkeit
- Belastungen am Einbauort / im Betrieb
- Zugänglichkeit bei der Prüfung
- Infrastruktur für die Prüfung
- ...

Für die verbliebenen Kennzeichnungstechnologien kann mit Hilfe der Auswahlmethodik eine betriebswirtschaftliche Bewertung durchgeführt werden. Diese Auswahl erfolgt auf der Basis von quantitativen und qualitativen Einflussgrößen, wie:

- Marge (Bauteilbezogen)
- Schadensausmaß gemessen am Umsatz (Bauteilbezogen)
- Fixe und variable Kosten (Technologiebezogen)
- Schadensausmaß gemessen am Image
- Kundenwahrgenommener Zusatznutzen (Bauteilbezogen)
- Beitrag der Technologie zur Generierung von Zusatznutzen (Technologiebezogen)
- ...

Mit Hilfe dieser Methodik wurden zunächst exemplarisch für ausgewählte schützenswerte Bauteile geeignete Kennzeichnungstechnologien bestimmt. Zukünftig soll die Methodik aber bei jeder neuen Komponente angewendet werden, um zu ermitteln, ob und welcher Schutz eingesetzt werden sollte.

Für das in Abschnitt 2 vorgestellte Fräsaggregat mit HSK-Aufnahme wurde als Kennzeichnungstechnologie eine Kombination aus Copy Detection Pattern (CDP) mit einem 2D-Barcode und für die Kettenplatte ein Label mit Infrarot-Kennzeichnung ausgewählt. Beide werden zurzeit zusammen mit der Fa. Schreiner implementiert und evaluiert. Weitere im Rahmen des Projektes genauer betrachtete Technologien sind Hologramme zur manuellen Authentifizierung markierter Bauteile sowie eine Kennzeichnung mit RFID zur automatischen Authentifizierung.

4 Struktur des integrierten Schutzsystems

Neben der Kennzeichnung der Bauteile, ist eine weitere Voraussetzung für den Aufbau eines ganzheitlichen Schutzsystems, dass eine Identifikation und Authentifizierung der Bauteile an den verschiedenen Positionen in der Supply Chain durchgeführt werden kann. Der Schwerpunkt der Betrachtungen im Rahmen des Forschungsvorhabens lag bisher auf der Prüfung direkt am Einsatzort der Komponente in der Maschine. Hierbei kann zwischen einer manuellen, halbautomatischen und automatischen Prüfung unterschieden werden. Der maximale Schutz wird durch eine automatische Prüfung erreicht, die in die Maschinensteuerung und somit direkt in die Prozessabläufe der Maschine integriert ist. Zwar ist dieser Ansatz mit dem größten Integrationsaufwand verbunden, bietet aber den wesentlichen Vorteil, dass eine Manipulation der Identifikation und Authentifizierung weitgehend ausgeschlossen werden kann (Abb. 4). Die anderen Ansätze sind immer zum Teil von der Vertrauenswürdigkeit der ausführenden Person abhängig. Diese kann z. B. dann gewährleistet werden, wenn die Identifikation und Authentifizierung durch einen Servicetechniker des Maschinenherstellers vorgenommen wird.

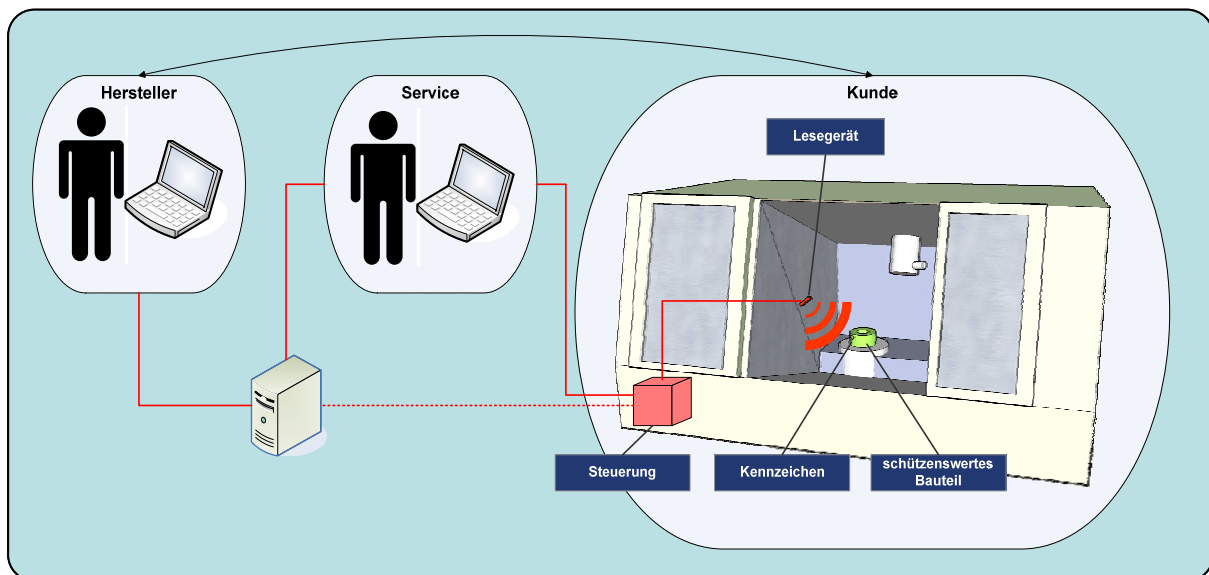


Abb. 4: Maschinenintegrierte Identifikation und Authentifizierung

Mit Hilfe der maschinenintegrierten Identifikation und Authentifizierung kann vor Ort beim Kunden die Echtheit einer Komponente geprüft werden und ggf. eine entsprechende Systemreaktion eingeleitet werden. Um aus diesem Vorgang weitergehende Potenziale zu schöpfen, ist eine Rückkopplung der Daten zum Hersteller notwendig. In Abbildung 5 ist die Struktur des Gesamtsystems dargestellt. Ausgehend von den verschiedenen Kennzeichnungstechnologien und den abgeleiteten manuellen, halbautomatischen bzw. automatischen

Authentifizierungsprozessen werden die relevanten Informationen über die Komponente in Form einer XML-Datei abgelegt. Diese Datei wird automatisiert über eine bestehende oder temporär aufzubauende Internetverbindung in die zentrale ProAuthent-Datenbank des Maschinen- bzw. Anlagenhersteller übermittelt. Da die Maschinen und Anlagen global eingesetzt werden, kann nicht immer vom Vorhandensein einer Online-Verbindung ausgegangen werden. In diesem Fall können die Informationen manuell von einem Servicetechniker übertragen werden.

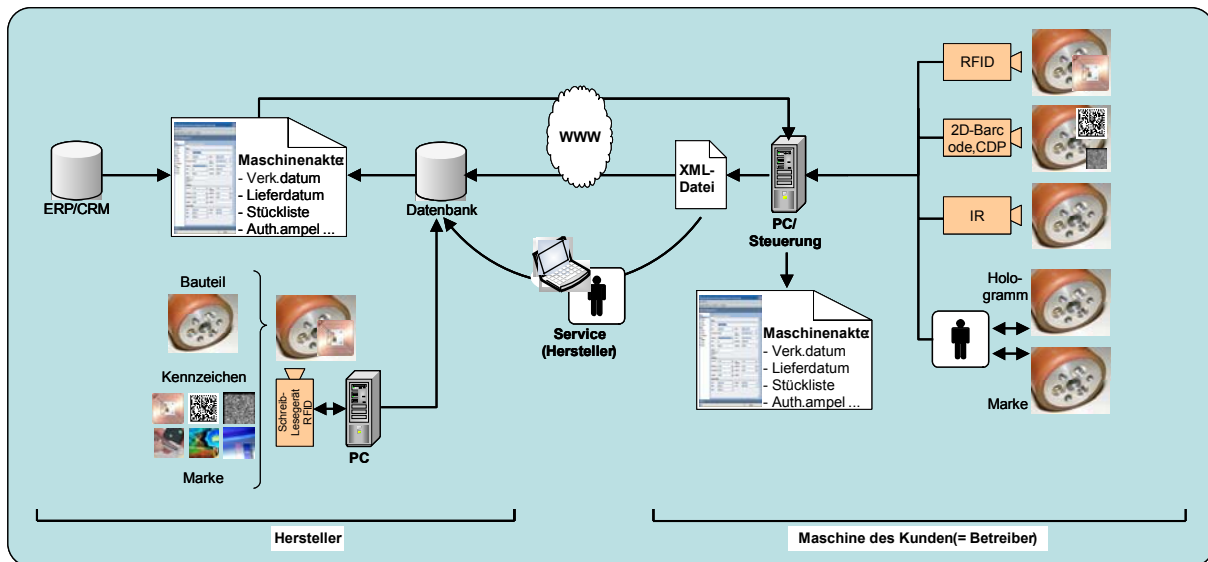


Abb. 5: Gesamtstruktur des ProAuthent-Schutzsystems für die geplanten Kennzeichnungs- und Identifikationsarten

Die zentrale Auswertungsfunktionalität, die dem Maschinenhersteller und in reduzierter Form auch dem Maschinenbetreiber zu Verfügung stehen soll, wird im Projekt in Form einer sogenannten Maschinenakte implementiert, in der alle Informationen zu einer Maschine und deren Komponenten aus verschiedensten Quellen zusammengeführt werden.

5 Systemreaktion, rechtliche Zulässigkeit und Erzeugung von Zusatznutzen

Eine entscheidende Fragestellung beim Auffinden von Nicht-Originalbauteilen ist die Ausgestaltung einer entsprechenden Systemreaktion. Während zu Projektbeginn eine restriktive Systemreaktion angedacht war, hat sich bei der juristischen Bewertung gezeigt, dass hier verschiedene rechtliche Beschränkungen (vgl. Kartellverbot § 1 GWB, Marktmissbrauchsverbot § 19 GWB, unlautere Wettbewerbshandlung § 3 UWG.) den Handlungsspielraum stark begrenzen. Dies gilt umso mehr, da viele Bauteile nur bedingt patent- oder markenrechtlich schützbar sind, Nachbauten also nicht grundsätzlich unzulässig sind.

Zur Abwehr von möglichen Schadensersatzansprüchen oder Produkthaftungsklagen ist daher lediglich geplant, beim Auffinden von Nicht-Originalkomponenten den Einsatz der entsprechenden Komponenten zu dokumentieren. Der eigentliche Schwerpunkt der Aktivitäten im Projekt liegt darauf, im Falle einer Originalität eine positive Systemreaktion zu erzeugen. Ziel dabei ist es, auf Basis der eindeutigen Identifizierung einer Komponente einen Mehrwert oder Zusatznutzen für den Hersteller und den Käufer von Originalprodukten zu generieren (Abb. 6). Hierzu ist es notwendig bereits bei der Entwicklung einer Komponente im Rahmen eines strukturierten Service Engineering Prozesses neben der geeigneten Schutzstrategie die möglichen Zusatznutzen zu identifizieren und konsequent zu einem Dienstleistungskonzept auszugestalten.

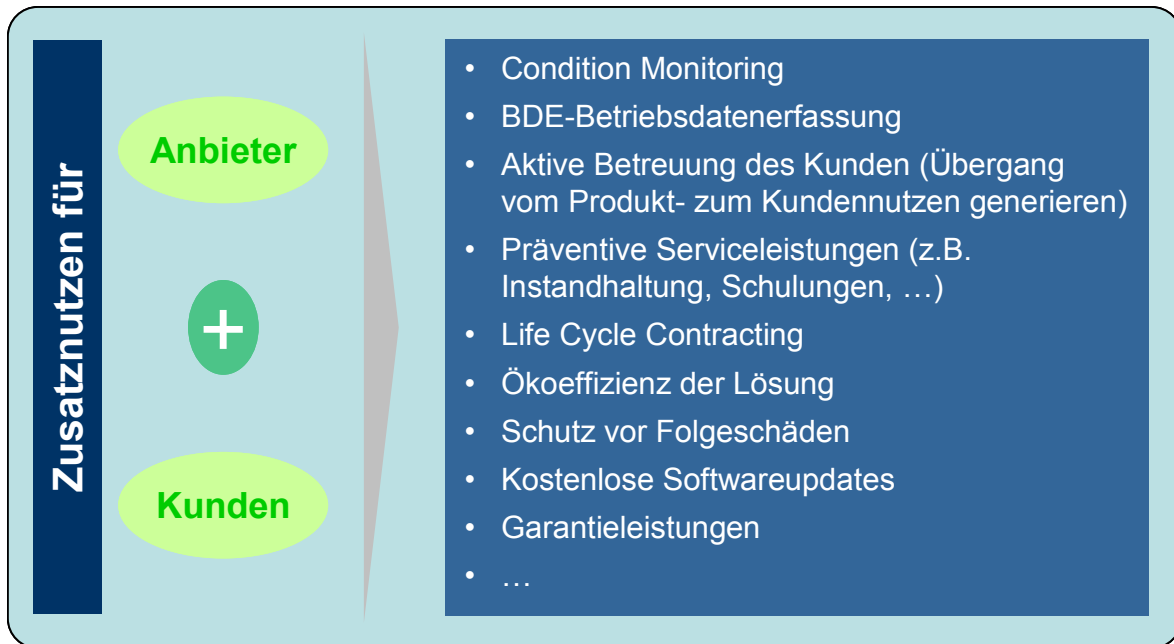


Abb. 6: Übersicht über mögliche Zusatznutzen für Maschinenhersteller und -betreiber

6 Zusammenfassung und Ausblick

Die bislang im Projekt ProAuthent gewonnen Erkenntnisse werden bis zum Ende der Laufzeit des Forschungsprojektes im Januar 2011 anhand von Pilotanwendungen bei den drei Anwenderunternehmen Homag Holzbearbeitungssysteme AG, Multivac Sepp Haggenmueller GmbH & Co. KG und Vollmer Werke Maschinenfabrik GmbH auf ihre rechtliche Zulässigkeit abgeprüft und anschließend in Demonstratoren umgesetzt. Dabei werden für verschiedene gefährdete Bauteile zusammen mit der Firma Schreiner Group GmbH & Co. KG die geeigneten Kennzeichnungstechnologien (RFID, IR-Farbe, CDP mit 2D-Barcode, Hologramm) implementiert und die entsprechenden Identifikations- und Authentifizierungstechnologien in der Maschinensteuerung umgesetzt. Parallel dazu werden für die Pilotanwendungen basierend auf der im Projekt unter Federführung der Infoman AG entwickelten ProAuthent-IT-Architektur mit zentraler Datenhaltung in der Maschinenakte verschiedene Zusatznutzen (Condition Monitoring, Felddatenerfassung, vereinfachte Ersatzteilbestellung, Verwechslungsschutz usw.) entwickelt.

Abschließend werden die Gesamtsysteme mit Unterstützung der drei Lehrstühle der Technischen Universität München auf Ihre Eignung zur Vermeidung von Produktpiraterie und zur Erzeugung eines Kundennutzens evaluiert und eine Strategie zur Übertragung der Ergebnisse auch auf andere Unternehmen des Maschinen- und Anlagenbaus sowie andere Branchen entwickelt.

7 Literatur:

- [1] Wildemann, H., Ann, C., Broy, M., Günthner, W., Lindemann, U.: Plagiatschutz – Handlungsspielräume der produzierenden Industrie gegen Produktpiraterie. München, 2007.
- [2] Aktionskreis gegen Produkt- und Markenpiraterie (APM e.V.), Deutsche Industrie- und Handelskammertag (DIHK): Studie des DIHK und des APM zu Produkt- und Markenpiraterie in China. Berlin, 2007.
- [3] VDMA: Untersuchung zur Produkt- und Markenpiraterie. Frankfurt 2008.

Projekt „Energiebedarfsoptimierte Motorspindel und angepasster elektrischer Antriebsstrang“ (Abkürzung: EnergieMSP)

Dr. Uwe Rondé

FRANZ KESSLER GmbH, Bad Buchau

Zusammenfassung

Das Ziel des Projektes ist, den Energieverbrauch in einer Referenzbearbeitung um 25 % im Vergleich zum aktuellen Status Quo zu reduzieren. Diese Reduzierung soll durch die Optimierung der Motorspindel, die den größten Energieverbrauch innerhalb der Bearbeitung aufweist, durchgeführt werden, wobei Einsparpotentiale bei der Lagerung (Reibung), bei den rotierenden Massen (Welle, Spannsystem, Drehdurchführung), bei den durch die Vorschubachsen bewegten Massen sowie im elektrischen Antriebsstrang (Umrichter-Speisung, elektrischer Motor selbst) gewährleistet werden.

1 Einleitung

Vorgestellt wird das Projekt „Energiebedarfsoptimierte Motorspindel und angepasster elektrischer Antriebsstrang“ (Abkürzung: EnergieMSP).

Hierbei handelt es sich um ein Verbundforschungsprojekt, an dem zwei Hochschulinstitute und sechs Industrieunternehmen beteiligt sind.

Dieses Forschungsprojekt wird vom Projektträger Karlsruhe, Karlsruher Institut für Technologie (KIT), unterstützt.

2 Problemstellung

Werkzeugmaschinen werden heutzutage üblicherweise mindestens zwei-, meist sogar dreischichtig eingesetzt. Das bedeutet, Werkzeugmaschinen laufen zwischen 4.000 und 7.000 Stunden im Jahr. Da bei modernen Werkzeugmaschinen vier bis fünf Achsen durch elektromotorische Antriebe bewegt werden müssen, und weil diese Maschinen darüber hinaus mit einer sehr aufwändigen Steuer- und Regelelektronik sowie Schmier- und Luftaggregaten ausgestattet sind, werden bei Werkzeugmaschinen hohe elektrische Leistungen umgesetzt und der Energieverbrauch bedingt entsprechend hohe CO₂-Emissionen und Kosten.

An einer typischen 5-Achsmaschine für den Formenbau kann man nach einer Studie des Instituts für Produktionstechnik der Technischen Universität Darmstadt (PTW) von einem jährlichen Energieverbrauch von ca. 45.000 kW-Stunden ausgehen.

Dies entspricht CO₂-Emissionen von 10 Sportwagen und Kosten von ca. 4.500 € pro Jahr.

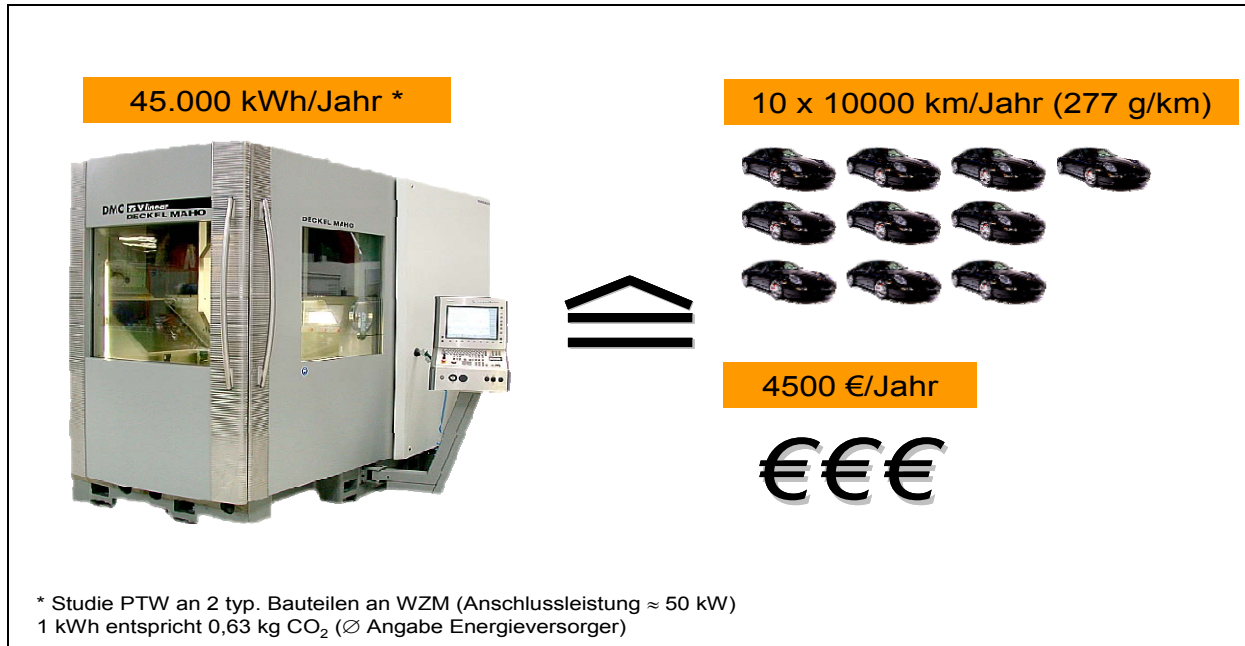
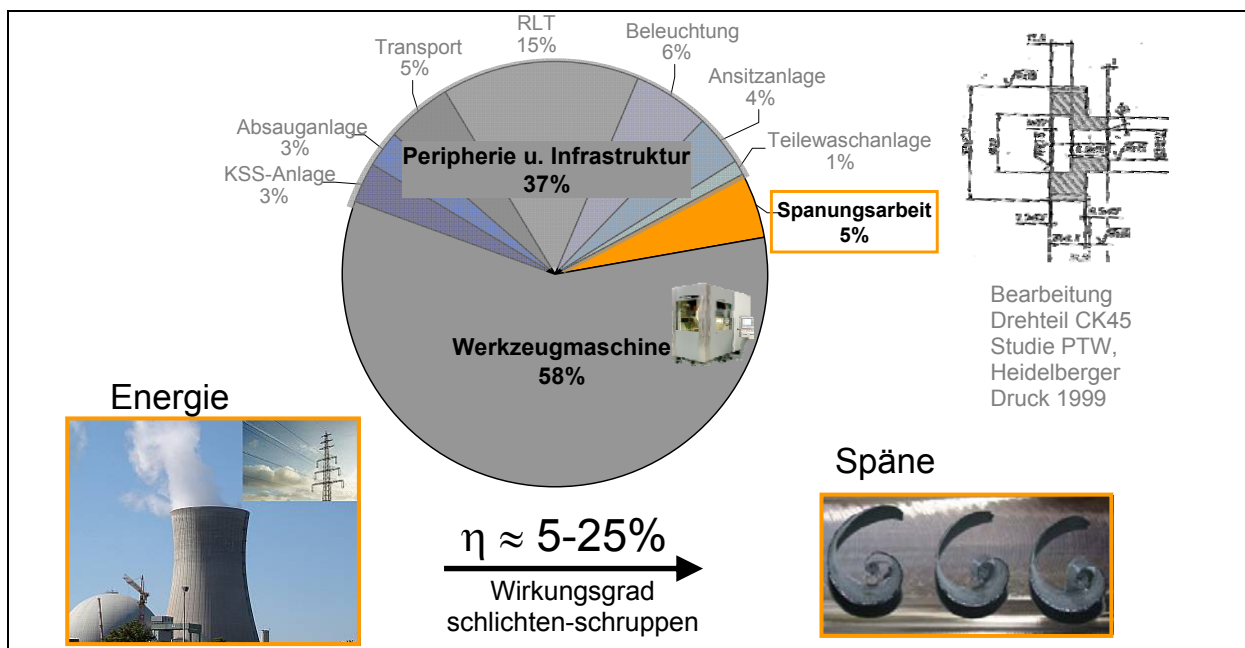


Abb. 1 Darstellung der CO₂-Äquivalente einer Werkzeugmaschine

Betrachtet man nun den Energieverbrauch einer Werkzeugmaschine, so stellt man fest, dass lediglich 5 % der eingeleiteten Energie tatsächlich in Spanungsarbeit, d. h. in die das Werkstück formende Arbeit, gesteckt werden.

Weitere 37 % werden zum Betrieb der Peripherie und der Infrastruktur genutzt, wie zum Beispiel der Kühlschmiermittel-Anlage, der Absauganlage, dem Transport, der Beleuchtung u. ä., und 58 % der eingeleiteten Energie entfallen tatsächlich auf die Werkzeugmaschine.



**Die energieoptimierte Spindel, Dr.-Ing. Uwe Rondé“

Abb. 2 Energieverbrauch am Beispiel einer Zerspanungsmaschine

Sieht man sich wiederum diese 58 % genauer an, so muss man feststellen, dass der größte Energieverbraucher die Hauptspindel mit 47 % ist, weitere 19 % fallen auf die Achsantriebe und 34 % auf die oben beschriebenen Nebenaggregate.

Kommend von diesem Sachverhalt hat sich der Arbeitskreis „EnergieMSP“ entschieden, die zentrale Komponente und damit das Herzstück der Werkzeugmaschine, nämlich die Motorspindel plus der Spindel-spezifischen Peripherie, als die signifikantesten Verbraucher der Energiebilanz genauer zu untersuchen und den Energiebedarf der Motorspindel und zusätzlich auch die Reduzierung des Verbrauchs der Spindel-spezifischen Zusatzaggregate zum Ziel des Projektes zu machen.

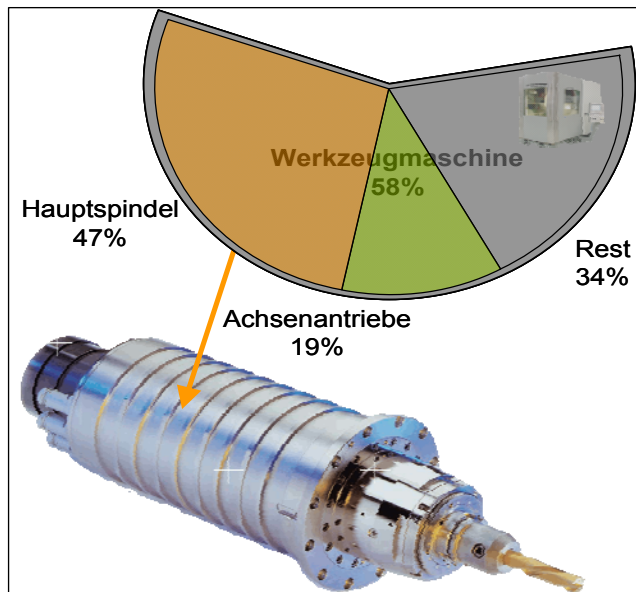
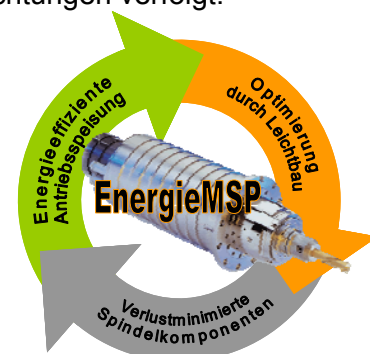
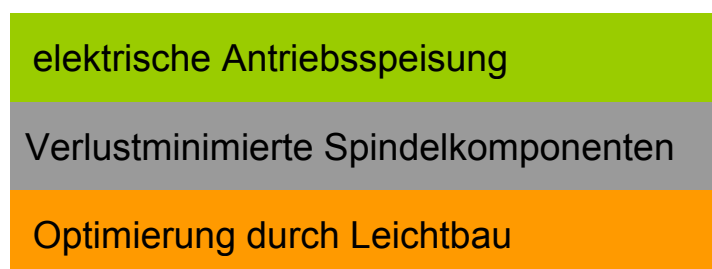


Abb. 3 Aufschlüsselung des Energieverbrauchs innerhalb der WZM

3 Übergeordnete Ziele im Projekt

Konkret bedeutet dies, dass der Arbeitskreis drei Hauptziel-Richtungen verfolgt:



- Die Optimierung des elektrischen Antriebsstrangs, der aus Umrichter und Antriebsmotor besteht.
- Die Reduzierung der Reibung im gesamten System und hier insbesondere des Lagers, der Drehdurchführung, des Werkzeugspanners u. ä.
- Die Leichtbau-Optimierung der gesamten Spindel zur Reduzierung der bewegten und rotierenden Massen.

Alle drei Teilziele führen in Summe zur Reduzierung des gesamten Energieverbrauchs.

4 Die Partner im Projekt

Als Partner im Projekt wurden gewonnen:



FRANZ KESSLER GmbH

Die FRANZ KESSLER GmbH ist der führende Hersteller für Motorspindeln in Europa. Als Marktführer hat FRANZ KESSLER selbstverständlich das größte Interesse daran, dass die Motorspindeln der Zukunft auch den Anforderungen der Zukunft entsprechen. KESSLER stellt bis zu 8.000 Motorspindeln pro Jahr her, und es ist einzusehen, dass jede Verbesserung in Bezug auf die Energieeffizienz, welche dann sofort ihren Weg in die industrielle Ausführung bei diesen 8.000 Motorspindeln finden würde, einen sehr hohen Durchdringungsgrad innerhalb der Werkzeugmaschinenindustrie automatisch generieren würde.

Im Rahmen des Projektes wird KESSLER sämtliche Maßnahmen koordinieren und insbesondere im Bereich „Motorspindel“ als Gesamtverantwortlicher und im Bereich der Einbaumotoren als Teileverantwortlicher die Ziele der Energieoptimierung weiterverfolgen.



Technische Universität Darmstadt Fachgebiet Produktionsmanagement, Technologie und Werkzeugmaschinen (PTW)

Das PTW ist seit Anfang der 80er Jahre führend im Bereich der Produktionstechnologie des Highspeed-FräSENS, d. h. schon seit Beginn der 80er Jahre kümmert sich das PTW intensiv um die dafür notwendigen Motorspindeln.

Das bedeutet für das Projekt, dass das PTW eine ausgezeichnete Erfahrungsgrundlage im Zusammenhang mit der Konstruktion und vor allen Dingen der praktischen Beurteilung von Motorspindeln hat.

Darüber hinaus verfügt das PTW über eine große Anzahl von Werkzeugmaschinen und Prüfständen, so dass eine vergleichende Untersuchung unterschiedlicher Entwicklungsstände der Motorspindel jederzeit gegeben ist.



Technische Universität Darmstadt Fachgebiet Konstruktiver Leichtbau und Bauweisen (KLuB)

Die Verwendung von faserverstärkten Kunststoffen im Werkzeugmaschinenbau ist bisher sehr selten. Dies liegt hauptsächlich daran, dass dem Werkzeugmaschinen-Unternehmen üblicherweise jegliche Erfahrung im Zusammenhang mit diesen neuen Konstruktionswerkstoffen fehlt.

Durch die Mitarbeit des KLuB im Arbeitskreis „Energieoptimierte Motorspindel“ ist es nun

erstmalig möglich, das Expertenwissen dieses Instituts im Zusammenhang mit den neuen technischen Kunststoffen und das Expertenwissen der Werkzeugmaschinen-Spezialisten zusammenzubringen.

Ziel ist es, hauptsächlich die rotierenden Elemente der Motorspindel durch die Verwendung dieser neuen technischen Kunststoffe, die üblicherweise eine höhere Festigkeit bei gleichzeitig niedrigerer Dichte im Vergleich zu Stahlwerkstoffen aufzuweisen, einzusetzen.

Wenn es gelingt, das Massenträgheitsmoment der Rotorwelle deutlich zu verkleinern, ist es möglich, die beim Beschleunigen und Abbremsen auftretenden Verlust-Energien deutlich zu reduzieren.



Schaeffler Gruppe

Heute sind nach wie vor weit mehr als 95 % aller Werkzeugmaschinen-Spindeln in Wälzlagern gelagert, d. h. die Reibungsverluste zwischen der rotierenden Welle und den nicht rotierenden Gehäusebauteilen der Werkzeugmaschinen-Spindel treten ausschließlich in den Wälzlagern auf.

Daher ist es sinnvoll, mit dem größten Wälzlagerhersteller im Bereich der Werkzeugmaschinen-Spindeln zusammenzuarbeiten mit dem Ziel, die Reibung in den Wälzlagern durch optimierte Lagerkonstruktionen zu reduzieren.

Mecatronix GmbH



Einen ganz anderen Ansatz der Wellenlagerung verfolgt die Fa. Mecatronix.

Mecatronix entwickelt Magnetlager und die dazu notwendige Regelung, d. h. anstelle der Rollreibung tritt in den Lagern ausschließlich die Luftreibung.

Allerdings sind beim Betrieb von Magnetlagern die notwendigen Speiseenergien zu berücksichtigen.

Da eine abschließende Beurteilung der Energiebilanz zwischen Wälzlagern und Magnetlagern in der Motorspindel nur sehr schwer möglich ist und hier auch unterschiedlichste Philosophien aufeinander treffen, hat sich der Arbeitskreis entschlossen, im Rahmen von praxisnahen Versuchsaufbauten einen Vergleich zwischen diesen zwei Lagerprinzipien durchzuführen.

Das bedeutet, unter nahezu gleichen Randbedingungen sollen Wälzlager und Magnetlager in einer Motorspindel in Bezug auf ihre Energie-Effizienz untersucht werden.

Die Fa. Mecatronix ist genauso wie die Fa. INA - Schaeffler bereit, ihre Komponenten diesem Vergleich auszusetzen.



Ott Jakob Spanntechnik GmbH

Ein wesentlicher Bestandteil einer Motorspindel ist das sogenannte Spannsystem, mit dem sichergestellt wird, dass zum einen die Werkzeuge betriebssicher mit der rotierenden Welle verbunden sind und gleichzeitig aber auch ein automatischer Werkzeugwechsel durchgeführt werden kann.

Zur Spanntechnik gehört das eigentliche Spannsystem, aber auch die sogenannte Löseinheit und die damit verbundene Drehdurchführung.

Ziel der Mitarbeit durch die Fa. Ott Jakob ist, auch diese Systeme in Bezug auf die Massenträgheiten (Werkzeugspanner), der Reibung (Drehdurchführung) und der Energieeffizienz (Löseeinheit) zu optimieren.



MAPAL Dr. Kress KG

Bei der Werkzeugspannung in Motorspindeln gibt es ein weit verbreitetes System, nämlich den Federspanner, der durch den Hersteller Ott-Jakob repräsentiert wird. Alternativsysteme mit bisher geringem Verbreitungsgrad gibt es aber auch. Hier offeriert die Fa. Mapal ein elektromechanisches System unter dem Schlagwort „Clamp by wire“.

Auch hier hat sich der Arbeitskreis entschlossen, einen objektiven Vergleich unter praxisnahen, gleichen Randbedingungen durchzuführen, um sicherzustellen, dass auch in der Zukunft das jeweils optimale System in Bezug auf die Energieeffizienz eingesetzt werden kann, d. h. es werden zwei Spindelsysteme aufgebaut, bei denen eines mit Feder- und eines mit Alternativspannern ausgerüstet ist, und diese Systeme werden verglichen.



ARADEX AG

Zur Speisung eines elektrischen Motors ist eine Strom- und Spannungswandlung notwendig. Die Qualität der Speisung hat einen ganz erheblichen Einfluss auf das Leistungsverhalten des in der Motorspindel integrierten Drehstrommotors. Mit ARADEX konnte ein sehr erfahrener Partner aus dem Bereich der Antriebstechnik gewonnen werden, der auch schon in der Vergangenheit intensiv an der Optimierung der Motorversorgung gearbeitet hat.

Ziel der Mitarbeit durch die Fa. ARADEX ist es, hier einen Partner zu haben, der in eine möglichst optimale elektrische Speisung des Motors gewährleistet.

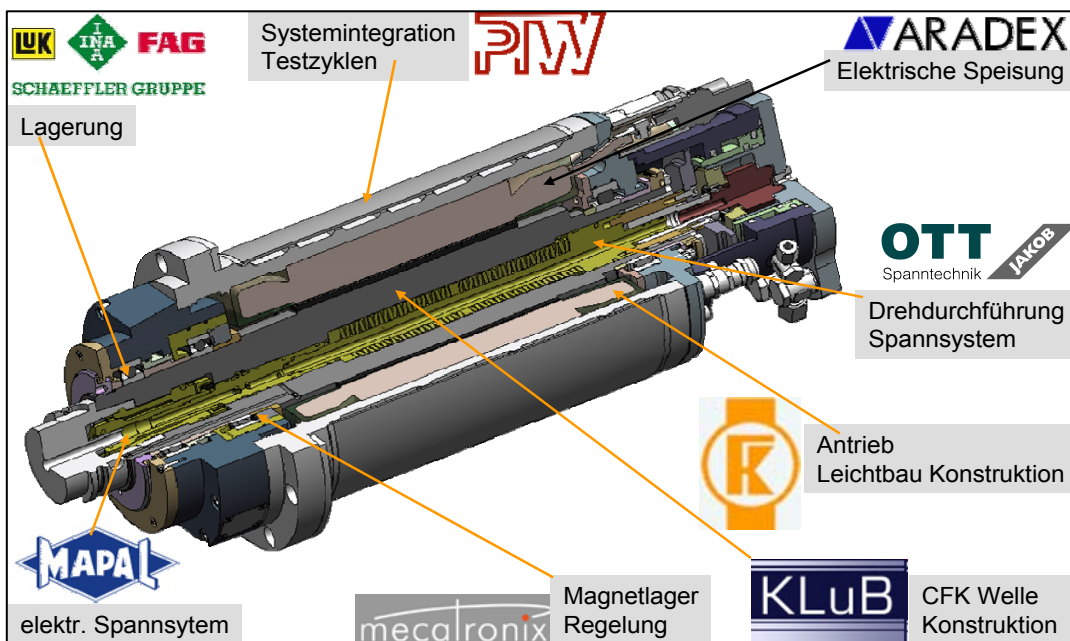


Abb. 4 Darstellung der Antragsteller mit Arbeitsschwerpunkten

7 Referenzsystem

Um den schon mehrfach durchgeführten Benchmark verwirklichen zu können, wurde zu Beginn des Projektes beschlossen, dass die Untersuchungen an einer typischen 5-Achs-Maschine, durchgeführt werden.

Hier wird eine Maschine aus dem Versuchsfeld des PTW vom Hersteller Deckel Maho Gildemeister namens DMC 75 V linear benutzt. Auf dieser Maschine ist eine Motorspindel mit einer maximalen Drehzahl von 28.000 rpm in Verbindung mit einem Werkzeugkegel HSK 63 verwendet.

In der Original-Konfiguration wird eine sehr umfangreiche Ist-Zustand-Erfassung durchgeführt, wobei die Differenzierung der Verbraucher und die Zuordnung zur Spindel im Mittelpunkt stehen.

Weiterhin werden in diesem Zusammenhang Berechnungsgrößen zur Energieverbrauchserfassung definiert und das Gesamtsystem anschließend analysiert.

Auf der Basis dieser Ist-Analyse werden dann die genauen Zielgrößen der Teilkomponenten definiert und entwickelt.

Gegen Ende des Projektes werden dann alle Ergebnisse in eine neue Spindel-Konstruktion einfließen. Diese Spindel wird dann in die Maschine eingebaut und gleiche Test wie zu Beginn durchgeführt.

Der Energieverbrauch bei diesen Tests wird dann mit dem Energieverbrauch im Ursprungszustand verglichen.

Ganzheitliche Ansätze zur Erhöhung der Energie- und Ressourceneffizienz in der Produktion

**PD Dr.-Ing Christoph Herrmann, Dipl.-Wirtsch.-Ing. Sebastian Thiede,
Dipl.-Wirtsch.-Ing. Tim Heinemann**

Technische Universität Braunschweig, Institut für Werkzeugmaschinen und
Fertigungstechnik, Abteilung Produkt- und Life-Cycle-Management

Zusammenfassung

Aus ökonomischen und ökologischen Motiven kommt der bewussten Betrachtung von Energie- und Ressourcenverbräuchen in der Produktion eine immer wichtigere Bedeutung zu. Eine realistische und zielgerichtete Analyse und Ableitung von Effizienzpotentialen verlangt allerdings ein ganzheitliches, systemorientiertes Verständnis, um z.B. Zielkonflikte zu lösen und Problemverschiebungen vermeiden zu können. Dies umfasst z.B. ein erweitertes Prozessverständnis mit allen Eingangs- und Ausgangsgrößen und realistischem Verbrauchs-/Emissionsverhalten sowie die notwendige Berücksichtigung von Wechselwirkungen mit der technischen Gebäudeausstattung. Im Themenfeld Energie- und Ressourceneffizienz ergeben sich verschiedene Handlungsfelder: basierend auf einmaliger oder permanenter Datenerfassung, dem Verstehen von Zusammenhängen sowie geeigneten Methoden zur Bewertung und Vorhersage von Betriebsverhalten (z.B. über energieorientierte Simulation) gilt es letztendlich, Energie- und Ressourcenverbräuche neben klassischen Zielgrößen (z.B. Auslastung, Durchlaufzeiten/Termintreue, Qualitätsraten) als weitere Dimension in die betriebliche Entscheidungswelt zu integrieren. Beispiele für ganzheitliche Betrachtungsansätze finden sich in den BMBF-geförderten Projekten ProGress und EnHiPro. ProGress (Gestaltung ressourceneffizienter Prozessketten am Beispiel Aluminiumdruckguss, <http://www.progress-aluminium.de>) fokussiert die Bewertung und Gestaltung der energieintensiven Prozesskette Aluminiumdruckguss hinsichtlich des Energie- sowie des Materialeinsatzes. In EnHiPro (Energie- und Hilfsstoffoptimierte Produktion, <http://www.enhipro.de>) liegt das Ziel in der notwendigen Integration von Energie- und Hilfsstoffverbräuchen in das betriebliche Produktionsmanagement mit besonderem Fokus auf produzierende KMU. Diese sollen auf kontinuierlicher Basis in die Lage versetzt werden, organisatorischen und technischen Maßnahmen zur Effizienzsteigerung zu ermitteln und die Auswirkungen zu bewerten.

1 Motivation

Produktion ist „die Erzeugung von Ausbringungsgütern (Produkten) aus materiellen und nicht-materiellen Einsatzgütern (Produktionsfaktoren) nach bestimmten technischen Verfahrensweisen“ [1] und damit ein gleichzeitig wertschöpfender wie wertverzehrender Transformationsprozess. Neben menschlicher Arbeit und Betriebsmitteln stellen hierbei Rohmaterialien und Energie wesentliche Eingangsfaktoren dar. Der effizienten Nutzung von Energie und Ressourcen kommt eine immer stärkere Bedeutung zu. Zum einen sind mit der Gewinnung bzw. Erzeugung teilweise erhebliche Umweltwirkungen verbunden. So verbrauchen produzierende Unternehmen z.B. ca. 47% der Elektrizität in Deutschland und sind allein dadurch für 18% der nationalen CO₂ Emissionen verantwortlich. (Dazu kommen weitere ca. 20% durch direkte Emission, z.B. Feuerungen) [2]. Zum anderen ist die Gewinnung und Aufbereitung von Rohstoffen ebenfalls oftmals mit erheblichen Umweltbelastungen verbunden, der Bauxitabbau zur Aluminiumherstellung sei hierfür nur beispielhaft erwähnt. Die Vermeidung bzw., Reduzierung von Umweltwirkungen rückt in den letzten Jahren durch gesetzliche Rahmenbedingungen, gesamtgesellschaftliche (Klima-) Diskussion und auch eigenmotivierte Umweltorientierung der Unternehmen verstärkt in den Vordergrund. Darüber hinaus beinhaltet die Berücksichtigung dieser zunächst

umweltorientierten Aspekte mittlerweile auch eine klare wirtschaftliche Motivation. Dies liegt vor allem an den in den letzten Jahren gestiegenen Preisen für Rohstoffe (z.B. Aluminium) und Energie (Gas, Öl, Elektrizität), was zu erhöhtem Kostendruck in den Unternehmen führte (*Abbildung 1*). Trotz momentan aufgrund der gesamtwirtschaftlichen Lage wieder etwas entspannter Preislage, ist zukünftig von weiteren Steigerungen auszugehen. Aus mittel- bis langfristiger Sicht ist in diesem Zusammenhang auch ein möglicher zukünftiger Mangel an strategisch wichtigen Ressourcen ein entscheidender Treiber.

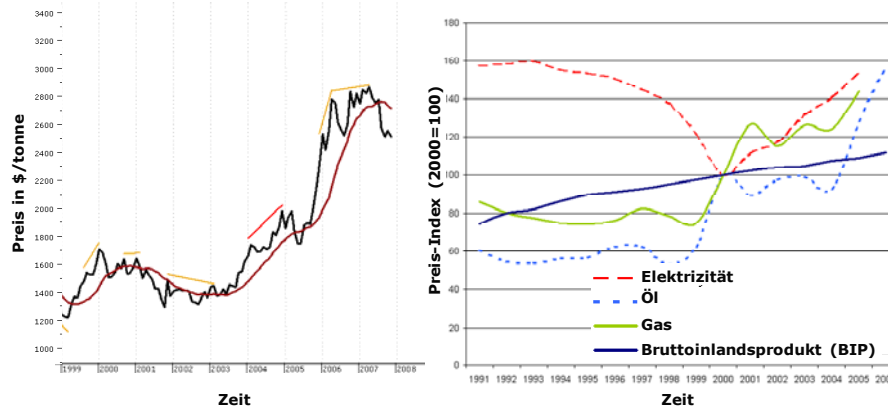


Abb. 1: Preisentwicklung für Rohstoffe (Bsp. Aluminium) und Energie (Quelle: [2] [3]).

2 Ganzheitliches Systemverständnis

Eine realistische und zielgerichtete Analyse und Effizienzverbesserung von Energie- und Ressourcenverbräuchen in der Produktion verlangt ein ganzheitliches, systemorientiertes Verständnis, um z.B. Zielkonflikte zu lösen und Problemverschiebungen vermeiden zu können [4]. Hierfür lassen sich folgende Voraussetzungen definieren:

- **Erweitertes Prozessverständnis:** Für die Schaffung ganzheitlicher Lösungen und zur Vermeidung von Problemverschiebungen müssen explizit alle Input- und Outputströme von Produktionsprozessen berücksichtigt werden. Dies umfasst alle energetischen (z.B. Druckluft, Strom, Abwärme) und stofflichen (z.B. Hilfsstoffe wie Kühlschmierstoffe) Flüsse, die direkt oder indirekt (z.B. durch notwendige Bereitstellung) zu zusätzlichem Energie- und/oder Ressourcenverbrauch führen.
- **Ganzheitliche Systemdefinition der Fabrik:** Interne Wechselwirkungen der konstituierenden Elemente einer Fabrik verlangen auch ein erweitertes Verständnis des Systems Fabrik als Ganzes. Hiernach sind im Wesentlichen die drei Teilsysteme Produktion (Maschinen und Mitarbeiter koordiniert durch Produktionsplanung und -steuerung), Technische Gebäudeausstattung (TGA) und Gebäudehülle zu unterscheiden. Aufgaben der TGA sind im Fabrikzusammenhang die Sicherstellung notwendiger Umgebungsbedingungen der Produktion (z.B. Klimatisierung) sowie die Herstellung, Bereitstellung und Aufbereitung (bei Kreislaufführung) notwendiger Medien und Energie (z. B. Druckluft, Prozesswärme in Form von Dampf, Warm-/Kaltwasser). Dazu wird ebenfalls Energie in Form von Elektrizität, Gas oder Öl benötigt bzw. direkt aus regenerativen Energiequellen erzeugt (z. B. Solarenergie, Windenergie, Biomassekraftwerk). Wie in *Abbildung 2* dargestellt, sind die drei Teilsysteme keinesfalls isoliert zu betrachten, sondern die systemdynamischen Abhängigkeiten zu berücksichtigen. Eine Bewertung der Energieeffizienz einer Fabrik muss z. B. alle von außerhalb des Systems zugeführten nicht-regenerativen Energieströme (z. B. Strom, Öl, Gas) und sowohl den Energieverbrauch der Produktion als auch den der technischen Gebäudeausstattung berücksichtigen [5].
- **Dynamik des Verbrauchs-/Emissionverhaltens und Wechselwirkungen:** Alle relevanten Input- und Outputströme sind überwiegend dynamische Größen und hängen vom Betriebszustand der Prozesse bzw. der Maschinen ab. Auf Fabrikebene ist erst das

dynamisch auf Basis von Einzellastprofilen und Wechselwirkungen entstehende Gesamlastprofil (z.B. Prozesswärmebedarf, Druckluftbedarf, Wärmefluss in die Fabrikhalle) entscheidend für Auslegung und Aussteuerung der TGA.

- **Denken in Prozessketten:** Endprodukte sind normalerweise nicht Resultat eines einzelnen Fertigungsprozesses sondern entstehen vielmehr in mehreren Schritten auf verschiedenen Produktionsanlagen im Sinne einer Produktionsprozesskette. Vor dem Hintergrund der Energie- und Ressourceneffizienz muss die Prozesskette als Ganzes betrachtet und bewertet werden, da hier ggfs. weitere Potenziale liegen (z.B. Zusammenfassung von Prozessen) oder aber verbessernde Maßnahmen in einem Prozess ggfs. zu einer Verschlechterung in anderen Teilprozessen führen können.
- **Lebenszyklusorientierte Sichtweise:** Analog zur Denkweise in Prozessketten müssen bei Verbesserungsmaßnahmen bzgl. der Energie- und Ressourceneffizienz alle Lebensphasen von Produkten (dies sind auch die Betriebsmittel selbst) berücksichtigt werden, da auch hier Problemverschiebungen entstehen können oder Potentiale ungenutzt bleiben. So liegt der entscheidende Hebel zur Erhöhung der Energieeffizienz von z.B. Werkzeugmaschinen natürlich weniger bei der Verbesserung einzelner Parameter eines speziellen Prozesses sondern vielmehr bereits bei der Entwicklung der Maschine selbst. Auch hat die Wahl bestimmter Prozesse (z.B. Fügeverfahren) direkte Auswirkungen auf Nutzungs- und Entsorgungsphase (z.B. Festigkeit, Demontierbarkeit), was dort zu erhöhten Aufwänden führen kann.
- **Berücksichtigung aller Nachhaltigkeitsdimension und integrierte Bewertung:** zur Ableitung vorteilhafter Lösungen sind mehrere relevante Zieldimensionen integrativ zu berücksichtigen. Neben einer ökologischen Bewertung (mit korrekter Verrechnung der verschiedenen Eingangs- und Ausgangsgrößen, z.B. Umweltauswirkung von Strom- bzw. Gasverbrauch) umfasst dies eine realistische wirtschaftliche (auf Basis eines geeigneten Kostenmodells, das reale Vertragskonditionen berücksichtigt) und technische Betrachtung (z.B. Auswirkungen auf Produktqualität). Mögliche Zielkonflikte müssen aufgezeigt und Entscheidungsunterstützung zu deren Lösung angeboten werden.

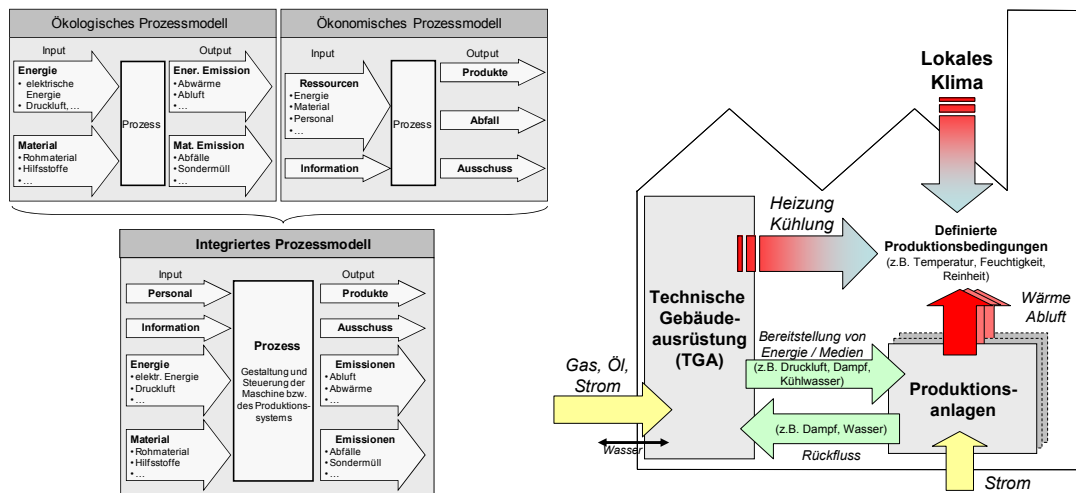


Abb. 2: Integriertes Prozessmodell zur nachhaltigkeitsorientierten Prozessbewertung und ganzheitliche Systemdefinition des Fabriksystems [4] [5].

Vor dem Hintergrund obiger Ausführungen zeigt *Abbildung 3* Handlungsfelder im Themenfeld Energie- und Ressourceneffizienz in der Produktion. Hierbei kann zwischen der Maschinen- bzw. Prozessperspektive und der Sichtweise auf Prozessketten bzw. Fabrikssystem differenziert werden, wobei beides wie oben dargestellt unmittelbar zusammenhängt. Basierend auf einmaliger oder permanenter Datenerfassung, dem

Verstehen von Zusammenhängen sowie geeigneten Methoden zur Bewertung und Vorhersage von Betriebsverhalten gilt es letztendlich, Energie- und Ressourcenverbräuche neben klassischen Zielgrößen (z.B. Auslastung, Durchlaufzeiten/Termtreue, Qualitätsraten) als weitere Dimension in die betriebliche Entscheidungswelt zu integrieren. Angelehnt an diese Systematik werden in den folgenden Abschnitten einzelne Elemente anhand von Beispielen detaillierter erläutert.

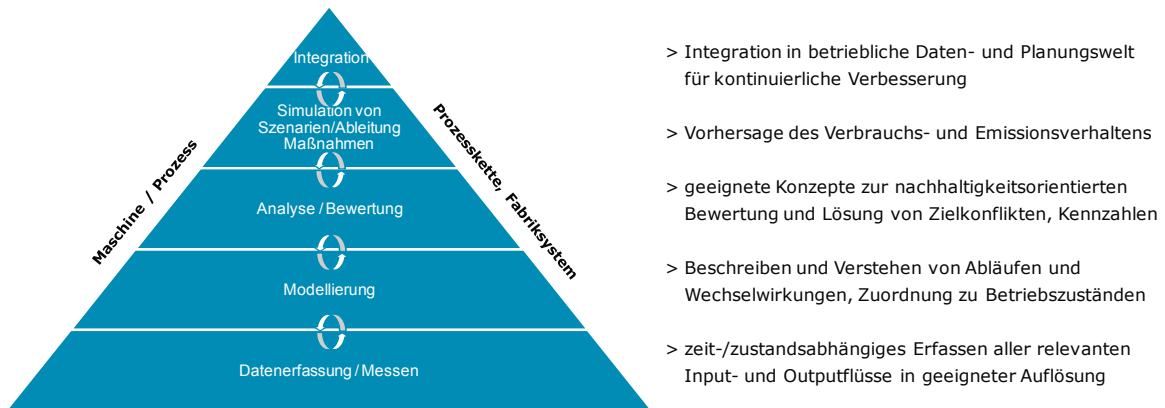


Abb. 3: Handlungsfelder im Themenfeld Energie- und Ressourceneffizienz in der Produktion.

3 Bewertung und Gestaltung energie- und ressourceneffizienter Prozessketten am Beispiel Aluminiumdruckguss

Die Wettbewerbsfähigkeit der deutschen Aludruckgussindustrie ist aufgrund hoher branchenspezifischer Energieverbräuche eng mit den aktuell vorherrschenden, hohen Energiepreisen gekoppelt. Die notwendige Energie wird im Wesentlichen zum Erwärmen und Schmelzen des Aluminiums, für die Druckgießmaschine mit den Peripheriegeräten und für die Formtemperierung benötigt. Die Wärmebilanz des Gesamtprozesses ist dabei durch hohe Energieverluste gekennzeichnet, die in *Abbildung 4* dargestellt sind. Die energetischen Verluste wurden im Rahmen eines von der DBU geförderten Projektes zur Energiebilanz des Druckgießprozesses ermittelt [6]. Es wird deutlich, dass ein großer Teil der eingebrachten Energie während des Prozesses in Form von Wärme bzw. durch Kühlvorgänge verloren geht. Insgesamt sind die hohen Wärmeverluste im Druckgießprozess unter Gesichtspunkten des Umweltschutzes als äußerst unbefriedigend anzusehen.

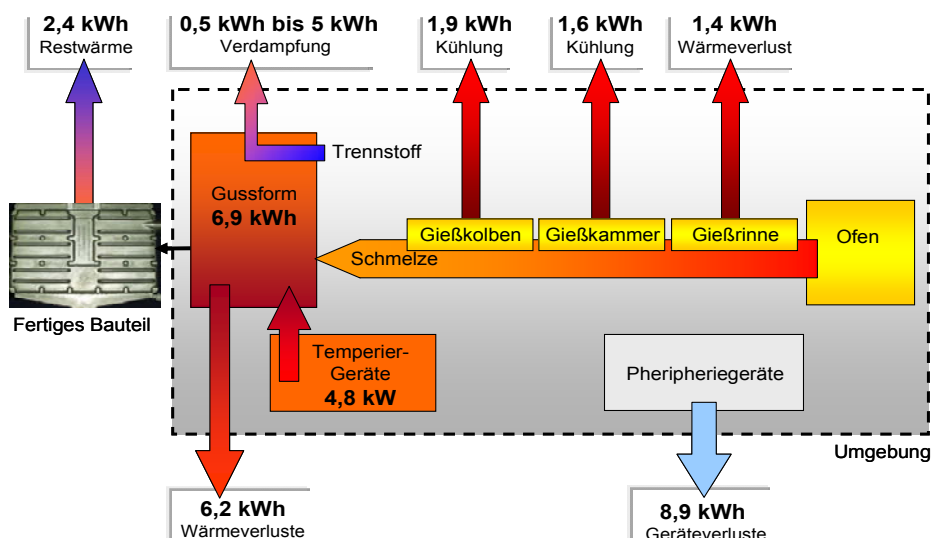


Abb. 4: Energetische Flüsse beim Druckguss von Aluminium [6].

Neben der Betrachtung der effizienten Nutzung von Energie und Hilfsstoffen bei der Herstellung von Aluminiumgussteilen ist auch die möglichst effiziente Bereitstellung und Nutzung des Aluminiums selbst von wichtiger Bedeutung. Je nach Teilespektrum, Anzahl der verwendeten Legierungen und vorrätiger Infrastruktur wird die Schmelzebereitstellung aus Masseln/Kreislaufmaterial und Aufarbeitung in der Gießerei vorgenommen oder die flüssige Legierung wird direkt in Thermobehältern angeliefert. Es entstehen somit diverse Stoffkreisläufe in denen Material in unterschiedlichen Qualitäten immer wieder erschmolzen und aufgearbeitet werden muss. Allerdings ist gerade die schlechte Ausnutzung des Rohstoffs Aluminium im Prozess problematisch. Überlauf und Anguss (die bis zu 50% bei der gegossenen Form ausmachen können) sowie fertige Bauteile, die nicht der geforderten Qualität entsprechen oder Teile aus dem Anfahrprozess werden als Recycling-Material zum Teil in Masseln umgeschmolzen und müssen den gesamten energieintensiven Prozess erneut durchlaufen. Dies betrifft je nach Fertigungsparametern bzw. Bauteil 30-70% des ursprünglich eingebrachten Materials. Darüber hinaus fallen 2-5% Materialverluste an, die nicht wieder in den Prozess eingebracht werden können (z.B. durch starke Verunreinigungen) und somit verloren sind [7]. Während diese Verluste aus Sicht des Unternehmens vor allem durch Materialkosten entscheidend sind, ist aus Umweltsicht die äußerst energieintensive und Umwelt schädigende Gewinnung von Aluminium äußerst kritisch zu sehen ist (Abfälle mit Umweltgefährdungspotential, große Flächen zum Abbau von Bauxit notwendig, Elektrolyse zur Aluminiumgewinnung). Damit führt eine Verbesserung der Materialeffizienz und damit Reduktion des Aluminiumverbrauchs aus globaler Sicht 'indirekt' ebenfalls zu einer erheblichen Senkung des Energiebedarfs.

Im BMBF-geförderten Projekt ProGress (Gestaltung ressourceneffizienter Prozessketten am Beispiel Aluminiumdruckguss, <http://www.progress-aluminium.de>) wird nun in Einklang mit dem erweiterten Prozess- und Systemverständnis (siehe oben) ein integrierter Ansatz verfolgt. Neben der isolierten Analyse von Material- und Energieverbräuchen und -verlusten einzelner Prozesse wird in ProGress die Bewertung und Gestaltung der gesamten Prozesskette Aluminiumdruckguss hinsichtlich des Energie- sowie des Materialeinsatzes angestrebt. Hierfür ist eine Betrachtung der Energieverbräuche und Stoffströme von der Ebene der Einzelprozesse über einzelne Produktionssysteme hin zu unternehmensübergreifenden Lieferketten entlang der Prozesskette Aluminiumdruckguss notwendig.

Ausgehend von Unternehmenskennzahlen werden zunächst Verbrauchskennwerte der Anwenderunternehmen generiert und als Effizienzmaß für das individuelle Produktionssystem genutzt. So können erste Zusammenhänge zwischen Produktionsvolumen und Produktionssystemen in Beziehung zum Ressourcenverbrauch und Energieaufwand pro Fertigteil identifiziert werden. Für die unternehmensinterne Prozesskette vom Einschmelzen des Materials über das Warmhalten und Dosieren an der Druckgussanlage und den Druckgussprozess selbst bis hin zur mechanischen Nachbearbeitung lassen sich so als Folge unterschiedlicher Automatisierungsgrade, Nutzungsgrade und Losgrößen auch stark differierende Verbrauchsgrößen hinsichtlich der verwendeten Energieträger dokumentieren. *Abbildung 5* zeigt die Anteile der Energieträger Gas und Elektrizität an dem Energiebedarf pro Kilogramm endbearbeitete Gussteile über die hausinterne Prozesskette zweier ausgewählter Gießereien.

Unternehmen 1 repräsentiert dabei ein Unternehmen mit stark standardisierten und automatisierten Prozessen mit hohem Nutzungsgrad. Unternehmen 2 repräsentiert hingegen ein Unternehmen, das sich durch eine hohe Variantenvielfalt bei relativ kleinen Losgrößen und einer großen Anzahl an manuellen Tätigkeiten auszeichnet. Unterschiedliche Konzepte zur Bereitstellung und Dosierung der Schmelze aufgrund der Anforderungen der unterschiedlichen Produktionsprogramme führen zu einem variierenden prozentualen Anteil der unterschiedlichen Energieträger.

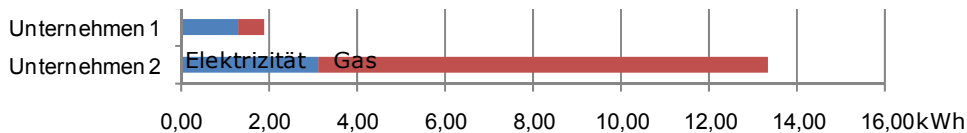


Abb. 5: Energieverbrauch je kg Gussteil in der unternehmensinternen Prozesskette.

Um nun die Nutzungseffizienz der einzelnen Energieträger in diesem Produktionssystem zu steigern, ist insbesondere auch eine Analyse der einzelnen Systembestandteile erforderlich. In Druck-Gießereien stellen Druckgusszellen sinnvolle Subsysteme dar. Sie vereinen die Druckgussmaschine selbst, Dosierofen, Temperiergeräte sowie diverse weitere Peripheriegeräte. Wird nun auf den Verbrauch elektrischer Energie in diesem Subsystem fokussiert, können unterschiedliche Lastgänge der Einzelverbraucher beobachtet werden, die sich zu einem Gesamtlastgang überlagern, welcher wiederum den Beitrag der Druckgusszelle zum Leistungsabruf des gesamten Produktionssystems widerspiegelt.

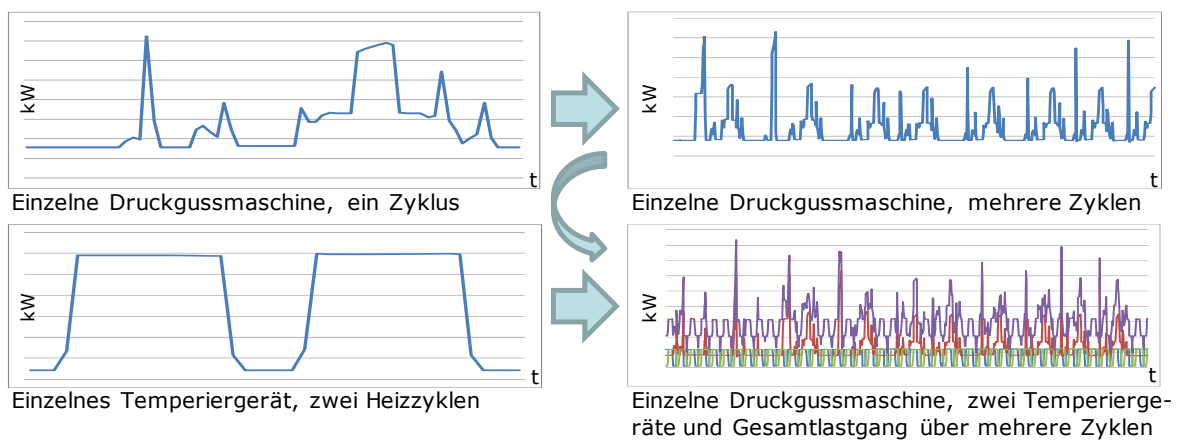


Abb. 6: Überlagerung von Lastgängen in Druckgusszellen.

Wie aus *Abbildung 6* ersichtlich ist, können für ausgewählte Verbraucher charakteristische Lastgänge (hinsichtlich Standby-Verbräuchen, Lastspitzen, lastabhängigen Niveaus, etc.) dokumentiert werden, die im Rahmen des Projektes ProGRess auch in anderen Produktionsumgebungen der Aluminiumdruckgussbranche beobachtet werden können und sich teilweise nur durch einen Skalierungsfaktor unterscheiden. Sie bieten sich also an, um bereits bei der Planung einer neuen Druckgusslinie oder auch im Rahmen einer dynamischen Simulation der Aluminiumdruckgussfertigung herangezogen zu werden. So kann bereits vor Inbetriebnahme neuer Produktionssysteme oder aber auch bei der Änderung von Prozessparametern frühzeitig das Verhalten der Prozesskette vorherbestimmt und energetisch effizient ausgelegt werden. Darüber hinaus lassen sich die aufgenommenen Lastgänge auch zur Effizienzsteigerung in bereits bestehenden Druckgusszellen nutzen, um sowohl technologische als auch organisatorische Potenziale zu identifizieren und Maßnahmen abzuleiten. Auf diesem Wege können sowohl auf Einzelprozessebene als auch unternehmensübergreifend Hebel zur Steigerung der Energie- und Ressourceneffizienz identifiziert werden, um Emission von Klimagasen dauerhaft reduzieren und gleichzeitig die Wettbewerbsfähigkeit der deutschen Aluminiumdruckgussbranche sichern zu können.

4 Energieorientierte Simulation

Wie dargestellt ist für eine realistische, energie- und ressourceneffiziente Auslegung von Systemen mit mehreren Maschinen die Berücksichtigung der Verbrauchs- und auch Emissionsdynamik von großer Bedeutung. So können hiermit nicht wertschöpfende Verluste aufgezeigt und Maßnahmen zur Abstellung abgeleitet werden. Auch sind Belastungsspitzen sowohl aus wirtschaftlicher (z.B. Leistungs-/Leistungsüberschreitungpreiskomponente in

Energieversorgungsverträgen) als auch aus technischer Sicht (z.B. Auslegung elektrisches Netz und TGA) von wichtiger Bedeutung. Da statische Ansätze hierzu nicht mehr ausreichend sind, wurde zur energieorientierten Analyse und Bewertung von Prozessketten bzw. Fabrikssystemen ein geeigneter Simulationsansatz entwickelt [8] [9]. Hiermit können Produktionssysteme mit allen Anlagen und den relevanten energetischen und stofflichen Flüssen modelliert werden. Auch werden Wechselwirkungen mit der TGA wie z.B. die notwendige Energie zur Bereitstellung von Druckluft berücksichtigt. *Abbildung 7* zeigt beispielhaft Ergebnisse einer Fallstudie: Auf Basis eines modellierten Produktionssystems wurden Szenarien (in diesem Fall Variationen im Bereich Produktionsplanung und -steuerung) simuliert und eine integrierte Bewertung nach ökologischen (Stromverbrauch), wirtschaftlichen (Stromkostenberechnung auf Basis eines realen Vertragsmodells mit Leistungspreis) und technischen (Produktionszeit) Gesichtspunkten durchgeführt. Die Diagramme zeigen das resultierende Lastprofil verschiedener Szenarien. Es fällt auf, dass das energetische Verhalten des Produktionssystems wesentlich durch Produktionsplanung und -steuerung beeinflusst werden kann. Auch zeigen sich in diesem Fall Zielkonflikte zwischen den verschiedenen Bewertungsdimensionen. Wie dargestellt ist auf dieser Basis nun eine integrierte Bewertung und die Ableitung von aus Gesamtsicht vielversprechenden Maßnahmen möglich (im Beispiel ist z.B. Szenario 3 zu bevorzugen).

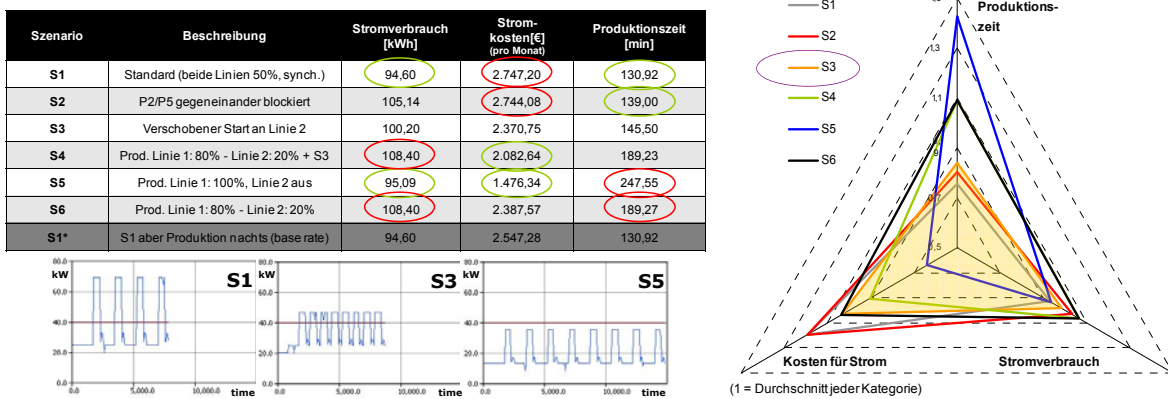


Abb. 7: Beispielhafte Ergebnisse einer energieorientierten Prozesskettensimulation und integrierte Bewertung [8].

5 Energie- und Hilfsstoffoptimierte Produktion

In Forschung und industrieller Praxis sind mittlerweile eine Vielzahl möglicher Maßnahmen zur Erhöhung der Energie- und Ressourceneffizienz grundsätzlich bekannt [10]. Allerdings fehlt es insbesondere für KMU an Entscheidungsunterstützung bzgl. konkreter Einsetzbarkeit und Wirksamkeit solcher Ansätze im speziellen Fall. Mit dem BMBF-geförderten Projekt EnHiPro (Energie- und Hilfsstoffoptimierte Produktion, <http://www.enhipro.de>) werden produzierende KMU auf kontinuierlicher Basis in die Lage versetzt, solche organisatorischen und technischen Maßnahmen zur Effizienzsteigerung zu ermitteln und die Auswirkungen zu bewerten. Neben Strom-, Gas- oder Ölverbräuchen werden hierbei explizit auch andere Energieformen bzw. Hilfsstoffe wie z.B. Druckluft, Prozesswärme oder Kühlschmierstoffe berücksichtigt. Wie in *Abbildung 8* dargestellt, liegt das Ziel in der notwendigen Integration von Energie- und Hilfsstoffverbräuchen in das betriebliche Produktionsmanagement. Durch eine geeignete Verknüpfung von Messtechnik und IT-Anwendungen zur Verbrauchserfassung und -kontrolle werden hierfür die realen Verbrauchswerte zunächst erfasst und visualisiert. Diese Daten bilden die Grundlage zur Analyse und Bewertung von Maßnahmen zur Optimierung der Energie- und Hilfsstoffeffizienz, indem Effekte und Potentiale von Maßnahmen vorhergesagt und visualisiert werden. Auf Basis einer energie- und hilfsstoffverbrauchsorientierten Auswertung von Prozessketten wird hiermit ein Beitrag zur Schließung der vielfach zu beobachtenden Lücke zwischen Wissen und Handeln geleistet.

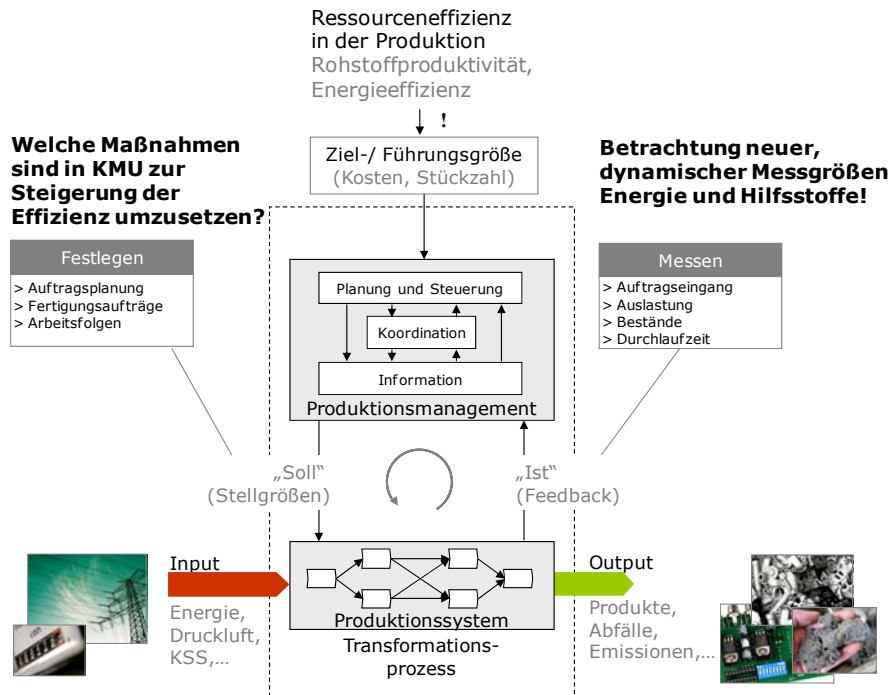


Abb. 8: Integration von Energie- und Ressourcenverbräuchen in den betrieblichen Regelkreis der Produktion.

Literatur:

- [1] Günther, H.-O.; Tempelmeier, H., 2005, Produktion und Logistik. 6., verb. Aufl., [Hauptbd.], Springer.
- [2] Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie, Energiedaten -nationale und internationale Entwicklung, 2009, verfügbar unter <http://www.bmwi.de/BMWi/Navigation/Energie/energiestatistiken.html>
- [3] London Metal Exchange Webseite, 2008, verfügbar unter <http://www.lme.com/>.
- [4] Herrmann, C., 2009, Ganzheitliches Life Cycle Management, Springer.
- [5] Hesselbach, J.; Herrmann, C.; Detzer, R.; Martin, L.; Thiede, S.; Lüdemann, B., 2008, Energy Efficiency through optimized coordination of production and technical building services, In: 15th CIRP International Conference on Life Cycle Engineering, Sydney, Australien, Seite 624-629, ISBN 978-1-877040-67-2.
- [6] Optimierung der Energiebilanz beim Aluminium-Druckgießprozess, Abschlussbericht September 2007, Deutsche Bundesstiftung Umwelt, Förderkennzeichen AZ 22197, Institut für Füge- und Schweißtechnik, TU Braunschweig.
- [7] Institut für Füge- und Schweißtechnik, TU Braunschweig.
- [8] Herrmann, C., Thiede, S., 2008, Increasing Energy Efficiency in Manufacturing Companies through Process Chain Simulation, In: Sustainability and Remanufacturing VI - Global Conference on Sustainable Product Development and Life Cycle Engineering, Pusan, Korea, 2008, Seite 52-57.
- [9] Herrmann, C., Thiede, S., 2009, Process chain simulation to foster energy efficiency in manufacturing, In: CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology, Elsevier, ISSN 1755-5817.
- [10] Seefeldt, F; Wunsch, M.; Baumgartner, W.; Matthes, U., 2007, Energieeinsparung und Energieeffizienz. Potenzialermittlung im Auftrag des BMWi 18/06, Prognos AG.

Innovationsallianz Green Carbody Technologies

Prof. Reimund Neugebauer

Fraunhofer-Institut für Werkzeugmaschinen und Umformtechnik IWU, Chemnitz

Zusammenfassung

Bestärkt und getrieben insbesondere durch Entwicklungen am Energie- und Rohstoffmarkt sowie durch umweltpolitische Herausforderungen und Notwendigkeiten setzen deutsche Wirtschaftsunternehmen in den letzten Jahren insbesondere auch in der Produktionstechnik verstärkt Themen der Energie- und Ressourceneffizienz in den Fokus ihrer weiteren Entwicklung und strategischen Ausrichtung.

Ein aktuelles Beispiel kooperativen Handelns mit dieser Zielrichtung ist die Innovationsallianz Green Carbody Technologies (InnoCaT), die zu Jahresbeginn 2010 nach mehr als einjähriger Vorbereitungsphase die Arbeit an fünf großen Verbundforschungsvorhaben zur Ressourceneffizienz in der Prozesskette der Fertigung von Fahrzeugkarosserien aufgenommen hat.

In enger Abstimmung und unter Führung des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF) wurde das Grundkonzept dieser Allianz – eine enge Integration von eigenen Handlungslinien der Industriepartner, unterstützt durch vorwettbewerbliche Verbundforschung entwickelt, öffentlich diskutiert und gemeinsam mit Experten in seiner fachlich-inhaltlichen Ausrichtung fokussiert.

Das im Beitrag vorgestellte Gesamtprojekt umfasst ein Forschungsvolumen von ca. 30 Mio. Euro und integriert mehr als 60 Industriepartner und Forschungseinrichtungen in die vorwettbewerbliche Verbundforschung.

1 Einleitung

Energieeffiziente und ressourcenschonende Produktionstechnik ist ein Zukunftsfeld für die deutsche Industrie. Wirtschaftlichkeit und Effizienz waren seit jeher Treiber für Innovationen und die Behauptung von führenden Positionen am Markt. Sich verschärfende globale umweltpolitische Herausforderungen und aktuelle Entwicklungen am Energie- und Rohstoffmarkt setzen zusätzliche neue Aspekte.

In einer gemeinsamen Studie des Bundesministeriums für Bildung und Forschung BMBF und der Fraunhofer Gesellschaft FhG im Frühjahr 2008 wurden vordringliche Handlungsbedarfe zur Energie- und Ressourceneffizienz in der Produktion erarbeitet, systematisch analysiert und thematisch fokussiert; Schwerpunkte für die Forschung und technische Entwicklung konnten definiert werden [1].

Als ein Ergebnis der Studie und als konkreter Handlungsplan wurde die nachfolgend in ihren Grundinhalten dargestellte Initiative einer Innovationsallianz für die deutsche Produktionstechnik konzipiert und in die praktische Umsetzung gebracht.

2 Innovationsmotor Produktionstechnik

2.1 Paradigmenwechsel in der Produktion

Das produzierende Gewerbe ist das wirtschaftliche und technische Rückgrat Deutschlands; auch im internationalen Maßstab nimmt es eine führende Position ein.

Die deutsche Produktionstechnik ist insbesondere aufs engste mit der Automobilindustrie verlinkt. Diese Branche bildet das Zentrum einer auch stark mittelständisch orientierten Zuliefererindustrie, bestimmt ebenso Entwicklungen im Werkzeugmaschinen- und

Anlagenbau wie im Werkzeugbau, hat aufgrund ihres Wirkungsbereiches im weltweiten Wettbewerb ständigen Innovationsbedarf und ist selbst stärkster Innovationstreiber. Es ist essentiell, diese Säule der deutschen Wirtschaft mit großer Bedeutung für das materielle und soziale Wohlergehen unserer Gesellschaft auch zukünftig zu erhalten, zu festigen und weiter auszubauen.

Moderne Produktionstechnik ist effizienzorientiert – die funktionale Lösung erfolgt unter optimalem Aufwand-Nutzen-Aspekt, klares Kostendenken steht im Fokus.

Die absehbar nicht in der derzeitigen Dynamik fortführbare Ausbeutung wichtiger rohstofflicher Ressourcen ebenso wie die nachweislich signifikante negative Beeinflussung unserer Umwelt durch die Ausmaße des neuzeitlichen menschlichen Wirkens auf der Erde favorisieren stärker und stärker ein weiteres Optimierungskriterium für die Produktionstechnik: die Energie- und Ressourceneffizienz.

Die nachhaltige Nutzung von insbesondere materiellen Ressourcen und der effizientere Energieeinsatz haben bereits und werden zukünftig verstärkt einen Paradigmenwechsel von heute „maximaler Gewinn aus minimalem Kapital“ zu „maximaler Wertschöpfung aus minimalen Ressourcen“ erzwingen [2]. Das rechtzeitige Erfassen dieser Tendenz und das Finden schlüssiger Antworten und attraktiver Lösungen beinhalten signifikanten Wettbewerbsvorteil am Markt und eröffnen neue, immense Innovationspotenziale für und in der deutschen Produktionstechnik [3; 4].

2.2 Forschungsschwerpunkt Karosseriefertigung

Als Technologieverbund verfolgt die Innovationsallianz „Green Carbody Technologies“ im gemeinsamen Bemühen von Wirtschaft und Wissenschaft die Zielstellung einer gezielten markt- und anwendungsorientierten Kooperation zur Erreichung signifikanter Innovationen im Bereich der Energie- und Ressourcenschonung in Kernbereichen der Produktionstechnik für die Automobilfertigung.

Für den inhaltlichen Handlungsraum der Allianz wurde in einem ganzheitlichen Ansatz die produktionstechnische Prozesskette der Fertigung von Fahrzeugkarosserien gewählt.

In diesem Handlungsraum sollen Brücken geschlagen werden zwischen neuen Forschungsergebnissen im Technologiebereich und deren Anwendung in konkreten Branchenfeldern, um somit wirtschaftliche Erfolge zu generieren. Methodenwissen soll erarbeitet und neue Technologien, Verfahrensabläufe, Komponenten und Werkzeuge sind zu qualifizieren und zu testen, die dem Anspruch einer energieeffizienten und ressourcenschonenden Produktionstechnik Rechnung tragen und die somit eine breitere Nutzung der am Demonstrator „Karosseriefertigung“ entwickelten und qualifizierten Innovationen in der industriellen Praxis ermöglichen.

Diesem Ziel entsprechend setzt sich das Forschungskonsortium sowohl in seiner Struktur als auch in der themenbezogenen Gliederung im Kern aus Firmen der deutschen Zuliefer- und Ausrüsterindustrie und deren Systempartner, OEM's der Automobilindustrie und produktionstechnischen Forschungsinstituten der Fraunhofer Gesellschaft für angewandte Forschung FhG zusammen – eine schlagkräftige Allianz aus nachgewiesenermaßen außerordentlich erfolgreichen Akteuren.

Dieses Konsortium versteht sich ebenso als Public-Private-Partnership, indem insbesondere das Industriekonsortium seine eigenen zielgerichteten Investitionen thematisch mit dem Projektverbund abstimmt und somit eine Verbindung zu vorwettbewerblichen Aktivitäten schafft.

Die Fertigung von Fahrzeugkarosserien wurde auch aufgrund ihres multiplikatorischen produktionstechnischen Potenzials als Handlungsraum für diese noch engere Verzahnung von wissenschaftlichen und industriellen Aktivitäten gewählt. Wesentliche Kernbereiche der Karosseriefertigung definieren als fachliche Themenfelder, wie nachfolgend beschrieben, die Struktur und die Arbeitsplanung der Projekte.

Wirtschaftlich stellt die Fertigung von Fahrzeugkarosserien in Summe mit den dafür erforderlichen Produktionsausrüstungen einen wesentlichen wertschöpfenden Bestandteil der Automobilproduktion dar.

Umweltpolitisch, d.h. mit Bezug auf Energieeinsatz und Ressourcenverbrauch definiert die Karosserie als Automobilkomponente allein durch ihre funktionsbedingte Masse wesentlich den späteren Treibstoffverbrauch und somit den CO₂-Ausstoß. Ebenso bietet sie auch noch erhebliches produktionstechnisches Einsparungs- und Effizienzsteigerungspotenzial in ihrer Fertigung.

Aus ganzheitlicher und multiplikativer Sicht wird in der Karosserie in der Fertigungsprozesskette vom Halbzeug Blech über den Werkzeugbau, die Umform- und Maschinenteknik im Presswerk, den Karosseriebau zur Erzeugung von Baugruppen der Karosserie und der Gesamtstruktur bis hin zur Lackierung bei einem geschlossenen planerischen Ansatz bisher nicht genutztes Potenzial für weitere Innovationen gesehen.

Letztendlich besitzt die Karosseriefertigung auch aus Sicht der Ergebnisverwertung von Forschungs- und Entwicklungsergebnissen den Vorteil des wiederkehrenden sowohl technologischen als auch ausrüstungsseitigen Zykluswechsels, da insbesondere die automobiltypischen Modellwechsel ca. alle fünf Jahre einen erneut nutzbaren Markt für die tatsächliche Applikation produktionstechnischer Innovationen erzwingt und insbesondere für Zulieferer und Ausrüster eröffnet.

Insbesondere soll über konkrete technische Einzelziele und methodisch modellhafte „look ahead“ Konzepte Wissensvorlauf geschaffen, geprüft und gesichert werden, um zukünftig Produktionsabläufe, z.B. in der Karosseriefertigung, bei gleichem Output mit weit weniger Energieeinsatz und Ressourcenverbrauch realisieren zu können.

Die nachfolgende Abbildung stellt die Ausgangssituation im heutigen Karosseriebau dar und gibt eine generelle Übersicht zum fachlichen Konzept sowie den produktionstechnischen Inhalten der Innovationsallianz „Green Carbody Technologies“.

Projektkonzept – Innovationsallianz-Initiative „Green Carbody Technology“

Ressourceneffiziente Optimierung der Prozesskette lackierte Karosserie

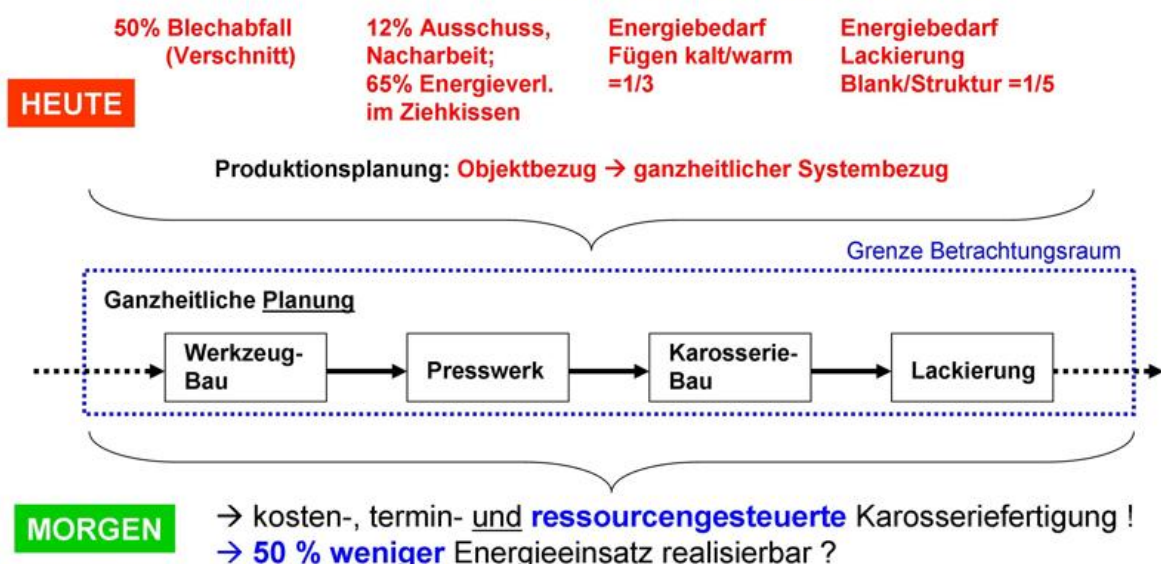


Abb. 1: Ganzheitliches Konzept des Lösungsansatzes

Betrachtet man vorliegende umwelt- und energiepolitische Analysen, Vergleiche und Darstellungen des Automobils, so beziehen sich diese nahezu ausschließlich auf den Treibstoffverbrauch bei Nutzung des Automobils und den diesbezüglichen Ausstoß an die Umwelt beeinflussenden Gasen, insbesondere von CO₂.

Nicht vorhanden sind analoge Aussagen und Datenmaterial hinsichtlich der Fertigung des Automobils; selbst Bilanzierungsmethoden und Kenndaten, die einen Vergleich unterschiedlicher Fertigungstechnologien und eine Optimierung ermöglichen, fehlen heute noch nahezu vollständig. Die wenigen hierzu bekannten Nennungen umfassen die Spannweite von 20 bis zu 60% des Energieverbrauchs der späteren Nutzung auch für die Produktion selbst.

Sowohl aus politischer als auch aus ökonomischer und umweltpolitischer Sicht ist es als essentiell anzusehen, zukünftig auch die produktions- und fertigungstechnischen Prozesse einer energieeffizienzseitigen Bewertbarkeit zugänglich zu machen, entsprechende Methoden, Kennzahlensysteme und Planungssystematiken gleichzeitig mit den erforderlichen neuen technischen und technologischen Innovationen zu entwickeln.

Handlungsansatz: **Produktionsverbrauch gleichwertig** zum **Nutzungsverbrauch**

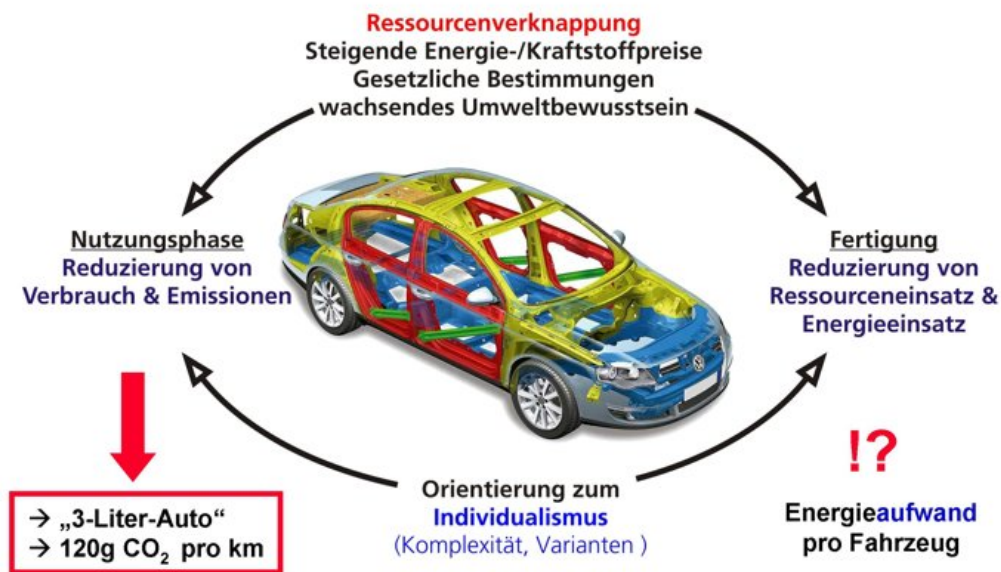


Abb. 2: Produktionsverbrauch als Innovationstreiber

Vor klein- und mittelständischen Unternehmen (kmU) der Produktionstechnik steht diese Aufgabe verstärkt, da insbesondere deren Kunden, die OEM's, energierelevante Daten heute bereits in Anfängen, zukünftig absehbar vollumfänglich mit dem eigentlichen Produkt als zusätzliche Information und Wertungsmaßstab miterwarten, Erfahrungen und systematische Lösungswege jedoch bisher nur begrenzt bzw. noch nicht vorliegen.

Arbeitsteilung und Kooperation sind gerade in der Produktionstechnik wesentliche Grundlagen des wirtschaftlichen Erfolgs. Andererseits hat die damit verbundene notwendige klare Aufteilung von funktionalen und kommerziellen Verantwortlichkeiten in den Wertschöpfungsketten auch zur Situation geführt, dass systembedingte Schnittstellen mögliche, sich in einem ganzheitlichen Ansatz erschließende Potenziale von vor- bzw. nachgelagerten Produktionsschritten ungenutzt lassen.

Deshalb spannt die Innovationsallianz inhaltlich den integrierenden Bogen vom Werkzeugbau über Presswerk und Karosseriebau bis hin zur Lackierung der Rohkarosserie. Durch ganzheitlichen Systembezug sollen auch in und für die Produktionsplanung insbesondere beim OEM als übergeordnetem Steuerungselement Optionen genutzt werden, die durch Abgang vom bisher vorherrschenden klassischen Objektbezug erwachsen.

3 Eine Allianz – fünf Verbundprojekte

Die Innovationsallianz Green Carbody Technologies „InnoCaT“ ist in fünf Themenfelder strukturiert, aus denen sich fünf zielorientierte, thematische Verbundforschungsvorhaben ableiten. Diese Verbundvorhaben decken dabei inhaltlich die in die Betrachtung eingebundenen und in Voruntersuchungen validierten Handlungsräume der Prozesskette lackierte Karosserie ab:

- Planung
- Presswerk
- Werkzeugbau
- Karosseriebau
- Lackierung

In den Verbundprojekten wurden jeweils zwei bzw. drei Handlungsstränge fokussiert, die sich als übergeordnete fachliche Gesichtspunkte zur Lösung der Zielstellung herauskristallisiert haben und durch konkrete thematische Teilprojekte in schlagkräftigen kleineren Forschungsteams bearbeitet werden. Diese Handlungsstränge spiegeln insbesondere die individuellen, marktorientierten Interessenlagen der Industriepartner der Allianz wieder.

Die fünf einzelnen Verbundprojekte innerhalb der Allianz sind:

InnoCaT 1: „Planung der Niedrigenergie-Produktion“ mit den Handlungssträngen

- Energieinformations- und Datenmanagementsysteme
- Planungsmethoden und –tools
- Operatives Ressourcenmanagement

InnoCaT 2: „Performance Presswerk“ mit den Handlungssträngen

- Ressourcensparende Umformprozesse
- Energieeffiziente Anlagentechnik

InnoCaT 3: „Ressourceneffizienter Werkzeugbau“ mit den Handlungssträngen

- Energiebilanz Werkzeuglebenszyklus
- Werkzeugkonzeption für ressourcenoptimierten Einsatz
- Energieeffiziente Herstellung und Reparatur im Werkzeugbau

InnoCaT 4: „Energie- und ressourceneffizienter Karosseriebau“ mit den Handlungssträngen

- Bewertung und Gestaltung von Karosseriebauprozessen
- Innovative elektrische Komponenten und Steuerungstechnik
- Leichtbaustrategien

InnoCaT 5: „Lackierung“ mit den Handlungssträngen

- Optimierung Prozessschritte Spritzlackierung und Trocknung
- Modularisierung des Karosseriebaus

Anzumerken ist, dass das „Planungsprojekt“ InnoCaT 1 innerhalb der Forschungsthemen der Allianz eine übergeordnete Stellung einnimmt. Neben eigenen planungstechnischen fachlichen Themen bietet es die einzigartige Möglichkeit (und ist bewusst darauf angelegt) der Akkumulation von Daten und der Entwicklung von ganzheitlichen Bilanzierungsansätzen

über alle Themenfelder hinweg, somit über den gesamten Prozess der Karosseriefertigung. Darüber hinaus erfolgt durch dieses Verbundvorhaben im Rahmen eines sogenannten Integrationsprojektes die Gesamtkoordination.

Allianz und Technologieverbund „Prozesskette Karosseriefertigung“

- **Schlüsselprozesskette** zur **Ressourceneffizienz**
- **Kooperative, konzertierte Aktion** deutscher OEM's
- **Partnerschaft** mit Zulieferern, Ausrüstern, Instituten
- Kein Alleingang → **Allianzen !**
- **Σ Synergien !**

Ganzheitliche Planung



Abb. 3: Ganzheitlichkeit und Synergien durch Allianz

In allen Themenfeldern bilden die beteiligten Unternehmen die gesamte Wertschöpfungskette repräsentativ ab. Damit wird erstmalig auch eine enge Verzahnung von Forschungs- und Produktionsstrategien nicht nur bei der Automobilentwicklung sondern auch im Bereich der Produktion von Automobilen erreicht. Damit verbunden ist eine Erhöhung der Forschungs- und Entwicklungseffizienz und eine Verkürzung von Zeiten bei der Planung und Umsetzung neuer Investitionen in der Automobilindustrie. Erst damit ist eine Voraussetzung für eine effiziente Produktion neuer Fahrzeug- und Antriebskonzepte gegeben.

4 Produktionstechnische Zielstellungen der Allianz

Die Effekte der zu entwickelnden technischen Lösungen bieten sowohl den beteiligten OEM's aber auch den Zulieferern eine hohe Chance für Wettbewerbsvorteile im harten Wettbewerb der globalen Automobilindustrie. Geplant sind jeweils themenfeldspezifische Vermarktungsplattformen der Zuliefererindustrie in denen komplementäre Partner gemeinsam übergreifende Systemlösungen anbieten und die notwendige enge Verzahnung bei der Vermarktung der Teilergebnisse erreicht wird. Gleichzeitig wird durch eine Modularisierung von Lösungen eine weit über das konkret adressierte Themenfeld hinausgehende Verwertung ermöglicht, was insbesondere im Interesse der beteiligten klein- und mittelständigen Unternehmen liegt.

Nachfolgend eine kurze Übersicht zu Schwerpunkten und produktionstechnischen Zielstellungen der thematischen Verbundprojekte.

Im **Themenfeld Planung** für die energieeffiziente Produktion entstehen Methoden und Werkzeuge zur ressourcenorientierten Planung von Fertigungsprozessen. Die Ergebnisse fließen direkt in die Produkte der beteiligten Softwarehersteller ein. Der Feldtest der Alpha-Version kann dabei sowohl in der Karosseriefertigung als auch in der Produktion der

beteiligten Zulieferer erfolgen. Damit ist eine brachenunabhängige breite Verwertung gegeben. Gleichzeitig erarbeitet dieses Themenfeld die methodische Grundlage für die investive Umsetzung einer zukünftigen, Ressourcen schonenden, Produktion.

Die Ergebnisse des **Themenfeldes Performance-Presswerk** beeinflussen die Gesamtheit der im Presswerk ablaufenden Vorgänge. Schwerpunkt sind neue Technologien zur drastischen Erhöhung des Blechsausnutzungsgrades von 60 % auf 80%, Regelungs- und Steuerungskonzepte für die Null-Fehler-Produktion mit dem Ziel der Senkung der realen Ausschussquote auf <2% sowie die dafür notwendigen innovativen Komponenten für die Pressen- und Handlingstechnik. In diesem Themenfeld sind Unternehmen der gesamten Wertschöpfungskette, d.h. Werkstoffhersteller, Anlagenhersteller und Presswerksbetreiber beteiligt. Eine zeitnahe Umsetzung in konkrete Folgeinvestitionen der OEM's ist beabsichtigt.

Im **Themenfeld Werkzeugbau** werden neue Lösungen für den gesamten Lebenszyklus der für die Karosseriefertigung notwendigen Umformwerkzeuge erarbeitet. Leichtbauwerkzeug und neue Aktorik für werkzeugintegrierte Antriebe sind konkrete Ansätze zur Senkung des Ressourceneinsatzes während des Werkzeugwechsels und für die Integration von Zusatzoperationen bis hin zu Fügeoperationen. Essentiell ist die Erhöhung der produktiven Zeiten in der Werkzeugfertigung um den wertschöpfenden Ressourceneinsatz um bis 30% zu erhöhen. Die Verwertung der Ergebnisse erfolgt dabei primär durch die beteiligten Klein- und mittelständischen Unternehmen des Werkzeugbaus, die damit ihre Zuliefererpositionen gegenüber der OEM's deutlich verbessern können. Gleichzeitig ist es ein wirksamer Ansatz, mit derartigen Alleinstellungsmerkmalen den in den letzten Jahren zu beobachtenden Exodus der High-Tech-Branche Werkzeugbau aus Deutschland zu stoppen.

Das **Themenfeld Karosseriebau** hat in der gesamten Prozesskette einen sehr hohen Einfluss auf die Ressourceneffizienz. Die Vielfalt der dabei ablaufenden Fertigungsschritte erfordert neue Methoden zur Bewertung der Effizienz von Ressourceneinsatz versus Wertschöpfung. Nutzbar sind diese Methoden für alle Anlagenaurüster, insbesondere jedoch für KMU, da diese auf standardisierte Prozesse zurückgreifen können. Ein wesentlicher Beitrag zur Zielerreichung ist der Leichtbau von Betriebsmitteln. Ziel sind Massereduzierungen von bis zu 30% und eine damit verbundene drastische Senkung des für Bewegungsvorgänge notwendigen Energiebedarfs. Durch dass innovative Leichtbauansätze einer praktischen Validierung und Verifizierung im praktischen Einsatz unterzogen werden, können die für eine Vermarktung wesentlichen Erkenntnisse zur Flexibilität und Zuverlässigkeit gewonnen werden. Die Verwertung wird damit durch die beteiligten Anlagenhersteller sowohl im Karosseriebau aber darüber hinaus für weitere Branchenlösungen der Montage- und Fügetechnik erfolgen.

Das **Themenfeld Lackierung** erarbeitet neue Lösungsansätze in zwei Richtungen. Einerseits gilt es weiter den großen Energiebedarf im klassischen Lackierprozess im direkten Ansatz zu verringern. Andererseits können neue Karosseriebeschichtungsprozesse die Umform- und Fügeprozesse positiv beeinflussen und modifizieren.

Einen wesentlichen Beitrag bei der Koordination und Lösung der skizzierten Forschungsaufgaben leisten die drei Leitinstitute der Produktionstechnik in der Fraunhofer Gesellschaft, das Fraunhofer IWU für den Bereich Umformtechnik, Karosseriebau und Planung, das Fraunhofer IPT für den Werkzeugbau und das Fraunhofer IPA für die Lackiertechnik. Diese Institute weisen langjährige und international ausgewiesene Erfahrungen in der Forschung und Entwicklung in den adressierten Themengebieten auf. Als Fraunhofer Institute sind sie ausgerichtet auf die zügige Umsetzung der Innovationen in die industrielle Anwendung. Zum anderen bietet die Anbindung an die jeweiligen renommierten produktionstechnischen Bildungseinrichtungen in Chemnitz, Aachen und Stuttgart die Gewähr für einen aktuellen Erkenntnisstand neuester Ergebnisse auch der Grundlagenforschung.

Aus der Vielzahl der mögliche Industriepartner wurden gezielt insbesondere die Unternehmen ausgewählt, die sich in der jüngsten Vergangenheit durch einen hohen Anteil von Innovationen in ihrem jeweiligen Marktsegment ausgezeichnet haben. Die hier vorhandene rege Forschungs- und Entwicklungstätigkeit soll durch die Innovationsallianz insbesondere für Klein- und mittelständige Unternehmen nachhaltig verstetigt werden.

Die neuen methodischen Lösungsansätze der energie- und ressourceneffizienten Karosseriefertigung werden auch mit dem Anspruch versehen, sie zukünftig auf eine Vielzahl weiterer Prozessketten der mechanischen Fertigung und Oberflächenbehandlung zu übertragen.

5 Fazit und Ausblick

Vor den Partner dieser neuen, produktionstechnisch ausgerichteten Innovationsallianz liegen drei Jahre gemeinsamer Forschungsarbeit. Dank der Förderung durch das BMBF wird es möglich sein, neue, mit Erfolgsrisiko verbundene Lösungsansätze zu verfolgen. Ein Kriterium wird dabei sein, wie es gelingt, den Ansatz der Ganzheitlichkeit und den insbesondere für den Ingenieur so interessanten und für die Erzielung relevanter Innovationen so wichtigen Aspekt der „Schnittstelle“ zwischen den Fachgebieten umsetzbar und nutzbar zu gestalten.

Neben den konkreten technisch-fachlichen Zielen integriert die Allianz jedoch auch die wohl wichtigste Ressource jeglicher weiteren Entwicklung: die Ressource Mensch. Hier bietet die Innovationsallianz durch ihre thematische Breite eine hervorragende Basis zur Gewinnung von interdisziplinärer agierendem ingenieurtechnischen Nachwuchs für die Unternehmen und die Herausbildung von themenspezifischen Innovationszentren an den Forschungsstellen, die die Zusammenarbeit von Forschung und Industrie qualitativ neu prägen.

Literatur:

- [1] Neugebauer, R. (Hrsg.); Bundesministerium für Bildung und Forschung -BMBF-; Fraunhofer-Institut für Werkzeugmaschinen und Umformtechnik -IWU-, Chemnitz; Studie: Energieeffizienz in der Produktion: Untersuchung zum Handlungs- und Forschungsbedarf; Berlin: BMBF, 2008, 20 S.
- [2] Neugebauer, R.; Putz, M.: Potentiale ressourceneffizienter Produktion. Kongress Ressourceneffiziente Produktion, Leipzig, 25.2.2009
- [3] Neugebauer, R.; Göschel, A.; Sterzing, A.: Resource efficiency in production technologies – the German experience. In: European Commission: ICT 2020 Energy Efficiency: 19-20 March, Brussels, 2009, 21 S.
- [4] Neugebauer, R.; Koriath, H.-J.: Resource efficiency for a sustainable production; Intelligent manufacturing Systems, IMS Manufacturing technology platform and roadmap meeting: “Engineering a sustainable future”, November 9 and 10, 2009, Genf, Keynote

Produktionsforschung für Hochleistungs-Lithium-Ionen Batterien

Dr.-Ing. Hohenthanner Dr.-Ing. Mecklenburg

Li-Tec Battery GmbH; Evonik Litarion GmbH

Zusammenfassung

Die Vorteile und der Aufbau von Lithium-Ionen-Batteriezellen werden kurz erläutert. Anschließend wird der Fertigungsprozess von Lithium-Ionenzellen beschrieben. Die Herausforderungen und die Unterschiede bei der Herstellung von großvolumigen im Vergleich zu kleinen Zellen werden aufgezählt. Die sich daraus ergebenden Entwicklungsschwerpunkte werden genannt.

Das Projekt wird gefördert vom BMBF, Förderkennzeichen 02PO2603.

1 Einleitung

Die Lithium-Ionen-Batteriezelle hat von allen wiederaufladbaren (Sekundär-)Batteriezellen (Akkumulatoren) sowohl die höchste gravimetrische als auch die höchste volumetrische Energiedichte. Weitere Vorteile der Lithium-Ionen-Batteriezelle sind der hohe Wirkungsgrad von über 90 %, die geringe Selbstentladung und die hohe Zyklenstabilität über mehrere tausend Lade- & Entladezyklen auch bei hoher Strombelastung. Bisher kam die Lithium-Ionen-Batterie überwiegend nur in kleinen mobilen Anwendungen (4 C-Markt) wie Mobile Telefone, Camcorder, Computer etc. zum Einsatz. In Automobilen, großen Industrieanwendungen wie Staplern und großen stationären Anwendungen kam die Lithium-Ionen-Batterie aus verschiedenen Gründen bisher nur in geringer Stückzahl zum Einsatz. Bei großvolumigen Lithium-Ionen-Zellen mit hoher Energiekapazität ist der Sicherheitsaspekt sicherlich ein Grund, der komplexe und fehlerintolerante Fertigungsprozess, der keine Nacharbeit erlaubt, ein anderer und wesentlicher, für die bis heute nur geringe Marktdurchdringung und Einsatzzahl von großvolumigen Lithium-Ionen-Batterien in den oben genannten Bereichen.

2 Aufbau der Lithium-Ionen-Batterie und -Zelle

In einer Batterie werden mehrere, teilweise bis über 100 Batteriezellen seriell und/oder parallel verschaltet, um die Arbeitsspannung und/oder den Strom zu erhöhen. Eine Zelle besteht wiederum aus dem Elektrodenstapel, den Ableitern, dem flüssigen Elektrolyten und der Verpackung, vgl. Abbildung 1. Im Elektrodenstapel werden Separator-, Anoden-, Separator- und Kathodenblätter abwechselnd gestapelt. Aus 100 bis 160 solcher Einzelblätter besteht typischerweise ein Elektrodenstapel. Die Anoden- und Kathodenblätter bestehen aus einer dünnen, 10 µm dicken Kupfer- bzw. 20 µm dicken Aluminiumfolie, auf die beidseitig die Aktivmaterialien – Graphit auf der Anode und Lithium-Metalloxide auf der Kathode – zusammen mit Leitrüß und einem Binder aufgebracht werden. Der Separator mit einer Dicke von unter 30 µm besteht aus Keramikpartikeln, die auf einem Kunststoffvlies aufgebracht werden. Im Vergleich zu Separatoren aus Polyolefine erhöht der keramische Separator die Sicherheit der Lithium-Ionen-Zelle insbesondere im Abuse-Fall.

3 Fertigungsprozess der Lithium-Ionen-Batteriezelle

Der Fertigungsprozess der Lithium-Ionen-Batteriezelle kann in drei Hauptprozesse unterteilt werden, vgl. auch Abbildung 2:

1. Fertigung der Elektroden (Anode und Kathode)
2. Fertigung der Zelle
3. Postprozess bestehend aus Formation, Lagerung und Endkontrolle mit Sortierung

Bei der Elektrodenfertigung werden die Aktivmaterialien zusammen mit Leitruß und einem Binder auf die Metallfolien aufgetragen, anschließend werden die Elektrodenrollen kalandriert und in Längsrichtung auf Maß geschnitten. In der Zellfertigung werden aus den Elektrodenrollen Einzelblätter geschnitten. Die Anoden- und Kathodenblätter werden abwechselnd und jeweils getrennt durch den Separator zu einem Elektrodenstapel gestapelt. Die Anoden- und Kathodenblätter werden jeweils über die Ableiter durch Schweißen parallelgeschaltet. Nach dem Verpacken des Elektrodenstapels in eine Kunststoff/Aluminium-Verbundfolie wird die Zelle mit Elektrolyt gefüllt. Nach dem Verschließen der Zelle unter Vakuum erfolgt die Formation. Bei der Formation wird die ungeladene Zelle zum ersten Mal langsam und kontrolliert geladen.

Die Fertigung der Lithium-Ionen-Batteriezellen von der Elektrodenfertigung über die Zellfertigung bis zur Formation ist ein komplexer und fehlerintoleranter Prozess, der keine Nacharbeit erlaubt. Die zu verarbeitenden Elektroden- und Separatorflächen nehmen linear mit der Energiekapazität der Zelle zu. Im Vergleich zu kleinen Lithium-Ionen-Zellen für Consumer-Anwendungen wird in großvolumigen Zellen mit hoher Energiekapazität eine bis zu 100fache Separator- und Elektrodenfläche verarbeitet. Um bei großvolumigen Zellen dieselbe Fehlerrate wie bei kleinen Zellen zu erhalten, muss bei großvolumigen Zellen die Fehlerrate bezogen auf die Elektroden- und Separatorfläche deshalb um denselben Faktor geringer sein.

Zusätzlich wird bei der Fertigung eine hohe Anforderung an die Arbeitsatmosphäre gestellt. Diese muss extrem trocken und partikelarm sein. Zu hohe Wassergehalte insbesondere in den hygroskopischen Einzelkomponenten wie Anoden, Kathoden und Separator können zu einer Reduktion der kalendarischen Lebensdauer und der Zyklenstabilität der Zellen führen. Partikeln können eine Beschädigung des dünnen Separators zwischen den Anoden- und Kathodenblättern zur Folge haben und damit einen internen Kurzschluss erzeugen, der wiederum zu einer hohen Selbstentladung der Zelle führen kann bzw. das Laden der Zelle erst gar nicht ermöglicht.

4 Themenschwerpunkte für Produktionsforschung

Im Folgenden werden die Forschungsschwerpunkte in den einzelnen Hauptprozessschritten sowie deren Gründe und erste Lösungsansätze näher beschrieben.

4.1 Themenschwerpunkte für Produktionsforschung in der Elektrodenfertigung

Innerhalb einer Batterie dürfen nur Zellen mit geringer Streuung der Kapazität verwendet werden, da sonst die Zellen mit geringerer Kapazität aufgrund der höheren Belastung schneller über der Zeit degradieren und somit auch die Batterie schneller altert. Um Zellen mit einer geringen Streuung der Kapazität zu erzeugen, ist die Gleichmäßigkeit der Schichtdicke und dem Flächenmassengewicht der aufgetragenen Aktivmaterialien auf die Metallfolien entscheidend. Die einzelnen Schichten der Aktivmaterialien haben eine Dicke von ca. 30 bis 100 µm auf jeder Seite der Metallfolien. Eine Schwankung der Schichtdicke von 2 bis 3 µm kann zu einer Kapazitätsschwankung von bis zu 6 % führen. Aus diesem Grunde ist ein Entwicklungsschwerpunkt das gleichmäßige, homogene und reproduzierbare Beschichten der Metallfolien mit den Aktivmaterialien – sowohl in Quer- als auch in Längsrichtung - und die dazugehörige Regelung und abschließende Kontrolle.

4.2 Themenschwerpunkte für Produktionsforschung in der Zellfertigung

In der Zellfertigung werden im ersten Schritt die Anoden-, die Kathoden- und Separatorblätter aus den Rollenmaterialien geschnitten. Das Schneiden der Einzelblätter muss bei einer hohen Taktrate ($< 1/s$) mit einer hoher Genauig- und Reproduzierbarkeit erfolgen. Das Schneiden muss entweder partikelarm erfolgen, oder die beim Schneiden entstandenen Partikel z.B. entstanden aus Abplatzungen der Aktivschichten, müssen gründlich entfernt werden, um die oben genannten Zellfehler zu vermeiden. Fehlstellen in der Beschichtung der Anoden- und Kathodenblätter müssen erkannt und die fehlerhaften Blätter müssen ausgeschleust werden. Verschleiß der Schneidwerkzeuge insbesondere beim Schneiden der harten Metalloxidschicht der Kathoden und dem keramischen Separator wirkt sich hemmend beim Einstieg in die Massenfertigung aus. Aus diesem Grunde ist ein schnelles und verschleißarmes Schneidverfahren, bei dem keine Schneidpartikel entstehen, ein wesentlicher Entwicklungsschwerpunkt; ebenfalls die dazugehörige optische Meßtechnik, um fehlerhafte Einzelblätter zu detektieren.

Die Separatorblätter sind größer als die Anodenblätter und diese sind wiederum größer als die Kathodenblätter. Das Legen der unterschiedlich großen Anoden-, Separator- und Kathodenblätter zum Elektrodenstapel muss mit hoher Geschwindigkeit, Genauigkeit und Reproduzierbarkeit erfolgen. Die Elektroden- und Separatorblätter verhalten sich bei großvolumigen Zellen im Vergleich zu kleinvolumigen Zellen biegeschlaff. Besondere Greifer für das schnelle Aufnehmen und Ablegen der Einzelblätter, sowie optische Verfahren zum Ausrichten der Einzelblätter sind Entwicklungsschwerpunkte.

Für das Verbinden der Anoden- bzw. Kathodenblätter mit dem Anoden- bzw. Kathodenableiter verlangt bei großvolumigen Zellen eine angepasste bzw. neue Verbindungstechnik. Im Vergleich zu kleinvolumigen Zellen ist bei großvolumigen Zellen die Anzahl der zu verbindenden Metallfolien sowie die Dicke der Ableiter aufgrund der höheren Stromlast größer.

Die Penetrationwege des Elektrolyten in die porösen Elektroden- und Separatorschichten ist bei großvolumigen Zellen wesentlich länger als bei kleinvolumigen Zellen. Daher müssen beim Füllen der großvolumigen Zellen mit Elektrolyt neue Wege gegangen werden.

Die sehr trockene, reinraumähnliche Arbeitsatmosphäre in der Zellfertigung muss mit geringem energetischen Aufwand erzeugt und gehalten werden. Hierzu sind Lösungen zu suchen.

4.3 Themenschwerpunkte für Produktionsforschung in der Formation und der Alterung

Bei der Formation werden die Zellen bis zu 20 Stunden langsam geladen. Anschließend erfolgen weitere Teilentlade- und Ladezyklen. Es ist zu untersuchen, wie die Formationsdauer verkürzt und wie die beim Entladen frei werdende Energie entweder wieder zum Laden der anderen Zellen eingesetzt oder ins Netz zurückgespeist werden kann. Hier sind neue Konzepte zu entwickeln, um den Investitionsbedarf und den Energieverbrauch einer Zellenfertigung zu reduzieren.

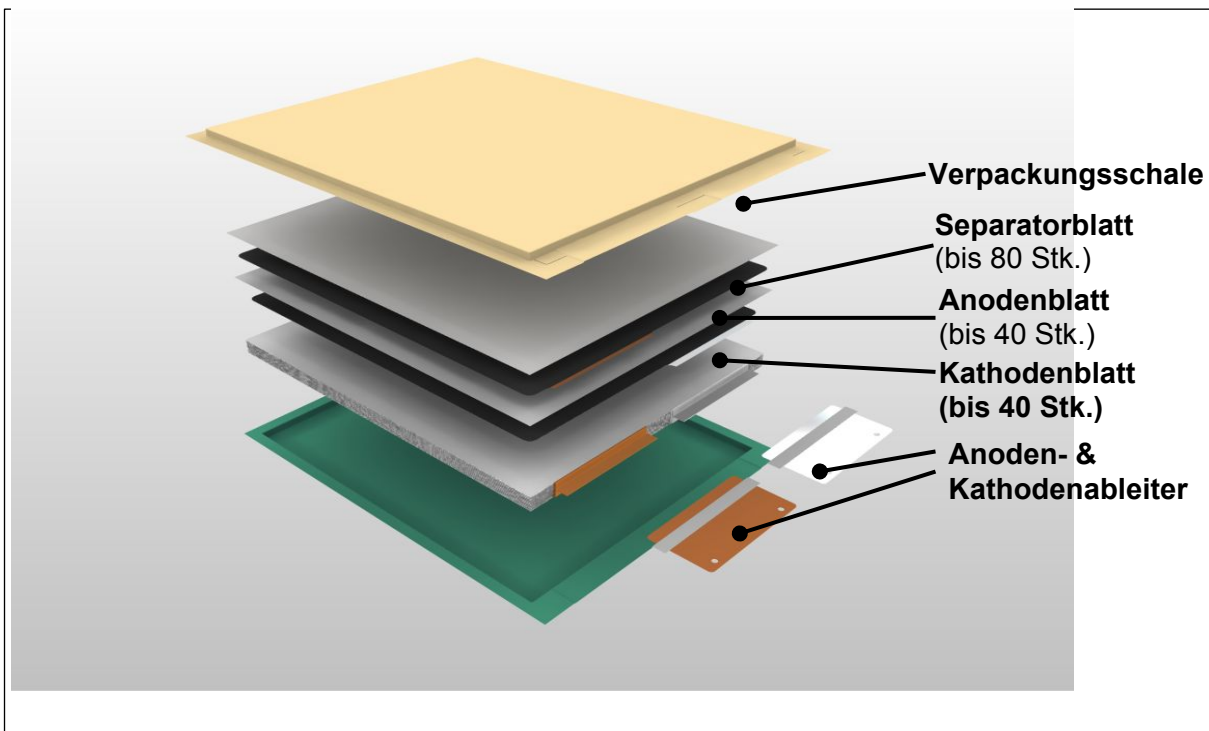


Abb. 1: Aufbau einer Zelle (Explosionszeichnung)

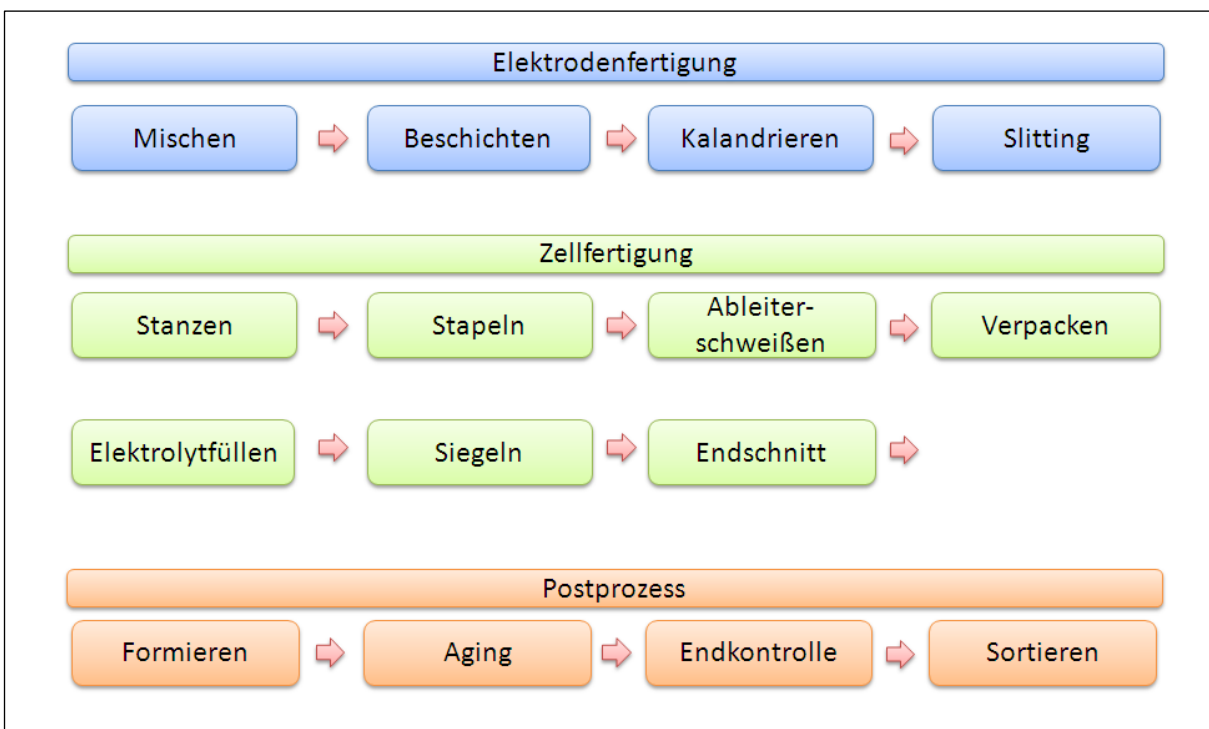


Abbildung 2: Fertigungsprozess für Elektroden und Zellen

Gewusst wie – Funktionsgerechte Produkteigenschaften aus Hartfeinbearbeitungsprozessen

Dr.-Ing. Bastian Maier, Dipl.-Ing. Dipl.-Wirt.Ing. Stefan Tönissen
Grindaix GmbH, Werkzeugmaschinenlabor WZL der RWTH Aachen

Zusammenfassung

Um den Anforderungen des Marktes gerecht zu werden, müssen Produkte ihre Funktion über einen definierten Zeitraum erfüllen. Die Menge der bekannten Kennwerte zur Definition von fertigungstechnisch zu erzeugenden Produkteigenschaften reicht zur Beschreibung des Funktionsverhaltens von Bauteilen jedoch nicht aus. Zudem ist der Zusammenhang von Eigenschaften der Bauteiloberfläche und -randzone mit dem Funktionsverhalten von Bauteilen in vielen Fällen nicht hinreichend bekannt. Dadurch kann das Bauteil nicht derart beschrieben werden, dass nach der Fertigung eine Erfüllung der gewünschten Funktionen sicher möglich ist. Weiterhin ist der Zusammenhang zwischen Prozessstellgrößen und dem Funktionsverhalten von Bauteilen bislang nicht ausreichend erforscht. Somit ist eine effiziente Auslegung von Technologien für die gezielte Beeinflussung von Bauteileigenschaften nicht möglich. Es ist daher notwendig, Methoden zu entwickeln, mit denen dieser Zusammenhang ermittelt und dargestellt werden kann.

Im Verbundprojekt PlanPP wird eine Methodik zur funktionsgerechten Prozessplanung in der Hartfeinbearbeitung entwickelt. Hierzu wird über die Definition neuer Kennwerte und Kennwertsysteme zur Beschreibung der Bauteiloberflächencharakteristik der Zusammenhang zwischen dem Funktionsverhalten und relevanten Oberflächenkennwerten hergestellt. Darauf aufbauend wird betrachtet, durch welche Prozesseinstellungen und mit welcher Sicherheit eine definierte Ausprägung der Kennwerte durch den Fertigungsprozess erreicht werden. Um diese Erkenntnisse anwendungsbezogen zur Verfügung zu stellen werden die Zusammenhänge in einem Softwarewerkzeug, dem Technologienavigator, abgebildet. Um die Anwendung verifizieren zu können, wird die Methodik an festgelegten Bauteilen mit bestimmten Funktionalitäten getestet. Dazu werden beispielhaft die Wälzfestigkeit von Hybrid-Wälzlagern und die Biegegewecheffestigkeit nach der Fertigung geprüft.

1 Motivation

Neben dem Werkstoff und der Wärmebehandlung sind die durch verschiedene Fertigungsverfahren erzeugten oberflächennahen Bereiche eines Bauteils von entscheidender Bedeutung für das Bauteilverhalten im Einsatz, da sie in nahezu allen Fällen der Praxis die höchstbeanspruchten Werkstückbereiche darstellen. Hohe Beanspruchungen und nicht an den Einsatzfall angepasste physikalische Eigenschaften der Bauteilrandzone führen zu ca. 85% aller Schadensfälle.

In der Regel erfolgt das Design eines Produkts durch Festlegen der durch das Produkt zu verwirklichenden Funktionalitäten. Jedem Bauteil werden definierte Funktionen zugewiesen, die diese zur Realisierung der Gesamtfunktionalität des Produkts erfüllen müssen. Dieser frühen Phase der Produktgestaltung schließt sich die Bauteilkonstruktion an, in der die makro- und mikrogeometrischen Eigenschaften (Oberflächenkennwerte und deren Ausprägung) der Bauteile und Komponenten festgelegt werden. Dies geschieht meist über heuristische Methoden und es ist nicht ausreichend bekannt, ob die festgelegten Anforderungen für die Sicherstellung der Bauteilfunktionalität angemessen und entscheidend sind (Gap 1).

Basierend auf Erfahrungswerten erfolgt nun in der Fertigungsplanung die Festlegung der Prozesskette (Gap 2). In der Produktion wird durch Try-and-Error- Methoden versucht, die geforderten Kennwerte zu erreichen. Durch unbekanntes Wirkzusammenhänge und

Störeinflüsse kommt es hierbei oft zu einer Abweichung von den Anforderungen (Gap 3). Darüber hinaus lassen sich die geforderten Kennwerte oft durch verschiedene Technologien erreichen.

Beispielsweise können Schleif- und Drehprozesse zu gleichen Rauheitskennwerten führen. Die dennoch in ihrer Charakteristik völlig verschiedenen Bauteiloberflächen werden durch die gewählten Kennwerte nicht erfasst (Gap 4). Das kann wiederum dazu führen, dass die erzeugte Bauteiloberfläche ein ganz anderes Funktionsverhalten aufweist als ursprünglich in der Bauteilkonstruktion geplant (Gap 5). Dies führt zu einer Über- oder Unterdimensionierung der Bauteile und damit zu einer ineffizienten Ausnutzung der Ressourcen.

Es existieren also in der industriellen Praxis wesentliche Erkenntnislücken über den Zusammenhang zwischen der Prozess- bzw. Fertigungsebene und den Oberflächeneigenschaften der Bauteile einerseits sowie zwischen der Oberflächencharakteristik und dem Funktionsverhalten im Einsatz andererseits. Die bisher vorliegenden und verwendeten Kennwerte reichen nicht aus, um diesen Zusammenhang ausreichend zu beschreiben und zu beherrschen.

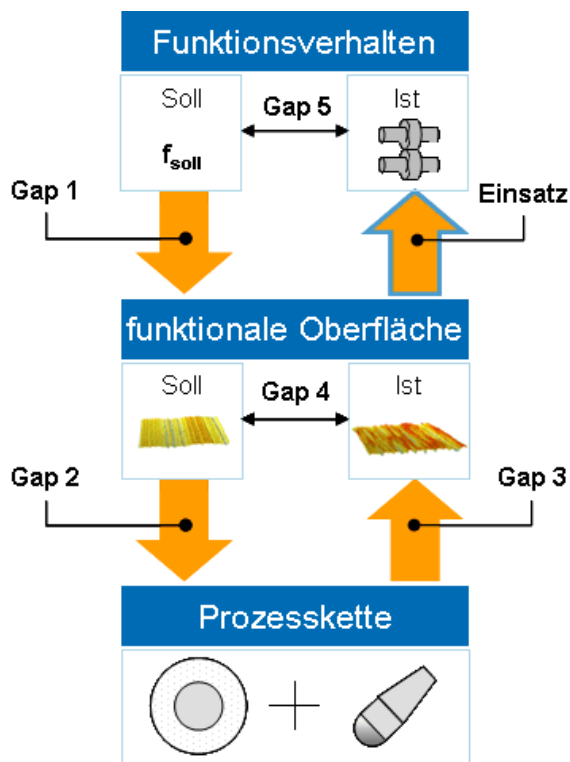


Abb. 1: -Modell der funktionsorientierten Fertigungstechnik

2 Projektidee

Ziel der Forschungsarbeiten ist die Entwicklung eines Planungswerkzeuges zur funktionsgerechten Auslegung und Herstellung von Produkteigenschaften für Prozesse der Hartfeinbearbeitung.

Es wird eine Methode zur funktionsgerechten Prozessplanung in der Hartfeinbearbeitung entwickelt. Hierzu wird über die Definition neuer Kennwerte und Kennwertsysteme zur Beschreibung der Bauteiloberflächencharakteristik der Zusammenhang zwischen dem Funktionsverhalten und relevanten Oberflächenkennwerten hergestellt. Darauf aufbauend wird betrachtet, wie die Kennwerte durch den Fertigungsprozess erreicht werden. Um diese Erkenntnisse anwendungsbezogen zur Verfügung zu stellen werden die Zusammenhänge in einem Softwarewerkzeug, dem Technologienavigator, abgebildet. Um die Anwendung verifizieren zu können, wird die Methodik an festgelegten Bauteilen mit bestimmten Funktionalitäten getestet. Dazu werden beispielhaft die Wälzfestigkeit von Hybrid-Wälzlagern

und die Biegewechselfestigkeit nach der Fertigung geprüft. Als Fertigungsverfahren werden das Außenrund-Umfangs-Querschleifen und das Hartdrehen, sowie die Verfahrenskombinationen Schleifen-Walzen und Hartdrehen-Walzen eingesetzt. Es wird ein allgemeingültiger Ansatz verfolgt, der es erlaubt, die Methodik auf weitere Bauteilgruppen, Funktionalitäten und Produkteigenschaften zu erweitern.

Der Function Footprint beschreibt die optimalen Ausprägungen von Oberflächenmerkmalen zur Erfüllung einer definierten Funktionalität. Anschließend sollen der Einfluss der Fertigungsfolge und deren Prozessparameter auf die erarbeiteten Kennwerte bzw. Kennwertsysteme systematisch ermittelt werden (Technology Footprint). So können unterschiedliche Prozessketten zu einer unter- oder überdimensionierten Ausprägung der Kennwerte führen, gleichbedeutend mit einer fehlenden Funktionserfüllung des Bauteils oder einer ineffizienten Ressourcen verschwendenden Auslegung der Fertigungskette. Daher gilt es die Kombination der Fertigungsverfahren und die jeweiligen Prozesseinstellung so zu wählen, dass die für eine geforderte Funktionalität optimale Ausprägung der Kennwertsysteme erreicht wird.

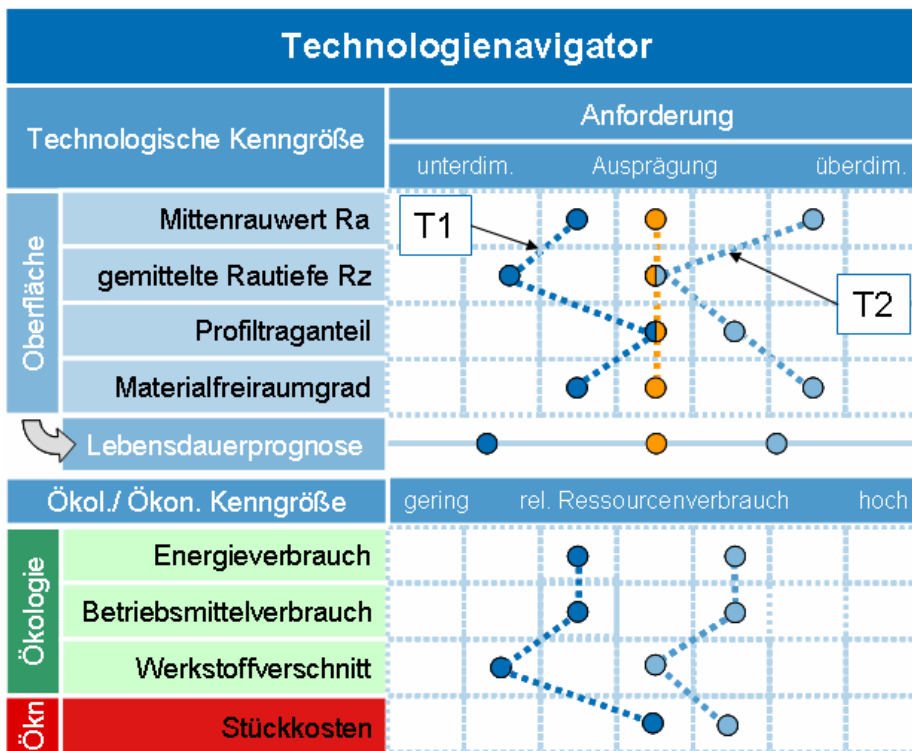


Abb. 2: Function und Technology Footprint

3 Methodik

Um das Funktionsverhalten systematisch und effizient zu optimieren, ist eine Methodik erforderlich, die eine Untersuchung des Einflusses der Prozesse sowie deren Parameter auf die spätere Bauteilfunktion ermöglicht. Zahlreiche wissenschaftliche Untersuchungen haben den Einfluss der Oberflächen- und Randzoneneigenschaften auf die Bauteilfunktion für unterschiedliche Funktionalitäten unterstrichen. Werden Oberflächen- und Randzoneneigenschaften variiert, so variiert auch die Anzahl der Belastungszyklen bis zum Eintritt eines definierten Bauteilversagenskriteriums. Diese Anzahl der Belastungszyklen soll in dieser Arbeit als „Funktionalität“ verstanden werden. Eine Variation der Oberflächen- und Randzoneneigenschaften kann durch eine unterschiedliche Wahl der Prozessparameter erreicht werden.

Innerhalb der Methodik, die in dem Projekt PlanPP erprobt werden soll, werden für zwei unterschiedliche Funktionalitäten verschiedene Prozessketten definiert. Für jede

Prozesskette werden darüber hinaus die Prozessparameter variiert. Daraufhin werden Analogiebauteile durch die unterschiedlichen Prozessketten und bei variierten Prozessparametern gefertigt, so dass insgesamt eine große Anzahl an unterschiedlichen Bauteilen in die Untersuchung einfließt. Nach Fertigung der Analogiebauteile erfolgt die Prüfung der Bauteilfunktionalität auf Analogieprüfständen.

Da eine ganzheitliche Variation der Prozessparameter auf Grund des Versuchsaufwands unmöglich ist, gilt es, geeignete Parameter zu identifizieren, um die Anzahl der Versuche realisierbar zu halten. Dazu werden basierend auf Expertenwissen sowie durch Literaturrecherchen für jeden Fertigungsprozess solche Parameter identifiziert, die einen sensitiven Einfluss auf die Oberflächen- und Randzoneneigenschaften besitzen.

In folgender Abbildung 3 ist eine Übersicht über die im BMBF-Projekt untersuchten Funktionalitäten sowie die untersuchten Prozessketten dargestellt. Im Projekt wird die Wälzfestigkeit sowie die Umlaufbiegefestigkeit betrachtet. Es wurden diese beiden Funktionalitäten ausgewählt, da sie von großer industrieller Relevanz sind. Darüber hinaus unterscheiden sich diese beiden Funktionalitäten in einem entscheidenden Punkt: Während bei der Umlaufbiegefestigkeit die größte Belastung an der Bauteiloberfläche vorliegt, tritt für die Wälzfestigkeit der größte Spannungszustand gemäß der Hertzschen Pressung unterhalb der Oberfläche auf. Dementsprechend erfolgt die Rissbildung bei einem auf Umlaufbiegung belasteten Bauteils in der Regel an der Oberfläche während bei einem wälzbelasteten Bauteil der Punkt der Rissinitiierung unterhalb der Oberfläche auftritt.

Je Funktionalität werden vier verschiedene Prozessketten für die Fertigung der Analogiebauteile eingesetzt. In einem ersten Prozessschritt werden Rohteile gleichen Ausgangszustands entweder geschliffen oder hartgedreht. In einem zweiten Prozessschritt wird dann ein Teil der Bauteile hartglattgewalzt. Somit ermöglicht die Untersuchung eine genaue Ermittlung des Effekts des Hartglattwalzens. Es kann eine Aussage über den Effekt des Hartglattwalzens auf die Funktionalität durch den Vergleich mit Bauteilen, die nicht hartglattgewalzt wurden, getätigt werden. Gleichzeitig ermöglicht das Vorgehen auch eine Betrachtung des Einflusses des vorherigen Prozessschrittes. Es kann also ermittelt werden, inwieweit das Schleifen bzw. das Hartdrehen bei nachgeschalteter Hartglattwalzoperation vorteilhaft für die jeweilige Bauteilfunktion ist.

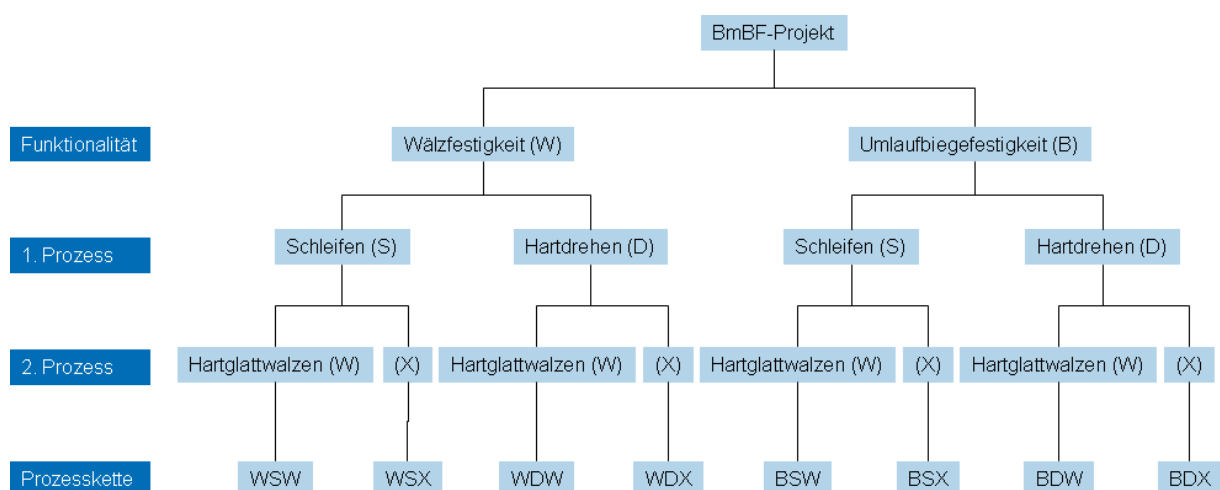


Abb. 3: Prozesskettenvariation für die ausgewählten Funktionalitäten

Da eine möglichst große Anzahl an Analogiebauteilen Voraussetzung für einen großen Erkenntnisgewinn ist, muss der Prüfstand eine effiziente Bauteilprüfung ermöglichen. Zur Prüfung der Bauteilfunktionalität „Wälzfestigkeit“ wird in dem BMBF-Projekt ein innovatives Prüfstandkonzept erprobt. Im Gegensatz zu herkömmlichen 2-Rollenprüfständen wird in dem Prüfstand der Ecoroll AG eine Prüfrolle durch drei Walzwerkzeuge wie in folgender Abbildung dargestellt belastet. Auf Grund der kleinen Radien der Walzwerkzeuge sowie der verhältnismäßig kleinen Radien der Prüfrolle, ermöglicht dieser Prüfstand die Realisierung

von relativ großen Hertzschen Pressungen bei vergleichsweise kleinen Kräften. Trotz der großen Hertzschen Pressungen ist also keine massive Prüfstandsauslegung erforderlich. Die Belastung der Prüfrollen kann kurz unterhalb der Fließgrenze des Werkstoffs erfolgen. Folglich kann mit kurzen Zeiten bis zum Versagen des Analogiebauteils gerechnet werden.

Neben den großen mechanischen Belastungen bietet das Prüfstandskonzept den Vorteil der Auswechselbarkeit der kugelförmigen Walzkörper. Somit können unterschiedliche Werkstoffpaarungen wie getestet werden. Dabei ist für das Projekt insbesondere die Materialpaarung Prüfrolle/Cronidur 30, Wälzkörper/ Si_3N_4 Keramik von Interesse, da diese Paarung in Hybridlagern des Projektpartners Cerobear Verwendung findet.

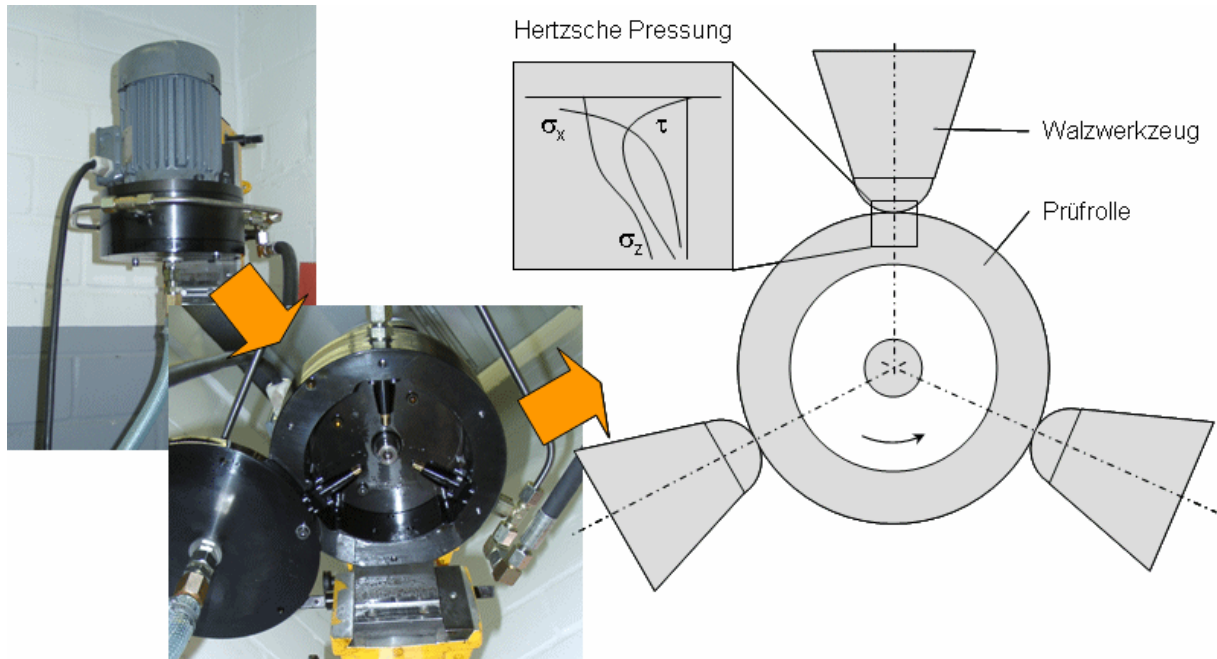


Abb. 4: Prüfstand Wälzfestigkeit (Quelle: Ecoroll AG)

Für die Prüfung der Bauteilfunktionalität „Umlaufbiegefestigkeit“ kommt ebenfalls ein innovatives Prüfstandskonzept zur Anwendung. Für kleine Probendurchmesser ist der Einfluss der Oberflächen- und Randzoneneigenschaften auf die Bauteilfunktionalität bereits nachgewiesen. Für große Bauteildurchmesser ist der Einfluss noch ungeklärt, da geeignete Prüfstände auf Grund der bei großen Durchmessern auftretenden Kräfte sehr massiv ausgelegt sein müssen. Im Rahmen des BMBF-Projekts wird daher erstmals ein besonders massiver Prüfstand konstruiert und gebaut, der die Prüfung von Bauteilen mit einem Durchmesser von bis zu 40mm ermöglicht.

Wie weiter oben ausgeführt hängt die Anzahl der Belastungszyklen bis zum Erreichen des Versagenskriteriums vom Zustand der technischen Oberfläche und der Randzone ab. In der Vergangenheit ist es nicht gelungen, den Zustand der technischen Oberfläche und der Randzone durch einen einzelnen topographischen Kennwert zu beschreiben und mit diesem Kennwert das Funktionsverhalten des Bauteils für die Wälzfestigkeit sowie die Umlaufbiegefestigkeit zu erklären. Neben der Topographie sind bei der Beschreibung der Oberfläche und der Randzone beispielsweise auch der Eigenspannungszustand sowie das Mikrohärteprofil zu berücksichtigen. Anstelle eines einzelnen Kennwerts ist der Zustand einer technischen Oberfläche folglich durch einen Vektor an Eigenschaften zu beschreiben.

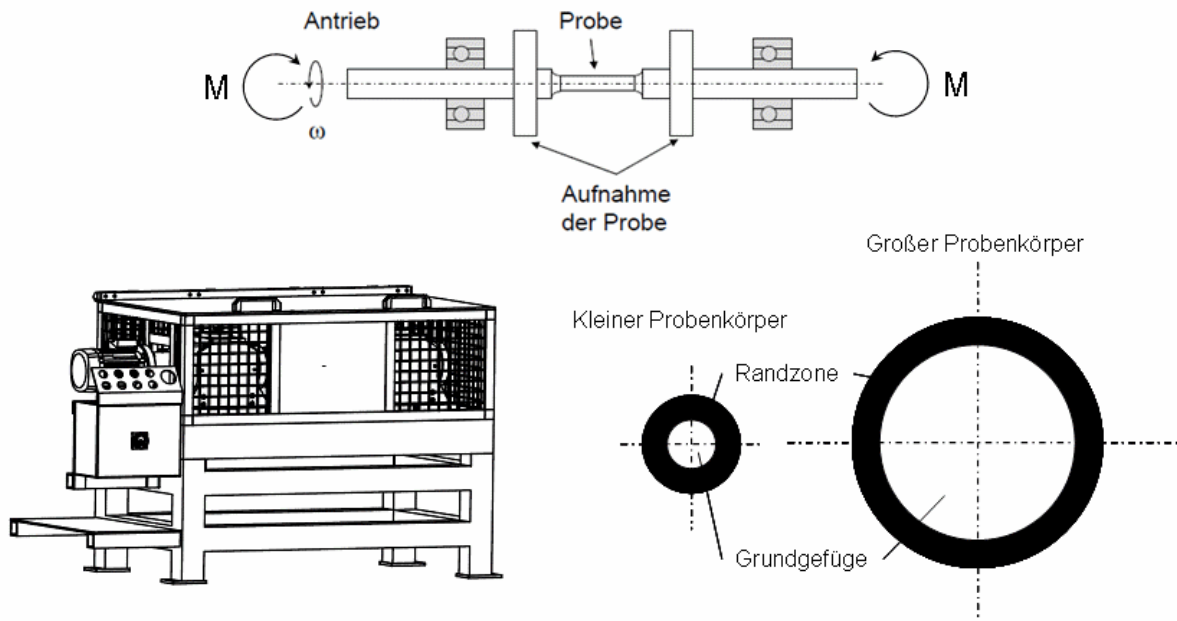


Abb. 5: Prüfstand Umlaufbiegefestigkeit (Quelle: Ecoroll AG)

Zur Beschreibung der Topographie sowie der Randzone sind in der Literatur hunderte Kennwerte definiert. Das Projekt versucht aus den bestehenden Kennwerten diejenigen zu identifizieren, die das Funktionsverhalten am besten erklären können. Dazu werden für jede Oberfläche möglichst viele Kennwerte ermittelt und es wird geprüft, welche Kennwerte die Variation der Funktionalität widerspiegeln.

Neben bereits definierten Kennwerten sollen auch neue, funktionsbezogene Kennwerte definiert werden. Bei der Definition neuer Kennwerte werden zwei Ansätze verfolgt. Für die versagensinduzierte Kennwertbildung werden aus den praktischen Versuchen sowie aus der Literatur die relevanten Versagensursachen identifiziert. Der Versagensursache liegen ein Verschleißmechanismus und eine Verschleißursache zu Grunde.

Für die Wälzfestigkeit ist die Verschleißursache die dynamische Hertzsche Pressung, deren Maximum in einer Tiefe z unterhalb der Oberfläche auftritt. In dieser Tiefe z liegt der Rissinitiierungspunkt. Es ist bereits bekannt, dass über das Fertigungsverfahren der Eigenspannungszustand und somit die Lage des Maximums der Hertzschen Pressung beeinflusst werden kann. Der Verschleißmechanismus ist die Risspropagation vom Rissinitiierungspunkt bis zur Werkstückoberfläche. Erreicht ein Riss die Oberfläche, so brechen nach und nach Pittings aus und das Bauteil versagt. Durch das Verständnis von Verschleißursache und Verschleißmechanismus wird offensichtlich, dass zur Erklärung der Funktionalität „Wälzfestigkeit“ nicht allein die Topographie sondern vielmehr auch der Eigenspannungszustand in entsprechenden Kennwerten zu berücksichtigen ist.

Neben der versagensinduzierten Kennwertbildung soll im Projekt auch die messdateninduzierte Kennwertbildung verfolgt werden. Durch neuartige Messverfahren und durch softwaretechnische Auswertung ist es möglich, aus den Messdaten neuartige Kennwerte zu generieren. So wird es beispielsweise durch die Weißlichtinterferometrie möglich, dreidimensionale Oberfläche zu erfassen und am Computer zu untersuchen. Allerdings entstammen die gegenwärtig verbreiteten Kennwerte einer Zeit, in der in der Oberflächenmesstechnik vor allem auf Tastschnittverfahren zurückgegriffen wurde. Die konventionellen Kennwerte basieren auf zweidimensionalen Tastschnitten, die für die Kennwertbildung auf eine verhältnismäßig geringe Datenbasis zurückgreifen. Kennwerte, die aus einer dreidimensionalen Vermessung der Oberfläche gewonnen werden, finden jedoch zur Zeit noch wenig Anwendung in der Praxis. Es gilt in dem Projekt zu evaluieren, inwieweit dreidimensionale Kennwerte Vorteile bei der Beschreibung der Oberfläche und Erklärung des Funktionsverhaltens bieten.

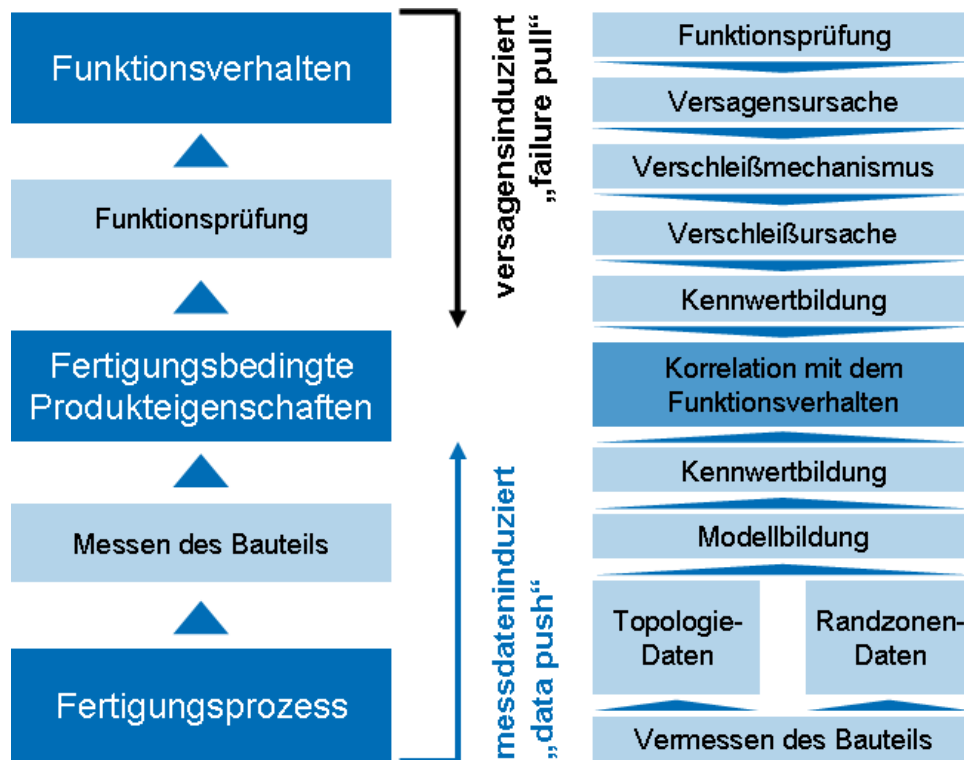


Abb. 6: Modell zur messdaten- und versagensinduzierten Kennwertbildung)

4 Softwaretool „Technologienavigator“

Die Projekterkenntnisse und die erarbeitete Methodik soll im Technologienavigator verfügbar und erweiterbar umgesetzt werden. Dabei soll der Technologienavigator langfristig dem Benutzer folgende Möglichkeiten bieten: Bei der Auslegung der Technologieketten und der jeweiligen Bearbeitung für einen definierten Anwendungsfall soll der Benutzer zukünftig nach Eingabe der Belastungsart, die für das Bauteil im Einsatz vorliegt (z.B. Wälzbelastung), über den Technologienavigator die für diese Funktionalität relevanten Oberflächenmerkmale und Kennwertsysteme erfahren. Nach der Eingabe weiterer Randbedingungen der Anwendung wie beispielsweise Werkstoff, Geometrie und Anforderungen sowie der gewünschten Lebensdauer gibt der Technologienavigator die dazu erforderlichen Ausprägungen der Oberflächenmerkmale aus. Anschließend erhält der Nutzer über den Technologienavigator mögliche Fertigungsketten und die jeweiligen Prozesseinstellungen, welche die Erreichung der geforderten Ausprägungen erlauben. Über einen Abgleich mit den unternehmensspezifischen Randbedingungen, wie im Unternehmen verfügbare Technologien, erfolgt eine Reduktion des Lösungsraums und damit die unternehmensgerechte Auswahl einer Fertigungskette zur funktionsgerechten Prozessauslegung.

Zur Erreichung des vorgenannten Ziels muss der Technologienavigator zunächst die Erfassung der relevanten Technologie- und Versuchsdaten (Prozessebene), der entwickelten Kennwerte und Kennwertsystem (Bauteileigenschaftsebene) und der Funktionseigenschaften wie Lebensdauer, Verschleißerscheinungen, etc. (Funktionalitätsebene) ermöglichen. Durch die zu entwickelnden Modelle sollen dann später Technologiedaten, Kennwertsysteme und Funktionalität miteinander verknüpft werden und die Zusammenhänge ebenfalls im Technologienavigator abgebildet werden.

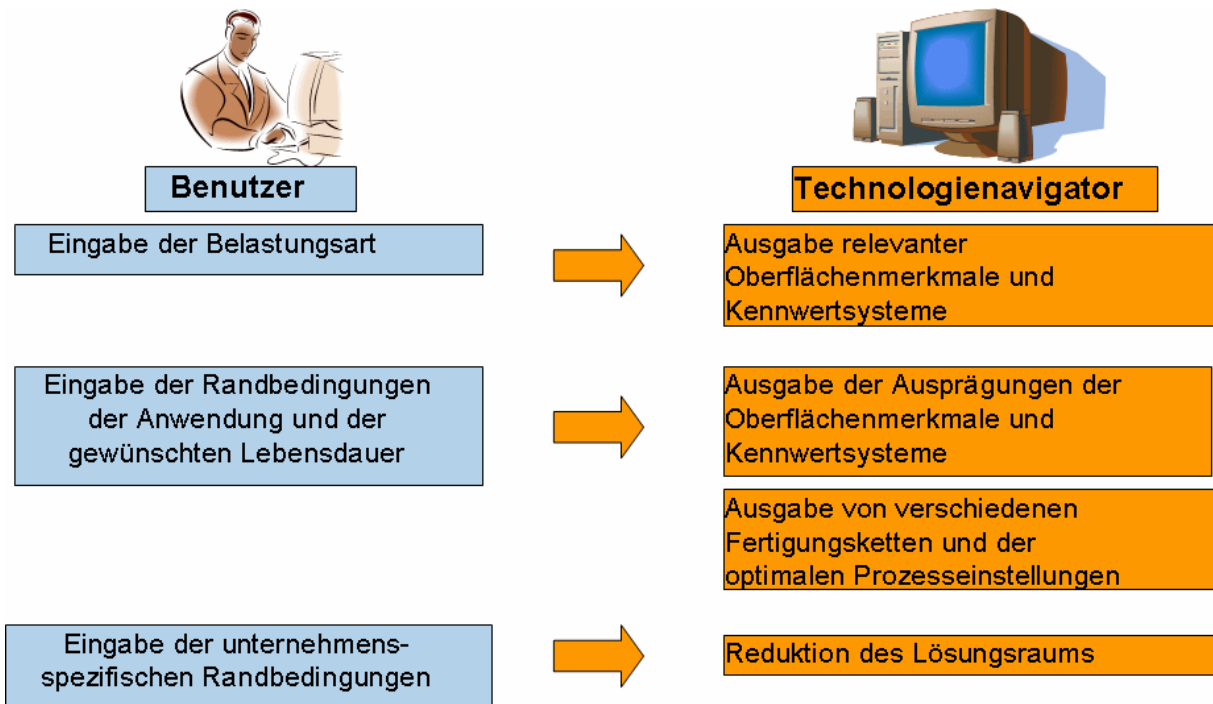


Abb. 7: Prinzip der Benutzer-Software-Interaktion des Technologienavigators

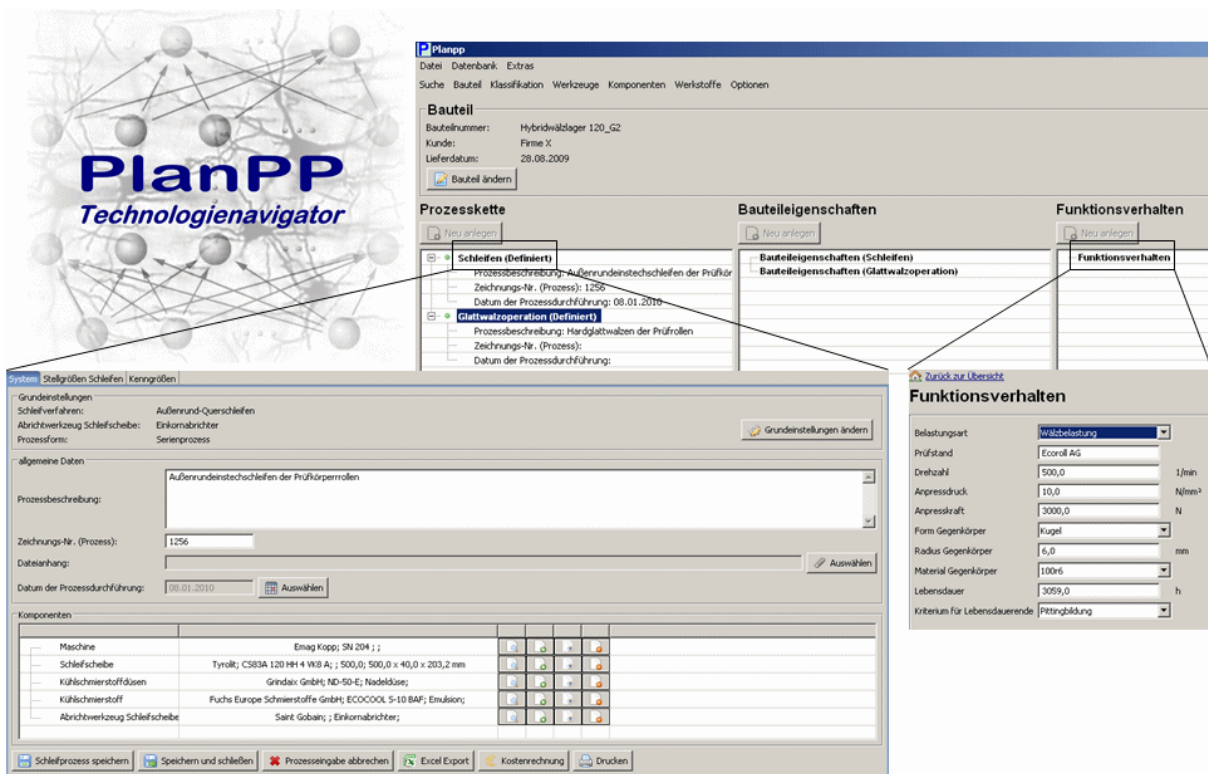


Abb. 8: Auszug aus der softwaretechnischen Umsetzung des Technologienavigators

Die Erfassung der drei genannten Ebenen konnte bereits softwaretechnisch umgesetzt werden. Zum einen können alle Bauteile oder Prüfkörper, Werkzeuge für die Fertigungsprozesse, Werkstoffe und sonstigen Systemkomponenten verwaltet werden. Dem zu bearbeitenden Bauteil können verschiedene Fertigungsschritte zugeordnet werden, welche dann mit ihren Systemkomponenten und Prozessstellgrößen im Detail erfasst werden. Neben der Erfassung der Bauteileigenschaften hinsichtlich Topographiekenwerten

und Randzoneneigenschaften ist die Beschreibung des Funktionsverhaltens auf Prüfständen möglich.

Diese technologische Erfassung des gesamten Fertigungs- und Funktionssystem ist die Grundlage für die im weiteren Projektverlauf zu entwickelnde modelltechnische Abbildung der Zusammenhänge zwischen Prozess-, Bauteileigenschafts- und Funktionalitätsebene.

Gezielte Gestaltung von lokalen Bauteileigenschaften durch Integration einer flexiblen Wärmebehandlung in den Warmumformprozess

**Prof. Dr.-Ing. Vasily Ploshikhin, Dr.-Ing. Andrey Prihodovsky, Jürgen Kaiser,
Claudia Benedickt**

Neue Materialien Bayreuth GmbH, Bayreuth

Zusammenfassung

Die Herstellung von Karosseriebauteilen mit maßgeschneiderten Eigenschaften eröffnet neue Möglichkeiten zur Realisierung innovativer Leichtbaustrukturen mit hoher Sicherheit und Crashrelevanz. Ein neues Verfahren zur Herstellung solcher Bauteile aus den hochfesten Stählen basiert auf der Integration eines flexiblen Wärmebehandlungsprozesses, der Kontaktwärmebehandlung, in die konventionelle Prozesskette der Warmumformung (Presshärten). Die Entwicklung einer innovativen und energie- und ressourceneffizienten Prozesskette zum Warmumformen mit integrierter flexiblen Kontaktwärmebehandlung steht im Fokus des BMBF Verbundprojektes „Flexible Wärmebehandlung zur gezielten Gestaltung von Bauteileigenschaften und zur Erhöhung der Energieeffizienz der Prozesskette Warmumformen“ (FlexWB). Die ersten Versuche zum Einsatz der Kontaktwärmebehandlung für die Vorbehandlung von Stahlblechen vor dem Warmumformen zeigen ein hohes Potenzial zur flexiblen und gezielten Gestaltung der Eigenschaften umgeformter Bauteile.

Durch die Weiterentwicklung dieses Verfahrens sind komplexe Wärmebehandlungen an Bauteilplatinen potenziell durchführbar. Das Spektrum der Eigenschaften der hochfesten Stähle kann damit umfassender ausgeschöpft werden und somit die Verwendung von hochfesten Stählen branchenübergreifend begünstigen.

1 Warmumformen als Verfahren zur Realisierung moderner Leichtbaukonzepte

Eine wichtige Strategie zur Realisierung von Leichtbaukonzepten, wie sie z.B. bei der Automobilindustrie zur Minimierung des Kraftstoffverbrauchs notwendig sind, ist der Einsatz von hoch- und höchstfesten Stählen, der zu einer Reduktion der Blechdicken und damit zu einer Gewichtersparnis führt. Zugleich erhöhen die höherfesten Stähle die Crashesicherheit der Bauteile. Der Einsatz von hochfesten Werkstoffen ermöglicht pro Pkw-Einheit ein hohes Gewichtseinsparungspotenzial. Dies führt durch die Senkung der verbauten Werkstoffmasse zu einer Ressourcenschonung und als Leichtbau zu einer Energieeffizienz beim Betrieb.

In gängigen Kaltverformungsprozessen weisen höherfeste Stahlbleche in der Regel eine vergleichsweise geringe Bruchdehnung und damit zumeist kein ausreichendes Formänderungsvermögen auf. Bei hochfesten Stählen, die eine hohe Duktilität und damit ein ausreichendes Umformvermögen aufweisen, wie beispielsweise TRIP oder TWIP Stähle, ergeben sich beim Kaltumformen wiederum andere Probleme, wie eine große Rückfederung, vergleichsweise hohe Umformkräfte und eine damit verbundene starke Werkzeugbelastung.

Diese Schwierigkeiten lassen sich durch das Verfahren des Warmumformens überwinden, das in den letzten Jahren immer mehr an Bedeutung gewonnen hat [Neug06]. Im Prinzip stellt das Warmumformen eine Kombination aus einer Wärmebehandlung und einem Umformprozess dar.

Die wichtigsten Warmumformverfahren sind das direkte sowie das indirekte Presshärten. Bei dem direkten Presshärten wird das umzuformende Blech bzw. Blechformteil zunächst auf eine Temperatur von ca. 900° - 950°C aufgeheizt. Bei diesen Temperaturen wird das Blechmaterial austenitisiert und weist dadurch ein im Vergleich zur Raumtemperatur signifikant höheres Umformvermögen auf. Nachdem das Bauteil die oben genannte Temperatur erreicht hat, beginnt unmittelbar anschließend der Umformprozess. Durch den Kontakt mit einem temperierten Werkzeug kommt es zu einer raschen Abkühlung des Bauteils, wodurch eine Gefügeumwandlung (i. d. R. Martensitbildung) induziert wird, die zu der gewünschten hohen Festigkeit nach der Umformung führt. Beim indirekten Presshärten werden die Bleche zunächst kalt vorgeformt, danach erwärmt, umgeformt und gekühlt. Damit lassen sich komplexere Umformgeometrien als beim direkten Presshärten realisieren.

Der Anteil pressgehärteter Bauteile an der Automobilkarosserie wird Prognosen zufolge in den kommenden Jahren deutlich anwachsen. Dies ist nicht nur auf die umweltpolitischen Vorgaben (Senken der CO₂-Emission), sondern auch auf die steigende Modellvielfalt und die Einführung von crash-resistenten Bauteilen, wie verstärkten A- und B-Säulen, zurückzuführen.

2 Trend zur gezielten Gestaltung von Bauteileigenschaften

Gerade bei sicherheits- und crashrelevanten Applikationen, in denen es sowohl auf eine hohe Energieaufnahme als auch auf eine geringe Verformung ankommt, bieten höherfeste Stähle ein nutzbares Potenzial. Ein aktueller Entwicklungstrend hierfür ist die Herstellung von Bauteilen mit definiert maßgeschneiderten Eigenschaften. Ziel ist es, beispielsweise die Härte oder Duktilität genau in den Bauteilbereichen zu erzeugen, in denen sie später benötigt wird. So wird neben den bekannten Tailored Blanks und Patchwork-Platinen versucht, so genannte Tailored Tempered Bauteile durch definierte Abkühlstrategien zu entwickeln [Len07, Stein07].

Diese bedarfsangepasste Eigenschaftsverteilung wird hauptsächlich durch die Variation der Abkühlraten in den entsprechenden Werkzeugbereichen generiert. Die Eigenschaftseinstellung erfolgt im Werkzeug nach einer vorherigen, vollständigen Austenitisierung der homogenen Ausgangsplatine. Durch die Variation der Abkühlraten im Werkzeug wird zwangsläufig auch die Verweildauer in demselben erhöht. Hinzu kommt die Entwicklung von Werkzeugen mit optimierten Kühlstrategien für jedes Bauteil, was zu einer negativen Auswirkung auf die Taktzeiten und Werkzeugkosten führen kann.

Mit dem Ziel, die Bauteileigenschaften gezielt zu beeinflussen, werden auch die Arbeiten auf dem Gebiet der Kombination verschiedener Erwärmungstechniken durchgeführt. So versucht man beispielsweise, eine anfängliche Erwärmung im Ofen mit einer zusätzlichen Induktionserwärmung zu kombinieren [Stein07]. Dabei wird die gesamte Platine zunächst bis in einen Temperaturbereich unterhalb der Austenitisierungstemperatur erwärmt. Anschließend erfolgt eine lokale und kurzzeitige induktive Erwärmung definierter Bauteilbereiche auf Temperaturen oberhalb der Austenitisierungstemperatur. Während des anschließenden Presshärtens entsteht in den zuvor austenitisierten Bereichen die harte martensitische Mikrostruktur, wobei der zuvor nichtaustenitisierte (d.h. der nicht-induktiv erwärmte) Bereich eine niedrige Härte und höhere Dehnbarkeit aufweist. Vorteil dieses Verfahrens ist, dass nicht nur versucht wird, die Abkühlung sondern auch die Phasenumwandlung zu kontrollieren, was insgesamt ein höheres Potenzial zur Steuerung der Eigenschaften besitzt.

Das im Folgenden beschriebene Verfahren der Kontaktwärmebehandlung bietet den Vorteil einer Verlagerung des eigenschaftsbestimmenden Prozessschrittes vor den Formgebungsprozess und ermöglicht eine gut kontrollierbare und gezielte Generierung gewünschter lokaler Bauteileigenschaften.

3 Flexible Gestaltung von Eigenschaften im Warmumformprozess durch Kontaktwärmebehandlung

Bei der Kontaktwärmebehandlung dienen zwei massive Stahlplatten (Kontaktplatten genannt) als Wärmequelle für einen definierten Wärmeeintrag in die umzuformende Platine (Abb. 1). Die Kontaktplatten werden zunächst induktiv oder konduktiv auf eine bestimmte Temperatur aufgeheizt und anschließend durch eine bedarfsgerechte Energienachspeisung automatisch auf der vorgegebenen Temperatur gehalten. Von der Umgebung isoliert, dienen die Kontaktplatten als ein konstant temperierter Energiespeicher. Die Wärmebehandlung des Blechbauteils erfolgt mittels direkten Kontakts zwischen Platine und Kontaktplatten.

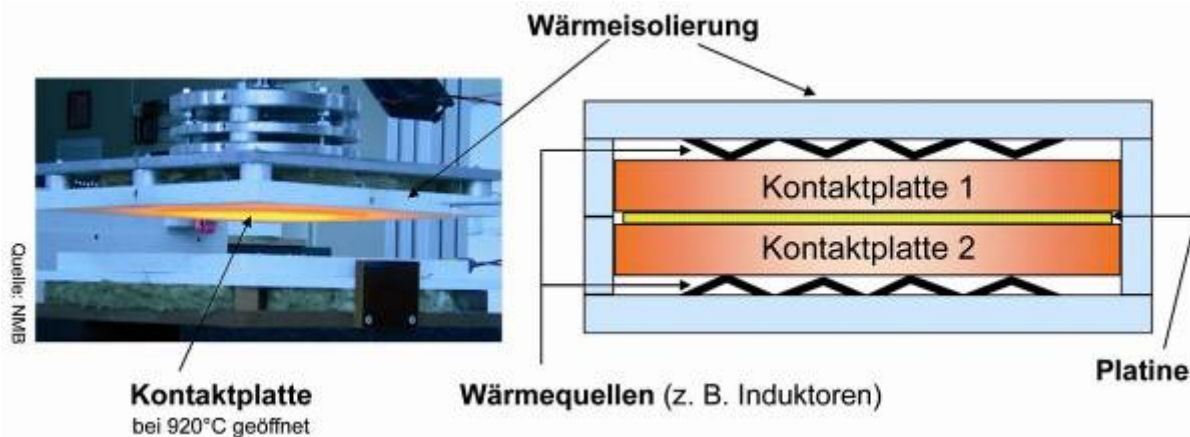


Abb. 1: Laboranlage und Schematische Darstellung des Verfahrens der Kontaktwärmebehandlung

In einem weiteren Verfahrensschritt kann die erwärmte Platine durch Kontakt mit weiteren, auf einer geringeren Temperatur gehaltenen Kontaktplatten kontrolliert abgekühlt werden.

Durch Nutzung mehrerer Wärmebehandlungsstationen ist auch eine mehrstufige Wärmebehandlung realisierbar. Die Möglichkeit zur Durchführung von komplexen, mehrstufigen Temperaturführungen mit exakt eingestellten Abkühlgeschwindigkeiten und Haltezeiten durch eine individuelle Einstellung der einzelnen Behandlungsstationen eröffnet große gestalterische Freiheiten bei der Beeinflussung der Bauteileigenschaften

Diese Flexibilität wird z.B. durch die Möglichkeit erreicht, in entsprechenden Platinenbereichen unterschiedliche Temperaturzyklen zu realisieren. Bei Bedarf ist auch eine teilweise Erwärmung bestimmter Platinenbereiche denkbar. Das Erzeugen von gradierten Bauteileigenschaften wird mit diesem flexiblen Verfahren begünstigt (Abb. 2).

Die Erzeugung maßgeschneiderter Werkstoffeigenschaften innerhalb eines Bauteils aus einer homogenen Ausgangsplatine bietet ein interessantes Potenzial zur Erhöhung der Energie- und Ressourceneffizienz. Dieses Potenzial steckt z.B. im reduzierten Energiebedarf bei einer teilweisen Erwärmung einer Bauteilplatine oder in der Möglichkeit einfache Werkzeuge statt Werkzeuge mit optimierten Kühlzonen einsetzen zu können. Unter dem Gesichtspunkt steigender Bauteilvarianten und immer kürzeren Produktlebenszyklen werden diese Produktionsvorteile immer mehr an Bedeutung gewinnen.

Im Rahmen des BMBF Verbundprojektes „Flexible Wärmebehandlung zur gezielten Gestaltung von Bauteileigenschaften und zur Erhöhung der Energieeffizienz der Prozesskette Warmumformen“ wird eine innovative Prozesskette entwickelt, welche auf der Integration der Kontaktwärmebehandlung mit dem Warmumformprozess basieren wird. Diese Integration wird eine gezielte und gut thermisch steuerbare Gestaltung lokaler Eigenschaften warmumgeformter Bauteile ermöglichen.

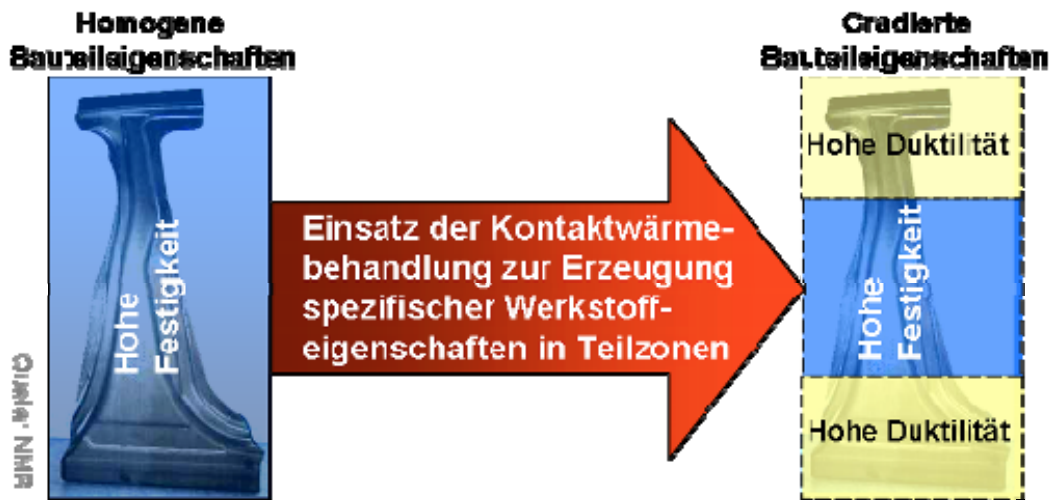


Abb. 2: Zum Einsatzpotential der Kontaktwärmehandlung gehört die Herstellung von Bauteilen mit maßgeschneiderten Eigenschaften (Beispiel einer B-Säule, deren Crashverhalten durch den dargestellten Übergang von homogenen zu gradierten Eigenschaften optimiert werden kann).

4 Einfluss der Kontakterwärmung auf mechanische Eigenschaften des Ausgangsmaterials und die Platinenbeschichtung

In einer ersten Versuchsreihe wurde der Einfluss der Kontaktwärmehandlung auf die mechanischen Eigenschaften untersucht. Als Ausgangsmaterial diente der hochfeste Stahl MBW-K 1500 +AS (22MnB5) des Herstellers ThyssenKrupp Steel Europe. Aus den Platinen wurden Zugprobenpakete gefertigt, bei denen jeweils drei Zugproben einseitig am Probenkopf mit Stegen verbunden waren. Durch die gleichmäßige Temperaturverteilung innerhalb der Kontakterwärmungsplatten ist in allen drei Proben ein identischer Temperaturverlauf gewährleistet worden. Die Probenpakete wurden auf 950°C erwärmt und unterschiedlichen Haltezeiten ausgesetzt. Mit langen Haltezeiten (240s und 300s) wurde die Erwärmung in einem Ofen simuliert. Anschließend erfolgte eine schnelle Abkühlung zwischen zwei weiteren, wassergekühlten Kontaktkühlplatten auf Raumtemperatur.

Das Balkendiagramm (Abb. 3) zeigt den Einfluss der Haltezeit während der Kontaktwärmehandlung auf die Festigkeit der Proben. Es zeigt sich zum einen, dass nach der Kontaktwärmehandlung die gleiche Festigkeit erreicht wird wie nach der Ofenerwärmung und dem anschließenden Presshärten. Zum anderen kann die gleiche Festigkeit durch die Kontaktwärmehandlung viel schneller, d.h. mit wesentlich kürzeren Haltezeiten, erreicht werden. Im Spannungs-Dehnungs-Diagramm (Abb. 4) werden die fast identischen mechanischen Eigenschaften der verschiedenen Haltezeiten (15s und 300s) verdeutlicht. Daraus ergibt sich ein hohes Potenzial zur Reduzierung der gesamten Zykluszeit im Vergleich zur Ofenerwärmung, und zwar parallel zur Möglichkeit einer Erzeugung maßgeschneiderter lokaler Bauteileigenschaften.

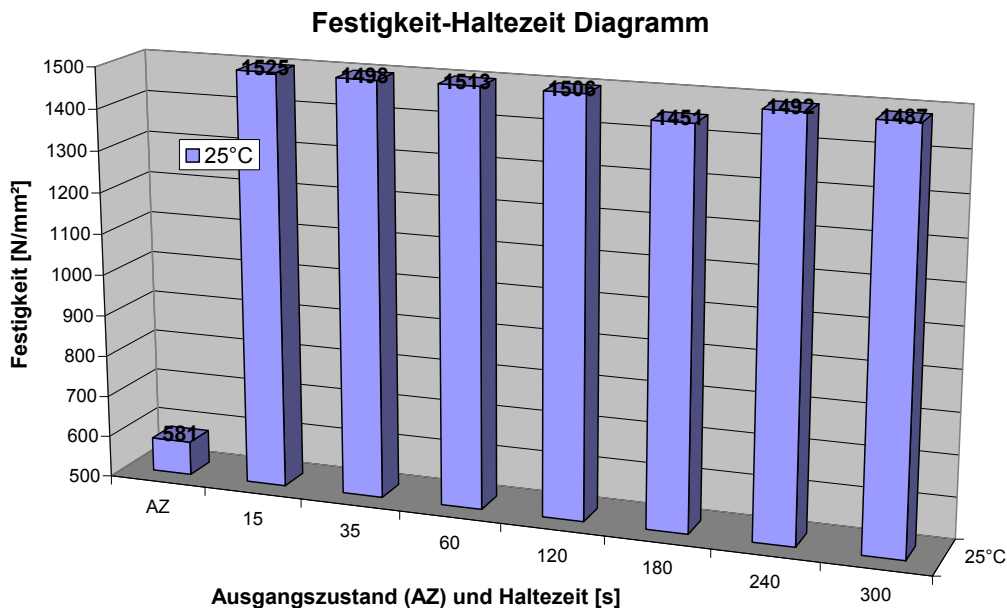


Abb. 3: Ausgangsfestigkeit (Balken links) und Festigkeit des Ausgangsmaterials nach der Kontaktwärmebehandlung bei Variation der Haltezeit (5 Minuten entsprechen der konventionellen Erwärmung im Ofen)

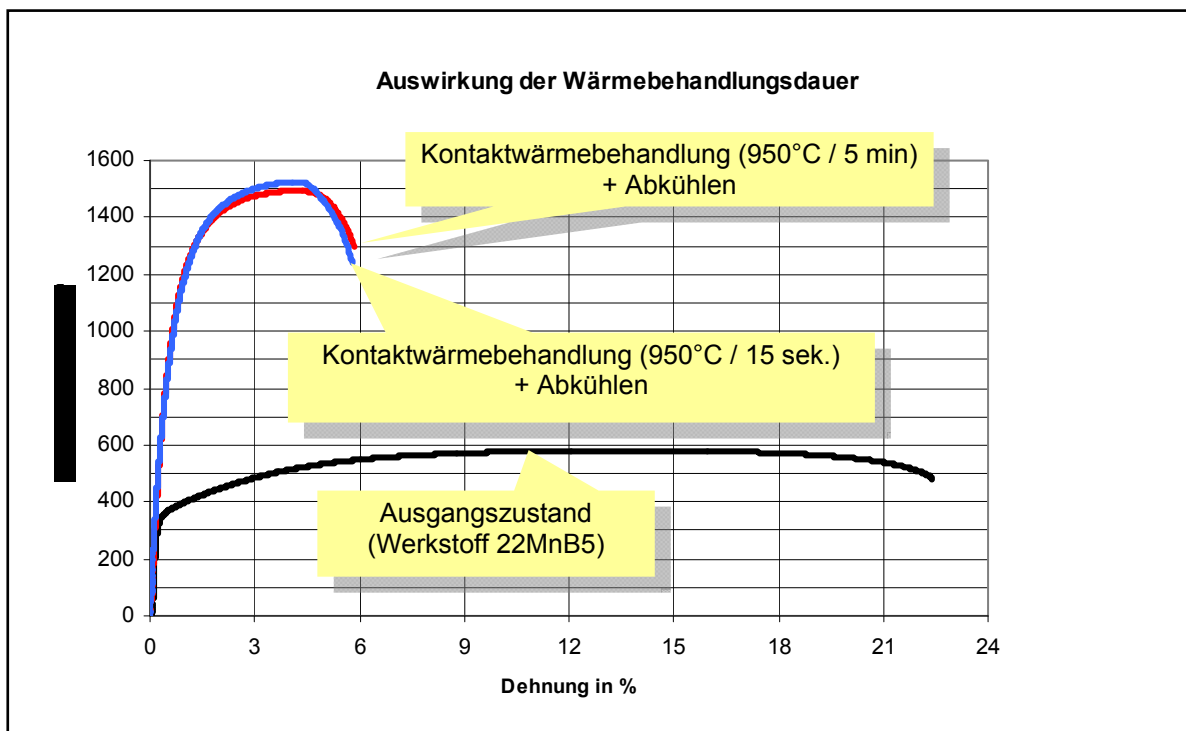


Abb. 4: Mechanische Eigenschaften des Werkstoffes im Ausgangszustand und nach der Kontaktwärmebehandlung bei unterschiedlichen Haltezeiten (Spannungs-Dehnungs-Kurven, Ausgangsmaterial Stahl 22MnB5)

In weiteren Versuchen wurden die Auswirkungen der Kontakterwärmung mit einer reduzierten Erwärmungsdauer auf die Beschichtungsqualität untersucht. Für diese Versuche wurden Probenbleche aus MBW-K 1500 +AS mit einer AISi-Beschichtung mit der Kontakterwärmung erwärmt, verschiedenen Haltezeiten ausgesetzt und anschließend schnell mit zwei weiteren, wassergekühlten Kontaktkühlplatten abgekühlt. Der Temperaturverlauf in der Aufheizphase ist in Abb. 5 dargestellt. Die Auswertung erfolgte anhand einer metallographischen Analyse. Es ist deutlich zu sehen, dass eine vergleichbare Beschichtungsqualität, die sich durch die Ausbildung neuer intermetallischer Phasen innerhalb der Schicht und einer ferritischen Zwischenschicht im unteren Bereich der Gesamtschicht zeigt, sowohl bei Erwärmung im Ofen als auch durch die Kontakterwärmung erreichbar ist (Abb. 6). Dabei zeichnet sich auch hier die Kontaktwärmebehandlung durch vergleichbar kurze Haltezeiten (20 Sekunden) aus. Die Haltezeit, die bei der Kontaktwärmebehandlung zur Erreichung der notwendigen Schichtqualität notwendig ist, hängt vor allem von der Prozesstemperatur (Temperatur der Heizplatten) ab. Durch die Erhöhung der Prozesstemperatur kann potenziell eine weitere Verkürzung der Haltezeiten erreicht werden.

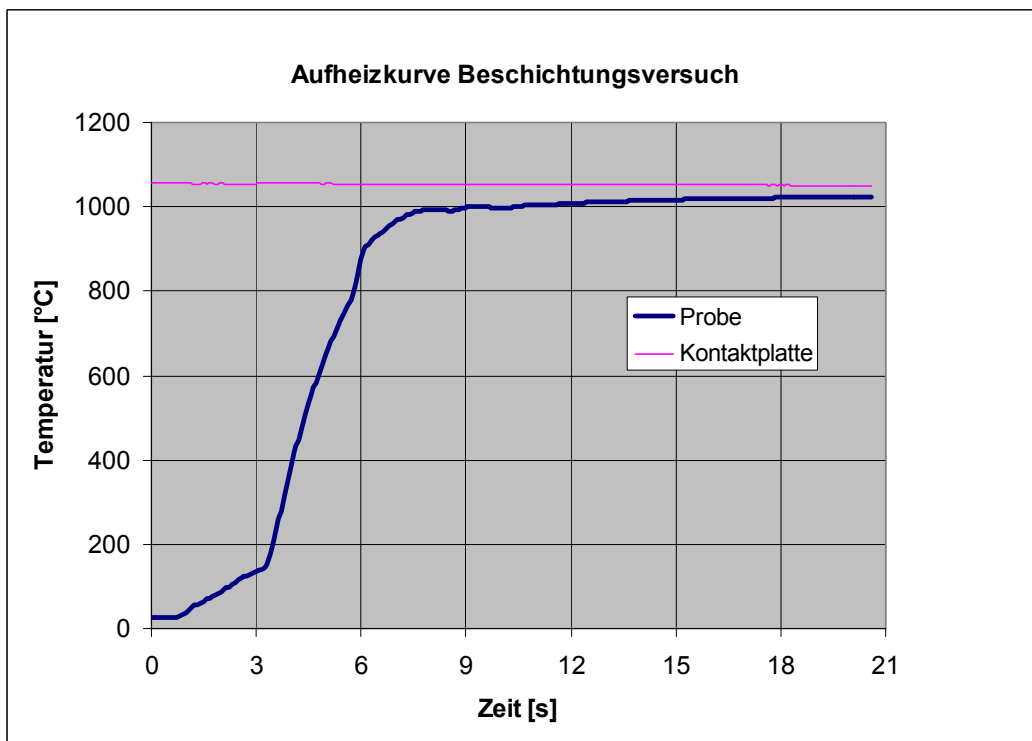


Abb. 5: Temperaturverlauf an der Probenoberfläche während der Kontaktwärmebehandlung (Linie oben zeigt die voreingestellte Temperatur der Kontaktplatten von 1020°C, Kontaktzeit 20s)

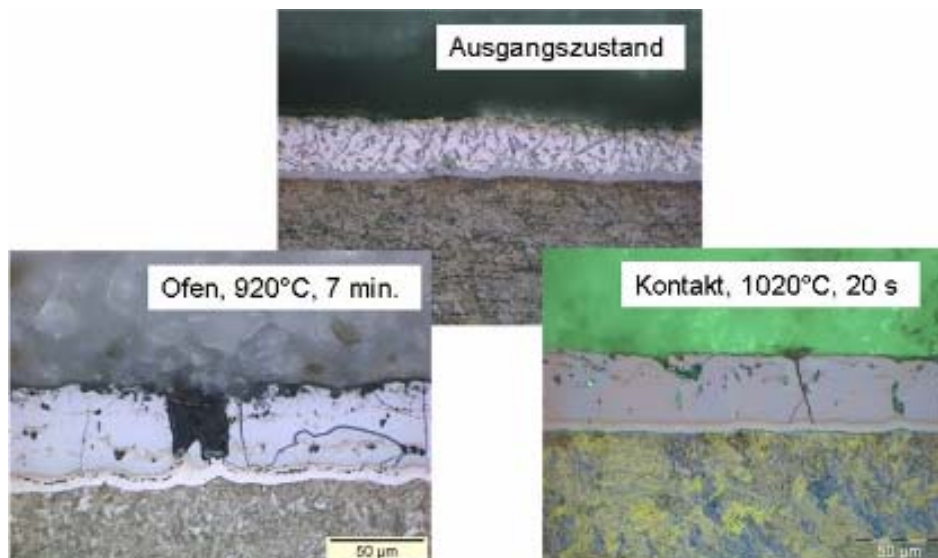


Abb. 6: AlSi-Beschichtung im Ausgangszustand (oben), nach der Wärmebehandlung im Ofen (unten links) und nach der Kontaktwärmebehandlung (unten rechts)

5 Ausblick

Durch die Kontaktwärmebehandlung sind Konzepte für energie- und ressourceneffiziente Prozessketten für das Warmumformen potenziell realisierbar, bei denen Bauteile mit flexibel veränderbaren Eigenschaftsverteilungen hergestellt werden. Zu erwarten sind dabei signifikante prozess- und fertigungstechnische Vorteile (z. B. höhere Flexibilität der Abläufe, Schonung des Werkzeugs). Die oben beschriebenen Merkmale der Kontaktwärmebehandlung schaffen die Voraussetzung dafür, den Einstieg in das Warmumformen auch bei begrenztem Mitteleinsatz und bei kleinen Stückzahlen zu ermöglichen. Damit eröffnet sich aufgrund des relativ niedrigen Investitionsbedarfs und der flexiblen Abläufe bereits bei vergleichsweise kleinen Stückzahlen auch für KMUs die Möglichkeit, in die Produktion warmumgeformter Teile einzusteigen. Für Unternehmen, die den Prozess des Warmumformens bereits anwenden, ergeben sich neue Ansatzpunkte für die energie- und ressourcenschonende Optimierung bestehender Warmumformprozesse. Durch die Weiterentwicklung dieses Verfahrens sind komplexe Wärmebehandlungen an Bauteilplatten potenziell durchführbar. Das Spektrum der Eigenschaften der hochfesten Stähle kann damit umfassender ausgeschöpft werden.

6 Danksagung

Das Verbundprojekt „Flexible Wärmebehandlung zur gezielten Gestaltung von Bauteileigenschaften und zur Erhöhung der Energieeffizienz der Prozesskette Warmumformen“ wird mit Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF) innerhalb des Rahmenkonzeptes "Forschung für die Produktion von morgen" unter dem Förderkennzeichen 02PO2350 gefördert und vom Projektträger Karlsruhe (PTKA), Bereich Produktion und Fertigungstechnologien (PFT) betreut. Die Autoren möchten die Gelegenheit nutzen dem Projektträger und dem BMBF für das Zustandekommen dieses Forschungsvorhabens zu danken.

Literatur:

- [Neug06] Neugebauer R., Altan T., Geiger M., Kleinerd M., Sterzinga A.: „Sheet metal forming at elevated temperatures“, CIRP Annals - Manufacturing Technology, Volume 55, Issue 2, 2006, pp. 793-816
- [Len07] Lenze F.-J., Bian J., Sikora S.: “Einsatz pressgehärteter Stähle im Karosseriebau: Stand und Trends der Entwicklung”, 2. Erlangener Workshop Warmblechumformung, 2007, s. 13-21,
- [Stein07] Steinhoff K., Maikranz-Valentin M., Weidig U., Paar U., Gücker E.: „Bauteile mit maßgeschneiderten Eigenschaften durch neuartige thermo-mechanische Prozessstrategien in der Warmumformung“, 2. Erlangener Workshop Warmblechumformung, 2007, s. 1-1

Effizient und langlebig – funktionale Oberflächenveredlung am Beispiel Mikrobrennstoffzelle

Dr.-Ing. Volker H. Meywald

Dr.-Ing. Meywald GmbH & Co. KG, Ostpreußenstraße 72, 34454 Bad Arolsen

Zusammenfassung

Das Thema Oberfläche spielt zukünftig in der Technik eine immer größere Rolle. Das gilt im Großen (z.B. Flächen, in denen aus Licht Strom gewonnen wird) wie auch im Kleinen, hier z.B. mit hoch spezialisierten Oberflächen (Elektronik, Sensortechnik, Informationstechnik). - In der globalisierten Betrachtung gilt: Wir werden Arbeitsplätze in Europa nur dann schaffen beziehungsweise erhalten können, wenn wir vor den Wettbewerbern vor allem aus Fernost einen Vorsprung halten können. Hier geht es dezidiert auch um Marktchancen von KMU, die mit ihrer hohen Flexibilität und Innovationskraft ganz vorne mitmischen können, wenn sie Partner haben, die sich auf das internationale Geschäft verstehen.

Am Beispiel der hoch spezialisierten Oberflächen bei Mikrobrennstoffzellen soll nun verifiziert werden, welchen herausragenden Part die Rolle-zu-Rolle – Leittechnologie in der Bandhalbzeug verarbeitenden Industrie spielen kann. Brennstoffzellen werden in Zukunft einen wichtigen Beitrag zur Energieversorgung leisten, um die Effizienz der Energienutzung zu steigern, umweltschädliche Emissionen zu reduzieren und die Energiedichte portabler und mobiler Systeme zu erhöhen. Voraussetzung für die Massenherstellung von Mikrobrennstoffzellen ist die Bereitstellung effizienter und kostengünstiger Herstellungstechnologien. Einen Entwicklungsschwerpunkt bilden dabei die Stromkollektoren und Strömungsfeldplatten (Flow Fields).



**als Schlüssel zu Integration,
 Kostensenkung und Ressourceneffizienz in der Bandhalbzeuge verarbeitenden Industrie**

I. Thesen

1.	Viele Bereiche der Technik verfügen über hoch spezialisiertes Fachwissen . Häufig ist die Bündelung des Fachwissens Aufgabe der Nachfrager														
2.	Die zunehmende Komplexität der Anforderungen an Produkte belegt die Notwendigkeit <ul style="list-style-type: none"> • zur Multifunktionalität, • zur Integration und • zum schonenden und nachhaltigen Umgang mit Ressourcen 														
3.	Fachgebiete, die zu integrieren sind (z. T. mehrdimensionale Abhängigkeiten): <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td style="text-align: center;">a.</td><td>Metallurgie</td></tr> <tr><td style="text-align: center;">b.</td><td>Oberflächenchemie /-physik</td></tr> <tr><td style="text-align: center;">c.</td><td>Konversionsschichten</td></tr> <tr><td style="text-align: center;">d.</td><td>Beschichtungsverfahren</td></tr> <tr><td style="text-align: center;">e.</td><td>Beschichtungstechnik</td></tr> <tr><td style="text-align: center;">f.</td><td>Vernetzungstechnik</td></tr> <tr><td style="text-align: center;">g.</td><td>Handling von Band + Umfeld</td></tr> </table>	a.	Metallurgie	b.	Oberflächenchemie /-physik	c.	Konversionsschichten	d.	Beschichtungsverfahren	e.	Beschichtungstechnik	f.	Vernetzungstechnik	g.	Handling von Band + Umfeld
a.	Metallurgie														
b.	Oberflächenchemie /-physik														
c.	Konversionsschichten														
d.	Beschichtungsverfahren														
e.	Beschichtungstechnik														
f.	Vernetzungstechnik														
g.	Handling von Band + Umfeld														
4.	Das Reel-to-Reel – Prinzip wird in der Bandhalbzeuge verarbeitenden Industrie eine Leittechnologie werden,														

<p>als Schlüssel zu</p> <ul style="list-style-type: none"> • Integration, • Kostensenkung und • Ressourcen-Effizienz.
--

II. Was hat das Rolle-zu-Rolle – Prinzip (Bandbeschichtung) bisher schon geleistet?

Band - Substrat	Hersteller (Bsp.) Beschichtungsstoffe Bandbreiten
	<p>(1) Architektur</p> <ul style="list-style-type: none"> • Trapezprofile und beschichtete Bleche für Fassade, Ortgang und Dach • Lamellen für Beschattungssysteme • Thermo-Außenhaut (Sandwich-Bauteile)
<p>(2) Technische Teile z. B. für</p> <ol style="list-style-type: none"> Hausgeräte Elektronik Architektur Handys Automobil Beschläge Werbemittel Sensortechnik ... (geht nicht – gibt's nicht!) 	<p>Dr.-Ing. Meywald Lacke, Nano-Lacke, PTFE (Teflon®), Kunststoffe, Haftvermittler, Kleber, Keramik, Metalle (nicht-galv.) u.v.m. z. Zt. bis 150 mm</p>
<p>(3) Beispiele:</p>	
<p>Bild 1: Produktbeispiele nach dem Rolle-zu-Rolle – Prinzip (Quelle: Dr.-Ing. Meywald)</p>	

NANO-X **Hochtemperaturstabile Beschichtungen**

No-Fogging coating für Strahlenblende in Scheinwerfern

In Zusammenarbeit mit **mell)band**
Wir beschichten bevor Sie formen.

Strahlenblende in Front-Scheinwerfern (z.B. mit Logo)

Rohbandware (AlSi oder Edelstahl)

Beschichtung

Stanzen & Formen

Kostenintensive Temperung
 Temperatur $T > 300^{\circ}\text{C}$, Zeit $t \geq 1\text{h}$
 => Austreiben v. störenden Begleitstoffen

Stand der Technik

Einsparung eines zeit- und kostenintensiven Temperungsschritts

Schwarze Beschichtung

x-coat® Black

Weiterverarbeitung & Auslieferung

Bild 2 Schicht- und Verfahrensentwicklung für hochtemperaturfeste Absorptionsschicht für Licht

(Quelle: Nano-X)

NANO-X **Kostensparende No-Fogging-Schicht**

Markteinführung 2009

Strahlenblende im Porsche Panamera

ZKW OPEL PORSCHE mell)band
Wir beschichten bevor Sie formen.


- Matt-schwarze Beschichtung mit geringem Substanzverlust (Ausgasungen): $< 0,01\text{ g/qm}$ nach 100 h Dauerbelastung bei 300°C
- Kostengünstige Applikation über Coilcoating und anschließendes Stanzen und Formen
- Einsparung von Prozeßkosten, da aufwendige Nachbehandlungsschritte (Temperung) wegfallen

Bild 3 Schicht- und Verfahrensentwicklung für hochtemperatur- und ausgasungsfeste Absorptionsschicht für Licht

(Quelle: Nano-X);

Draht - Substrat		Hersteller (Bsp.) Beschichtungsstoffe Draht-Ø
A.	Elektrokabel	NN (z.B.: Leoni, Essex Nexans)
B.	Maschendraht-Geflechte	NN (z.B.: Bekaert)
C.	Technische Teile z. B. für a) Architektur (z.B. für Fassaden-Gewebe) b) Elektronik c) Automobil d) Sensortechnik	Dr.-Ing. Meywald Lacke, PTFE (Teflon®), Kunststoffe, Kleber, Haftvermittler, Metalle (nicht-galv.) u.v.m. z. Zt. bis 3 mm Ø

Oberflächen / Funktionen / Auftragsverfahren - Vielfalt der Oberflächen

Funktionen	
 <p style="text-align: center;">Bild 4 Weiterverarbeitung (Quelle: Dr.-Ing. Meywald)</p>	
Trägermaterial	
Technische Daten	Stahl, NE-Metalle, Sonstige
Materialstärken	0,05 - 0,8 mm. Andere auf Anfrage.
Standardbreiten	2,5 - 150 mm
Mindestlänge des Coils	300 laufende Meter
Kleinmengen	auf Anfrage möglich
RID	300 - 500 mm
RAD	bis 1.250 mm
Coilgewicht	max. 750 kg
Aufmachung	Coils oder Spulen
Beschichtungen	
Beschichtungsstoffe	PUR, Acrylat, PTFE, Haftvermittler und weitere
Aufbringung	<ul style="list-style-type: none"> • einseitig, beidseitig, einseitig partiell, beidseitig partiell • Mehrfach- und Kantenbeschichtung möglich • unterschiedliche Beschichtungen auf Vorder- und Rückseite möglich
Schichtdicken Lacke	bis ca. 25 µm
Schichtdicken Extrusion	ab 100 µm
Farbe	entsprechend dem Beschichtungsstoff variabel
Glanzgrad	nach Wunsch
Oberflächenschutz	Aufbringung einer Adhäsionsfolie oder Papierzwischenlage möglich
Funktionen	<ul style="list-style-type: none"> • dekorieren • dichten • gleiten • imprägnieren • elektr./therm. leiten • Reibung mindern • isolieren (elektr./therm.) • kleben (Gummi / Kunststoff bis Metall / Metall) • schützen • rutschhemmen • Beständigkeit gegen Abrieb, Chemikalien, Temperatur, Korrosion • . . . u.v.a.m.
Vorteile	<ul style="list-style-type: none"> • Kostenreduzierung • Prozessoptimierung • Inline-Produktion möglich bei gleichbleibend hoher Prozeßsicherheit
Einsatz	<ul style="list-style-type: none"> • Elektronik • Automobil • Computer / Handy • weiße Ware • Beschläge • Werbemittel
Referenzen	u.a.: NOKIA, Härter, Bosch-Siemens, 3M und weitere namhafte Hersteller
ISO	Zertifiziert nach DIN ISO EN 9001-2008

In der Übersicht:

Funktion (Auswahl *)	Trägermaterialien	Beschichtungsstoffe	Art der Applikation
F1. Dekor F2. Effekt, Anmutung F3. Kommunikation	Stahl Edelstahl NE-Metalle	Lack (auch Nano~) Kunststoff Metalle (nicht-galv.)	einseitig Vollflächig Streifenförmig Mehrfach-Streifen Spot-partiell
F4. Halte-F. F5. Schutz-F. F6. Dicht-F. F7. mechanische F. F8. Geräusch-dämmende F.	Aluminium Kupfer Cu-Legierungen Neusilber Bronze	Metalloxide Keramik	beidseitig Vollflächig Streifenförmig Mehrfach-Streifen Spot-partiell
F9. Geräusch-vermeidende F. F10. haptische F. F11. Schutz oder Barriere F. F12. Lebensmittel-Zul. F. F13. chemische F. (Reaktions-Partner) F14. thermische F. *) F15. elektrische F. *) F16. Klebe-F. F17. katalytische F. F18. Oberflächen-F. F19. Beschriftungs-F. F20. Brandhemmungs-F.	Titan	Fest Flüssig Gasförmig Plasma	
Zur Erzielung eines gewünschten Eigenschaftsprofils sind Mehrfach-Beschichtungen sowie Kombinationen von Funktionen, Beschichtungsstoffen und Applikationen möglich.			

*) Vereinbarungen zur Geheimhaltung im Bereich der Sensortechnik verbieten die Auflistung detaillierterer Funktionen

III. Was soll die Reel-to-Reel - Leit-Technologie in Zukunft leisten?
 (zu verifizieren am Beispiel der Mikrobrennstoffzelle)

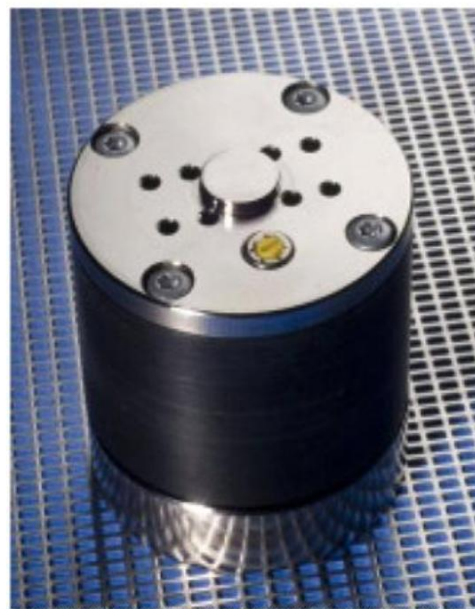
1.	Funktionsweise einer Brennstoffzelle 	Bild 5 Funktionsweise einer Brennstoffzelle (Quelle: F.A.Z.)
2.	Hoch spezialisiertes Fachwissen aus vielen Bereichen der Technik bündeln und verfügbar machen.	
3.	Wegen der Komplexität der Anforderungen besteht die Notwendigkeit zu Neu-Definition von Aufgabenstellungen Optimale Ergebnisse sind paradoxerweise dann zu erwarten,	

	<ul style="list-style-type: none"> wenn die Wünsche sich am Idealbild des zu Erreichenden orientierten, wenn man sich also wieder alle ingenieurtechnischen Freiheitsgrade genommen hat (derer man sich z. T. schon nicht mehr teilhaftig wähnte!) wenn man das utopisch Erscheinende als Zielmarke wähle.
4.	Fachgebiete, aus denen sich Multifunktionalität, Integration und schonender sowie nachhaltiger Umgang mit Ressourcen speisen kann (\Rightarrow mehrdimensionale Abhängigkeiten):
a.	Metallurgie
b.	Oberflächenchemie /-physik
c.	Konversionsschichten
d.	Beschichtungsverfahren
e.	Beschichtungstechnik
f.	Vernetzungstechnik
g.	Handling von Band + Umfeld

IV. Erfordernis der Miniaturisierung gegenüber dem Stand der Technik bei Automobil-Brennstoffzellen

Um eine ressourcen- und leistungsoptimierte Mikrobrennstoffzelle zu schaffen, können die Verhältnisse der Brennstoffzellen für hohe Leistungen, wie sie beim Kraftfahrzeug benötigt werden, nicht einfach nur verkleinert werden. Eine komplett eigene Technologie ist zu entwickeln. Aus ökonomischen Gründen soll die Rolle-zu-Rolle – Leittechnologie zum Zuge kommen. Aus Sicht der Herstellungstechnologie, des Leichtbaus und der Robustheit bieten metallische Substrate wesentliche Vorteile. Das Fehlen von Schichtsystemen mit den zugehörigen Oberflächen- und Schichtverfahren für metallische Flow Fields für langzeitstabilen Betrieb, geringe Kontaktwiderstände und geringe Materialkosten ist ein entscheidendes Hindernis für die Markteinführung. Korrosionsstabile Systeme, die zugleich einen geringen Kontaktwiderstand gewährleisten, konnten bisher nur durch massive Goldbeschichtungen erzielt werden.

Aus diesem Grund ist das vorrangige Gesamtziel des Verbundprojekts, den Einsatz von Edelmetallen zu reduzieren und dadurch eine materialeffiziente Produktion zu schaffen. Es sollen Stromkollektoren mit lokal funktionalen Oberflächen mit einer stark verbesserten Ressourcennutzung bezüglich des Materialeinsatzes entwickelt und deren produktionstechnische Umsetzung realisiert werden. Gleichsam werden Schichtaufbauten generiert und untersucht, die einen langzeitstabilen Brennstoffzellenbetrieb bei kostenoptimierter Fertigung zulassen. Durch die Realisierung von langzeitstabilen Stromkollektoren kann die Nutzungszeit von Brennstoffzellen und damit auch die Ressourceneffizienz über den Lebenszyklus deutlich gesteigert werden.



Kosten für Au-Metallisierung ca. 50 % der gesamten Herstellungskosten (ohne MEA)

Bild 6 Mikrobrennstoffzelle
(Quelle: FhG IZM, Berlin)

V. Vorgehensweise

Dazu sind umfassende Untersuchungen der Grund- und Schichtmaterialien erforderlich, die sowohl die möglichen Herstellungsverfahren der lokalen Beschichtungen wie auch die gesamte Prozesskette mit zugehörigen Anlagen und Ausrüstungen mit einschließen müssen, eine mehrdimensionale Aufgabe. Priorität hat die Reduzierung des Edelmetalleinsatzes bei ausreichender Langzeitstabilität sowie weiterführenden Degradationsuntersuchungen. Dazu sind vollflächige und lokale Verfahren zur Oberflächenveredlung für die erforderlichen Korrosionsschutz- und Kontaktschichten zu entwickeln. Hinsichtlich der Montage konnte bereits gezeigt werden, dass die Rolle-zu-Rolle-Montage der Brennstoffzellen hochproduktiv gestaltbar ist. Zusätzlich muss jedoch der Beweis der Massenfertigungstauglichkeit erbracht werden.

VI. Ergebnisse

Im Verhältnis zu vorangegangenen Projekten ist das vorrangige Gesamtziel des Verbundprojekts, den Einsatz von Edelmetallen zu reduzieren und dadurch eine materialeffizientere Produktion zu ersetzen. Es sollen Stromkollektoren mit lokal funktionalen Oberflächen mit einer stark verbesserten Ressourcennutzung bezüglich des Materialeinsatzes entwickelt und deren produktionstechnische Fertigung realisiert werden. Gleichsam werden Schichtaufbauten generiert und untersucht, die einen langzeitstabilen Brennstoffzellenbetrieb bei kostenoptimierter Fertigung zulassen. Durch die Realisierung von langzeitstabilen Stromkollektoren kann die Nutzungszeit von Brennstoffzellen und damit auch die Ressourceneffizienz über den Lebenszyklus deutlich gesteigert werden.

Mit den neuen Fertigungsprozessen können insbesondere kostengünstige Brennstoffzellen in Leichtbauweise realisiert werden, um hohe gravimetrische Leistungsdichten zu erzielen und somit weitere Anwendungsfelder zu erreichen. Für die Verwirklichung einer optimalen Prozesskette werden mehrere Lösungswege mit variierenden Basistechnologien in die FuE-Arbeiten einbezogen. Die zu Grunde liegenden Anlagentechnologien sind grundsätzlich verfügbar. Die Kerninnovation ist in der integrierten Prozess- und Parameterentwicklung der Rolle-zu-Rolle-Technologie mit Adaption der Anlagenkomponenten zu sehen.

VII. Anwendungspotenzial

Die aus dem Vorhaben hervorgehenden Fertigungstechnologien ermöglichen den Projektpartnern umfassende unmittelbare Vermarktungsmöglichkeiten und bieten darüber hinaus das Potential der Übertragung auf einen großen Anwendungsbereich durch den steigenden Bedarf an funktionalen Oberflächen in allen standortrelevanten Branchen.

Im Einzelnen werden durch lokale funktionale Oberflächen folgende Ziele erarbeitet werden:

- Ressourcenschonende Fertigung von Stromkollektoren durch Reduzierung des Edelmetalleinsatzes zur Schaffung einer materialeffizienten Produktion,
- Realisierung langzeitstabiler metallischer Stromkollektoren durch korrosionsstabile Schichtsysteme für Brennstoffzellen,
- Einsparung von Ressourcen durch Verlängerung des Lebenszyklus von Polymer-Elektrolyt-Membran (PEM) – Brennstoffzellen,
- Zusätzliche Einsparung von Ressourcen infolge des Wegfalls von Teilen und Arbeitsgängen durch Inline-Fertigung der lokalen Schichtsysteme,
- Erarbeitung von Übertragungspotentialen bzgl. der neu entwickelten Technologien auf weitere Anwendungsfelder.

Die neuen ressourcenschonenden Fertigungsverfahren kommen für Bauteile in Betracht, deren Funktionen durch spezifische Oberflächeneigenschaften definiert werden oder sich durch eine hohe Funktionsintegration auszeichnen. Dies sind z.B. Bauteile der Sensortechnik, Mikroreaktionstechnik, gedruckte Schaltungen und Polymerelektronik und der Medizintechnik.

Potentielle Einsatzgebiete der neuen ressourcenoptimierten Fertigungsverfahren mit Kosten- und Produktivitätsvorteilen sind z.B.

- Bauteile, deren Funktionen durch spezifische Oberflächeneigenschaften definiert werden,
- Bauteile, die sich durch eine hohe Funktionsintegration auszeichnen (z.B. MID-Bauteile),
- Entwicklung und Fertigung zuverlässigerer (Sub-)Systeme z.B. auch für die Sensortechnik, Mikroreaktionstechnik, gedruckte Schaltungen und Polymerelektronik, Medizintechnik und viele mehr.

VIII. Konklusion

Alle Technik, die auf einer Herstellung aus Band beruht, kann und sollte daraufhin untersucht werden, welche Möglichkeiten die Rolle-zu-Rolle – Leittechnologie zu Integration und Kostensenkung bietet. Die Idee der Rolle-zu-Rolle-Leittechnologie hat sich von Anfang an als Triebfeder und Motor des Integrationsgedankens in der Supply Chain der Bandverarbeiter erwiesen.

Der Ausruf „*Wir haben die Lösung – wo ist die Aufgabe?*“ (oder: *das Problem?*) ist vielleicht ein wenig vermessen, trifft aber im Kern, was mit dieser Leittechnologie gemeint ist.

IX. Lokale Oberflächenentwicklung Mikrobrennstoffzelle auf einen Blick im Mind Map

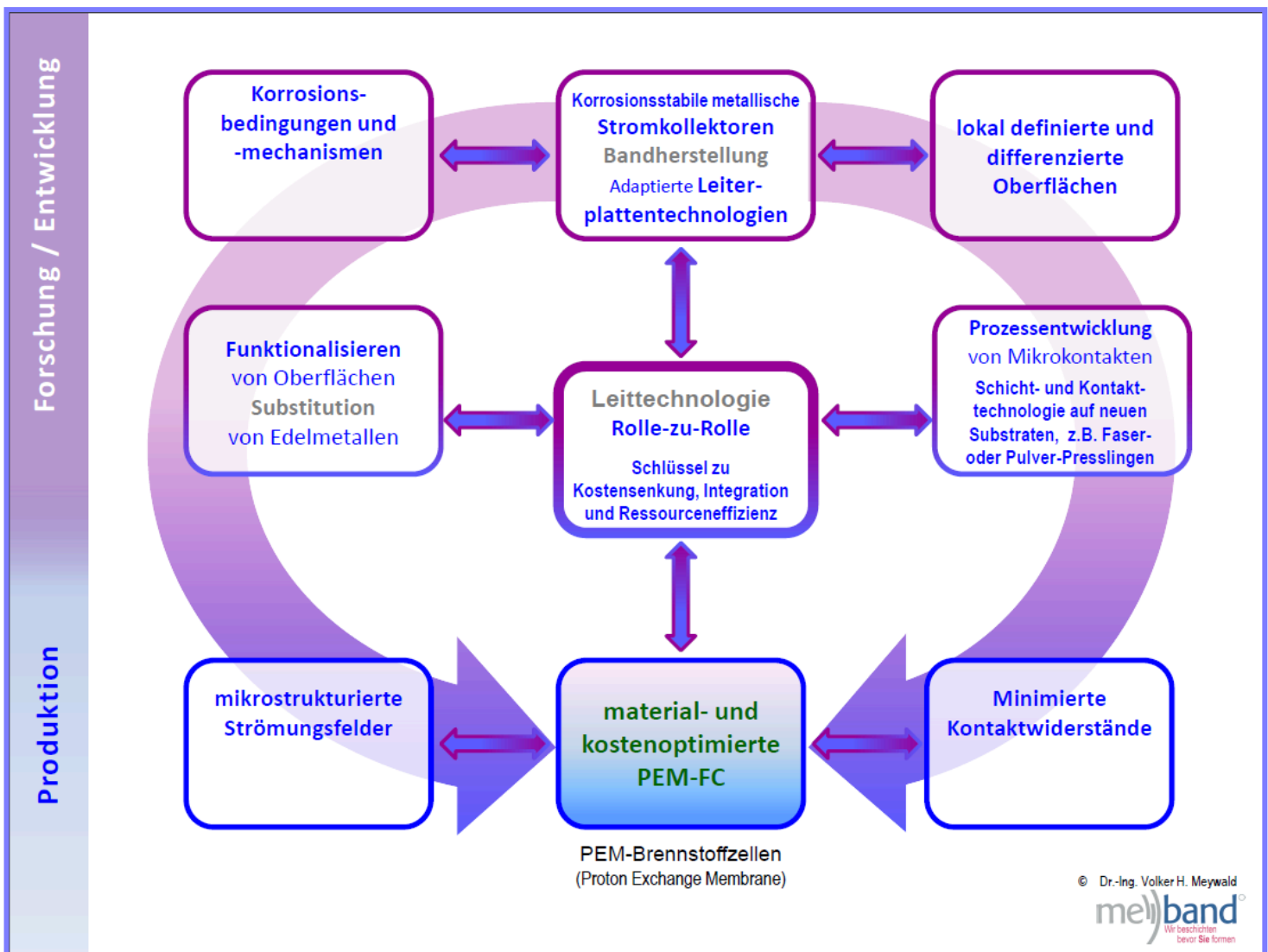


Bild 7 Mind Map „Lokale Oberflächenentwicklung Mikrobrennstoffzelle“
(Quelle: Dr.-Ing. Meywald)

Duplex-Plasma-Oberflächenbehandlung von Aluminiumlegierungen am Beispiel Kolben

Jürgen Niehues

KS Kolbenschmidt GmbH, Neckarsulm

Zusammenfassung

Aluminium und seine Legierungen besitzen wegen ihres Leichtbaupotenzials eine Schlüsselfunktion im Maschinen- und Fahrzeugbau. Aufgrund der unzureichenden Stützfunktion durch das Material sowie plastischer Verformungen bei hohen mechanischen Belastungen ist der Einsatz von Aluminium allerdings auf den Einsatz mit lokal geringen mechanischen Belastungen beschränkt. Parallel dazu steigen aber im Zuge der Entwicklung von kraftstoffeffizienten Verbrennungsmotoren besonders die werkstofflichen Anforderungen an die hochbelasteten Komponenten.

Dieses Projekt verfolgt daher den Ansatz, in einem einzigen "Duplex"-Fertigungsprozess die Oberflächen von Aluminiumlegierungen aufzuwerten, um das Anwendungsspektrum zu erhöhen. Dies soll in einem kontinuierlich ablaufenden Fertigungsprozess geschehen, welcher die Wärmebehandlung, Plasmanitrierung und die Hartbeschichtung mit DLC (Diamond Like Carbon) ermöglicht.

Probleme, wie das Entfernen der natürlichen Oxidhaut und Schwierigkeiten bei der Prozessstabilität während des darauf folgenden Nitriervorgangs, sollen durch die ausschließliche Verwendung von HF-Plasmen und einer neu zu entwickelnden HF-Plasmadiagnostik gelöst werden. Zusätzlich sollen die bisher nur im Labor für einfache Flachproben lösbaren Prozesse im Rahmen des Projekts für reale Bauteile erfüllt werden. Die Topographie der abschließenden mikrostrukturierten DLC-Schicht soll möglichst der einer eingelaufenen Oberfläche entsprechen, um den normalerweise erforderlichen Einlauf zu vermeiden.

Mit Beendigung des Projekts soll eine neue integrale Plasma-Beschichtungstechnologie für Bauteile aus Aluminium vorliegen. Auf einer mindestens 100µm starken Nitrierzone wird eine DLC-Schicht von etwa 10µm erzeugt. Bei den zu behandelnden Bauteilen handelt es sich um Kolben und Liner von Verbrennungsmotoren und Komponenten von Verdrängerpumpen. Die Wirksamkeit und Funktionalität der Aluminium Duplexbehandlung wird mittels tribologischer Modellversuche und Bauteiltests untersucht.

1 Problemlage und Motivation

Gegenwärtig arbeitet die Automobilindustrie intensiv an der Effizienzsteigerung von Verbrennungsmotoren und Antrieben und damit an der Senkung des Flottenverbrauchs mit dem übergeordneten Ziel der Minimierung des Kraftstoffverbrauchs und der Senkung der CO₂-Emissionen. Da auch mittelfristig das Prinzip des Verbrennungsmotors die Mobilitätskonzepte (Otto- bzw. Dieselmotor, Hybridantriebe, Biokraftstoff- und Wasserstofftechnologie) dominieren wird, ist dessen weitere Effizienzoptimierung notwendig.

Der Gesamtwirkungsgrad eines Motors und Antriebs wird direkt durch die mechanischen und thermischen Verluste definiert und damit maßgeblich über die Reibungsverluste und über die Leistungsdichte bestimmt. Um das ganze Potenzial der Verlustminimierung auszuschöpfen müssen sowohl die tribologische Optimierung als auch die Reduktion an oszillierenden Massen vorangetrieben werden, um mechanische und thermische Verluste zu reduzieren und Haupt- und Nebenaggregate leichter zu machen und damit letztlich einen wesentlichen Beitrag zur Verbrauchs- und Emissionsreduktion zukünftiger Verbrennungsmotoren und Antriebe zu leisten.

Für zahlreiche Anwendungen in der Fahrzeugtechnik (z.B. Motorblöcke, Zylinderköpfe, Getriebegehäuse) und im Maschinenbau werden zunehmend erhöhte Anforderungen an die Verschleiß- und Korrosionsbeständigkeit (z.B. alternative Kraftstoffe) gestellt, welche der Werkstoff Aluminium aufgrund seiner geringen Härte, seiner Neigung zur Kaltverschweißung und Alkoholatkorrosion nur unzureichend erfüllen kann. Hier kommen verschiedene Verfahren der Oberflächenveredelung zum Einsatz. Neben den üblichen (umweltbedenklichen) Oberflächenvergütungsverfahren, z.B. Hartanodisieren, Cadmieren, Chromatieren und/oder Eisenbeschichten wird auch versucht, alternative und umweltschonende Methoden einzusetzen. Hierzu gehören neben den rein chemischen (CVD) und physikalischen (PVD) Gasphasenabscheidungsverfahren auch die ionenstrahlgestützten Abscheidungsverfahren. Nachteilig für diese reinen Dünnschichtverfahren ist jedoch, dass es sich bei den Aluminiummaterialien generell um vergleichsweise weiche Grundwerkstoffe handelt. Somit besteht unter hoher mechanischer Belastung aufgrund der unzureichenden Stützfunktion durch das Substratmaterial selbst oder einer fehlenden tieferreichenden Härtegradientenschicht die Gefahr einer frühzeitigen Zerstörung der Hartstoffschicht durch eine Art „Eierschaleneffekt“ (Einbrechen der Schicht in den Grundwerkstoff) sowie einer plastischen Verformung des Grundmaterials. Der Einsatz von Dünnschichten auf Aluminium ist damit derzeit auf Anwendungsfälle mit lokal geringen mechanischen Belastungen beschränkt und daher nur in Ausnahmefällen lohnenswert.

Leichte, verschleiß-, korrosions- und temperaturbeständige Werkstoffe werden aber dringend für die neuen Motoren- und Antriebsgenerationen gefordert. Diese nach dem Prinzip des „Downsizing“ entwickelten Systeme bieten mit weniger Materialeinsatz und geringerem Gewicht die gleiche Leistung wie größere in aktueller Ausführung und damit eine höhere Energieeffizienz. Es erscheint daher naheliegend, dass es in der Vergangenheit immer wieder die Bestrebung gab, Aluminiumwerkstoffe zu nitrieren. Dass ein plasmaunterstütztes Nitrieren von Aluminium möglich ist, zeigen mehrere Veröffentlichungen in der internationalen Literatur [1] [2] [3]. Die Verwendung dieses Verfahrens scheiterte in der Vergangenheit aber immer wieder an den für den praktischen Einsatz zu hohen Temperaturen, welche eine Umkehrung der vorhergehenden Wärmebehandlung zur Folge hatten. Des Weiteren bestehen größere Probleme beim homogenen Entfernen der natürlichen Oxidhaut, welche als Diffusionsbarriere für den Stickstoff wirkt. Hierdurch motiviert wird in diesem Projekt ein Ansatz verfolgt, der in einem einzigen "Duplex"-Fertigungsprozess die Oberflächen von Aluminiumlegierungen wärmebehandelt, plasmanitriert und hartbeschichtet und der damit ressourcen- und in höchstem Maße energieeffizient ist. Dem Konsortium ist kein Verfahren bekannt, welches innerhalb und außerhalb Deutschlands einen derartig ganzheitlichen Ansatz verfolgt, nitrierte Aluminiumbauteile ohne Prozessunterbrechung mit DLC zu beschichten.

2 Ziele des Verbundprojektes

Dieses Projekt soll einen wesentlichen Beitrag zum Förderprogrammteil „Gezielte Erzeugung von Produkteigenschaften mit effizienten Technologien“ leisten.

Im Hinblick auf das übergeordnete Ziel der Ressourceneffizienz in der Produktion, sind die Ziele bzw. die zu erwartenden Ergebnisse des Vorhabens die Entwicklung der Duplex-Plasmatechnologie für thermisch, mechanisch und tribologisch hochbelastete Komponenten aus Aluminium. Bei erfolgreichem Projektverlauf ist nicht nur eine Ressourceneffizienz beim Einsatz von Energie und Rohstoffen zu erwarten, sondern auch eine Reduzierung der Herstellkosten von bis zu 50% am Beispiel eines Kolbens (abhängig von den jeweiligen technischen Anforderungen und ohne Berücksichtigung von notwendigen Investitionskosten) und eine Reduzierung des Kraftstoffverbrauchs.

Durch die Entwicklung einer „High-Tech-Oberfläche“ soll eine Reibungs- und Verschleißreduktion erreicht werden, welche zu einem sinkenden Kraft- und Schmierstoffverbrauch in der Fahrzeugindustrie bei gleichzeitiger Verlängerung der Lebensdauer der tribologisch belasteten Komponenten führen soll.

Durch die Steigerung der mechanischen, bzw. der erforderlichen Flächenpressung in Kolbensystemen, aber auch der chemischen und korrosiven Belastbarkeit von Aluminiumoberflächen kann zum einen der Leichtbau der Kolbengruppe weiter erfolgen. Hierbei soll eine Flächenpressung von mindestens 80 MPa erzielt werden. Zum anderen soll die Entwicklung von Duplexschichten auf Aluminium zur konzeptionellen Weiterentwicklung wesentlicher Nebenaggregate wie Kraftstoff-, Schmierstoff- und Kühlmittelpumpen führen.

Die erwartete Dicke der Nitrierschicht liegt bei 100µm und die DLC-Schicht soll zwischen 5 µm und 20 µm liegen.

Das Gesamtziel des hier vorgeschlagenen Projekts ist die Entwicklung und Erprobung einer neuen integralen Plasma-Beschichtungstechnologie und die Erarbeitung einer neuartigen energieeffizienten Oberflächenveredelungstechnologie für Bauteile mit lokal funktionalen Oberflächen und maßgeschneiderten Produkteigenschaften. Die zu entwickelnde Technologie besteht aus einer Kombination von Randschichtveränderung und Beschichtung zur Erzeugung von Duplex-Randschichten durch die Verknüpfung von Plasmadiffusion (zur Härtung) und nachfolgender Plasma-CVD-Beschichtung (zur Reibungs- und Verschleißminderung). Die Plasmadiffusion von Stickstoff in das Bauteil soll so gestaltet werden, dass die Wärmebehandlung der gewählten Aluminiumlegierung über die notwendigerweise vorgegebene Temperaturführung mit abgedeckt wird (siehe Abb. 1).

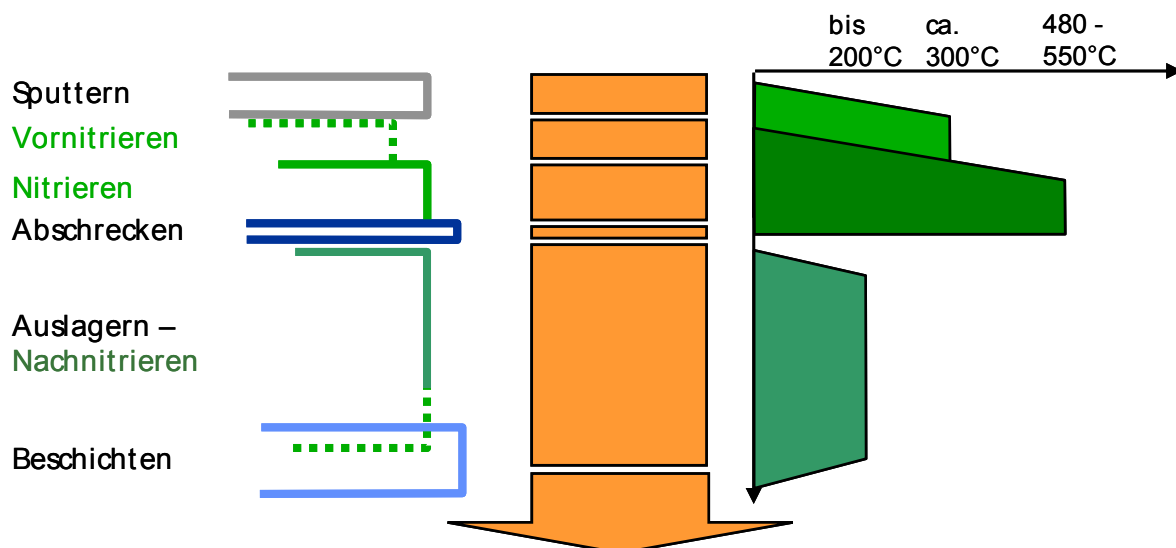


Abb. 1: Ablaufschema des Duplexprozesses

Dies soll durch die Kombination einer neuartigen und patentierten PACVD-Anlagentechnik [4] mit einem ebenso neuartigen Plasmadiagnoseverfahren erreicht werden. Die zu entwickelnde Plasmadiagnostik soll eingesetzt werden um die durch das Aluminium bedingten engen Prozessfenster besser bedienen zu können. Schon kleinste statistische Prozessschwankungen (Umgebungstemperatur, Reinigungszustand der Anlage) können zu nicht tolerierbaren Veränderungen der Plasmamparameter führen. Mit Hilfe von optischer Emissionsspektroskopie (OES) und dem Plasma-Analytik-System Hercules der Fa. Plasmatrix, welches nach dem SEERS-Prinzip (Self-Excited-Electron-Resonance-Spectroscopy) arbeitet, können reelle physikalische Plasmagrößen erfasst werden. Die dabei erhaltenen Plasmamparameter sollen aufeinander abgestimmt und zur Prozesssteuerung eingesetzt werden.

Die Erzeugung der Diffusionsschicht wie auch der DLC-Schicht durch plasmagestützte Prozesse sollen in einem durchgängigen Prozess in einer einzigen Anlage realisiert werden. Hierdurch sollen ressourcen- und kostenintensive Herstellungsschritte und galvanische Oberflächenveredelungsverfahren, die zur Erfüllung der Funktion der Komponenten im Einsatz erforderlich sind, ersetzt werden. Für die Arbeiten wird eine vom IWM entwickelte

Doppelkammer-Mehrquellen-PECVD-Anlage, welche nach dem Prinzip einer offenen CCP/ICP arbeitet, eingesetzt (siehe Abb. 2).

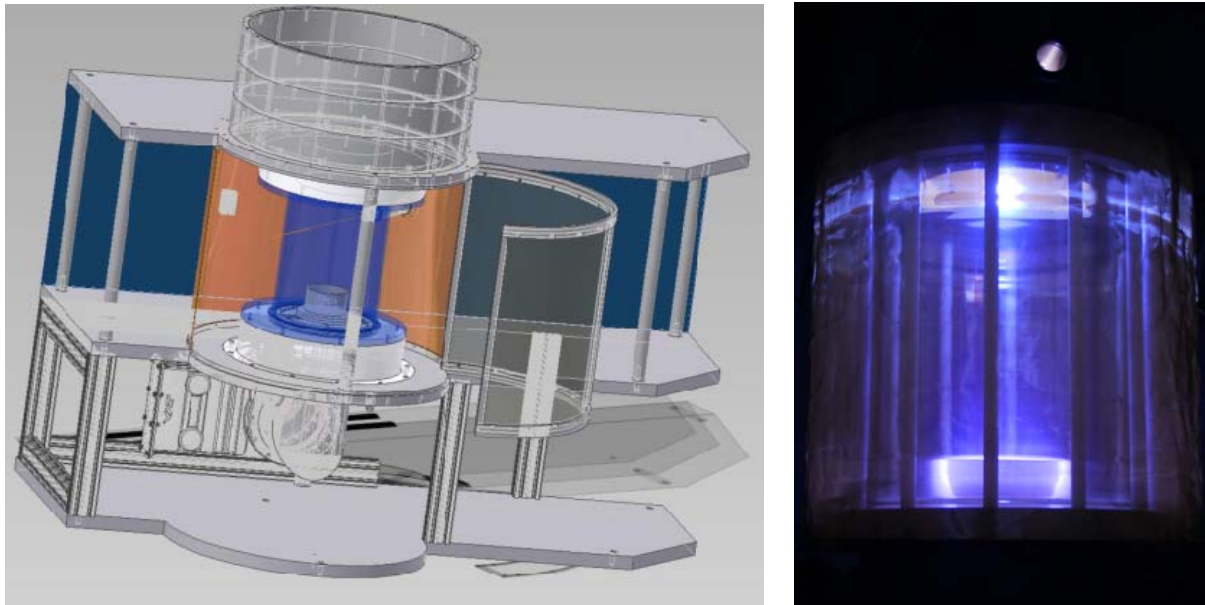


Abb. 2: IWM-PACVD-Technologie

Die dadurch möglichen sehr effizienten Prozesse werden durch lokale Bauteilbeschichtung nicht nur zu deutlichen Materialeinsparungen, sondern auch zur weiteren Erhöhung der Lebensdauer durch verminderte Reibung und Korrosion beitragen. Dieses neue Oberflächen- und Schichtverfahren soll über den Lebenszyklus hinweg lokal harte, tribologisch funktionalisierte und strukturierte Oberflächen zur Verfügung stellen und gesundheits- und umweltschädliche Zwischenschritte bei seiner Herstellung eliminieren. Hierzu soll eine Anlagentechnik entwickelt werden, welche die Diffusionsbehandlung und die Wärmebehandlung der gewählten Aluminiumlegierung miteinander verbindet.

Im Ergebnis soll im Bereich der Kolbengruppe eine Kraftstoffreduzierung um zwei bis drei Prozent erreicht werden und von den Firmen KS Kolbenschmidt und Federal Mogul Goetze sowohl außermotorisch als auch in motorischen Prüfstandsversuchen getestet werden.

Des Weiteren sollte sich die im Rahmen dieses Projekts erarbeitete Oberflächentechnologie vielfältig verwerten lassen. Gelingt die gezielte Veredlung von Aluminium wird dieses allgegenwärtige Leichtmetall befähigt, weitere Aufgaben traditioneller Stahlkonstruktionen zu übernehmen. Damit ist die Anwendung nicht nur auf die hier angestrebte Verwendung in Verbrennungsmotoren und Pumpen beschränkt. Insbesondere werden Anwendungen, in denen sich durch einen Materialwechsel von Stahl zu Aluminium bewegte Massen reduzieren lassen profitieren.

Literatur:

- [1] M. Quast, P. Mayr, H.-R. Stock, H. Podlesak, B. Wielage, Surf. Coat. Technol. 135 (2001) 238-249
- [2] H.-Y. Chen, H.-R. Stock, P. Mayr, Plasma-assisted nitriding of aluminum, Surf. Coat. Technol. 64 (1994) 139-147
- [3] H.-R. Stock, C. Jarms, F. Seidel, J. E. Döring, Fundamental and applied aspects of the plasma-assisted nitriding process for aluminium and its alloys, Surf. Coat. Technol. 94-95 (1997) 247-254
- [4] IWM-Patente PCT/DE2006/001809 und DE 10 2005 049 266 A1

Hochdynamische Laserbearbeitung mit kombinierten NC- und Galvanometerachsen

Dr. Klaus Baier

KUGLER GmbH, 88682 Salem

Zusammenfassung

Damit Laserbearbeitung wirtschaftlich erfolgreich ist, muss sie präzise und effizient sein. Dies gilt besonders in dem zunehmend unter Kostendruck stehenden Gesundheitswesen und in der Zahntechnik, wo hochwertiger Zahnersatz aus Vollkeramik stark nachgefragt ist. Die konventionellen Herstellungsverfahren führen jedoch zu hohen Kosten, weil nach wie vor manuelle Arbeitsschritte inbegriffen sind, die Erfahrung und handwerkliches Geschick erfordern. Ein neues Produktionsverfahren beruht auf der schädigungsfreien Direktbearbeitung von hochfester Industriekeramik mit ultrakurzen Laserpulsen. Da z. B. Zahnkronen komplexe 3D-Werkstücke darstellen, die allseitig bearbeitet werden müssen, sind Bearbeitungsanlagen mit 5-Achskinematik erforderlich, wie sie aus der zerspanenden Fertigung bekannt sind. Diese verwenden derzeit ausschließlich NC-Achsen, die bei Ausführung für hohe Dynamik zu hohen Rucken und Erschütterungen führen. Für den Maschinenbau resultiert daraus der Zielkonflikt, dass die Laserbearbeitungsanlagen entweder dynamisch und unpräzise oder ineffizient und präzise sind. Durch Kombination von NC-Achsen mit Scannern kann die Situation im Prinzip verbessert werden, doch führt der zur 3D-Bearbeitung nötige Simultanbetrieb von NC- und Galvoachsen zu bislang ungelösten Steuerungsproblemen. Im Verbundprojekt SYNGAL werden hierzu Lösungskonzepte erarbeitet und bewertet. Zur praktischen Erprobung und Validierung wird eine Entwicklungsplattform mit redundanter Achskinematik aufgebaut und eine bestehende NC-Maschine zur Laserbearbeitung modifiziert.

1 Einleitung

Hochwertiger Zahnersatz aus keramischen Materialien ist einerseits kostspielig und wird andererseits stark nachgefragt, weshalb die Aufwendungen für Zahnrestorationen beträchtlich zu den ständig steigenden Kosten der Gesundheitssysteme beitragen. Deshalb besteht großes Interesse an neuen, effizienteren Verfahren zur Reduktion der Fertigungskosten. Das beste Material für Zahnersatz aus Vollkeramik ist derzeit durch Yttrium stabilisiertes, tetragonales Zirkondioxid (Y-TZP), sowohl was die kosmetischen Aspekte betrifft wie auch die mechanische Festigkeit. Die konventionelle, mechanisch abrasive Bearbeitung des voll durchgesinterten HIP-Zirkondioxids durch Fräsen und Schleifen ist jedoch mit großen Nachteilen verbunden: Prozesszeiten von mehreren Stunden, schlechte Werkstückmaßhaltigkeit durch Werkzeugverschleiß und Verlust der Materialfestigkeit durch induzierte Mikrorisse. Deshalb wird Y-TZP in der Regel bereits im Grünkörperzustand auf Form bearbeitet und erst dann durchgesintert. Bei der Hochtemperaturesinterung schrumpft das Material aber bis zu 30 Volumenprozent. Um dennoch die Maßhaltigkeit zu gewährleisten muss bei der Formbearbeitung Aufmaß gelassen werden. Wegen der irregulären 3D-Geometrien von Kronen ist der Schrumpfungsprozess aber ungleichmäßig und schwer modellierbar – insbesondere bei Seitenzahnkaufflächen. Passgenaue Kronen und Brücken aus Vollkeramik werden deshalb in einem mehrstufigen, langwierigen Prozess gefertigt.

Zirkondioxid und Keramiken allgemein lassen sich durch Materialabtrag mit ultrakurzen Laserpulsen (Pulsdauern ≤ 1 ps) präzise, berührungslos und nahezu schädigungsfrei bearbeiten [1]. Bei Versuchen die Haftung von Keramikronen an den Zahnstumpf durch Mikrostrukturierung der Innenseiten mit einem Femtosekunden-Laser zu verbessern, erwies sich der Materialabtrag auf gehärtetem Y-TZP als sehr effizient. In Verbindung mit der Tatsache, dass heute auch im Bereich der Zahnmedizin und Dentaltechnik der Einsatz von CAD/CAM-Systemen etabliert ist, ergab sich die Idee, fs-Laser insbesondere zum Herausarbeiten gan-

zer Kronen aus der hochfesten Keramik zu nutzen. Notwendige Voraussetzung ist die Verfügbarkeit einer industrietauglichen, leistungsstarken fs-Laserquelle ($P > 10 \text{ W}$, $T < 500 \text{ fs}$) und einer hochdynamischen Anlagentechnik. Jede Zahnkrone wird individuell angefertigt und stellt ein 3D-Werkstück mit komplexer Freiformgeometrie dar. Dies bedingt den Einsatz eines 5-Achspositioniersystems mit Dreh- und Schwenkachse für das Werkstück.

Die Realisierung der einzelnen Abschnitte der kompletten Prozesskette, beginnend mit dem Einscannen und Digitalisieren der Zahnabdrücke bis zur fs-Laserbearbeitung der Zahnkeramik, erfolgte im Rahmen des vom BMBF geförderten Verbundprojektes FORCERAMUS (FKZ 13N8556), das 2009 abgeschlossen wurde.

2 Randbedingungen und Prozesstechnik zur ablativen 3D-Bearbeitung von Zahnkeramik mit ultrakurzen Laserpulsen

Der Materialabtrag mittels ultrakurzer Laserpulse erfolgt mit dem fokussierten Strahl. Wegen der Existenz einer Energieschwelle für die Materialablation und der gaussförmigen Energieverteilung im Querschnitt des Laserstrahls erfolgt der nichtthermische Materialabtrag subaperturig. Da auch die optische Eindringtiefe des Laserpulses ins Material deutlich kleiner ist als $1 \mu\text{m}$, ist das von einem Einzelpuls ablatierte Materialvolumen sehr klein. Das hat den Vorteil, dass solche Laserwerkzeuge gut geeignet sind zur hochgenauen, feinen Mikrobearbeitung und den Nachteil, dass effizienter Materialabtrag nur mit spezieller Prozesstechnik und intensiven Laserquellen möglich ist. Daraus ergeben sich für die Laserquelle und die Anlagentechnik folgende Anforderungen für einen wirtschaftlichen Prozess:

Der Laserstrahl wird mit hoher Geschwindigkeit über die Werkstückoberfläche bewegt. Die Pulsenergie muss deutlich über der materialabhängigen Ablationsschwelle liegen, sollte einstellbar sein und bis $300 \mu\text{J}$ reichen. Damit die einzelnen Laserpulse bei hoher Vorschubgeschwindigkeit des Fokus noch lateralen Überlapp haben, muss die Pulsrepetitionsrate deutlich oberhalb 10 kHz liegen. Bei formgebender Bearbeitung sind die Werkstückoberflächen flächig abzurastern, wobei die Fokusbahnen auch senkrecht zur Vorschubrichtung überlappen müssen. Der Fokusdurchmesser darf nicht wesentlich größer sein, als die kleinste zu schaffende Hohlstruktur. Wenn die Pulsrepetitionsrate nicht dynamisch variabel sondern fest vorgegeben ist, kann definierter Materialabtrag nur erfolgen, wenn die Bahngeschwindigkeit der Fokusbewegung konstant ist. Das erfordert ein sehr schnelles, positionssynchrones Ein- und Ausschalten des Laserstrahls und eine dies berücksichtigende Bahnplanung und Lasersynchronisation durch das CAM-System.

Eine patentgeschützte Idee von Mitarbeitern der Zahnklinik Universität Frankfurt [2] zur Erhöhung der Abtragseffizienz besteht darin, dass man den Bearbeitungsprozess in ein Schruppen, Vorschlichten und Feinschlichten mit jeweils angepasster Bahnplanungsstrategie unterteilt. Dabei wird eine echte 5-Achsbearbeitung mit Dreh- und Schwenkachse vorausgesetzt. Die grobe Formgebung durch Schruppen besteht im Herausschneiden von Lamellen und Kuben aus dem Keramikblock, wodurch eine deutliche Einsparung an Prozesszeit resultiert. Anschließend wird die gestufte Oberfläche flächig abgerastert mit einem leicht defokussierten Laserstrahl, sodass nur die hervorstehenden Spitzen und Kanten in den Bereich hoher Energiedichte ragen und abgetragen werden. Beim abschließenden Feinschlichten wird dann in Schichten hochgenau flächig abgerastert. In allen drei Bearbeitungsstufen soll der Laserstrahl möglichst parallel zur Oberflächennormalen einfallen, beim Schruppen bezogen auf den Keramikrohling, beim Schlichten bezogen auf die zu generierende Fläche.

Die geforderte Maßhaltigkeit am fertigen Werkstück sollte besser $\pm 20 \mu\text{m}$ sein. Daraus ergibt sich für die Positioniergenauigkeit des Laserfokus im Raum eine max. zulässige Toleranz von $\pm 5 \mu\text{m}$. Hohe Maßhaltigkeit ergibt sich bei der ablativen Bearbeitung mit ultrakurzen Laserpulsen durch wiederholte Bahnüberfahrten bei mittlerer Pulsenergie sowie hoher Pulsfrequenz und Fokusgeschwindigkeit. Die Achshübe liegen hauptsächlich im Kurzhubbereich von $< 30 \text{ mm}$. Simulationen von entsprechenden Bearbeitungsprogrammen zeigten, dass mit diesen Prozessparametern gut $1/3$ der gesamten Bearbeitungsdauer auf die Zeitintervalle zum Beschleunigen und Bremsen der Achsen entfällt. Wenn die Pulsfrequenz der

Laserquelle fix ist, kann diese Zeit nicht zur Bearbeitung genutzt werden. Kurze Prozesszeiten und niedrige Fertigungskosten erfordern somit sehr hohe Achsdynamik (Beschleunigungen).

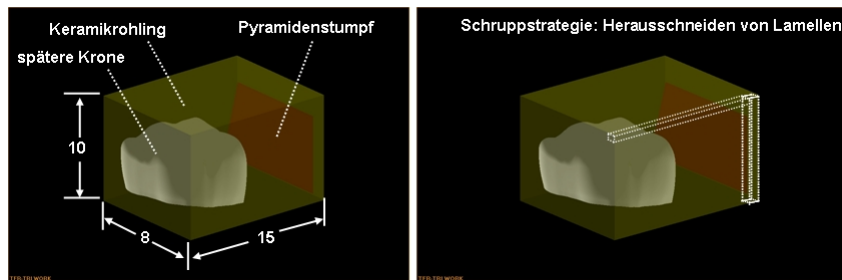


Abb. 1): Schruppstrategie nach [2] zur zeitsparenden Vorbearbeitung hochfester Zahnkeramik mittels ultrakurzer Laserpulse: Herausschneiden feiner Lamellen und Kuben. [Bildquelle: Zahnklinik Goethe-Universität Frankfurt]

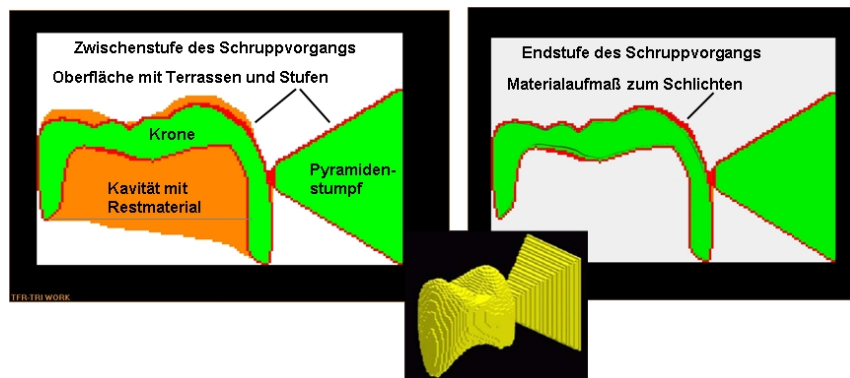


Abb. 2): Zwischen- und Endstufe der Schruppbearbeitung von Zahnkeramik. Verbleibendes Materialaufmaß dient zum Glätten der gestuften Oberflächen und zum abschließenden, zonalen Feinschlichten. [Bildquelle: Zahnklinik Goethe-Universität Frankfurt]

3 3D-Laserablation von Keramik durch 5-Achsbearbeitung mit NC-Achsen

3.1 Maschinenkonzept und Bearbeitungsstation

Die Konstruktion der Laserbearbeitungsstation mit ihren 5 Bewegungsachsen (X-Y-Z plus in den Y-Schlitten integrierte Dreh- und Schwenkachse für das Werkstück) ist geprägt durch die außergewöhnlichen Anforderungen hinsichtlich Kompaktheit, Achsdynamik (Linearachsen bis 100 m/s^2 Beschleunigung, Winkelbeschleunigung der Drehachsen bis $18000 \text{ }^\circ/\text{s}^2$) und der Bearbeitungsgenauigkeit am Werkstück ($\pm 20 \text{ } \mu\text{m}$). Wegen der angestrebten, extremen Verfahrdynamik der NC-Achsen mussten spezielle Maßnahmen ergriffen werden zur Erhöhung der strukturellen Steifigkeit und zur Ruckdämpfung (Leichtbauweise, Dissipation des Impulsübertrags in gedämpften Feder-Masse-Modulen, S-förmige Beschleunigungsrampen). Alle Achsen verfügen über Direktantriebe, inkrementale Messsysteme und mechanische Präzisionslager mit Keramikugeln.

Die Maschinenbasis besteht aus einer schwingungsgedämpften Granitplatte auf der das fünfachsig Positioniermodul und die Laserquelle befestigt sind. Zwischen Granitplatte und Achsträger des Positioniermoduls ist eine Vorrichtung zur dissipativen Ruckdämpfung der X- und Y-Achse eingeschoben (Abb. 3).

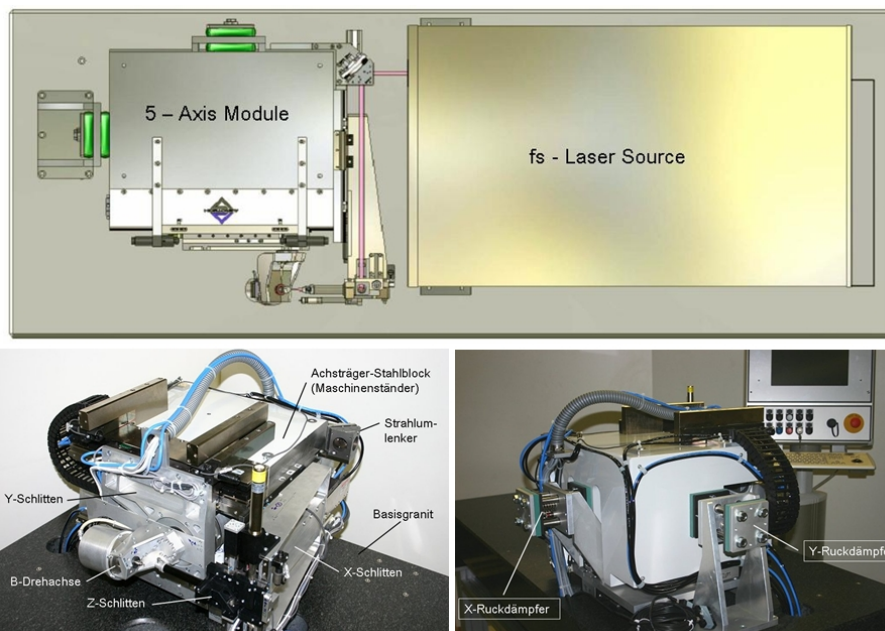


Abb. 3): Anordnung der NC- Bewegungsachsen und Strahlführung in der FORCERAMUS-Maschine. [Bildquelle: Kugler GmbH]

Sie besteht aus einem flachen Kreuztisch mit kurzen Linearführungen, welche kleine Ausgleichsbewegungen des ganzen Stahlblocks in X- und Y-Richtung zulassen. Der beim Beschleunigen der X- und Y-Achse entstehende Rückstoß wird auf den schweren Stahlblock übertragen, dessen Ausgleichsbewegungen durch einstellbare Dämpfungselemente auf ± 1 mm begrenzt sind. Hydraulische Dämpfer dissipieren die Bewegungsenergie des Achsträgers, sodass Erschütterungen und Vibrationen effektiv abgeschwächt werden. Da die Bewegungen des Stahlblocks vollständig parallel zu den relevanten Abschnitten der Laserstrahlführung sind und Werkstück wie Fokussierlinse diese Bewegungen mitmachen, gibt es keine nachteiligen Effekte für die Fokusposition.

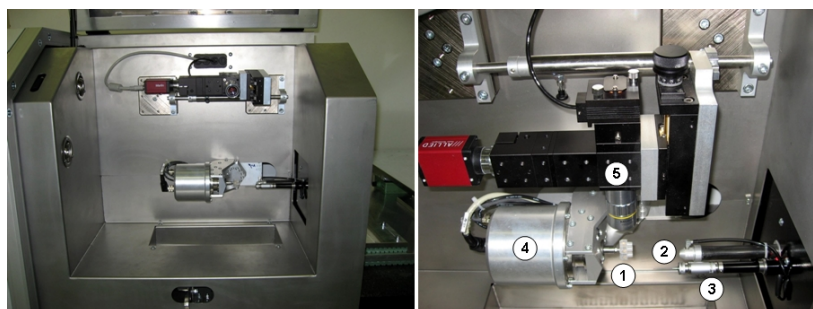


Abb. 4): Einblick in die Bearbeitungskabine, 1 = Werkstück, 2 = Fokussierlinse mit Druckluftspülung, 3 = RENISHAW-Taster, 4 = Drehachse und 5 = Videomikroskop. [Bildquelle: Kugler GmbH]

Als CNC-Steuerung wurde eine UMAC Turbo von Hersteller DELTA TAU eingesetzt. Es handelt sich hierbei um eine modulare Steuerung mit offener Architektur, die sich durch eine schnelle CPU mit 240 MHz-Prozessor auszeichnet. Die Kommunikation zwischen UMAC-Steuerung und Motorreglern läuft über einen optischen Glasfaserringbus. Die Motorregler steuern die Direktantriebe mittels Pulsweitenmodulation (Frequenz 24 kHz). Der Lageregelungstakt für die Bewegungsachsen beträgt 12 kHz, was für Bahnsteuerungen einen Spitzenwert darstellt.

Abb. 4 zeigt einen Blick in den Bearbeitungsraum der Maschine. Der Laserstrahl kommt von rechts und die Fokussierlinse bewegt sich in der X-Z-Ebene. Das auf einem Stift gehaltene Keramikwerkstück sitzt auf der Drehachse, die ihrerseits mittels eines 90°-Winkels an die Schwenkachse montiert ist. Die Schwenkachse ist in den Y-Schlitten integriert, der sich horizontal bewegt und die Werkstückoberfläche im Fokus hält. Zwei in die CNC-Steuerung und deren Benutzeroberfläche integrierte Messsysteme (taktile 5-Wegetaster und ein einschwenkbares Videomikroskop) dienen zum automatisierten Einmessen des Werkstücks und des Laserfokus. Der Bearbeitungsraum verfügt über eine separate Kapselung aus welcher bei der Bearbeitung entstehende Feinstaub abgesaugt und gefiltert wird.

3.2 Die Dynamikgrenzen des 5-Achspositioniersystems mit NC-Achsen

Die Erfahrungen mit der FORCERAMUS-Maschine zeigen die maschinenbau- und steuerungstechnischen Grenzen von NC-Achspositioniersystemen auf für die Laserbearbeitung mit hoher Bahngenauigkeit. Diese lassen sich wie folgt zusammenfassen:

Unter konsequentem Einsatz von Direktantrieben ist es möglich, die Dynamik eines 5-Achspositioniersystems erheblich zu steigern. Im Prinzip können selbst bei kleinem Bauvolumen 10g Beschleunigung erreicht werden. Die durch Steuerungsparametrisierung begrenzte Beschleunigung der Linearachsen beträgt 8g. Dies stellt einen Kompromiss dar um einerseits kurze Bearbeitungsdauer zu ermöglichen und andererseits die durch Ruck induzierten Erschütterungen zu begrenzen. Die Maßnahmen zur Ruckdämpfung wirken spürbar, waren aber nicht hinreichend.

Die Genauigkeit des Positioniersystems beträgt bei moderater Dynamik $\pm 10 \mu\text{m}$ ($a \leq 3g$). Die Bearbeitungsgenauigkeit am Werkstück verschlechtert sich aber gegenüber der Positioniergenauigkeit des 5-Achspositioniersystems durch ruckinduzierte Winkeländerungen der Strahlage und den Schleppfehler mit zunehmender Dynamik.

Bei fliegender Optik hängt die Genauigkeit der Laserbearbeitung am Werkstück auch von der Strahlagestabilität ab. Untersuchungen ergaben, dass die Winkelbewegungen der mechanischen Komponenten der Strahlführung im tolerablen Bereich lagen, dass aber der ganze Achsträger Verdrehbewegungen ausführte und dabei die Strahlführung mitbewegte. Der gerade noch tolerable Grenzwert von $\pm 1 \text{ arcmin}$ (Fokuslageabweichung $\pm 15 \mu\text{m}$ bei 50 mm Brennweite) wird bei 4g Beschleunigung erreicht. Die im Prinzip möglichen Beschleunigungen bis 10g können also zur präzisen Laserbearbeitung nicht genutzt werden.

Ebenso wichtig ist die Bahngenauigkeit der Fokusbewegung, die von der Antriebssteifigkeit, der CNC-Steuerung, der Steuerungsparametrisierung und der mechanischen Steifigkeit des Positioniersystems abhängt. Das relevante Maß ist der Schleppfehler bei kurzen Bewegungszyklen mit hoher Beschleunigung. Oszillierende Bewegungszyklen mit 20 mm Amplitude bei 5g Beschleunigung auf 600 mm/s führen auf den beschleunigten Bahnabschnitten zu Schleppfehlern bis zu 80 μm , die auf 15 - 30 μm zurückgehen, wenn konstante Geschwindigkeit erreicht wird. Diese Positionsfehler bedeuten, dass Laserbearbeitung während der Beschleunigung keinen Sinn macht.

Ganz grundsätzlich ist aus den Erfahrungen mit der FORCERAMUS-Maschine zu folgern, dass die geforderte ultrahohe Dynamik zum Erzielen kurzer Prozesszeiten mit der geforderten Bearbeitungsgenauigkeit am Werkstück nicht vereinbar ist, wenn das Positioniersystem aus NC-Achsen besteht. Die konventionelle Bauweise von Maschinen mit NC-Achsen ist mit einer weit über 2g gesteigerten Dynamik nicht verträglich, wenn hohe Bahngenauigkeit gefordert ist. Die Ruckdämpfung ist bei derart hoher Dynamik ein Kernproblem. Passive Ruckdämpfung allein ist nicht ausreichend. Aktive Ruckdämpfung treibt die Maschinenkosten beträchtlich in die Höhe und reduziert die Vermarktbarkeit.

Die im FORCERAMUS-Projekt realisierte, anlagentechnische Konzeption unter Einsatz eines 5-Achspositioniersystems mit NC-Achsen ermöglicht bei Steuerungsparametrisierung für hohe Dynamik den Vorstoß zu wirtschaftlichen Fertigungszeiten (ca. 1 h für eine Backenzahnkrone). Die geforderte Maßhaltigkeit der Werkstücke kann mit Beschleunigungen $\geq 4g$ jedoch nicht erreicht werden. Im umgekehrten Fall der Beschleunigungsbegrenzung auf $\leq 3g$ kann die Maßhaltigkeit eingehalten werden, aber die Prozessdauer liegt im unwirtschaftli-

chen Bereich. Der Einsatz von trägheitsarmen Galvanometerachsen bzw. eines Scanners bietet prinzipiell die Möglichkeit 2 – 3 lineare NC-Achsen zu ersetzen, die Ruckproblematik zu entschärfen und die Prozesszeiten weiter zu verkürzen.

4 Die Problematik der Kombination von NC- und Galvanometerachsen

In Laseranwendungen zum Markieren und Mikrobearbeiten kommen heute meist Scanner mit Galvoachsen zum Einsatz, die bei Sprungantworten ≤ 1 ms Positionier- und Prozessgeschwindigkeiten bis 10 bzw. 3 m/s aufweisen. In Kombination mit zusätzlichen, teilweise redundanten NC-Achsen können auch Flächen bearbeitet werden, die wesentlich größer als das Scan-Feld sind. Dabei haben Letztere fast ausschließlich die Funktion von Stellachsen und die Bearbeitung geschieht meist im Step-and-Repeat-Modus, wo Scanner und NC-Achsen abwechselnd verfahren. Vorteil dieser Strategie ist, dass die trägheitsarmen Galvoachsen keine heftigen Rucke erzeugen. Der Nachteil von Scannern ist, dass sie nur $2\frac{1}{2}$ D-Bearbeitung erlauben. Scanner zur genauen Laserstrahlableitung mit Galvoachsen werden mit eigenen, sehr schnellen Steuerungen (Regelzykluszeiten im Bereich von Mikrosekunden) betrieben, die nichtlineare Kennlinien, thermische Driften von Nullpunkten und Verstärkungen und Fehler der Optiken kompensieren, automatische Kalibrierungen und Koordinatensystemtransformationen sowie die synchronisierte Ansteuerung der Laserquelle durchführen. Obwohl Galvoachsen prinzipiell auch mit konventionellen CNC-Steuerungen betrieben werden können, haben sich die Steuerungen von NC-Achsen und Galvanometer-scannern im Lauf der Jahre stark auseinander entwickelt (letztere sind etwa um einen Faktor 40 schneller). Realisiert man die Regelung von Galvoachsen mit konventionellen CNC-Steuerungen mit langsameren Regeltakten, verlangsamen sich die Galvoachsen entsprechend. Da dies unerwünscht und die regeltechnische Nachbildung der Galvosteuerungsalgorithmen aufwändig ist, setzt man gewöhnlich die von den Scannerherstellern angebotenen Steuerungen ein.

Für die allseitige, rationelle Bearbeitung von 3D-Werkstücken im 5-Achsmodus muss ein Scanner mit mindestens 2 NC-Achsen (Dreh- und Schwenkachse) kombiniert werden und diese müssen sich bahngesteuert von CAM-generierten NC-Programmen synchron bewegen lassen. Dafür gibt es derzeit noch keine ausgereifte, steuerungstechnische Lösung. Die bei der Laserbearbeitung von Autokarosserien mit Roboterarm und Scan-Kopf angewandten Verfahren liefern weder die für die Zahnkeramikbearbeitung benötigte Dynamik noch die geforderte Bearbeitungsgenauigkeit. Es gibt zwei Lösungswege für diese Problematik:

1. Parallelbetrieb einer langsameren CNC- und einer schnellen Scanner-Steuerung unter Synchronisation, damit NC-Achsen und Scannerachsen gleichzeitig verfahren können.
2. Einsatz einer neuen, schnellen CNC-Steuerung für beide Achstypen mit angepassten Lageregeltakten (12kHz für NC-Achsen, ≥ 48 kHz für Galvoachsen) und Entwicklung von Servo-Reglern für die Galvoachsen.

5 Der SYNGAL - Ansatz zur Steuerung kombinierter NC- und Galvoachsen

Das Ziel des vom BMBF geförderten Verbundprojektes SYNGAL (FKZ 02PK2039-2041, Projektträger Karlsruhe PTKA) besteht in der Entwicklung einer neuartigen Steuerungstechnik für die effektive und präzise 3D-Laserbearbeitung, die den parallelen Synchronbetrieb von NC-Achsen und einem Scanner in Maschinen mit multipler Achskinematik ermöglichen soll. Dabei sollen langsame NC- und schnelle Galvoachsen gleichzeitig verfahren und so die Restriktionen des sequenziellen Step-and-Repeat-Betriebs aufheben. Die an den Entwicklungsarbeiten beteiligten Partner sind die Zahnklinik der Universität Frankfurt (Abtragsstrategien, CAD/CAM-Modul, Postprozessor, Bereitstellung fs-Laserquelle, Musterbearbeitung von Zirkondioxid), die ARGES GmbH (Steuerungsschnittstellen, Hard- und Software zum Betrieb von Galvoachsen, Bereitstellung 3D-Scanner, Aufbau einer Testumgebung mit redundanten NC- und Galvoachsen, Validierung) und die KUGLER GmbH (Ent-

wicklungsplattform mit linearen NC-Achsen, Implementierung einer neuen, schnelleren CNC-Steuerung, Umrüstung der FORCERAMUS-Maschine, 3D-Bearbeitungsversuche).

Im Herbst 2009 kam die erste modulare und offene CNC-Steuerung für Maschinen auf den Markt, die es ermöglicht mehr als 5 Bewegungsachsen individuell mit angepasstem Lageregelungstakt bis zu 100 kHz zu betreiben (Typ PowerUMAC von Hersteller DELTA TAU). Zur Kommunikation mit anderen Steuerungskomponenten bietet sie den schnellen Makro II-Bus an, der es erlaubt die Istpositionen der NC-Achsen in Echtzeit an andere Nutzereinheiten wie eine Scannersteuerung zu übertragen. Damit ergibt sich die Möglichkeit, zwei parallel arbeitende Steuerungen schnell zu synchronisieren. Zusätzlich werden neuartige CAM-Postprozessoren und intelligente Steuerungs-Software zur Synchronisation und Bahngenerierung benötigt. Bearbeitungsprogramme werden von einem CAD/CAM-System und Postprozessor erzeugt, unter Berücksichtigung der spezifischen Anordnung und Konfiguration der Achsen in der Maschine. Dabei weisen die betrachteten Achskonfigurationen mindestens eine Redundanz auf, d.h. eine langsame NC-Linearachse mit großem Hub und eine schnelle Galvoachse mit kurzem Hub sind parallel. Dies ermöglicht die Zerlegung der Fokusbahn in lange, langsame und kurze, schnelle Anteile, die sich überlagern. Letztere werden von den trägheitsarmen Galvoachsen ausgeführt, was die Entstehung hoher Rucke und Erschütterungen stark reduziert und eine Dynamiksteigerung zulässt.

5.1 Achskonfigurationen mit redundanten Bewegungsachsen

Die im SYNGAL-Projekt geplanten, exemplarischen 6-Achskonfigurationen mit Redundanz sind in Abb. 5) dargestellt. Die Konfiguration mit Einfachredundanz und Dreh- sowie Schwenkachse entspricht der FORCERAMUS-Maschine nach Implementation eines Scanners mit zwei Galvoachsen und einer Fokusverschiebeeinheit mit Galvoantrieb. Die Strahlführung wird hierfür so geändert, dass die linearen X-Z-Achsen obsolet werden. Die Konfiguration mit Dreifachredundanz X-u, Y-v und Z-w wird in der von KUGLER gebauten Entwicklungsplattform für den Scannerhersteller ARGES realisiert. Sie entspricht der häufigsten Achsanordnung für die 2 ½ D-Laserbearbeitung größerer Werkstückflächen in den Anwendungen Beschriften, Markieren, Prägen und Mikrostrukturieren.

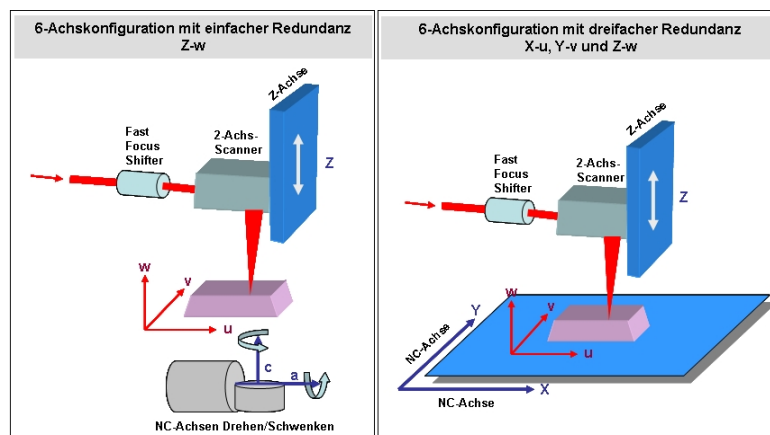


Abb. 5): 6-Achskonfigurationen mit redundanten Linearachsen im SYNGAL-Projekt

5.2 Steuerungskonzepte für den Synchronbetrieb von NC- und Galvoachsen

In der ersten Phase des SYNGAL-Projektes wurde die neue, schnelle PUMAC-Steuerung von DELTA TAU konfiguriert und die Frage der optimalen Schnittstellen zum schnellen Datentransfer zwischen der PUMAC und den NC-Antriebsreglern sowie der PUMAC und der ARGES-Scannersteuerung bzw. den Galvoantriebsreglern untersucht. Dabei wurden Makro-Bus, Gigabit EtherCAT und Zugriff auf den U-Bus der PUMAC-Backplane betrachtet. Nach Entscheidung für den Makro-Bus konnten zwei alternative Steuerungskonzepte ausgearbeitet und hinsichtlich ihrer Vor- und Nachteile diskutiert werden.

Konzept 1 beinhaltet parallel arbeitende Steuerungen für einen Scanner (ASC) und die NC-Achsen (PUMAC). Die PUMAC stellt der übergeordneten ASC die Istpositionen der NC-Achsen in Echtzeit zur Verfügung. Die Aktualisierungsrate ist allerdings auf die 12 kHz Taktfrequenz der NC-Lageregelung beschränkt. Diese Beschränkung rührt daher, dass der PWM-Stromregeltakt von 24 kHz für die Direktantriebe der NC-Achsen wegen deren Gegeninduktion derzeit nicht weiter steigerbar ist. Die ASC steuert alle Galvoachsen und nutzt die NC-Istpositionen zur Kompensation von Schleppfehlern der NC-Achsen. Weiterhin steuert sie die Laserquelle an. Ein CAM-Modul liefert den primären Befehlssatz für die Fokusbahn. Dieser wird vom Postprozessor in 2 separate Befehlsströme für die beiden Steuerungen aufgespalten, wobei zur Feinsynchronisation sog. Way Points eingebaut werden. Das sind Haltepunkte in beiden Teilprogrammen an denen die ASC explizit die NC-Achspositionen überprüft, ggf. Korrekturen berechnet und der CNC-Steuerung die Freigabe zur weiteren Programmabarbeitung gibt. Trifft die PUMAC auf einen Way Point, prüft sie ob ein Freigabesignal von der ASC anliegt und setzt erst dann die Programmabarbeitung fort.

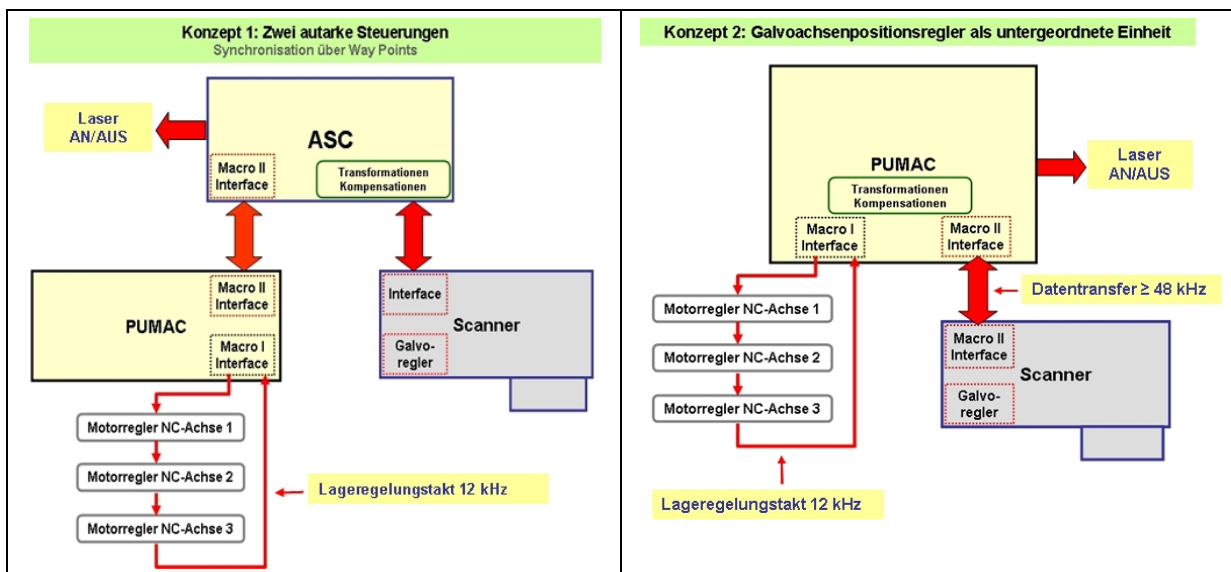


Abb.: 6) Gegenüberstellung der beiden Steuerungskonzepte aus SYNGAL. ASC = ARGES Scanner Control, PUMAC = CNC-Steuerung PowerUMAC von DELTA TAU

Konzept 2 sieht nur die PUMAC als Steuerung für alle Achsen vor. Die ASC wird auf den Funktionsumfang eines Galvoachsreglers mit Makro-Schnittstelle reduziert (ASI), führt aber weiterhin die Kompensationen von Gain- und Offset-Drift sowie der optischen Fehler einer Flachfeldlinse aus. Das ASI, ausgeführt als PC-Karte für PCI-Bus, erhält über die Makro-Schnittstelle von der PUMAC die anzusteuern Galvopositionen mit einer Frequenz ≥ 48 kHz und steuert die Galvoachsen standardmäßig nach dem SPDIF-Protokoll. Die Synchronisation der NC- und Galvoachsen erfolgt ganz konventionell über den Trajektoriengenerator der PUMAC, sodass der Postprozessor keine Way Points generieren muss, was ein großer Vorteil ist. Die Nachteile von Konzept 2 bestehen darin, dass hinsichtlich der Dynamik der Galvoachsen nicht die Performance der ASC erreichbar ist und dass die Laserquelle von der PUMAC unter Berücksichtigung von Delay-Zeiten getriggert werden muss. Eine weitere Funktion der PUMAC besteht in der Fokusbahnzerlegung für die redundanten Achsen. Dazu wird die Bahnkontur durch ein Dynamikfilter in schnelle, kurzhubige sowie langsame, langhubige Bahnanteile zerlegt, die dann von den trägheitsarmen Galvo- bzw. den trägen NC-Achsen in einer überlagerten Bewegung ausgeführt werden. Dadurch lässt sich die Bearbeitungsdynamik ohne Erzeugung nachteiliger Rucke wesentlich steigern.

Obwohl Konzept 2 beträchtlichen Aufwand zur Entwicklung neuer Software für die Steuerungsaufgaben der PUMAC bedeutet, geben die SYNGAL-Partner ihm die höhere Priorität. Grund dafür ist dessen universelle Einsetzbarkeit für viele verschiedene, industrielle Laserbearbeitungen. Konzept 1 setzt zur Synchronisierung der beiden parallel arbeitenden Steuerungen NC-Programme mit eingebauten Way Points voraus, zu deren Generierung eine

spezielle CAM-Funktionalität benötigt wird, die es derzeit in keinem etablierten CAM-System gibt. Die Funktion könnte im Projekt zwar in das spezielle CAM-Modul für die Dentalanwendung integriert werden, doch wäre dies eine singuläre Lösung. Die CAM-Unterstützung für eine breite Anwendbarkeit des Synchronbetriebs von NC- und Galvoachsen in der industriellen Laserbearbeitung wäre nicht gegeben.

Gegenwärtig wird im Projekt SYNGAL das Scanner-Interface ASI mit Schnittstelle für den Makro-Bus entwickelt und die Entwicklungsplattform mit 3 linearen NC-Achsen gebaut, wobei zu deren Steuerung bereits die neue PowerUMAC eingesetzt wird. Die entscheidende Phase des Projektes, die Entwicklung der Steuerungsroutinen für den Synchronbetrieb der NC- und Galvoachsen, steht in der zweiten Jahreshälfte 2010 an.

Literaturangaben:

- [1] Weigl, P.; Kasenbacher, A.; Werelius, K.: Dental applications; in Dausinger, F.; Lichtner, F.; Lubatschowski, H. (Eds): Femtosecond technology for technical and medical applications, Springer Topics in Appl. Phys. 96, 167 (2004)
- [2] Weigl, P.; Werelius, K.: Verfahren zur automatisierten Fertigung von Zahnersatz aus Keramik, EP 1 352 619 A1 (2002)

KARLSRUHER ARBEITSGESPRÄCHE PRODUKTIONSFORSCHUNG 2010
FORUM 3: Der innovative Mittelstand – Problemlöser im globalen Umfeld

ENTWICKLUNG UMFORMTECHNISCHER PROZESSKETTEN FÜR
LEICHTBAUTEILE AUS ROHR
– VON DER MOTORRADACHSE ZUR GETRIEBEWELLE FÜR OMNIBUSSE –

von

**Dr.-Ing. Eberhard Rauschnabel, IFUTEC Ing. Büro f. Umformtechnik GmbH,
Karlsbad**

und

**Prof. Dr.- Ing. Bernhard Adams, Labor f. Umformtechnik und
Werkzeugmaschinen (LUW) der Fachhochschule Osnabrück**

1. Zusammenfassung/ Einleitung:

Begriffe wie „Ressourcenschonung“, „CO₂-Reduzierung“ und „Leichtbau“ sind heute so bekannt und aktuell, dass sie wohl keiner weiteren Erläuterung bedürfen. Dieser Beitrag stellt nun verschiedene Fertigungsverfahren vor, die sich optimal zur Herstellung von materialsparenden Leichtbauteilen beispielsweise im Motor-, Getriebe- und Fahrwerksbereich eignen. Als Ausgangsmaterial wird Präzisionsrohr verwendet, das durch Warm- und Kaltumformverfahren wie partielles Verdicken, Flanschformen, Rundkneten und Axialformen umgeformt wird. Am Beispiel einer Motorradachse und einer Leitradwelle für ein Omnibus-Getriebe wird aufgezeigt, wie aus einer zunächst unlösbaren Kundenanfrage durch enge Zusammenarbeit mit einer praxisorientierten wissenschaftlichen Einrichtung (LUW) unter Anwendung von Simulationsverfahren zunächst neue Prozessschritte entwickelt und dann mit anderen bekannten Verfahren zu wirtschaftlichen Prozessketten kombiniert wurden. So entstand im Laufe weniger Jahre ein neuer Geschäftsbereich („HOTFORMTEC[®]“) mit neuen Kunden, Mitarbeitern, Patenten, Maschinen und Serienaufträgen.

2. Innovative Fertigungsverfahren für die Rohrbearbeitung

Tabelle 1 zeigt eine Auswahl von Fertigungsverfahren, die sich zur Bearbeitung von Präzisionsbauteilen aus Rohr bestens bewährt haben.

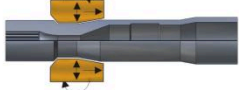

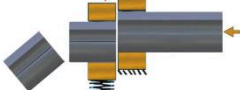
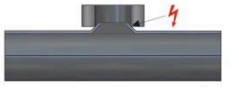


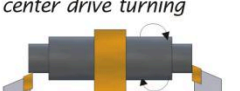





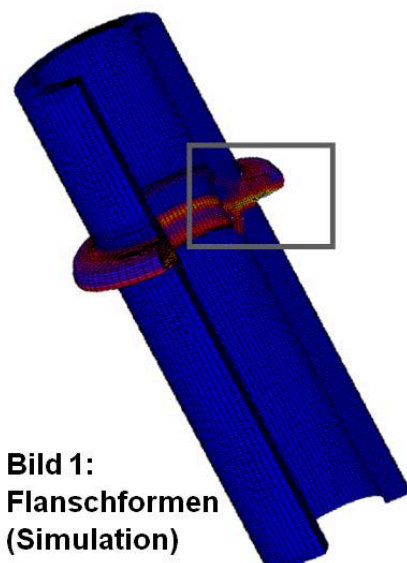
UMFORMEN von Rohren + Stäben <i>forming of tubes and bars</i>		TRENNEN, SPANEN <i>cutting, turning</i>	FÜGEN, REINIGEN <i>joining, cleaning</i>
Rundkneten <i>precision rotary swaging</i> 	Aufdicken (warm) <i>hot upsetting</i> 	Trennen (Impulscut®) <i>high speed cutting</i> 	KE- / MF- Schweißen <i>cd- / resistance welding</i> 
Axialformen <i>axial forming</i> 	Flanschformen (warm) <i>hot flange forming</i> 	Mittelantriebsdrehen <i>center drive turning</i> 	ElektroMagnetische PulsTechnologie (EMPT) 
Drückwalzen <i>flow forming</i> 	Gesenkwalzen, Taumeln <i>orbital forming</i> 	Rohrstanzen, Prägen <i>tube punching</i> 	Reinigen <i>cleaning</i> 
Sonstige Fließpressen, Einziehen, Aufweiten ...	Sonstige Innendruckumformen, Verketten, Prüfen ...	Sonstige Tieflochbohren, Entgraten, Automatisieren ...	Sonstige Elektronenstrahlschweißen, Plasmaschweißen ...

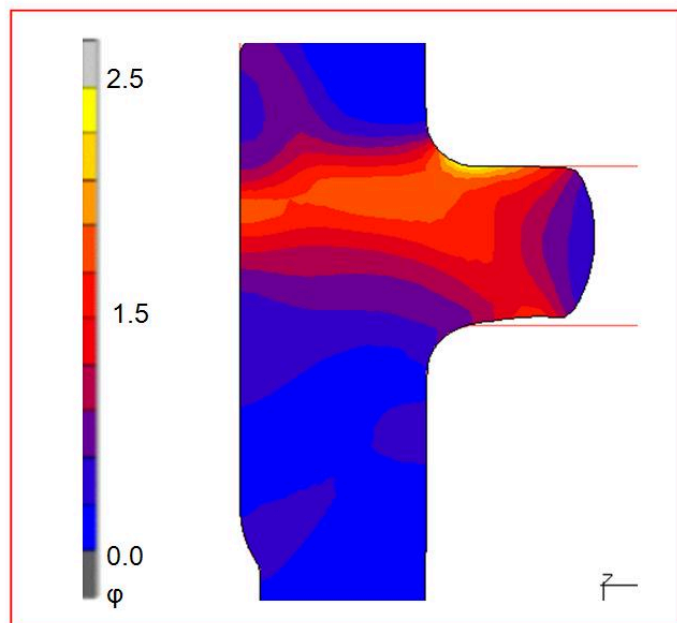
Tabelle 1: Fertigungsverfahren für Präzisionsrohre

2.1 Flanschformen (Mittenbundflansche)

Zum Flanschformen wurde nach einer Kundenanfrage (hohle Allrad-Verteilerwelle für einen Sportkombi), die wir auf dem IFUTEC-Messestand anlässlich der Internationalen Automobilausstellung IAA 2005 in Frankfurt erhielten, mit dem LUW der Fachhochschule Osnabrück ein Umformverfahren entwickelt, mit dem an jeder beliebigen Stelle eines Rohres großvolumige, faltenfreie, flanschförmige Verdickungen (übrigens auch nach innen) möglich werden (Bild 1-3).



**Bild 1:
Flanschformen
(Simulation)**



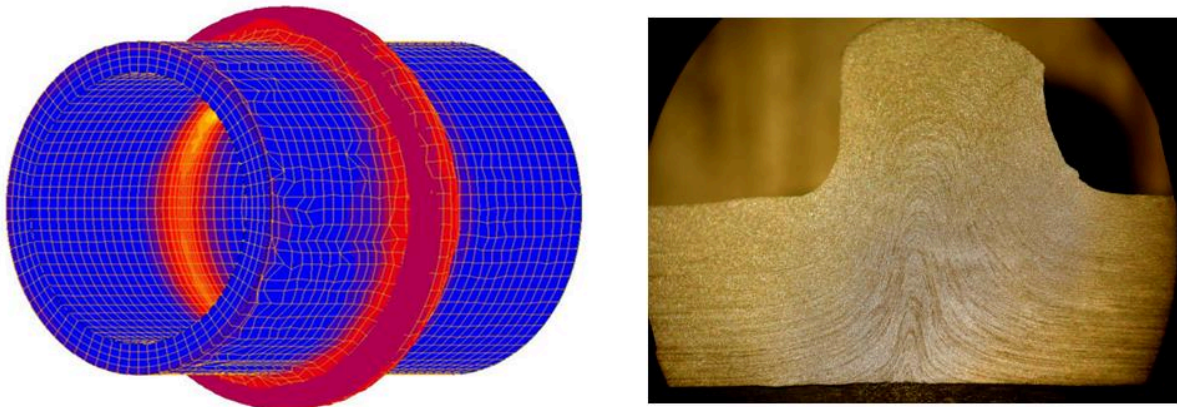


Bild 2: partiell umgeformter Flanschbereich mit Schlichtbild (Faserverlauf)

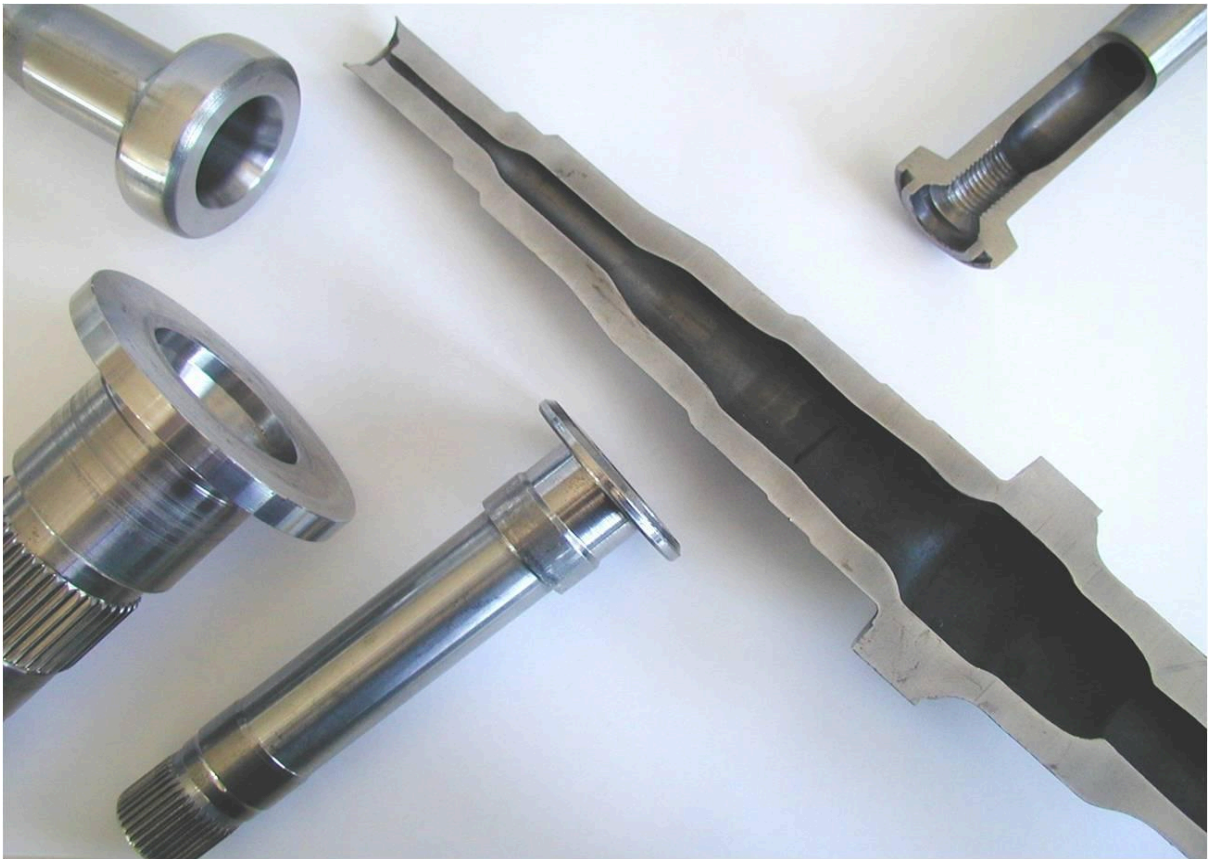


Bild 3: verschiedene partiell verdickte Umformteile aus Rohr

2.2 Rundkneten

Das Rundkneten wiederum zeichnet sich durch die radiale Kräfteinleitung aus, wobei die Werkzeuge nicht nur oszillieren, sondern auch rotieren und somit einen sehr guten Rundlauf des Werkstücks bewirken. Die Knetfrequenz liegt je nach Maschine meist zwischen 30 und 50 Hz, sodass mit sehr geringer Umformenergie und vergleichsweise kleinen Maschinen hohe Umformgrade erzielt werden können mit nahezu beliebig langen Umformbereichen. Durch die Verfahrensvariante „Einstech-Rundkneten“ können die Werkzeuge überlagert zum Knetprozess zusätzlich radial zugestellt und auch wieder geöffnet werden, sodass sich auch örtliche Einschnürungen, steile Übergänge und Sonderprofile erzeugen lassen (Bild 8).

Durch moderne NC-Steuerungen können mit einem Werkzeugsatz auch verschiedene Durchmesser in einer Einspannung erzeugt werden.

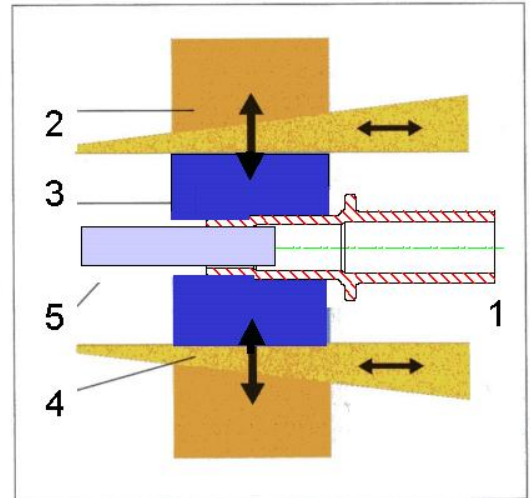
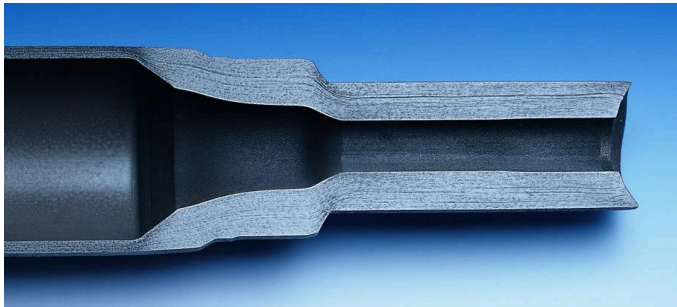


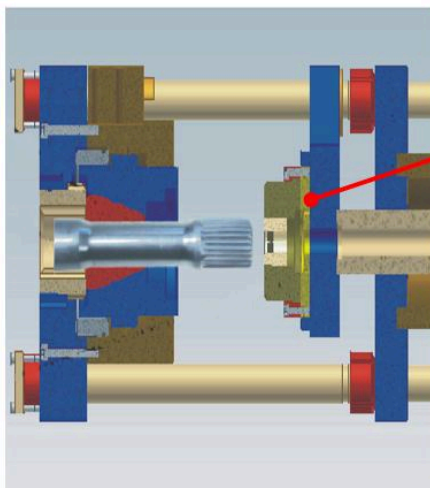
Bild 4: Rundkneten im Einstechverfahren /1/

Im Gegensatz zur partiellen Warmumformung können mit dem Rundknetverfahren allerdings nur Durchmesserreduzierungen und ggf. Wandausdünnungen (über Dorn) erzeugt werden.

2.3 Axialformen von Verzahnungen

Das Axialformen wird oft mit dem Rundknetverfahren kombiniert, kann jedoch auch einzeln zum Herstellen von Innen- und Außenverzahnungen bzw. -Profilen verwendet werden (Bild 5). Auch Bauteile mit nicht durchgehenden Bohrungen können innenverzahnt werden.

Horizontalpresse



Einstellbare Matrize:

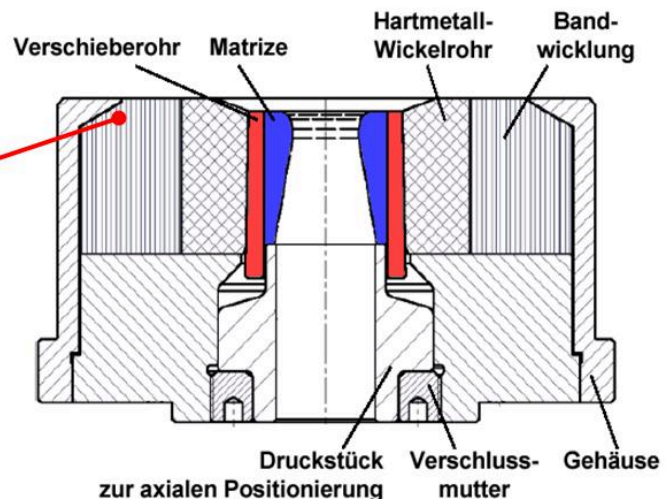


Bild 5: Axialformen von Verzahnungen /1/

Aufgrund der kurzen Taktzeiten bei nahezu beliebig langen Verzahnungen (typischerweise zwischen 10 und 20 s Taktzeit „Boden zu Boden“ bzw. ca. 1 s Prozesszeit je 5 mm Verzahnungslänge) zeichnet sich das Verfahren durch hohe Wirtschaftlichkeit aus.

3. Anwendungsbeispiele: von der Motorradachse zur Leitradwelle im Nutzfahrzeuggetriebe

Nachdem die Hohlwelle im Allradverteilergetriebe (vergl. Bild 1) aufgrund fehlender Referenzen trotz niedriger Werkzeug- und Teilekosten nicht mit partieller Warmumformung, sondern konventionell als Fließpressteil in Serie ging, konnten wir die fertige Entwicklung knapp 2 Jahre später aufgrund mehrerer günstiger Zufälle dann mit fast derselben Geometrie als Motorradachse in Serie bringen und damit den 2. Platz im VDI WIN-WIN-Cup 2008 /2/ belegen (Bild 6).



Bild 6: Stadien einer Leichtbau-Motorrad-Hinterachse (Rohrhalbzeug und Fertigteil)

Gut 1 Jahr nach Serienanlauf wurde dann ein Hersteller von NFZ-Getrieben auf das Bauteil aufmerksam und fragte, ob das auch „zwei Nummern größer“ ginge. Aus einem vorschnellen „im Prinzip ja“ entstand dann nach einem sehr anstrengenden Jahr mit intensiver Entwicklungstätigkeit im Rahmen des Förderprojekts „Lightweight Pro“ ein neues Patent und letztlich ein neuer Serienauftrag:



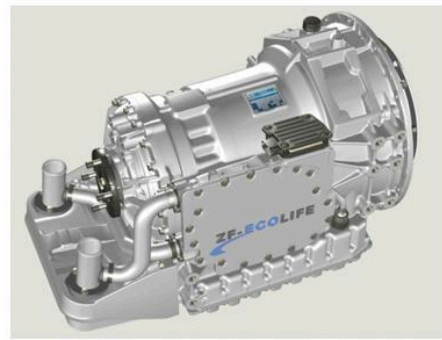
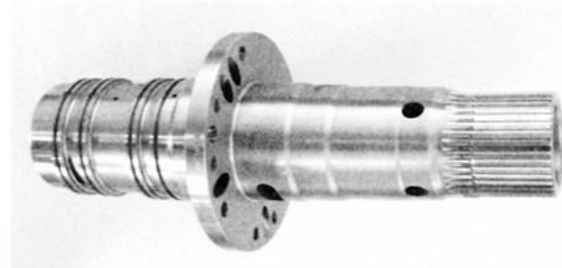


Bild 7: Anwendungsbeispiel Leitradwelle im Nutzfahrzeuggetriebe für Gelenkornibus

Für die dargestellte Leitradwelle wurde bereits ein Umformteil (Warm Schmiedestück) vorgesehen, um den Flansch mit ca. Ø140 mm spanlos vorzuformen. Dieses Schmiedestück hatte jedoch u.a. den Nachteil, dass es vorgedreht werden musste, ehe man es zur Fertigerspannung einspannen konnte. Außerdem muss es aufwändig tieflochgebohrt werden, sodass das Einsatzgewicht des Rohmaterials dreimal so hoch ist wie das Fertigteil. Das Problem bestand jedoch nicht nur in den hohen Kosten für den Stahleinsatz, sondern insbesondere im erheblichen Zerspanungsaufwand sowie dem bekannten Späne- und Entsorgungsproblem.



Rohteil-Gewicht 15 kg



Fertigteil-Gewicht 4,65 kg

**>>> erheblicher
Späneanfall ! >>>**



Bild 8: Zerspanungsproblem Leitradwelle

Für die Leitradwelle wurden mehrere Verfahren erheblich weiterentwickelt, sodass nun ein Rohr mit einem Einsatzgewicht von nur noch 6,5 kg mit 10 mm Wanddicke ausreichend ist, um mit minimalem Aufmaß und entsprechend geringer Zerspanung zum Fertigteil zu kommen (Bild 9).

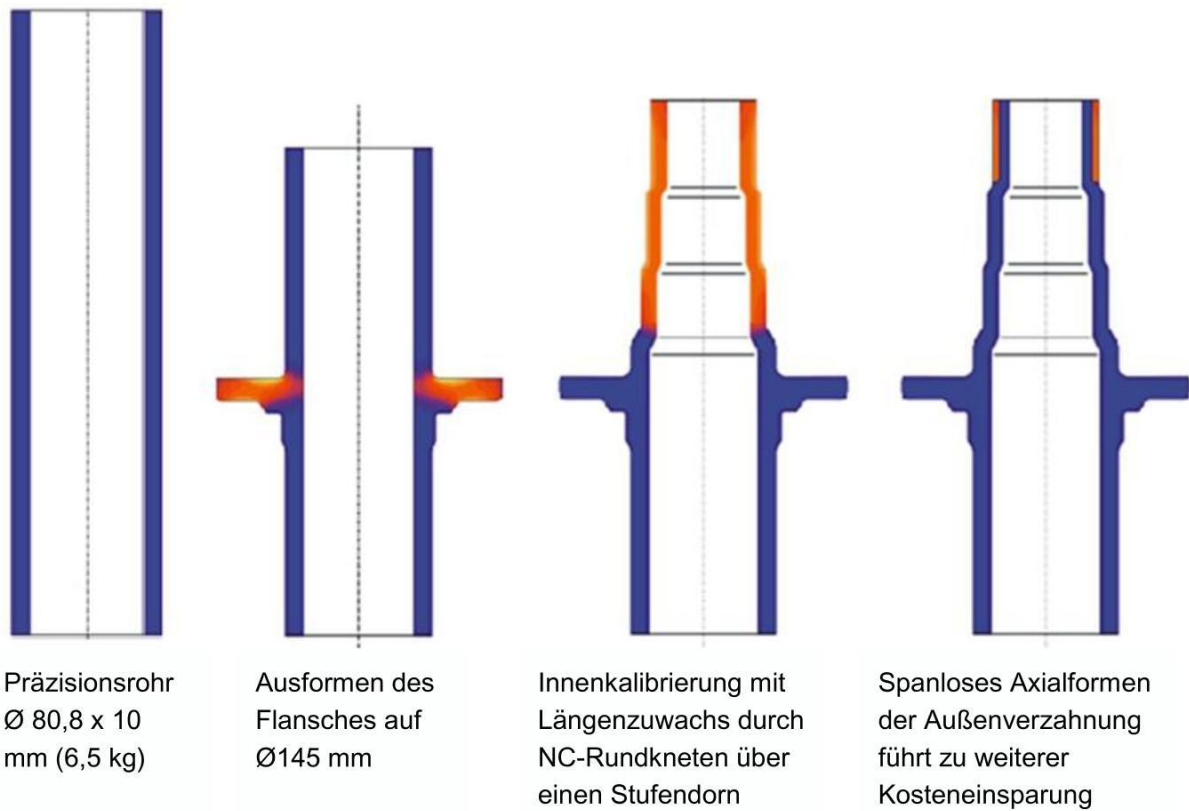


Bild 9: statt Grobschmiedeteil eine Near-netshape-Getriebewelle

Die Vorteile sind in Bild 10 und 11 anschaulich dargestellt. Über den Produktlebenszyklus werden mehr als 3 Mio.kg (!) Material eingespart und somit ca. 10.000 m³ Späne (und deren Entsorgungslogistik) vermieden.

- ✓ Optimaler Faserverlauf (inkl. Verzahnung) für höchste **Belastbarkeit!**
- ✓ Ca. 8,5 kg Materialeinsparung Pro Teil = **über 3.000.000 kg Materialeinsparung über die Laufzeit!**
- ✓ Insgesamt **10.000 m³ Späne werden vermieden!** (= 300 Großcontainer à 35m³)

15 kg 6,5 kg

10,4 kg 1,9 kg

Bild 10: Vorteile der Near-netshape-Umformung aus Rohr (rot = ursprünglich geschmiedetes Rohteil, grünweiß = Hohlwelle aus Rohr) /3/

Ein mindestens ebenso großer Vorteil besteht jedoch in der deutlich verkürzten Bearbeitungszeit, wie in Bild 11 zu sehen. Die zum Produktionsstart vorgesehene einzelne Drehmaschine reicht aufgrund der Umstellung auf das Ausgangsmaterial Rohr auch bei Erreichen der Maximalstückzahl noch aus, sodass eine Zusatzinvestition in Millionenhöhe vermieden werden kann.

- ✓ Die **Bearbeitungszeit reduziert sich um fast 50%!**
(vorher 19 min, jetzt ca. 10 min)
- ✓ Statt geplanter 2 Drehzentren ist nun **1 Drehzentrum ausreichend!**
- ✓ Durch Umstellung von wälzgefräster auf **axialgeformte Verzahnung** sinkt die Taktzeit von ca. 2 min auf **ca. 20s**
→ **höchste Präzision und Festigkeit sowie Zusatzkapazität für weitere Innovative Verzahnungsteile!**

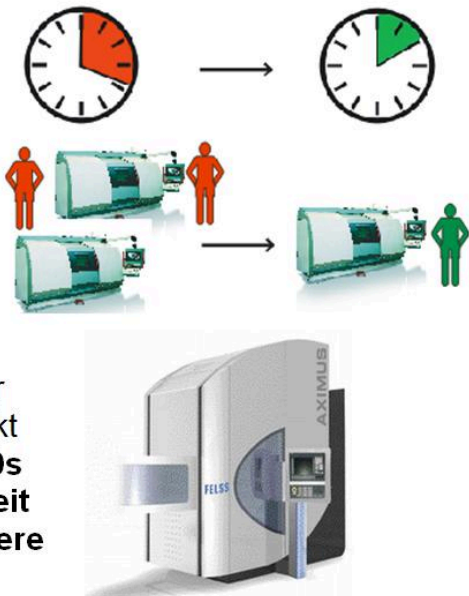


Bild 11: Vorteile durch kürzere Bearbeitungszeit /3/

Auch die Umstellung auf eine axialgeformte Steckverzahnung bringt erhebliche Einsparungen. Die neu zu investierende Umformanlage „Aximus V02“ ist aufgrund der kurzen Taktzeit zwar nur zu einem Bruchteil ausgelastet; dafür kann sie nun auch noch andere Bauteile verzahnen, sodass in Zukunft mehrere Wälzfräs- und Stoßmaschinen beim Kunden überflüssig werden (Bild 11 unten).

4. Schlussfolgerung

Durch die gezielte Kombination und Weiterentwicklung innovativer Fertigungsverfahren, unterstützt durch die Expertise eines auf Umformsimulation spezialisierten Instituts, wurde im Rahmen des ZIM-Förderprojekts „Lightweight Pro“ ein erheblicher Wettbewerbsvorsprung, gepaart mit großem Kundennutzen und der Schaffung neuer sicherer Arbeitsplätze, erreicht.

5. Literaturhinweise:

- /1/ „Rundknettechnik“, Die Bibliothek der Technik Band 252 von 2003
- /2/ „Kundennutzen treibt die Branche“, Absatzwirtschaft, Ausgabe 11/2008, Seite 102 ff.
- /3/ „NoAE Network of Automotive Excellence – Preisträger 2009. www.noae.com
- /4/ weitere Hinweise auf der IFUTEC-Homepage: www.ifutec.de

Entwicklung eines laserunterstützten Ablegesystems zur lokalen Verstärkung von flächigen Bauteilen mittels Faserverbundkunststoffen

Dr. Patrick Kölzer
AFPT GmbH, Dörth

Zusammenfassung

Ausgehend von der Entwicklung in der Luft- und Raumfahrttechnik werden heute Faserverbundkunststoffe mit stetig steigendem Anteil in nahezu allen industriellen Bereichen eingesetzt, in denen die Gewichtsreduzierung von Interesse ist. Die durch den Verbund aus endlosen Verstärkungsfasern und polymerer Matrix hergestellten Faserverbundkunststoffe (FVK) zeichnen sich durch hohe Steifigkeiten und hohe Festigkeiten bei gleichzeitig geringem Gewicht aus.

Das lokale Aufbringen derartiger Verbundkunststoffe auf flächige Strukturen ermöglicht die Umsetzung hybrider Bauteile mit hohem Leichtbaupotenzial, welche in sehr wirtschaftlichen Fertigungsverfahren realisiert werden können. So können beispielsweise im Pressverfahren hergestellte Organobleche oder auch Stahl- und Aluminiumbleche durch Faserverbundkunststoffe lokal verstärkt werden. Hierdurch ist es möglich, die Grunddicke eines Bleches auf ein Minimum zu reduzieren und nur dort, wo es die Belastung erfordert, können durch aufgebrachtetes Verstärkungsmaterial die Bauteileigenschaften den örtlich erhöhten Anforderungen angepasst werden. Beispielsweise können mit dieser Technologie Motorhauben, Heckklappen, Unterbodenbleche usw. wirtschaftlich hergestellt werden.

Ausgehend von der durch die Firma AFPT weiterentwickelten Technologie des laserunterstützten Wickelns zur Herstellung von Hochleistungsverbundbauteilen mit thermoplastischer Matrix (Rohre, Druckbehälter usw.), steht nun die Herstellung flächiger Verstärkungsstrukturen im Fokus der Weiterentwicklung des laserunterstützten Ablegeverfahrens und der hierfür benötigten Anlagentechnologie. Die für die Herstellung flächiger Bauteile auch als Tapelegen bezeichnete Technologie, kann sowohl zur Fertigung von reinen Verbundbauteilen als auch zur lokalen Verstärkung von flächigen Strukturen eingesetzt werden.

Ziel der AFPT ist es, ein prototypisches Ablegesystem zu entwickeln, aufzubauen und zu erforschen, welches in der Lage ist, flächige Bauteile vollautomatisiert lokal zu verstärken.

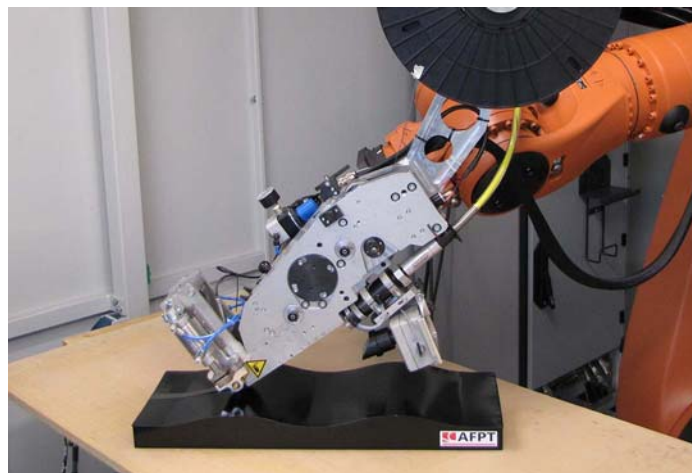


Abb. 1: Lokale Verstärkung mittels laserunterstütztem Ablegesystem

1 Grundlage der lokalen Verstärkung mit Faserverbundkunststoffen

Bei der Dimensionierung der Dicke eines flächigen Bauteils orientiert sich ein Konstrukteur an der höchsten auftretenden Belastung. Das bedingt, dass flächige Bauteile in den Bereichen, in denen geringere Beanspruchungen vorliegen, überdimensioniert sind. Folglich besitzen derartige Bauteile aufgrund des erhöhten Materialeinsatzes eine höhere Masse als zur Aufnahme der Belastungen notwendig ist. Gründe für dieses Vorgehen sind Restriktionen, welche aus dem zur Verfügung stehenden Fertigungsverfahren resultieren, wobei sowohl technische als auch betriebswirtschaftliche Restriktionen ursächlich sind.

Durch das lokale Aufbringen von Verstärkungsmaterial können lokale Belastungsspitzen flächiger Bauteilstrukturen aufgenommen werden. Dieses Vorgehen ermöglicht es, die Grunddicke und somit die Masse eines flächigen Bauteils zu reduzieren.

Das örtlich aufzubringende Material muss eine hohe Steifigkeit und Festigkeit besitzen, um die gewünschte Verstärkungswirkung der flächigen Struktur zu erzielen. Aufgrund ihrer Materialeigenschaften sind hierzu besonders Faserverbundkunststoffe geeignet. Die in eine polymere Matrix eingebetteten Verstärkungsfasern, wie beispielsweise Kohlenstoff- oder Glasfasern, sind in der Lage sehr hohe Kräfte aufzunehmen. Die die Verstärkungsfasern umschließende Kunststoffmatrix hat die Aufgabe die Verstärkungsfasern vor äußeren Belastungen zu schützen, ihre Lage zu fixieren und die an der Verbundstruktur angreifenden Kräfte in die Verstärkungsfasern einzuleiten.

Bei polymeren Matrices wird zwischen duroplastischen und thermoplastischen Matrices unterschieden. Duroplastische Matrices vernetzen chemisch und sind nach ihrer Aushärtung nicht mehr verformbar. Für die chemische Vernetzung wird Zeit benötigt, die auch bei schnell vernetzenden Matrixsystemen (Harzsystemen) im Bereich von einigen Minuten liegt. Da die Firma AFPT die lokale Verstärkung im Bereich von Sekunden realisieren möchte, um das Verstärkungsverfahren auch in der Serienproduktion von Bauteilen einsetzen zu können, sind duroplastische Harzsysteme nicht geeignet. Darüber hinaus muss das Material vollautomatisiert und schnell aufgebracht werden. Duroplastische Produktionsprozesse sind in Folge der Klebrigkeit der verwendeten Harze schwer zu automatisieren und erfordern oftmals zusätzliche zeit- und kostenintensive manuelle Fertigungsschritte.

Thermoplastische - also schmelzbare Matrixsysteme - erstarren aus der Schmelze in Abhängigkeit der aufgeschmolzenen Masse innerhalb von Sekunden. Durch die Verwendung thermoplastisch vorimprägnierter Halbzeuge, sogenannter Prepregs (engl.: preimpregnated) bei denen die Verstärkungsfasern und die Matrix in einem vorgelagerten Fertigungsschritt bereits zusammengebracht wurden, können Verbundbauteile im Ablegeverfahren vollautomatisiert hergestellt werden. Abbildung 2 zeigt die dünnen, bandförmigen Prepregs, auch Tapes genannt, sowie schematisch deren inneren Aufbau.

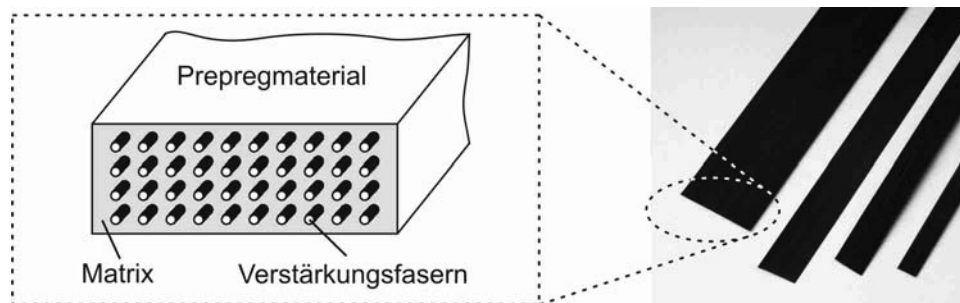


Abb. 2: Thermoplastisches Prepregmaterial zur lokalen Verstärkung flächiger Strukturen

2 Laserunterstützte Ablegetechnologie

Mit der Ablegetechnologie können zum einen Wickelbauteile wie Rohre, Zylinder, Druckbehälter und zum anderen flächige Bauteile hergestellt werden. Man spricht hier auch vom Tapewickelverfahren bzw. vom Tapelegeverfahren. Das Grundprinzip des Ablegeverfahrens ist beim Tapelegen und beim Tapewickeln identisch und ist schematisch in Abbildung 3 dargestellt. Sowohl beim Tapewickeln als auch beim Tapelegen wird das zu verarbeitende Ausgangsmaterial (Prepregmaterial) zusammen mit dem im vorherigen Prozessschritt bereits abgelegten Material (Substrat) durch Energieeintrag in den Zwickelbereich aufgeschmolzen. Anschließend werden das einlaufende Prepreg und das Substrat durch Zusammendrücken während des Erstarrens der Schmelze zu einem Bauteil verbunden.

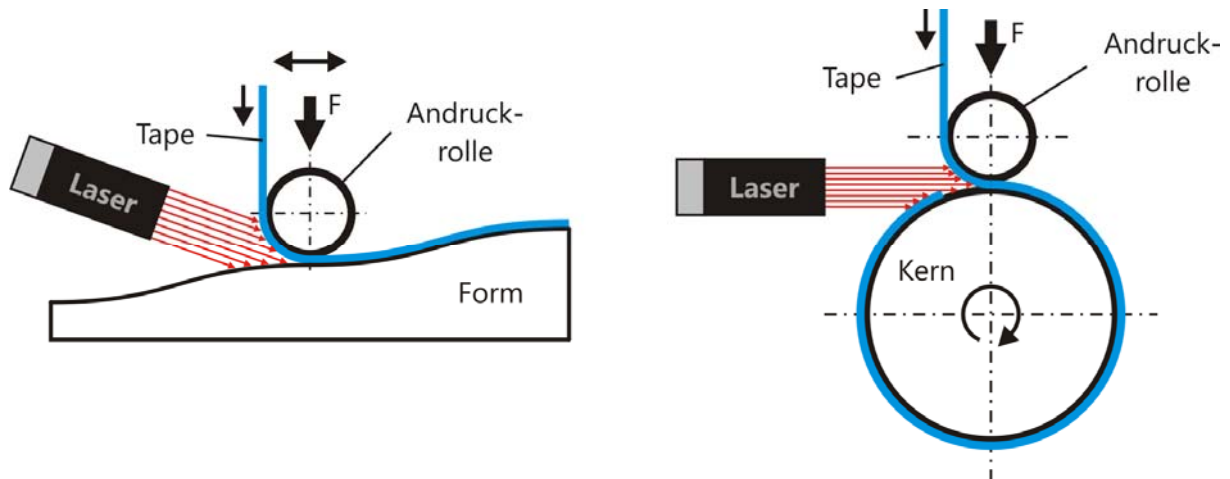


Abb. 3: Schematische Darstellung des laserunterstützten Tapewickel- und Tapelegeverfahrens

Die besondere Anforderung bei der Ablegetechnologie ist die exakte Einbringung der zum Aufschmelzen der thermoplastischen Matrix notwendigen Energie. Der hierzu erforderliche Wärmeeintrag kann auf stoffgebundenen Energietransportvorgängen, wie Wärmeleitung bzw. Konvektion oder auf nicht stoffgebundenen Energietransportvorgängen, wie Wärmestrahlung beruhen [1]. So wurden Ablegesysteme auf Basis von Kontaktwärmung [2], Heißgas [3], offene Flamme [4] sowie Mikrowellen-, Infrarot- oder Laserstrahlung [5] entwickelt.

Unter den genannten Heizquellen ist vor allem der Laser aufgrund der mengenmäßigen und örtlich exakten Dosierung der Energieeinbringung sowie der im Bereich weniger Millisekunden liegenden Steuerbarkeit der Strahlleistung für die Verarbeitung von thermoplastischen Prepregs besonders geeignet. Aufgrund der Nutzung von Laserstrahlung im Bereich von einigen Kilowatt ist es erforderlich, die Gesamtanlage laserlichtdicht zu umhauen, um die geforderten Sicherheitsanforderungen zu gewährleisten.

Durch die schnelle Ansteuerbarkeit der Strahlleistung des Lasers in Kombination mit einer Temperaturerfassung wird eine Regelung umgesetzt, welche es ermöglicht, die Prozesstemperatur des zu verarbeitenden thermoplastischen Prepregs in sehr engen Toleranzen zu halten. Die kinematische Manipulation des Ablegesystems zum bahnorientierten Ablegen der Prepregbänder kann durch einen Sechs-Achs-Knickarmroboter, durch Portalroboter oder durch andere Handhabungssysteme erfolgen.

3 Entwicklung von laserunterstützten Ablegesystemen zur lokalen Verstärkung mittels Faserverbundkunststoffen

3.1 Besondere Anforderungen an Prozesstechnologie und Anlagentechnik zur lokalen Verstärkung flächiger Bauteile

Obgleich das verfahrenstechnische Grundprinzip beim Tapewickeln als auch beim Tapelegen gleich ist, gibt es beim Ablegen von thermoplastischen Prepregs auf flächige Strukturen erhöhte Anforderungen. So ist es beim Wickeln im Gegensatz zum Tapelegen möglich, durch Aufbringen einer hohen Zugkraft am einlaufenden Prepregmaterial während des Ablegeprozesses dieses fest an das herzustellende Bauteil heran zu ziehen. Durch dieses Heranziehen und die hierdurch aufgebrachtten Andruckkräfte zwischen neu abzulegendem Material und bereits abgelegtem Material kann eine sehr gute Konsolidierung des Laminats mit einer entsprechenden Qualität erzielt werden.

Beim Tapelegen kann nur die Andruckkraft, die durch die Andruckrolle aufgebracht wird, zur Konsolidierung genutzt werden. Dieses stellt an die Andruckrolle beim Tapelegen höhere Anforderungen als an die Andruckrolle beim Tapewickeln. So muss diese das abzulegende Prepregmaterial flächig andrücken, um eine ausreichend lange Zeit zur Konsolidierung zu ermöglichen.

Auch an die Prozesstemperaturregelung werden höhere Anforderungen gestellt. Gegenüber dem Wickeln, wo nahezu mit einer konstanten Ablegegeschwindigkeit gearbeitet wird, ist das Geschwindigkeitsprofil beim Tapelegen durch starke Beschleunigungs- und Abbremsphasen durch große Geschwindigkeitsgradienten geprägt. Durch eine sehr schnelle Regelung muss die Prozesstemperatur, auch bei stark unterschiedlichen Ablegegeschwindigkeiten, in den durch das Prepregmaterial vorgegebenen Toleranzen liegen.

Eine weitere Anforderung bei der lokalen Verstärkung ist das exakte Ablegen des Prepregmaterials mit gewünschter Qualität bis zum Ende einer Ablegebahn. Da aufgrund des hohen Wärmeeintrags in den Zwickelbereich die Schneideinheit, welche das Prepregmaterial am Ende einer Ablegebahn schneidet, nicht in unmittelbarer Nähe der Andruckrolle positioniert werden kann, verbleibt nach dem Schneiden ein freies Ende des Prepregmaterials. Die Schwierigkeit hierbei ist, dass dieses freie Ende im weiteren Verlauf des Ablegens durch die Andruckrolle nach unten auf die Fläche gedrückt wird. In Abbildung 4 wird diese Problematik skizziert. Durch das Abklappen des freien Endes kann die Wärme nicht mehr in den Zwickelbereich zwischen Prepregmaterial und Substrat eingebracht werden. Das Prepregmaterial wird nur noch von der Oberseite erwärmt, was die Verbundqualität am Ende eines Ablegepfads stark reduziert.

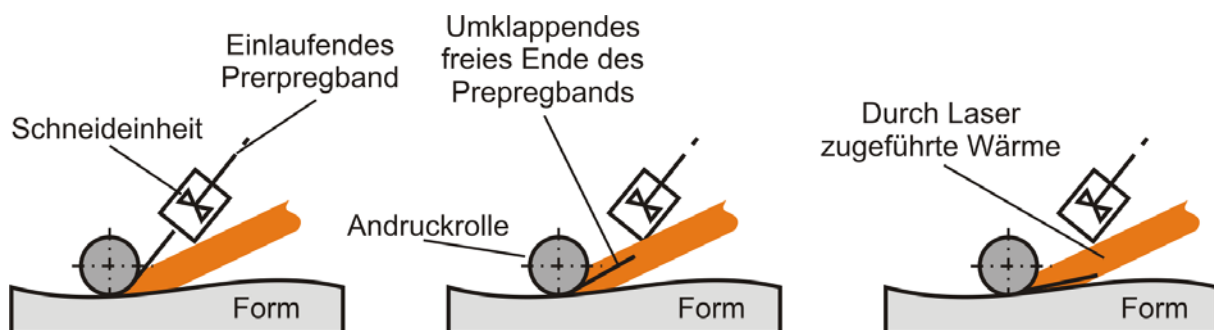


Abb. 4: Umklappen des Prepregmaterials am Ende eines Ablegepfads

3.2 Aufbau eines laserunterstützten Ablegesystems zur lokalen Verstärkung flächiger Bauteile

Neben den in Abschnitt 3.1 aufgeführten Anforderungen definiert auch das zu verstärkende Bauteil selbst eine Reihe von Anforderungen an das Ablegesystem. Hier stellen vor allem die Größe und geometrische Komplexität Hauptkriterien dar. Die Firma AFPT entwickelt sowohl kleine kompakte Ablegesysteme zur lokalen Verstärkung von kleinen und komplexen Bauteilen, wie diese beispielsweise im Automobilbau eingesetzt werden, aber auch Ablegesysteme welche in der Lage sind, größere Bauteile zu belegen, wie diese in der Luft- und Raumfahrt eingesetzt werden. Die kleinen kompakten Tapelegesysteme (wie in Abbildung 1 dargestellt) können nur ein Prepregband ablegen, während die großen Ablegesysteme bis zu sechs Prepregbänder gleichzeitig ablegen und somit die Ablegerate deutlich erhöhen.

Die grundlegenden Funktionen, die sowohl die kompakten als auch die großen Ablegesysteme erfüllen müssen, sind Bevorratung, Zuführung, Konfektionierung, Konsolidierung und das Aufschmelzen des abzulegenden Materials sowie das Erfassen und Steuern aller relevanten Prozessparameter.

Abbildung 5 zeigt ein Multitapelegesystem zur lokalen Verstärkung großer Bauteile.

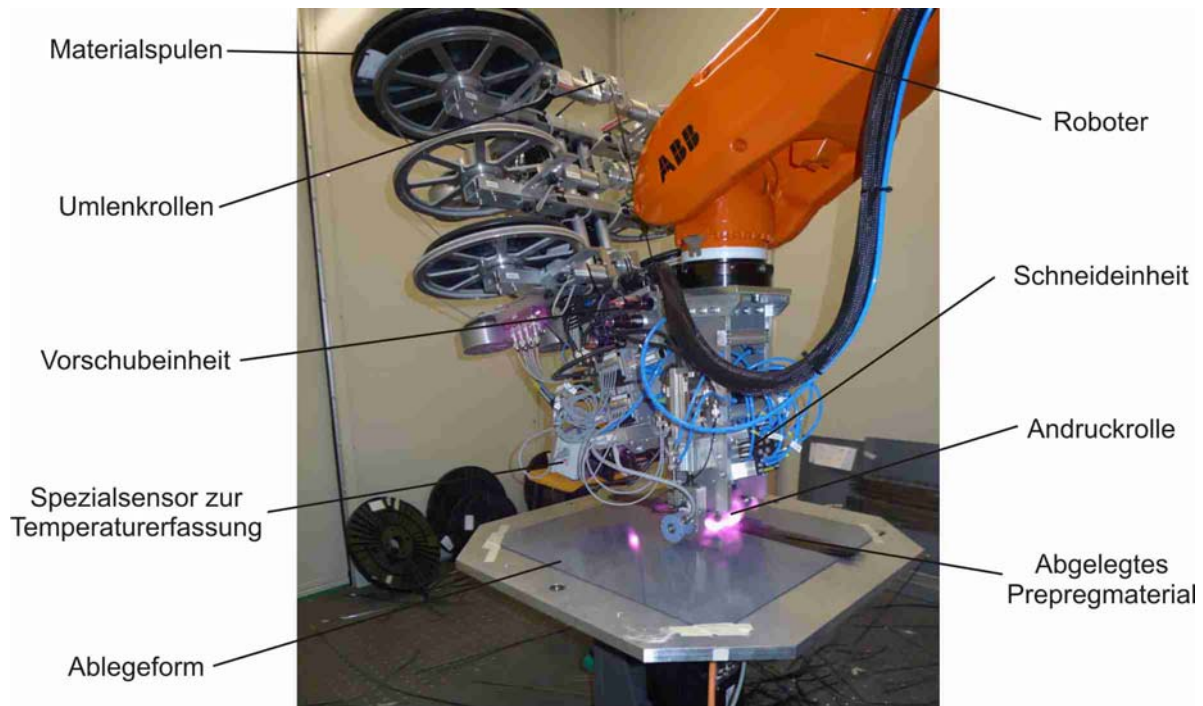


Abb. 5: Mechanischer Aufbau eines Multitapelegekopfs zur lokalen Verstärkung großflächiger Bauteile

Die Materialbevorratung erfolgt durch Einlegen von Kunststoffspulen, auf die das Prepregmaterial aufgewickelt ist. Über Umlenkrollen wird das Material bis zur Vorschubeinheit geführt. Die Vorschubeinheit ist in der Lage jedes der sechs Bänder einzeln vorzuschieben. Dieses ist oftmals erforderlich, da nicht immer über die volle Ablegebreite lokal verstärkt werden muss. Durch die Vorschubeinheit werden die Prepregbänder bis zur Schneideinheit vorgeschoben. Auch die Schneideinheit ist in der Lage alle sechs Bänder einzeln zu schneiden. Nach dem Verlassen der Schneideinheit erreichen die Prepregbänder die Andruckrolle. Hierbei handelt es sich um eine flexible Andruckrolle, die es ermöglicht, das abzulegende Prepregmaterial flächig anzudrücken.

Um die in Abschnitt 3.1 dargestellte Problematik des Abklappens des Prepregmaterials zu vermeiden, wurde im Rahmen des durch das BMBF geförderten Vorhabens seitens AFPT untersucht, inwieweit das Abklappen nach dem Schneiden durch das Realisieren einer elektrostatischen Anziehung zwischen Andruckrolle und Prepregmaterial verhindert werden kann. Die Umsetzung einer elektrostatischen Anziehung ist prinzipiell möglich, da die Andruckrolle aus einem metallischen Kern besteht, welcher mit einem flexiblen Polymermaterial umgeben ist. Das für die flächige Konsolidierung notwendige Polymermaterial kann durch ein elektrisches Feld polarisiert werden. Die Polarisation des Polymers wird erzielt durch ein von einem elektrischen Leiter ausgehenden elektrisches Feld. Eine Konzentration der die Polymerschicht durchsetzenden Feldstärke wird durch einen geringen Abstand zwischen Leiter und Kern erreicht, wobei der Leiterdurchmesser r_d wesentlich kleiner als der Durchmesser r_m der Andruckrolle ist. Die beschriebene Anordnung ist in Abbildung 6 links dargestellt. Die Ladungsaufbringung geschieht in einem lokal begrenzten Gebiet der Polymerummantelung. Erst durch eine Rotation der Andruckrolle gelangt die geladene Oberfläche in den Einflussbereich des Prepregmaterials. Die negative Oberflächenladung der Polymerschicht erzeugt schließlich eine Polarisation im Prepregmaterial und zieht dieses aufgrund der Kraftwirkung des Coulombschen Gesetzes an (Abbildung 6 rechts).

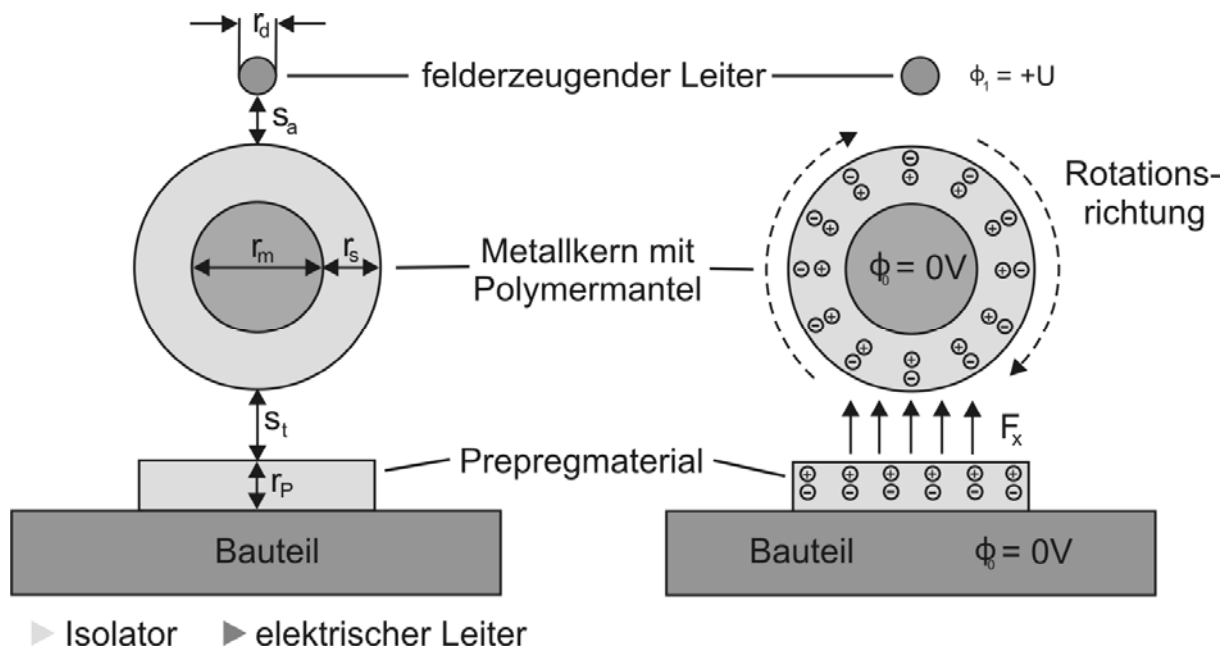


Abb. 6: Modell der Ladungsverteilung bei der elektrostatischen Anziehung [6]

In einem eigens hierfür aufgebauten Prüfstand stellte sich jedoch heraus, dass die erzielbaren Kräfte nicht ausreichend waren, um ein Umklappen des Prepregmaterials am Ende einer Ablegebahn zu verhindern. Durch Erhöhung des Potenzialunterschieds kann die Anziehungskraft zwischen Andruckrolle und Prepregmaterial weiter vergrößert werden. Es zeigte sich jedoch, dass es eine Grenzspannung gibt. Ab dieser Spannung kam es zu einem elektrischen Durchschlag. Ebenfalls problematisch ist bei weiterer Erhöhung der Spannungen, dass andere Sensoren des Ablegesystems gestört werden. Darüber hinaus sind die anlagentechnischen Sicherheitsanforderungen nur mit hohem Aufwand umsetzbar.

Ausgehend von diesen Erkenntnissen und aufgrund erster Prozessuntersuchungen mit dem aufgebauten Ablegesystem wurde ein zweiter Lösungsansatz untersucht. Es stellte sich heraus, dass sich bei ausreichend großer Ablegegeschwindigkeit die Qualität des am Ende eines Ablegepfads abgelegten Prepregs verbesserte. Ursache hierfür ist die Trägheit des geschnittenen Prepregs, was bei hohen Ablegegeschwindigkeiten dazu führt, dass das Prepregmaterial im Vergleich zur zurückgelegten Ablegestrecke langsamer umklappt.

Hierdurch trifft die Laserstrahlung bis zum Ende der Ablegebahn in den Wickelbereich zwischen einlaufendem Prepregmaterial und Substrat. Durch die deutliche Erhöhung der Ablegegeschwindigkeit steigen die Anforderungen an die Prozesstemperaturregelung. Die Folge hiervon ist, dass die auf das Wickeln optimierte Regelung (nahezu konstante Ablegegeschwindigkeiten), auf das Tapelegen mit hohen Geschwindigkeiten angepasst werden muss. Hierfür ist die Umsetzung einer sehr schnellen Temperaturregelung notwendig. Abbildung 7 zeigt die hardwaretechnische Grundlage des Kommunikationskonzepts welches die Kommunikation zwischen der Steuerung des Ablegesystems, des Lasers mit entsprechendem Netzteil sowie der Steuerung des zur Handhabung des Ablegesystems benötigten Roboters darstellt.

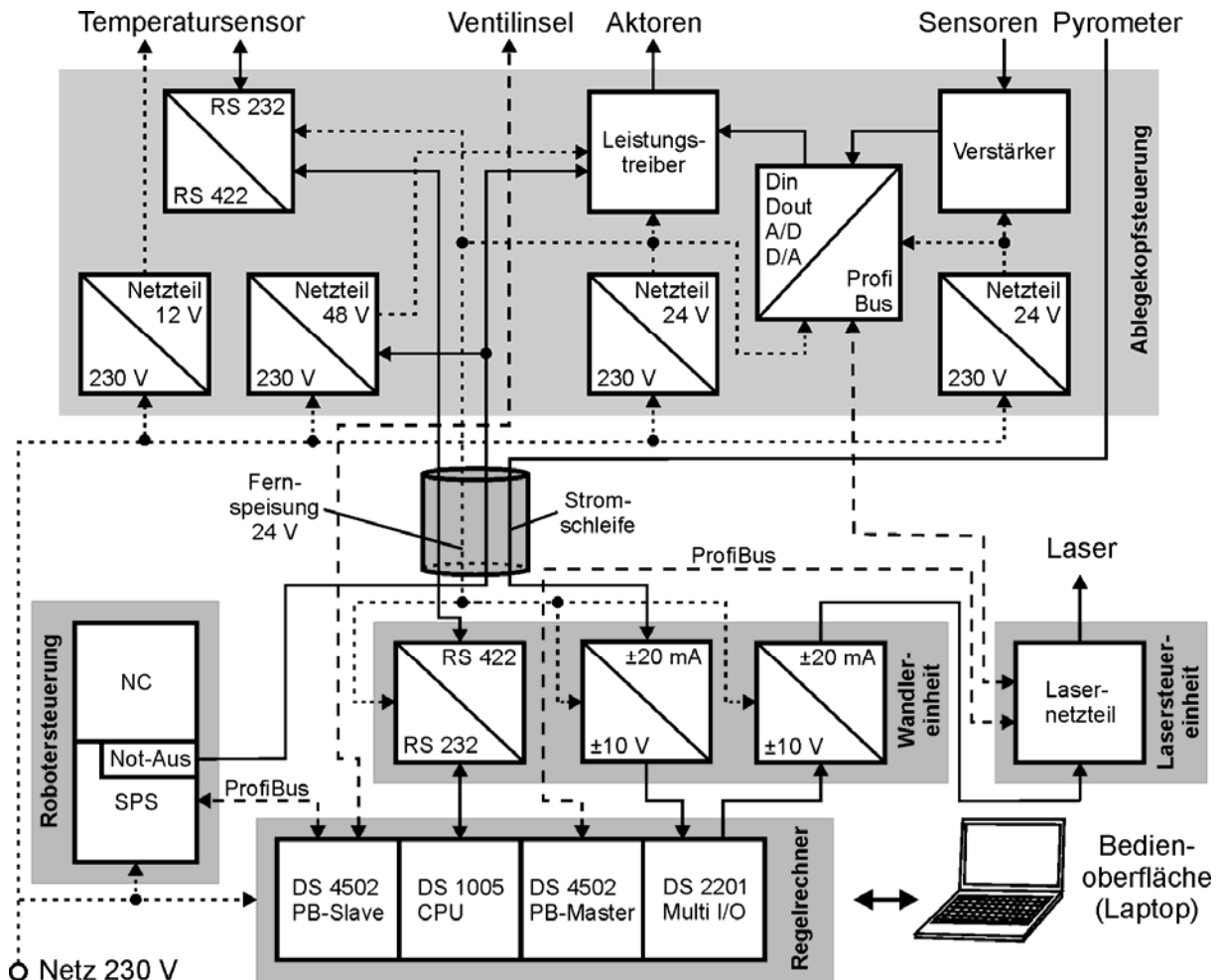


Abb. 7: Schematische Darstellung des Kommunikationskonzepts zur Ansteuerung des laserunterstützten Ablegesystems

Neben der notwendigen hardwaretechnischen Umsetzung werden derzeit auch die Regelalgorithmen an die besonderen Anforderungen des laserunterstützten Ablegens zur lokalen Verstärkung flächiger Bauteile angepasst und weiterentwickelt.

4 Potenziale und Anwendungsbeispiele

Da eine Vielzahl für die lokale Verstärkung geeignete flächige Kunststoffbauteile aus Thermoplasten hergestellt werden, können materialgleiche Verstärkungskombinationen umgesetzt werden. So ist es zum Beispiel machbar, Kohlenstofffaser/Polyamid-Prepregbänder auf ein im Pressverfahren hergestelltes Polyamid-Bauteil abzulegen und so eine lokale Verstärkung zu erzielen. Durch die Reversibilität, d.h. die erneute

Aufschmelzbarkeit der thermoplastischen Matrix, sind auch andere Fertigungsabfolgen denkbar. So könnte eine ebene Platte zuerst lokal verstärkt und anschließend aus dieser Platte inklusive Verstärkungsstruktur die Endgeometrie des Bauteils in einer temperierten Presse erzeugt werden. Aber auch die Verstärkung von endkonturnahen Bauteilen ist möglich.

Neben der materialgleichen Verstärkung können thermoplastische Prepregs auch auf Stahl- oder Aluminiumflächen aufgebracht werden. Hierfür müssen die metallischen Bleche mit einer entsprechenden Beschichtung versehen werden. Erste Erfahrungen mit derartigen Beschichtungen hat die Firma AFPT bereits mit der Verstärkung von metallischen Druckbehälter-Linern gesammelt.



Profilnase des A340-500/600



Verstärkungsrippe des A340-500/600

Abb. 8: Links: Profilnase des A340-500/600 Rechts: Verstärkungsrippe des A340-500/600 (Quelle: Stork / Fokker)

5 Danksagung

Dieses Forschungs- und Entwicklungsprojekt wird mit Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF) gefördert und vom Projektträger Karlsruhe (PTKA) betreut. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt beim Autor.

Literatur:

- [1] Baehr, H.; Stephan, K.: Wärme- und Stoffübertragung; 5. Aufl. Berlin; Springer, 2006
- [2] Lamontia, M.; Funck, S.; Gruber, M.; Cope, R.; Waibel, B.; Gopez, N.: Manufacturing Flat and Cylindrical Laminates and Built Up Structure Using Automated Thermoplastic Tape Laying, Fiber Placement, and Filament Winding. In: SAMPE Journal, Vol. 39, 2003
- [3] N. N.: Products and Services. URL: www.automateddynamics.com/PS_FP_Equip.htm [Stand: 24.09.2006]
- [4] Beresheim, G.: Thermoplast-Tapelegen - ganzheitliche Prozessanalyse und -entwicklung. Diss. Universität Kaiserslautern, 2002
- [5] Kölzer, P.: Temperaturerfassungssystem und Prozessregelung des laserunterstützten Wickelns und Tapelegens von endlos faserverstärkten thermoplastischen Verbundkunststoffen; Diss. RWTH Aachen; ISBN 978-3-8322-7476-4; Shaker Verlag; 2008
- [6] Schaaf, E: Entwicklung und Konstruktion eines Prüfstands zur Untersuchung der elektrostatischen Kraftwirkung auf faserverstärkte thermoplastische Verbundkunststoffe, Diplomarbeit, Fachhochschule Koblenz, 2009

Superscharfe DLC-beschichtete Schneidklingen für sehr hohe Standzeiten

Dr. André Flöter

GFD Gesellschaft für Diamantprodukte mbH, Ulm

Zusammenfassung

Der Markt für Verpackungs- & technische Folien wächst dynamisch, da sich durch die Funktionalisierung (Multilayer, Partikelintegration, Metallisierung etc) neue Anwendungen als kostengünstige Massenfertigungsverfahren erschließen lassen. In der Folge ergeben sich höchste Anforderungen an die prozessintegrierten Schneidwerkzeuge.

Aus diesem Grund wird erstmals angestrebt, Stahlklingen mit dicken amorphen Kohlenstoffschichten zu versehen, und anschließend durch ein Plasmaätzverfahren zu schärfen (Kantenradien bis < 100 nm) und zu polieren. Durch die Anwendung skalierbarer Verfahren entsteht eine preiswerte Schneidklinge mit Potential zur Standzeiterhöhung (>Faktor 300 gegenüber unbeschichteten Stahlklingen), Produktivitätssteigerung (Verdoppelung Schnittgeschwindigkeit), Energieeinsparung (Scheidkraftminimierung) & Ressourceneinsparung (Verschnitt, Säumstreifenbreite).

Im hier präsentierten FILMCUT Projekt, welches im Rahmen des KMU-innovativ Programms durch das BMBF gefördert wird, werden Grundlagenuntersuchungen zur Ermittlung geeigneter Ätzparameter für spezifische DLC-Schichtsysteme, die Erarbeitung optimaler Prozessparameter zur hochpräzisen Kantenausbildung an definiert beschichteten Standardklingen, die Übertragung der Schicht- und Ätzparameter auf verschiedene Sonderklingen, die umfassende Charakterisierung des Schichtsystems und der Kanten von Versuchswerkzeugen vor, während und nach Gebrauch sowie die Überprüfung der angestrebten Anwendungsvorteile untersucht.

Nach erfolgreicher Durchführung des Projektes FILMCUT wird GFD die erarbeiteten Prozesse und Technologien bis zur Serienreife weiter entwickeln, gemeinsam mit Pilotanwendern im Produktionsumfeld Serienwerkzeuge erproben sowie die neuen Schneidwerkzeuge im Markt einführen. Anschließend ist es geplant die neuen Technologien sukzessive auf zusätzliche Anwendungen zu übertragen (diverse Foliensysteme; Anwendungen in der Papier- und Textilindustrie).

1 Ausgangslage

Der Markt für innovative Verpackungsfolien und technische Folien wächst dynamisch. Ursache hierfür sind einerseits die zunehmenden Möglichkeiten zur Funktionalisierung durch Mehrschichtaufbau, (Nano-)Partikelintegration, Metallisierung oder Bedruckung, und andererseits die zahlreichen dadurch erschließbaren Anwendungen mittels kostengünstiger Massenfertigungsverfahren. Beispiele sind Kunststoff- und Metallfolien für den Lebensmittelbereich, Dekorfolien für den Automotive- und Möbelbereich, Polytronikanwendungen wie Identifikations-Tags, Folien für verschiedene Einsatzfelder in der Photovoltaik, oder aber auch reißfeste selbstklebende Folien für Industrie, Gewerbe und Konsumenten.

Ein essentieller Fertigungsschritt, welcher die Produktqualität und Produktivität maßgeblich beeinflusst, ist das Folienschneiden und Konfektionieren. Durch die oben beschriebenen Folienschnitten ergeben sich höchste Anforderungen an die Schneidwerkzeuge. Wichtige Qualitätsmerkmale der Schneidklingen sind dabei eine sehr hohe Schärfe, Abrasionsbeständigkeit, mechanische Stabilität, Bruchzähigkeit und Standzeit bei geringer Anhaftneigung und Schneidkraft.

Für das Folienschneiden gibt es bislang noch keine befriedigende „ideale“ Werkzeuglösung, welche alle geforderten Eigenschaften in sich vereint, und dabei möglichst noch preiswert ist. So verfügen zum Beispiel unbeschichtete Stahlklingen, bzw. aufgrund der ungünstigen Kantenverrundung nur „dünn“ mit Hartstoffschichten versehene Stahlklingen zwar über eine hohe Bruchzähigkeit, jedoch nur eine unzureichende Verschleißbeständigkeit. Mit Hartmetall- oder Keramikklingen kann zwar die Standzeit gesteigert werden. Allerdings sind diese Systeme bruchempfindlich, und deutlich teurer als Stahlklingen.

Die Kombination aus robustem Stahl und einer kostengünstig herstellbaren, hafftesten, abrasionsbeständigen und nachschärfbaren „dicken“ Verschleißschicht stellt einen vielversprechenden Ansatz dar, die geforderten Eigenschaften in einem System zu vereinen.

2 Gesamtziel des Vorhabens

Im Rahmen des hier vorgestellten Vorhabens (Projekt FILMCUT) wird erstmals angestrebt, Stahlklingen mit definierten DLC-Schichten (Diamond Like Carbon; amorphe Kohlenstoffschichten) hinreichend dick zu beschichten, und anschließend durch reaktives Ionenätzen im Plasmaprozess zu schärfen und zu polieren. Damit sollen minimale Kantenradien bis in den nm-Bereich (< 100 nm) erzielt werden. Durch die Anwendung skalierbarer Verfahren für die Beschichtung und Schärfbehandlung entsteht eine preiswerte Schneidklinge, welche völlig neue Schneideigenschaften zur Folge hat („ideale Klinge“).

Diese Schneidwerkzeuge bieten gerade auch bei stark abrasiven Folienwerkstoffen das Potential zur Produktivitätssteigerung (Erhöhung der Schnittgeschwindigkeit bis hin zur Verdoppelung), zur Standzeiterhöhung (Faktor 300 gegenüber unbeschichteten Stahlklingen), zur Energieeinsparung (Scheidkräfteminimierung), zur Ressourceneinsparung (Reduzierung von Verschnitt und Säumstreifenbreite um 25%), und zur Umsetzung von wirtschaftlicheren Fertigungsabläufen (z.B. Prozessreihenfolgen bei mehrschichtigem Aufbau).

3 Lösungsansätze

3.1 Materialsystem „Stahlklinge mit dicker DLC-Beschichtung“

Für einen breiten Einsatz ist es sinnvoll, als Grundmaterial auf die bruchunempfindlichen, bereits etablierten und „unschlagbar günstigen“ Stahlklingen zuzugreifen. Diese Klingen sollen mit einem in der Beschichtung und Schärfung vorteilhaften Materialsystem versehen werden.

Ein viel versprechendes Materialsystem stellen DLC-Schichten (amorphe Kohlenstoffschichten) dar, die auf Stahlklingen ohne aufwändige chemische Vorbehandlung, und mit vergleichsweise hohen Abscheideraten ($1 \mu\text{m/h}$ bis $3 \mu\text{m/h}$) aufgebracht werden können. Dabei kommen Verfahren mit niedrigem Temperaturniveau zum Einsatz, wie z.B. PVD-Verfahren (Physikalische Gasphasenabscheidung) oder PECVD- bzw. PACVD-Methoden (Plasma Enhanced bzw. Plasma Assisted CVD-Verfahren).

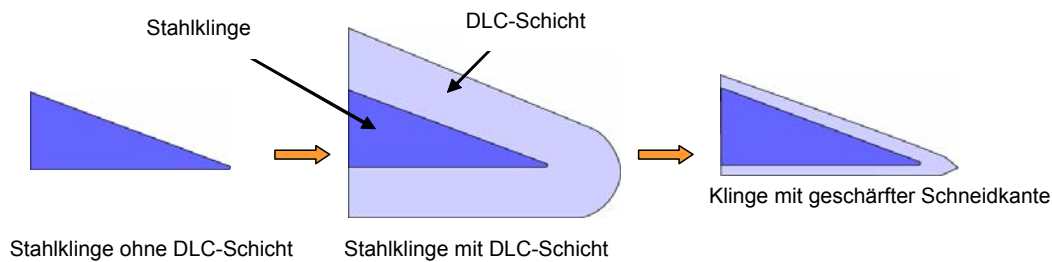


Abb. 1: Prinzip des Plasmaschärfprozesses

Im Gegensatz zu den bereits etablierten dünnen DLC-Schichten ($< 0,5 \mu\text{m}$), z.B. auf Rasierklingen (ca. $0,01 \mu\text{m}$), kommen jedoch im Rahmen des hier vorgestellten Vorhabens erstmalig dicke DLC-Schichten (ca. $5 \mu\text{m}$) zum Einsatz, welche durch eine anschließende Plasmabehandlung definiert geschärft werden (Abb. 1). Der Vorteil der Verwendung einer dicken Verschleißschicht liegt darin, dass ein wesentlich größeres Verschleißvolumen zur Verfügung steht. Damit kann die Standzeit wesentlich verbessert werden. Das nachträgliche Schärfen dicker DLC-Schichten, wodurch Kantenradien von weniger als 100 nm ermöglicht werden, ist ein weltweit völlig neuer Ansatz.

Weiterhin kommt ein besonders harter DLC-Typus (reines $a\text{-C:H}$) zum Einsatz. Die Härten geläufiger Verschleißschichten liegen zwischen 1.000 Hv und 2000 Hv (Vickers-Härte). In diesem Projekt sollen DLC-Schichten zum Einsatz kommen, die Härten zwischen 3.000 Hv bis 5.000 Hv aufweisen (zum Vergleich: Diamant: $9.000 - 10.000 \text{ Hv}$).

Ein weiterer Vorteil der DLC-Schichten ist der besonders kleine Reibungskoeffizient von ca. $0,1$ bis $0,2$. Die üblicherweise eingesetzten Hartstoffschichten (z.B. TiN) weisen Werte zwischen $0,3$ und $0,5$ auf. Je geringer der Reibkoeffizient, desto geringer sind die Reibkräfte zwischen der Klinge und dem zu schneidenden Material während des Schneidvorganges. Dies führt zusätzlich zu einer verbesserten Schneidfähigkeit und geringeren Anhaftneigung.

3.2 Plasmaschärfen dicker DLC-Schichten

Ziel des FILMCUT Projektes ist es, ein neues Verfahren zum Schärfen von DLC Schichten zu entwickeln. Dabei wird auf Erfahrungen bei der Plasmabearbeitung von diamantbeschichteten Schneidkanten zurückgegriffen. Bei der Bearbeitung von DLC beschichteten Stahlklingen müssen aber völlig neue Bearbeitungsparameter ermittelt werden um z.B. einen zu starken Ätzangriff auf den Stahloberflächen zu verhindern.

Die Grundidee besteht darin, ein etabliertes, jedoch modifiziertes Batchverfahren der Halbleitertechnologie bzw. der Mikrosystemtechnik auf ein neues Materialsystem anzuwenden. Damit sollen grundsätzlichen Vorteile wie z.B. die „Selbstjustage/ Beherrschbarkeit“, die Prozesskontrolle, die hohe Reproduzierbarkeit, die kraft- und spanlose Fertigung sowie die parallele Bearbeitung mehrerer Werkzeuge (hoher Durchsatz) erhalten bleiben. Dies ist auch eine wichtige Voraussetzung für die wirtschaftliche Herstellung.

3.3 DLC-Schichten

Als Schichtmaterial kommt bevorzugt das reine $a\text{-C:H}$ zum Einsatz, da $a\text{-C:H}$ deutlich härter als z.B. das metall-haltige $a\text{-C:H:Me}$ oder das modifizierte $a\text{-C:H:X}$ ($X: \text{Si, O, F, ...}$) ist. Die $a\text{-C:H}$ -Schichten werden heute im industriellen Maßstab mittels reaktivem dc-Magnetron-Sputtern und mittels plasma-aktivierter CVD (PACVD) abgeschieden.

DLC (a-C:H)-Schichten werden heute in großem Umfang zum größten Teil für Komponenten der Automobilindustrie eingesetzt. DLC-basierte Beschichtungen von Schneidklingen sind vor allem von Rasierklingen bekannt, wobei die Schichtdicken im Bereich weniger 10 nm liegen. Es gibt einige wenige Beispiele von Klingenbeschichtungen mit a-C:H-basierten Schichten für Schneidanwendungen, z.B. für die Holzbearbeitung oder für die Lebensmittelindustrie, wobei auch hier die Schichtdicken aufgrund der Schärfeproblematik deutlich unter 1 µm liegen. Eine wesentliche Funktion der Beschichtungen sollte es dabei sein, Anhaftungen zu vermeiden. Es handelt sich dabei um Nischenprodukte.

Besondere Herausforderungen ergeben sich durch die Anforderungen bzgl. der Schichthaftung, Schichtdicke und Schichtqualität insbesondere im Kantenbereich, da bei der Beschichtung durch die notwendigen elektrischen Vorspannungen der Substrate an solchen Elementen besonders hohe Ionenstromdichten auftreten. Damit kann das Schichtwachstum im Vergleich zu ebenen Bereichen deutlich unterschiedlich sein. Dies kann wiederum lokal zu verstärkten Problemen bei der Schichthaftung führen, wodurch Entwicklungsschritte zur speziellen Anpassung von Haftvermittlerschichten, welche prozessintegriert aufgebracht werden, erforderlich sind. Diese Haftvermittlerschichten bestehen in der Regel aus einzelnen Lagen unterschiedlicher Schichtmaterialien.

Weiterhin erweist es sich als notwendig, das Materialsystem für das Plasmaschärfen zu optimieren. So ist beim Plasmaschärfen der Schichtabtrag stark vom Schichtsystem abhängig. Dies erfordert eine enge Abstimmung des Materialsystems an den anschließenden Schärfprozess.

4 Ergebnisse

4.1 Dicke DLC-Schichten

In Zusammenarbeit mit den Projektpartnern und weiteren externen Beschichtern ist es gelungen, die maximal möglich DLC Schichtdicke von bisher 1µm – 3µm auf über 7 µm zu vergrößern. Dabei gelang es, die besonderen Anforderungen von scharfen Kanten unter Plasmabedingungen zu berücksichtigen. Es gelang, eine gleichmäßige Schichtabscheidung an Kanten zu realisieren und trotz der sehr hohen Schichtdicken, eine gute Haftung zu erreichen. Zukünftig sollen im Rahmen des Projektes auch Schichtdicken von bis zu 12µm erreicht werden.

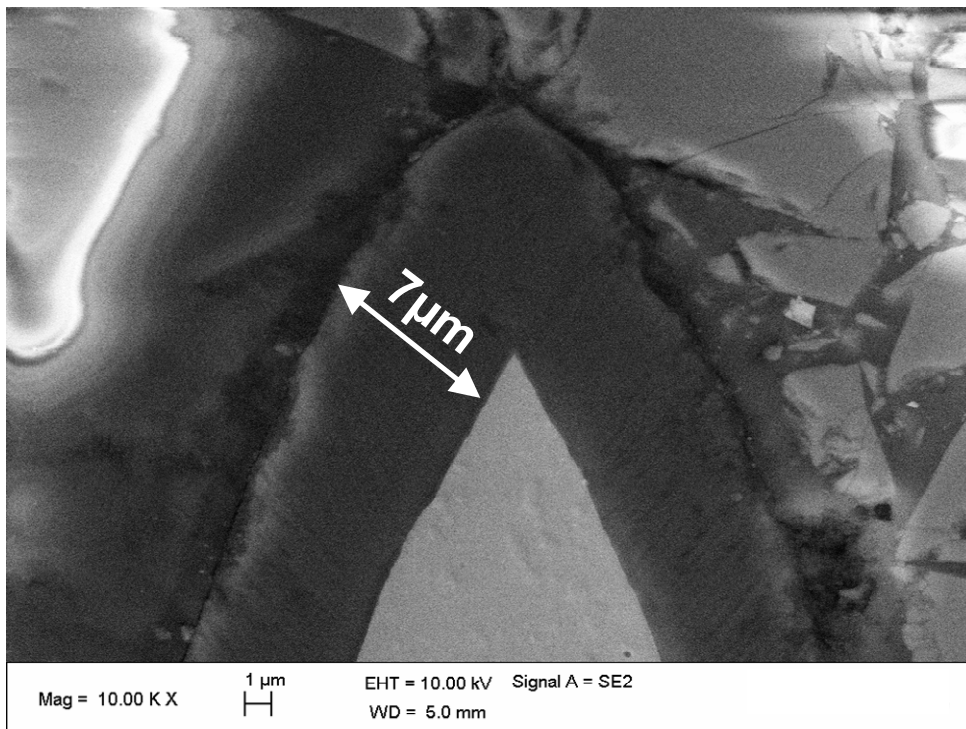


Abb. 2: Querbruch einer DLC beschichteten Schneidklingen. Die Schichtdicke beträgt ca. 7µm.

4.2 Plasmaschärfung dicker DLC-Schichten

Im Rahmen des bisherigen Projektes gelang es, erste Schneidkanten mittels Plasmaschärfung zu präparieren. Es wurden verschiedenste Variationen der Prozessparameter untersucht, um einen Angriff der Stahloberfläche zu vermeiden, eine wirtschaftliche Abtragsrate für die DLC Schicht zu erreichen und eine defektarme und scharfe Schneidkante zu präparieren. Es gelang, Schneidkantenradien von weniger als 300nm herzustellen. Diese Schneiden weisen eine sehr hohe Schärfe in Kombination mit einer relativ hohen Schichtdicke auf. Abb. 3 zeigt eine entsprechende Schneidkante.

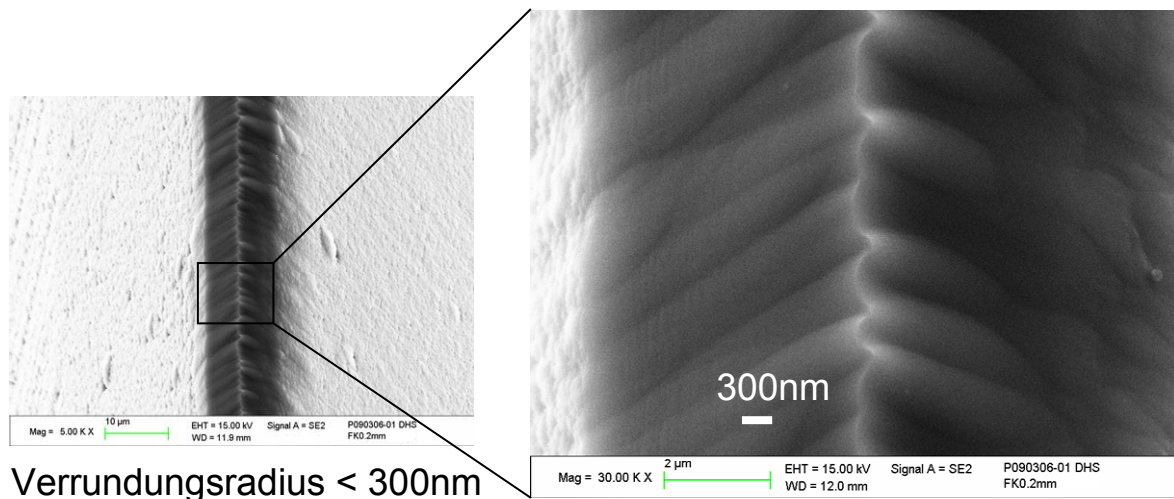


Abb. 3: Schneidkante einer DLC beschichteten und scharfen Schneide. Der Verrundungsradius der Schneidkante beträgt weniger als 300nm.

4.3 Erste Einsatztests

Im Rahmen des FILMCUT Projektes wurden bereits erste Prototypen von DLC beschichteten und geschärften Schneidklingen hergestellt und bei Projekt begleitenden Unternehmen getestet. Dabei wurden Klingen mit einer Stärke von 0,2mm mit einer DLC Schichtdicke von ca. 6-8µm im Schneidenbereich verwendet.

Als Testmaterial dienten verschiedene Kunststofffolien mit einem sehr hohen Titandioxid Anteil. Die Stärke der Folien variierte von 30µm – 50µm. Die Schnittgeschwindigkeit betrug ca. 200 m/min. Als Testklingen wurden 3-Lochklingen (22mm x 43mm) im „schleppenden“ Schnitt verwendet.

Als Vergleich dienten TiN beschichtete Stahlklingen. Diese Vergleichsklingen weisen unter diesen Bedingungen eine Schneidleistung von ca. 15.000 m Folie auf.

Durch die Verwendung von DLC beschichteten und geschärften Schneidklingen konnte die Schneidleistung auf durchschnittlich 300.000 m gesteigert werden. Dies bedeutet eine Verbesserung um den Faktor 20. Im Vergleich zu einer unbeschichteten Stahlklinge ergibt sich sogar eine Erhöhung der Schneidleistung um den Faktor 100.

Damit konnte bereits sehr eindrucksvoll gezeigt werden, dass die zugrundeliegende Idee, dicke und geschärft DLC Schichten zu verwenden, tatsächlich zu einer deutlichen Zunahme der Schneidleistung führen kann.

5 Weitere Aufgaben

Im Rahmen des FILMCUT Projektes ist es geplant, die zugrunde liegenden Verfahren weiter zu optimieren und auf eine größere Anzahl von Klingen zu übertragen. Durch die weitere Optimierung der DLC Schichteigenschaften, der möglichen Schichtdicke und der anschließenden Schneidkantenschärfung wird eine Verbesserung der Schneidleistung um den Faktor 300, im Vergleich zu einer unbeschichteten Stahlklinge, angestrebt.

6 Kontakt

Dr. André Flöter, Tel. +49 731 5097759, Email: andre.floeter@gfd-diamond.com,
www.diamaze.com

Stoßgeführte Nahtführung mit richtungsunabhängiger Triangulation

Dipl.-Ing. Andreas Bauer
Scansonic MI, Berlin

Zusammenfassung

Ausgangspunkt des Projekts ist eine derzeitige Problematik beim Laserfügen ohne Zusatzdraht. Es werden immer mehr Bauteile mit 3D-Konturen und Nähten mit engen Radien gebaut. Die Schweißnähte liegen oft auch an schwer erreichbaren Positionen, z.B. tief eingelassen oder auf Innenseiten von Behältern.

Die klassische Methode der optischen Nahtführung besteht im Prinzip aus einer Laseroptik und einem Nahtführungssensor, der vorlaufend in einem bestimmten Abstand die Stoßposition vermisst und die Korrekturdaten an den Roboter schickt.

An Stellen, wo die Naht in einem engen Radius seitlich in eine andere Richtung abweicht, besteht jedoch die Gefahr, dass die Naht aus dem Sichtfeld des Sensors gerät. Weiterhin kann ein rechter Winkel mit diesem Aufbau nicht ohne absetzen und umorientieren des ganzen Roboters geschweißt werden. An Innenseiten von Behältern begrenzen die Behälterwände die möglichen geometrischen Ausdehnungen der Schweißköpfe.

Ziel des Projekts ist ein Funktionsmuster eines Laserschweißkopfes mit integriertem optischen Sensor, der vorzugsweise kreisförmig um den Schweißpunkt herum messen und die Stoßposition detektieren soll. Die integrierte Lasertriangulationssensorik soll das Messlicht um den Schweißpunkt herum projizieren, so dass vom Schweißpunkt aus gesehen in allen Richtungen die Umgebung gescannt werden kann.

Der praktische Nutzen der schlanken Laseroptik-Sensor-Kombination in einem Gerät mit einem großen Arbeitsabstand besteht in einer breiteren Vielfalt von machbaren Bauteilkonstruktionen, Zeitersparnis im Produktionsprozess, kürzeren Stillstandzeiten und Anlaufzeiten der Produktionsanlage bei der Wartung und Installation, da Sensor und Arbeitslaser schon zueinander justiert sind und nur noch ein Schutzglas zu wechseln ist.

1 Scansonic

Das Projekt „Stoßgeführte Nahtführung mit richtungsunabhängiger Triangulation“ wird als Einzelprojekt bei Scansonic durchgeführt. Scansonic ist spezialisiert auf Systemtechnik für die Materialbearbeitung mit Festkörperlasern und Lichtbogentechnologien. Die Bearbeitungsköpfe von Scansonic repräsentieren für das automatisierte Schweißen und Löten den neuesten Stand der Fertigungstechnik.

Scansonic ist ein vergleichsweise junges berliner Unternehmen mit rund 60 Mitarbeitern, das als internationaler Zulieferer der Automobilbau-Branche Laserbearbeitungs- sowie Sensorsysteme herstellt und weiterentwickelt. Beim nahtgeführten Laserfügen im Karosseriebau hält Scansonic die Marktführerschaft mit inzwischen über 700 Laserbearbeitungsköpfen, die weltweit in der Produktion eingesetzt werden.

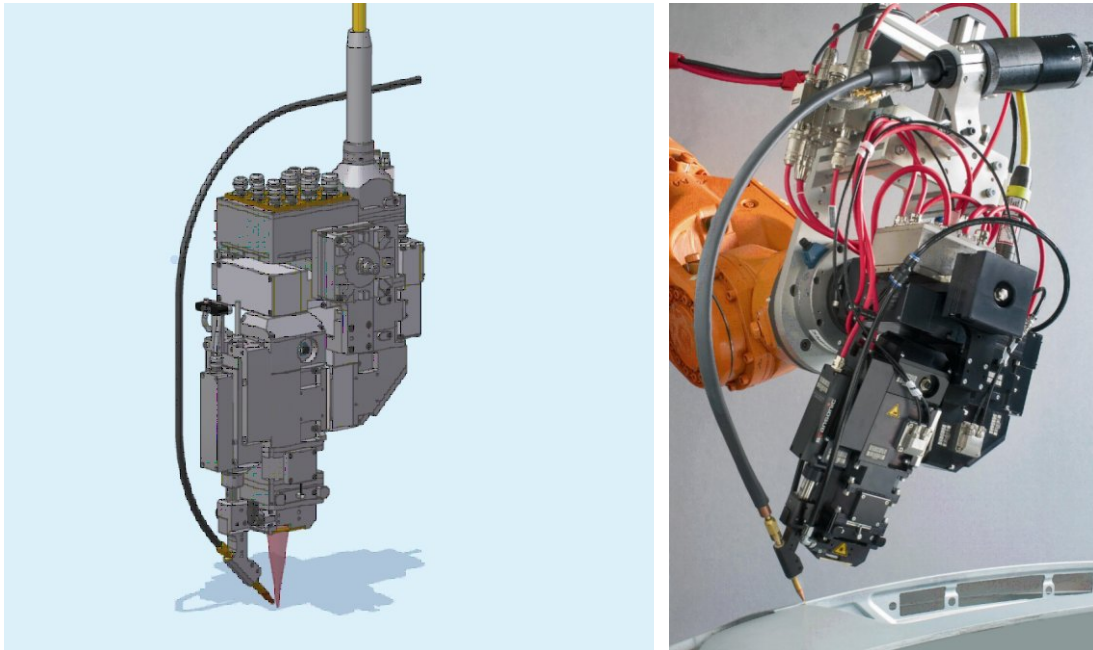


Abb. 1: ALO3 - neueste Generation der Laserköpfe mit integrierter taktiler Nahtführung (Quelle: Scansonic)

Entsprechend des Produktportfolios von Systemtechnik für die Materialbearbeitung hat Scansonic ihre Kernkompetenzen vor allem in:

- Entwicklung, Herstellung und Vertrieb von Mechatronikprodukten
- Lasermaterialbearbeitung
- Taktile und optische Nahtführung für Laser- und Lichtbogenprozesse
- Qualitätskontrolle mit Laserscannern
- Umfangreiche Service- und Schulungsangebote
- Partner für Problemlösungen und Sonderentwicklungen für Automobilindustrie und Mittelstand

Die Firma ist 10 Jahre lang beständig gewachsen. Insbesondere für die taktile Nahtführung gab es zahlreiche Neuerungen. Mittlerweile behauptet sich die 3. Generation der Laserbearbeitungsköpfe mit integrierter taktiler Nahtführung durch den Zusatzdraht auf dem Markt.

2 Ausgangslage

Für das Löten und Schweißen mit Zusatzdraht arbeitet das taktile Nahtführprinzip der ALO sehr zuverlässig. Jedoch wird beim Schweißen nicht immer Zusatzdraht eingesetzt. Es gibt Anwendungen, wo der Zusatzdraht nicht zum Führen des Lasers genutzt werden kann und bei denen auf die optische Nahtführung zurückgegriffen werden muss. In diesen Fällen

werden vor der Schweißoptik in mehr oder weniger großem Abstand vorlaufend Lichtschnittsensoren montiert, die die Stoßposition suchen und Korrekturwerte an die Führungsmaschine übergeben.

Der Einsatz der optischen Sensoren ist immer verbunden mit einem größeren Platzbedarf vor der Schweißoptik und unter Umständen auch seitlich. Das kann bei innen liegenden Stoßverläufen problematisch werden, da die Schweißoptik mit dem vorlaufend montierten Sensor nicht bis in die Ecken geführt werden kann. An Innenseiten von Behältern begrenzen die Behälterwände die möglichen geometrischen Ausdehnungen der Schweißköpfe. Beim Schweißen einer Kante in eine Ecke hinein nimmt eine Kombination von externem Sensor und Schweißoptik zu viel Platz ein, so dass die Kante nicht bis zur Ecke geschweißt werden kann. Nicht selten gibt es auch anlagenbedingte Einschränkungen der vorlaufenden Störkontur.

Weiterhin hat die vorlaufende Messung zur Folge, dass an Stellen starker Richtungsänderungen des Stoßes der Schweißkopf weiter entlang des Stoßes bewegt werden muss und die Naht aus dem Sichtfeld des Sensors gerät. Dieser Fall tritt beispielsweise an nichtlinearen Tailored Blanks auf, wo durch enge Radien schnelle und abrupte Richtungsänderungen der Schweißoptik notwendig werden. Ein rechter Winkel kann mit der herkömmlichen optischen Nahtführung nicht ohne absetzen und umorientieren des ganzen Roboters geschweißt werden.

Es werden immer mehr Bauteile mit 3D-Konturen und Nähten mit engen Radien gebaut. Die Schweißnähte liegen oft auch an schwer erreichbaren Positionen, z.B. tief eingelassen oder auf Innenseiten von Behältern. Es wurde also nach einer neuen Lösung zur Nahtführung ohne Draht gesucht mit den Hauptanforderungen:

- kleine Störkontur
- großer Arbeitsabstand
- integrierter Sensor

3 Lösungsansatz

Ziel des Projekts ist ein Funktionsmuster eines Laserschweißkopfes mit integriertem optischen Sensor, der vorzugsweise kreisförmig um den Schweißpunkt herum messen und die Stoßposition detektieren soll.

Der Aufbau eines solchen Laserschweißgeräts könnte folgendermaßen aussehen:

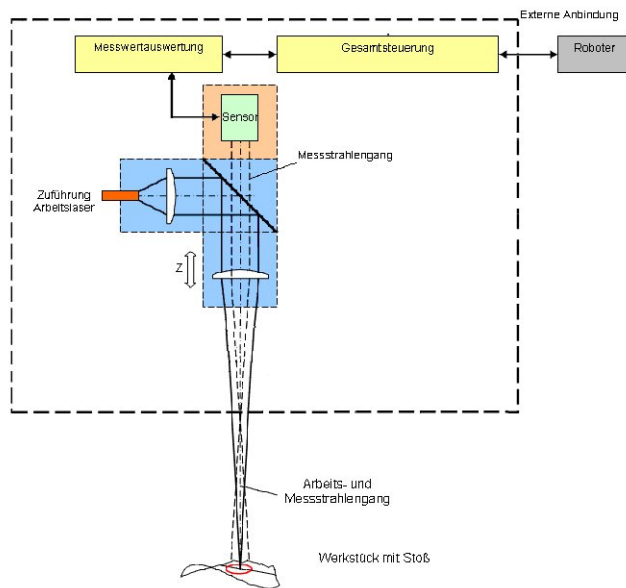


Abb. 2: Prinzipdarstellung eines Aufbaus einer Schweißoptik mit integriertem optischen Ringsensor (Quelle: Scansonic)

Die integrierte Lasertriangulationssensorik soll das Messlicht um den Schweißpunkt herum projizieren, so dass vom Schweißpunkt aus gesehen in allen Richtungen die Umgebung gescannt werden kann. Durch die Aufnahme der Stoßgeometrie vor und hinter dem Schweißprozess kann der zu führende Arbeitspunkt genauer und ohne Signalausfall ausgeregelt werden.

Die zugehörigen Zielparameter der neuen Optik sind:

- großer Arbeitsabstand der Laseroptik vom Bauteil (min. 150mm)
- Bauform volumenminimiert
- Integrierte Sensorik
- Nahtführung über eine Roboterschnittstelle
- Laserleistung bis 8kW
- Mess- und Korrekturbereich allseitig, +/- 10 mm
- Sichere Erkennung von Fügestoßkanten mit 0,6 mm Höhe

4 Projektumsetzung

Die notwendigen Entwicklungsschritte zur Umsetzung der Optik mit integrierter Sensorik sind:

- Entwicklung einer Auskopplung für das Messlicht aus dem Strahlengang des Arbeitslasers und Integration in eine Bearbeitungsoptik
- Anpassung der optischen Komponenten an die verschiedenen Wellenlängen
- Entwicklung und Integration eines Sensors (Kamera und optische Komponenten), der die Abbildung durch die Fokussieroptik des Arbeitslasers bekommt
- Entwicklung und Integration eines Strahlprojektors
- Software zur Bildauswertung und Nahtführung
- Zusammenbau und Tests

Ein großes Risiko bei der Entwicklung besteht im Einfluss der Strahlentkopplung und der Fokussierlinse auf die Abbildung der Kreis-Projektion auf den Kamerachip. Störeinflüsse durch den Arbeitslaser bzw. den Prozess können sich durch unzulässige Erwärmung der optischen Elemente und durch viele im Messbereich fliegende Schweißspritzer ungünstig auf die Kreisprojektion und das Kamerabild auswirken.

Risikobehaftet ist auch die resultierende Messunsicherheit des integrierten Sensors und inwieweit er zur Qualitätskontrolle tauglich ist und letztendlich die Genauigkeit bei der Bestimmung des Arbeitspunktes auf dem Stoß.

Ein weiterer Risikofaktor ist die Kreisprojektion und die anschließende Abbildung durch die Fokussierlinse. Von der Güte der Kreisprojektion hängt letztendlich auch das Messergebnis ab.

4.1 Optikdesign und Simulation

Zunächst wurde an einer Auskopplung des Messlichts aus dem Strahlengang des Arbeitslasers gearbeitet. Das Optikdesign erfolgte iterativ in Abstimmung der geometrischen Bedingungen mittels CAD und optischer Berechnung mittels Raytracing.

Die Auslegung der spektralen Eigenschaften aller Antireflexschichten auf den transmittierenden Elementen, sowie auch der hochreflexiven Schichten der Umlenk-Auskoppelspiegel, erfolgte unter Betrachtung des spektralen Optimums zwischen Arbeitswellenlänge, Projektionswellenlänge, spektraler Empfindlichkeit des Detektors und des möglichen Fremd- und Prozesslichts. Analytische Rechnungen ermöglichten, die optimale Abstimmung von Schichten, Sensor und Projektor aufeinander unter Berücksichtigung der Prozessbedingungen. Neben der Arbeitslaserwellenlänge, die mit hohen Leistungen im Sichtfeld einwirkt, sind beispielsweise thermische Strahlung und Prozessfackel nicht zu vernachlässigen.

Es wurden analytische Untersuchungen mittels Simulationen zur Abschätzung von Auflösung, Lichtausbeute und Messgeschwindigkeit durchgeführt, sowie Berechnungen zur Auslegung der optischen Strahlengänge gemacht. Dabei wurden Möglichkeiten der Realisierung der Projektion betrachtet und mit OPDESIGN simuliert.

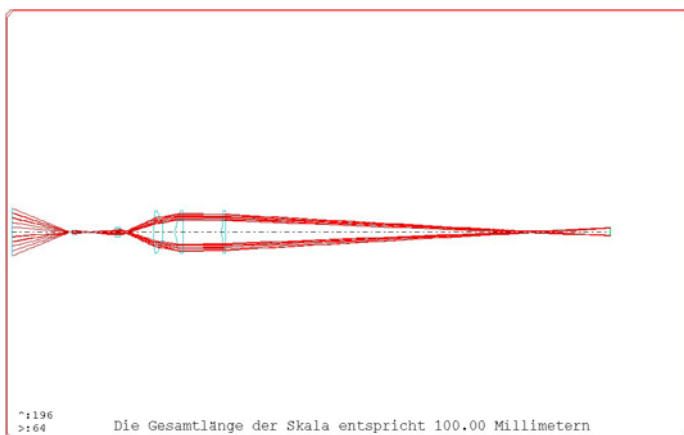


Abb. 3: Simulation des Projektionsstrahlengangs mit OPDESIGN (Quelle: Scansonic)

4.2 Entwicklung und Integration eines Sensors

Hinter der Auskopplung des Messlichts wurde eine CMOS-Kamera in den Laserkopf integriert. Für diese Kamera wurden entsprechend Filter und Objektiv ausgelegt, so dass die Abbildung durch die Fokussieroptik des Arbeitslasers und der Kamera auf die Chipfläche erfolgt. Die Kamerabilder werden durch einen PC und Bildverarbeitungssoftware ausgewertet. In der Bildverarbeitungssoftware sind unter anderem Filterfunktionen enthalten, die Spritzer und Prozessemissionen so weit wie möglich herausfiltern sollen.

4.3 Erste Ergebnisse

Zur Minimierung der oben genannten Risiken und zur Untersuchung der physikalischen Grenzen wurden verschiedene Versuchsaufbauten realisiert. Zunächst wurde dazu eine Koaxiale Linienprojektion durch die Lasermaterialbearbeitungsoptik realisiert. Bei Schweißversuchen mit variierten Parametern wurde die Tauglichkeit des Aufbaus zum Schweißen untersucht.

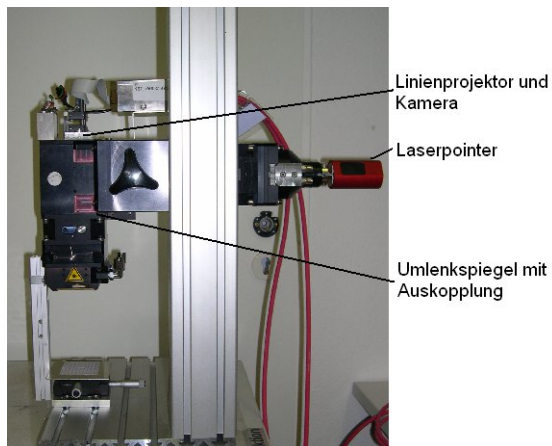


Abb. 4: Versuchsaufbau der Laseroptik mit Kamera und Linienprojektor (Quelle: Scansonic)

Die Funktionen des Sensors sind auf mehrere Baugruppen verteilt. In die Laseroptik integriert sind Kamera, das Objektiv, die Signalvorverarbeitung. Die von der in die Schweißoptik integrierten Kamera aufgenommenen Bilder werden an einen PC übertragen und dort in Echtzeit ausgewertet.

Die Bilder enthalten das Prozessleuchten, die Messlichtprojektion sowie Lichtpunkte durchfliegender Schweißspritzer.

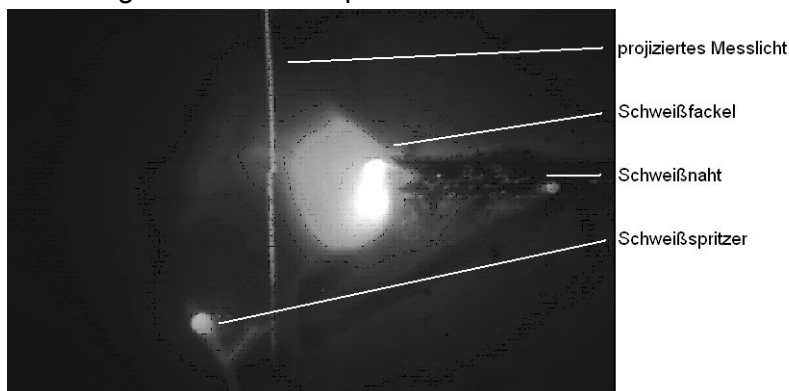


Abb. 5: Bild der in dem Schweißkopf integrierten Kamera (Quelle: Scansonic)

Die Prozessfackel und Schweißspritzer wirken sich mitunter störend auf die Bildauswertung aus. An wenigen Stellen hat der gefilterte spektrale Anteil des Prozessleuchtens eine ähnlich hohe Intensität wie das Messlicht. Hier gilt es, ein Optimum zwischen Leistung des Messlichts und Abstand der Messung zum Schweißpunkt zu finden.

Zur Minimierung der Effekte der Schweißspritzer wurden die Shutterzeiten der Kamera auf unter $50\mu\text{s}$ eingestellt, so dass die schnell fliegenden Spritzer im Bild als Punkte erscheinen. Die Bildverarbeitung filtert diese Punkte als Störungen heraus.

Mit diesem Versuchsaufbau wurden unter anderem folgende Versuche durchgeführt:

- Variation des Lateralwinkels (bis 15°) und des Verdrehwinkels der Optik
- Variation des Stech-/Schleppwinkels ($-10^\circ..+10^\circ$)



Abb. 6: Variation der Orientierungswinkel der Laseroptik (Quelle: Scansonic)

Die Versuche mit dem ersten Aufbau waren erfolgversprechend. Die Orientierungsänderungen bewirkten im Wesentlichen eine Änderung des Schweißprozesses.

Weitere Versuche bezüglich des Triangulationswinkels und der erreichbaren Auflösungen folgen. Danach soll der Projektor für die richtungsunabhängige Triangulation entwickelt werden. Weiterhin ist noch die Software zur Bildfilterung und Stoßerkennung weiterzuentwickeln.

5 Lösungen für die Produktion mit KMU-innovativ

Die Laseroptik mit integrierter Nahtführung kann den Integrationsaufwand für den Bediener in der Produktion bedeutend vermindern – bisher musste ein externer Sensor zur Nahtführung angebaut und zur Schweißoptik ausgerichtet werden. Durch die Kombination beider Komponenten in ein Gerät entfällt dieser Aufwand, da die Sensorik schon optimal auf den Schweißlaser ausgerichtet ist.

Zudem kann mit dieser Optik die Nahtführung an bisher nicht oder nur umständlich erreichbaren Stellen realisiert werden, was zur Verminderung von Aufwand in den Produktionsbetrieben beiträgt. Bei kleinen Radien oder Ecken kann der Schweißvorgang ohne Umorientieren fortgesetzt werden.

Durch die Integration der Sensorik und den großen angestrebten Arbeitsabstand wird nur noch ein Schutzglas für Optik und Sensor gebraucht und durch den großen Abstand die Verschmutzung generell vermindert, so dass die Betriebskosten und der Wartungsaufwand verringert werden.

Durch bessere Technologie in der Produktion soll folgender Kundennutzen generiert werden:

- eine breitere Vielfalt von machbaren Bauteilkonstruktionen (Ecken und Bauteilbegrenzungen stören nicht mehr),
- Zeitersparnis, da die Nahtführung in Ecken und an kleinen Radien ohne Umorientieren möglich ist,
- kürzere Stillstandzeiten und Anlaufzeiten der Produktionsanlage bei der Wartung und Installation, da Sensor und Arbeitslaser schon zueinander justiert sind, und nur noch ein Schutzglas zu wechseln ist,
- geringere Investitions- und Betriebskosten als bei einer herkömmlichen Kombinationslösung aus Sensor und Bearbeitungsoptik.

Dieses Projekt ist ein Beispiel von vielen für Entwicklungen unter KMU-innovativ. Ohne die Förderung hätte das Projekt erst sehr viel später beginnen können. Insgesamt sind unsere Erfahrungen mit KMU-innovativ sehr positiv: Seitens der Projektträger gibt es eine gute und unbürokratische Unterstützung. Mit KMU-innovativ werden Entwicklungen und Forschungsarbeiten in kleinen und mittelständischen Betrieben teilweise erst möglich bzw. intensiviert.

eFormFlow

Intelligente elektronische Formulare als autonome Bausteine eines Product Lifecycle Managements für KMU

Bernd Schmittgall

SAUTER Elektrotechnik GmbH & Co. KG, Bretten

Zusammenfassung

Der Einsatz von Papierformularen zur Steuerung betrieblicher Abläufe ist nach wie vor weit verbreitet. Und dies obwohl IT-Systeme und Email-Kommunikation seit langem in allen Bereichen des wirtschaftlichen und gesellschaftlichen Alltags anzutreffen sind.

Ausschlaggebend hierfür ist sicherlich, dass KMUs die notwendigen hohen Investitions- und Anpassungskosten, wie beispielsweise bei PLM-Systemen (Product Lifecycle Management) üblich, abschrecken und eine berechtigte Skepsis bezüglich der Flexibilität dieser Systeme besteht. Dies war auch die Ausgangslage bei der Firma SAUTER.

Die Zielsetzung des Vorhabens ist, intelligente elektronische Formulare für das Starten und Steuern von Workflow-orientierten Geschäftsprozessen zu nutzen. Diese Formulare agieren als autonome Bausteine und bieten eine mit PLM-Systemen vergleichbare Unterstützung der Entwicklungs- und Produktionsprozesse. Damit sollen insbesondere KMU in die Lage versetzt werden, formularbasierte Abläufe wie IT-gestützte Geschäftsprozesse handhaben zu können, ohne hohe Investitions- und Anpassungskosten tätigen zu müssen und gleichzeitig gravierende Eingriffe in erprobte Abläufe zu vermeiden.

Ein papierloses elektronisches Formular wird mittels Email transportiert und kann somit unternehmensübergreifend mobile Benutzergruppen in den Prozess einbinden. Alle für die Steuerung des Prozesses notwendigen Informationen sind im elektronischen Formular eingebettet. Ein Web-basierter Status-Monitor informiert zu jedem Zeitpunkt über den aktuellen Zustand des Formulars. Der Status-Monitor ist Bestandteil der vorhandenen elektronischen Infrastruktur (Intranet) und bedarf keines zusätzlichen, aufwändigen IT-Systems.

1 Einleitung

Die Firma SAUTER Elektrotechnik GmbH & Co. KG ist in ihrem Marktsegment erfolgreich tätig. Alle maßgeblichen Geschäftsprozesse sind bekannt und beschrieben. Bei der Firma SAUTER ist ein zertifiziertes Qualitätsmanagementsystem nach ISO 9001 im Einsatz.

Trotz detaillierter Prozessbeschreibungen und einer durch unsere Kunden anerkannt hohen Qualität traten in der Vergangenheit Probleme auf wegen

- Terminverzug
- Fehlenden oder verspäteten Informationen zum Projektstatus
- Fehlerhaften Dokumentvorlagen

Besserung versprechen PLM-Systeme die Prüf- und Freigabeabläufe wichtiger Entwicklungs- und Produktionsprozesse steuern und verwalten helfen. Diese erfordern jedoch hohe Investitions-, Anpassungs- und Betriebskosten [1],[2]. Die im Einsatz befindlichen Papierformulare stoßen hinsichtlich Effizienz und Transparenz an ihre Grenzen und lassen sich in die vorhandene IT-Landschaft nur unzureichend integrieren.

So entstand die Idee zur Entwicklung intelligenter, elektronischer Formulare, dem Projekt eFormFlow und damit einer auf die Bedürfnisse von KMUs zugeschnittenen Lösung.

Zur Weiterentwicklung der Idee nahm die Firma SAUTER Kontakt zu Experten auf dem Gebiet elektronischer PDF-Formulare (intarsys consulting GmbH) und PLM (INOVA Engineering GmbH) auf.

2 Projektpartner

2.1 SAUTER Elektrotechnik GmbH & Co. KG (SAUTER)

SAUTER (gegr. 1948, 150 Mitarbeiter, ca. 17 Mio € Umsatz) ist auf den Gebieten Gebäudetechnik, IT-Netzwerke und Sicherheitssysteme tätig. Insbesondere komplexe Vorhaben mit einem hohen Aufwand bei Projektierung und Projektmanagement im Fachbereich Brandschutz- und Brandmeldeanlagen bilden die Stärke von SAUTER. Zu den Kunden der Firma SAUTER zählen u.a. Audi, Blanco, BSH, Deutsche Flugsicherung, Europäisches Patentamt, Porsche, SEW-Eurodrive.

2.2 intarsys consulting GmbH

INTARSYS (gegr. 1996, 20 Mitarbeiter, ca. 2 Mio € Umsatz) entwickelt und integriert Produkte auf dem Gebiet der elektronischen Dokumente und Formulare und ist damit ein führender Anbieter von PDF-Technologie in Deutschland. Basierend auf der PDF-Plattform bietet INTARSYS Erweiterungen für sämtliche Arten der elektronischen Signatur (fortgeschritten bis qualifiziert, biometrisch) an sowie Produkte und Lösungen für die normgerechte Langzeitarchivierung von Dokumenten. Grundlegendes Ziel sind möglichst medienbruchfreie Abläufe bei Kunden und Dienstleistern, zu denen zahlreiche Sparkassen, Privatbanken, Energieerzeuger, Trust Center, die Deutsche Post, der Thieme Verlag bis hin zu Kliniken und Polykliniken zählen.

2.3 INOVA Engineering GmbH

Die INOVA (gegr. 1998, 4 Mitarbeiter, ca. 300 Tsd € Umsatz) arbeitet mit führenden Anbietern von PLM-Systemen und IT-Consulting-Firmen zusammen und beliefert diese mit Softwarewerkzeugen für Design, Analyse, Anpassung und Dokumentation von PLM-Systemen. Der Schwerpunkt liegt dabei auf der rechnerbasierten, integrierten Beschreibung von Aufbau- und Ablauforganisation in Form von Prozess- bzw. Objektmodellen. Zu den Kunden der INOVA zählen u.a. 3M, Adidas, Boeing, Bosch, General Electric, MAN, Motorola, Linde, Porsche und T-Systems.

3 Idee und Konzept

Mehrere Monate trafen wir uns zu regelmäßigen Arbeitssitzungen, diskutierten aktuelle und zurückliegende Projekte und erarbeiteten mögliche Lösungsansätze.

Die gemeinsamen Vorarbeiten führten zu der Erkenntnis, dass intelligente, elektronische Formulare einen eingebetteten Workflow beinhalten sollten, der durch grafische Modellierung einfach beschrieben und ohne Programmierkenntnisse geändert bzw. angepasst werden kann. Ein Status-Monitor sollte wie bei einem Leitstand über alle im Umlauf befindlichen Formulare und deren aktuellen Zustände informieren. Somit sollte eine Art Frühwarnsystem entstehen.

Zur Überprüfung der Umsetzbarkeit unserer noch jungen Projektidee verabredeten wir die Entwicklung eines Prototyps. Dabei nutzten wir vorhandene Softwarekomponenten und erweiterten diese um entsprechende Module und Schnittstellen bzw. entwickelten einen ersten Statusmonitor. Dieser „Laborversuch“ verlief erfolgreich, sodass wir das Projekt eFormFlow starteten.

Abb. 1 zeigt die Architektur mit den wichtigsten Komponenten von eFormFlow. Deutlich hervorgehoben sind die Grundelemente „BPM-Modellierer“, „Formular-Designer“ und „Monitor“ als Basiskomponenten von eFormFlow. Die Kopplung erfolgt über standardisierte Schnittstellen und Austauschformate.

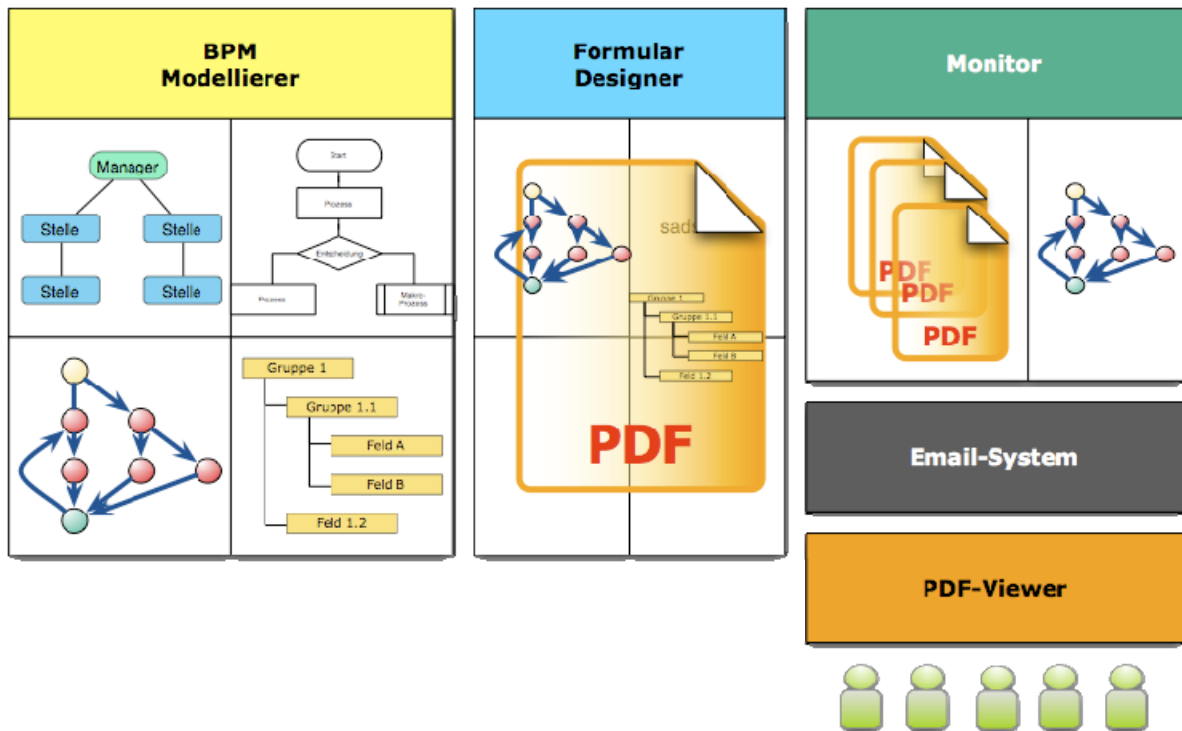


Abb. 1: Schema der Architektur von eFormFlow

Um ein eFormFlow-Formular (Abb. 2) zu erstellen, muss zuerst der entsprechende Geschäftsprozess analysiert und mit dem eFormFlow-Prozess-Modellierer spezifiziert werden. Der Prozessablauf mit den einzelnen Tätigkeiten, Zuständigkeiten und Informationsflüssen wird dazu grafisch beschrieben. Programmierkenntnisse sind nicht notwendig.

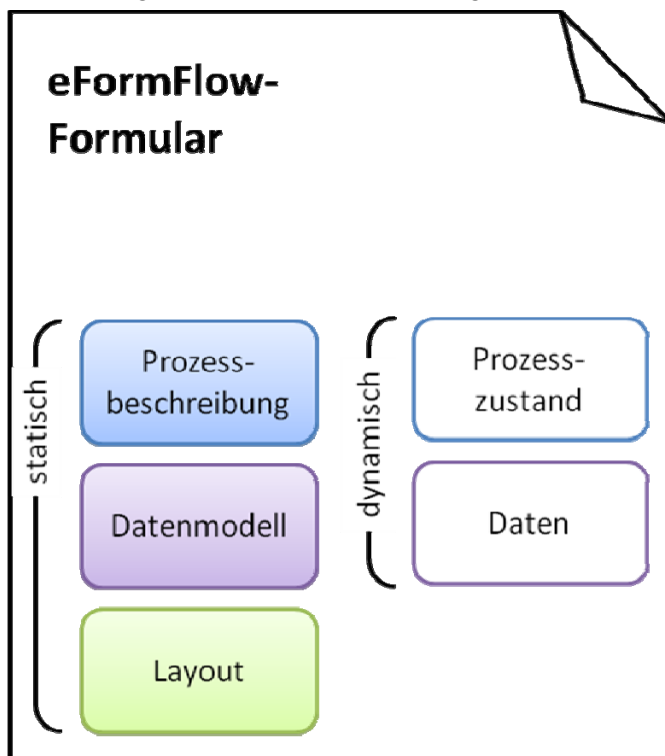


Abb. 2: Bestandteile eines eFormFlow-Formulars

Im Modellierer wird zudem auch das Datenmodell des Formulars festgelegt und mit dem Prozessablauf verknüpft.

Der Prozessablauf und das Datenmodell werden als statische Information im PDF-Dokument jedes eFormFlow-Formulars hinterlegt und steuern später dessen Bearbeitung. Das Layout des PDF-Dokuments bestimmt die Präsentation der einzelnen Formularedaten.

Zum Starten eines Prozesses wird eine entsprechende Formularvorlage aufgerufen und aktiviert. Ein aktiviertes Formular wird entsprechend der eingebetteten Ablauflogik ausgefüllt. An festgelegten Punkten der Ablauflogik finden Statuswechsel statt, indem durch eine digitale Signatur beispielsweise eine Freigabe, Genehmigung oder Rückweisung erfolgt. Mit jedem Statuswechsel wird der aktuelle Status des Formulars an den Status-Monitor gesendet. Außerdem wird ein Duplikat des Formulars in exakt diesem Status im Status-Monitor abgelegt. Dadurch informiert der Status-Monitor zeitnah über alle im Umlauf befindlichen Formulare und ihren jeweiligen Bearbeitungszustand sowie die anstehenden Bearbeitungsschritte.

Der Zugriff auf den Status-Monitor erfolgt über eine URL und zur Visualisierung ist lediglich ein Webbrowser erforderlich. Die URL kann Bestandteil des Intranets des KMU sein.

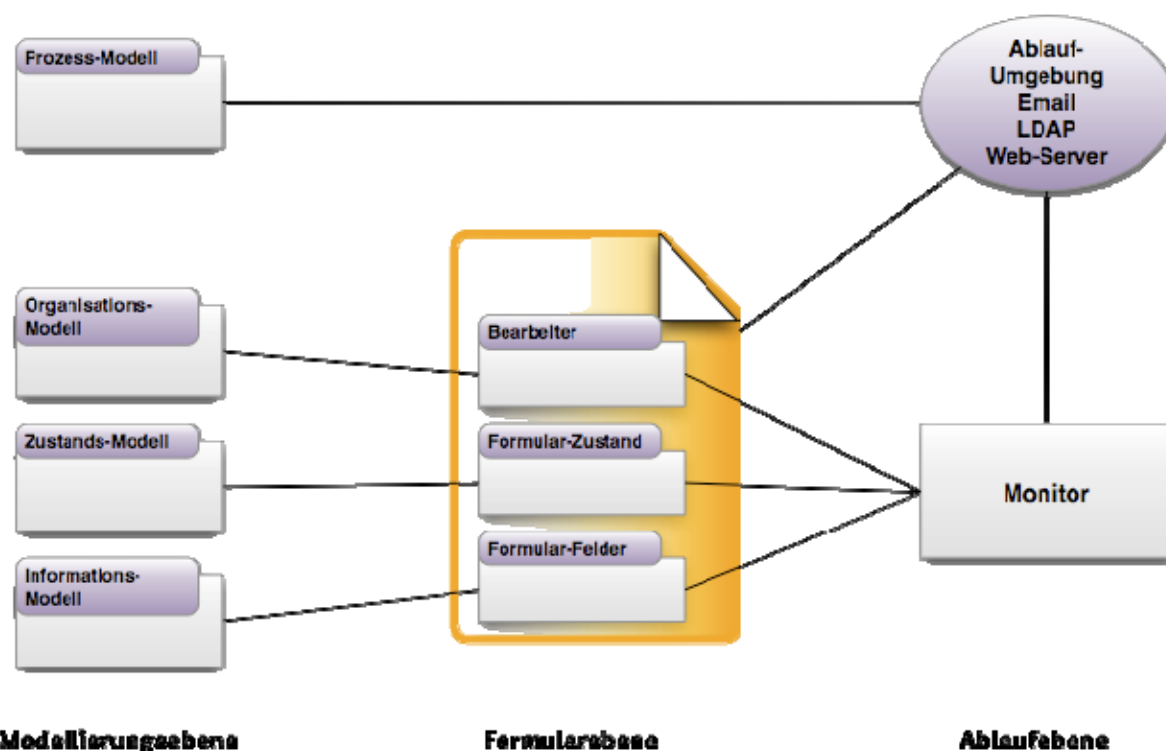


Abb. 3: Verknüpfung der Modellebenen

Abb. 3 vermittelt die Querbeziehungen zwischen den Modellen bezogen auf die unterschiedlichen Beschreibungs- und Modellierungsebenen. Entscheidend ist der streng modellgetriebene Ansatz, durch den aus dem Modellierungswerkzeug heraus verschiedene Perspektiven (Organisations-Stellen und Rollen-Modell, Prozessmodell, Zustandsübergangsmodell, Informations- und Datenmodell) erzeugt und automatisiert in Formularvorlagen übernommen werden.

Die daraus entstehenden intelligenten, d.h. zustands-, bearbeiter- und ablaufbewussten Formulare können dann über Grundinfrastrukturen wie Email-Systeme etc. verteilt werden. Die Organisationsinformationen werden in handelsübliche Verzeichnissysteme (Active Directory, LDAP) übernommen, während die Formularbearbeitung mit Hilfe eines Client-Werkzeugs (PDF Viewer) durchgeführt wird, das in der Lage ist, die intelligenten Bestandteile des Formulars korrekt zu interpretieren. Bei jedem Bearbeitungsschritt, d.h. bei jeder aktiven Phase der Bearbeitung sendet das Formular seinen aktuellen Zustand an den Monitor, um so den Prozessschritt zu dokumentieren. Erreicht wird dadurch eine hohe Transparenz über den Bearbeitungszustand von Dokumenten und Formularen ohne die Notwendigkeit einer zentralen Workflowsteuerung.

4 Anwendungsszenario

Die Entwicklung der eFormFlow Softwarekomponenten sollte sich an einem möglichst repräsentativen Geschäftsprozesses mit übertragbaren Prozessmustern orientieren. Wir wählten als Referenzprozess für das eFormFlow-Projekt den Aufbau und die Inbetriebnahme von Brandmeldeanlagen (BMA) der Firma SAUTER. Der nach einer detaillierten Analyse beschriebene BMA-Prozess umfasst derzeit 10 Projektphasen.

Abb. 3 zeigt exemplarisch stark verkleinert den Brandmeldeanlagen-Prozess nach der ersten Analysephase (der Originalausdruck des Prozesses übersteigt die Größe DIN A0 deutlich) und ist der ersten von 15 Seiten des aktuellen BMA-Formulars gegenübergestellt.

Die in Prozessmodulen bzw. Prozessschritten beschriebenen Tätigkeiten stehen in direktem Zusammenhang mit den Gruppen von Datenfeldern der eFormFlow-Formulare.

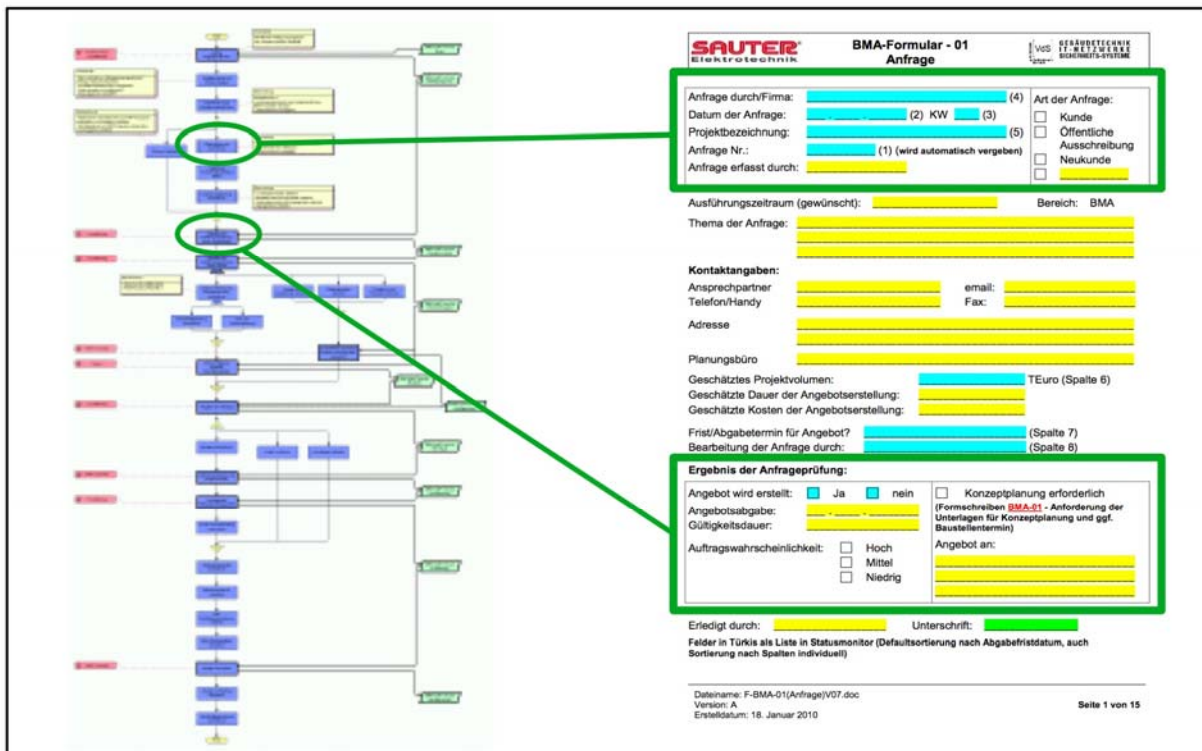


Abb. 3: Grafisches Modell des Brandmeldeprozesses

Aus der Analyse des BMA-Prozesses der Firma SAUTER wurden konkrete und praxisnahe Anforderungen an Prozessmodellierung, Formulare, Systemkomponenten zur Formularbehandlung und Schnittstellen abgeleitet.

Die Prozessbeschreibung wurde konzeptionell nach Modell und graphischer Darstellung unterschieden um maximale Flexibilität zu ermöglichen. Die Spezifikation und Realisierung erfolgte mithin nach dem bewährten MVC-Prinzip (Model-View-Controller). Das aus einer dem Projekt vorausgegangenem Machbarkeitsstudie vorhandene Prozessmodell wurde überarbeitet und auf das für eFormFlow Notwendigste reduziert. Dezentrale Aspekte der eFormFlow-Idee - wie die weitestgehende Integration von Daten und Intelligenz in den eFormFlow-Formularen - waren maßgebend. Zentralität wurde weitestgehend vermieden, zeigte sich jedoch für bestimmte Teilfunktionalitäten als unvermeidlich, z.B. bei der Unterstützung von parallelen Formularbearbeitungen.

Die graphische Prozessbeschreibung erfolgt durch einen spezifisch entwickelten Prozess-Editor und orientiert sich an der Business Process Modeling Language (BPML) [6]. Diese wurde von der Business Process Management Initiative (BPMI) [3],[7] spezifiziert. Sie bietet einen Ansatz für die Standardisierung von interorganisatorischen Geschäftsprozessen, die unterschiedlichste Anwendungen, Abteilungen und Geschäftspartner umfassen [4],[5],[8].

Zusätzlich ergaben sich besondere Anforderungen wie Auto-Layout und integrierte Beschreibung von Formularfeldern als Bestandteil der Prozessbeschreibung:

Das Formularmodell kann im eFormFlow-Modellierer bereits halbgraphisch (Baumstrukturen) editiert werden. Semantische Anforderungen umfassen z. B. einen klar erkennbaren, automatischen Bezug zu abgebildeten Prozessschritten. Der Modellierer stellt auf Knopfdruck folgende Schnittstellendaten für den Formulardesigner bereit:

- Prozessbeschreibung
- Formularstruktur,
- Bezug zu Formular-Schablone
- sowie alle für den Ablauf relevanten Organisationsdaten.

Der Formulardesigner dient als Instrument zur prozessspezifischen Gestaltung flexibler Oberflächen. PDF-Formulare nehmen in eFormFlow gleichermaßen die Rolle des Informationsträgers wie auch die der Erfassungsmaske für prozessrelevante Daten wahr. Das zugrunde liegende Portable Document Format (PDF) [9] wird in der Version 1.7 unterstützt, das mittlerweile als ISO 32000-1 verabschiedet wurde und somit ein Maximum an Kompatibilität und Zukunftssicherheit verspricht.

Der Formulardesigner stellt das Bindeglied zwischen dem abstrakten Prozessmodell und dem finalen Arbeitsdokument dar. Er bettet das Prozessmodell in BPM-Notation in das Dokument ein und bietet eine einfache, konsistente Übertragung der im Datenmodell definierten Felder auf eine Formularvorlage. Für die Darstellung relevante, über das Modell hinausgehende Erweiterungen an Formularfeldern (z.B. Formatierung, Eingabepfung) lassen sich hier bequem vornehmen. Das Werkzeug bietet darüber hinaus die Möglichkeit, Feldern spezielle Funktionen zuzuweisen. So lassen sich diese für die Erfassung von Prozessmetadaten und Planlaufzeiten aufbereiten sowie als Prozessattribute auszeichnen, die zur Auswertungsunterstützung mit einem zentralen System synchronisiert werden.

Ein erweiterter PDF-Viewer unterstützt die Interpretation der eingebetteten Prozessdaten. Er führt den Anwender durch die für seine Tätigkeit relevanten Teile des Formulars, erlaubt die Definition und Anpassung von Plandaten (Solltermine, Vorlaufzeiten) und steuert die abschließende Weitergabe des Formulars an den zuständigen Folgebearbeiter. Dieser Vorgang kann vollständig dezentral durchgeführt werden, lediglich in parallelen Teilprozessen wird die Erreichbarkeit des Statusmonitors zur Synchronisation der laufenden Aktivitäten vorausgesetzt. Eine Verbindung zum Statusmonitor bietet jedoch auch den Vorteil, dass Statusinformationen und Attributwerte verzögerungsfrei mit dem zentralen System abgeglichen werden können.

Der Statusmonitor bietet eine Übersicht der laufenden und historischen Prozesse. Zu jedem Prozess lassen sich Detail- und Verlaufsdaten anzeigen, die durch graphische Unterstützung schnell und direkt über Fortschritte und evtl. Terminabweichungen informieren (Abb. 4). Der zugrunde liegende Datenbestand kann für weitere, spezifische Auswertungen herangezogen werden.

5 Projektstand und Ausblick

Alle zuvor beschriebenen Komponenten wurden in 2009 als Prototypen entwickelt und befinden sich derzeit im Testbetrieb. Parallel zur Entwicklung der Softwareprototypen erweiterten wir die Analyse des BMA-Prozesses um die Projektphasen Anfrage und Angebot. Da sowohl bei Anfragen als auch bei Angeboten im Bedarfsfall Prozessschritte des BMA-Prozesses vorgezogen werden, ergab sich ein beträchtlicher Mehraufwand bei Prozessbeschreibung und Formularentwurf. Außerdem wurden eine Vielzahl den Prozess begleitender Dokumente (Briefe, Protokollvordrucke, Arbeitsanweisungen, Checklisten) erarbeitet. Diese sind wie der Statusmonitor durch eine URL vom Formular aus aufrufbar und somit integraler Bestandteil des aktuellen Gesamtprozesses.

Die Anforderungen für diese Erweiterungen leiteten wir aus den Erfahrungen aktueller Projekte ab. Wir sind sicher das die vorliegende Prozessdokumentation somit ein hohes Maß an Allgemeingültigkeit aufweist und somit zur Übertragbarkeit der Projektergebnisse beiträgt.

Da ein Großteil der erarbeiteten Formulare und Dokumente bereits seit Mitte vergangenen Jahres in Papierform mit Erfolg angewendet wird, erwarten wir weitere positive Ergebnisse aus dem derzeit laufenden Testbetrieb.

Parallel zu anstehenden Überarbeitungs- und Anpassungsarbeiten ist beabsichtigt weitere Prozesse durch den Einsatz von eFormFlow zu unterstützen. Außerdem könnten wir uns zukünftig eine Einbeziehung externer Stellen (wie beispielsweise beim BMA-Prozess die Feuerwehr) vorstellen.

Literatur:

- [1] Arnold, V.; Dettmering, H.; Engel, T.; Karcher, A.: Product Lifecycle Management beherrschen – Ein Anwenderhandbuch für den Mittelstand; Berlin, Springer Verlag, 2005
- [2] Abramovici, M.: Future Trends in Product Lifecycle Management (PLM), The Future of Product-Development, Proceedings of the 17th CIRP Design Conference, Springer, 2005
- [3] Homepage von BPMI; <http://www.bpmi.org>
- [4] Scheer, A.-W.; Grieble, O.; Hans, S.; Zang, S.: Geschäftsprozessmanagement – The 2nd wave in: Information Management & Consulting, Sonderausgabe 2002, S. 9-15; Saarbrücken: imc information multimedia communication AG, 2002
- [5] N.N.: Business Process Modeling Notation. Business Process Management Initiative Version 1.0 – May 3, 2004 <http://www.bpmn.org/Documents/BPMN%20V1-0%20May%203%202004.pdf> vom 07/2006
- [6] Wikipedia http://de.wikipedia.org/wiki/Business_Process_Modeling_Language
- [7] N.N.: Business Process Execution Language for Web Services, Version 1.1 <http://ifr.sap.com/bpel4ws/BPEL%20V1-1%20May%205%202003%20Final.pdf>, Stand: 07/2006
- [8] OMG BPMN 1.2 – Final Adopted Specification, <http://www.omg.org/spec/BPMN/1.2/>
- [9] Adobe Systems Inc. – Portable Document Format – Part 1: PDF 1.7, First Edition, http://www.adobe.com/devnet/pdf/pdf_reference.html

Erhöhung der Liefertreue bei mittelständischen Maschinenbauern – Beispiel eines Projektes aus dem 7. EU - Forschungsrahmenprogramm

Dipl.-Wi.-Ing. Tobias Brosze

FIR – Forschungsinstitut für Rationalisierung e.V. an der RWTH Aachen

Zusammenfassung

Die Beschaffung und Bereitstellung von Fremdmaterial erfüllt eine wichtige Dienstleistung für die innerbetriebliche Wertschöpfung. Die Ausweitung der Unternehmenstätigkeiten auf die zunehmend turbulenter werdenden globalen Kunden- und Lieferantenmärkte hat die Anforderungen an die Beschaffungslogistik in den letzten Jahren stark erhöht. Die daraus entstandene Notwendigkeit zur Neuausrichtung von Einkauf und Materialwirtschaft wird forschungsseitig durch nationale wie internationale Projekte unterstützt. Ein äußerst erfolgreiches Projekt, das mit Mitteln des BMBF über den Projektträger PTKA gefördert wurde und dessen Ergebnisse mittlerweile weit verbreitet sind und von vielen Unternehmen des Maschinen- und Anlagenbaus zur Beschaffungsprozessoptimierung genutzt werden, ist myOpenFactory. Innerhalb dieses Verbundprojektes wurde ein Standard für den überbetrieblichen Datenaustausch über das Internet entwickelt. Die dabei entstandene webbasierte Integrationsplattform ist speziell für die Auftrags- und Projektabwicklung kleiner und mittelständischer Unternehmen des Maschinen- und Anlagenbaus geeignet. Um diese Ergebnisse auch international zu verbreiten und in der konzeptionellen Tiefe auszubauen, wurde mit „InTime“ ein EU-Forschungsprojekt beantragt. Aufsetzend auf den Ergebnissen und der softwaretechnischen Infrastruktur von myOpenFactory geht „InTime“ der Frage nach, wie man die Liefertermintreue zu einer bewert- und verhandelbaren Größe des Beschaffungsmanagements entwickeln kann. Insofern können myOpenFactory und „InTime“ als Leuchtturmprojekte erfolgreicher Forschungsinitiativen gelten, aus denen sich Empfehlungen für die Vorbereitung, Beantragung und Durchführung nationaler wie internationaler Projekte ableiten lassen. Im Rahmen der „Lessons learned“ muss dabei insbesondere die Wichtigkeit einer professionellen Antragstellung hervorgehoben werden, bei der eine stringente Koordination und Leitung durch den Projektkoordinator erfolgskritisch ist. Hier sollte das Unterstützungsangebot der nationalen Kontaktstellen sowohl hinsichtlich der administrativen, wie auch der inhaltlichen Gestaltung aktiv in Anspruch genommen werden. Dies sind allerdings nur zwei einer Reihe von Faktoren, die dazu beitragen, die Erfolgswahrscheinlichkeit zu erhöhen und letztlich von den Chancen einer Projektbeteiligung, wie dem Zugang zu Innovationen oder dem Aufbau eines europäischen Netzwerkes profitieren zu können.

1 Mangelnde Liefertermintreue im Maschinen- und Anlagenbau

Aus den kundenseitig geforderten, zunehmend kürzeren Lieferzeiten und dem in den vergangenen Jahren kontinuierlich gestiegenen Fremdbeschaffungsanteil resultieren erhebliche Anforderungen an die Beschaffungslogistik [4]. Heute müssen viel mehr Bedarfspositionen bei einer größeren Anzahl von Lieferanten in kürzerer Zeit beschafft werden. Dieser Koordinationsaufwand führt zu wachsenden Problemen bei der Termintreue aber auch verstärkten Konsequenzen durch verspätete Lieferungen. So wurde laut einer Studie zur Beschaffungslogistik im Maschinen- und Anlagenbau, die das Werkzeugmaschinenlabor (WZL) an der RWTH Aachen in Zusammenarbeit mit dem Forschungsinstitut für Rationalisierung (FIR), der myOpenFactory Software GmbH und 110 teilnehmenden Unternehmen des Maschinen- und Anlagenbaus durchführte, im Jahr 2008 durchschnittlich ein Sechstel des Beschaffungsvolumens (15,9%) verspätet angeliefert [2].

Diese Lieferprobleme verhindern den Einsatz von Direktanlieferungskonzepten wie Just-in-Time. Vielmehr wird die Anlieferung des Fremdbezugs zum Ausgleich der auftretenden Terminabweichungen üblicherweise über eine Lagerstufe von der internen Wertschöpfung abgekoppelt. Hierin werden die potenziell auftretenden Planabweichungen der Lieferanten sowie die Fehler der internen Produktionsplanung im Vorfeld als Sicherheitsbestand berücksichtigt. Gerade Einzel- und Kleinserienfertiger, von denen ein Großteil der Gruppe der kleinen und mittelständischen Unternehmen angehört, kämpfen im Resultat mit Beständen von durchschnittlich 20% ihres Umsatzes.

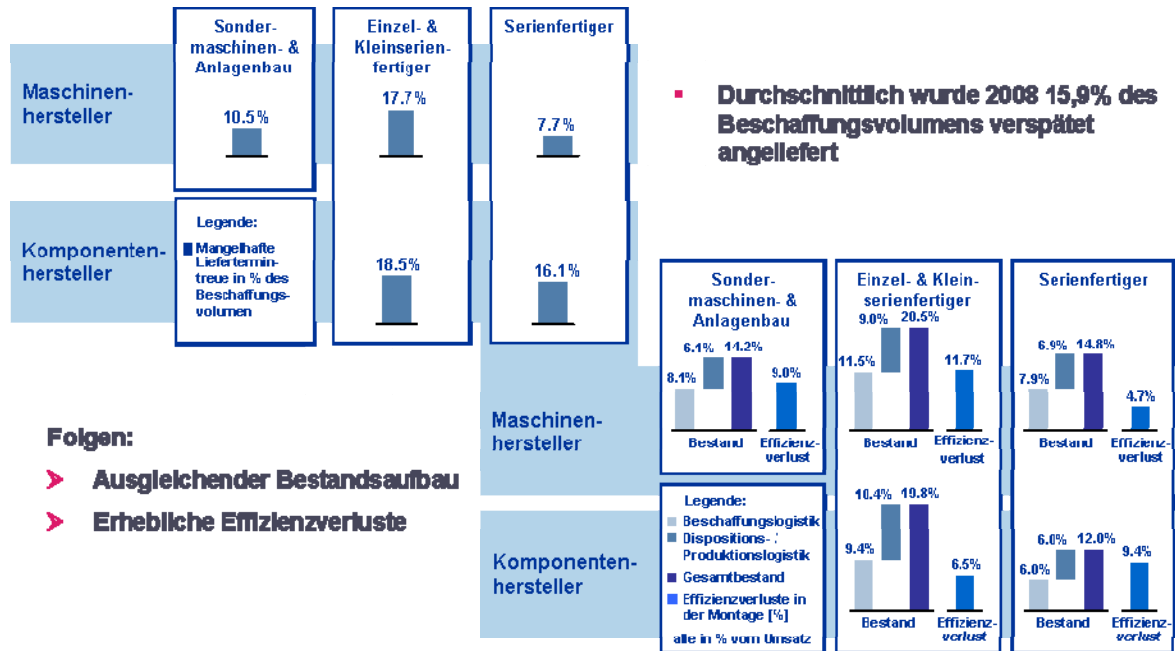


Abb. 1: Mangelnde Liefertermintreue im Maschinen- und Anlagenbau führt zu Bestandsaufbau und erheblichen Effizienzverlusten [2]

Die Materialversorgung der Montageprozesse stellt die höchsten Ansprüche an die Beschaffungslogistik im Maschinenbau. Im Rahmen der Endmontage einer einzigen Maschine oder Komponente müssen häufig hunderte Einzelteile zeitlich getaktet bzw. gleichzeitig angeliefert und eingesteuert werden. Bereits ein einziges Fehlteil kann den Montageprozess verzögern und damit die rechtzeitige Fertigstellung und Auslieferung des Endproduktes an den Kunden gefährden. Neben den Bestandskosten werden daher die Auswirkungen nicht termingerecht gelieferter Teile als wesentliches Problem angesehen. Störungen der Materialversorgung führen zu Produktionsunterbrechungen und Umplanungen. Dies wirkt sich negativ auf die Auslastung von Fertigung und Montage aus und macht kostspielige Sondermaßnahmen erforderlich. Die Folge sind erhebliche Effizienzverluste.

2 Status Quo der Informationstransparenz in der überbetrieblichen Auftragsabwicklung

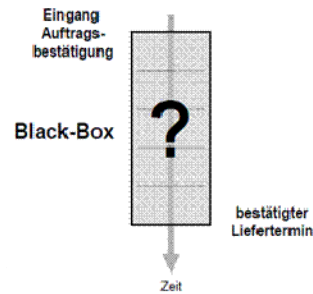
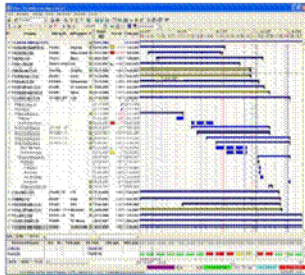
Rund 95% der Unternehmen des Maschinen- und Anlagenbaus setzen ERP-Systeme zur Automatisierung ihrer innerbetrieblichen Auftragsprozesse ein. Dagegen verwendet nur etwa die Hälfte der im Rahmen der Studie Beschaffungslogistik befragten Unternehmen elektronischen Datenaustausch auch für ihre überbetrieblichen Geschäftsprozesse. Und dies sind in erster Linie große bis sehr große Unternehmen, insbesondere Serienhersteller.

Als Gründe für den niedrigeren Einsatz von EDI bei kleinen und mittleren Unternehmen, insbesondere bei Einzel- und Kleinserienfertigern werden die Anfangs anfallenden

Implementierungskosten und der zu geringe Reifegrad der internen Organisation genannt. In Konsequenz ist die Auftragsabwicklung beim Lieferanten im mittelständischen Maschinen- und Anlagenbau im Regelfall immer noch eine „Black Box“. Terminabweichungen der Zulieferer werden erst viel zu spät erkannt – wodurch auch der Maschinenbauer selbst in Lieferverzug kommt.

Innerbetriebliche Planungsgenauigkeit

Planungsgenauigkeit in der Supply Chain



- Permanente Fortschreibung mit einem Aufwand von mehreren Stunden täglich

- Black-Box zwischen Auftragsbestätigung und Lieferung
- Aktualisierung des Liefertermins erfolgt selten

Abb. 2: Innerbetriebliche vs. überbetriebliche Planungsgenauigkeit in der Auftragsabwicklung

Nur durch die Schaffung von mehr Transparenz bei der Lieferterminverfolgung können diese Herausforderungen überwunden werden [5]. Hierfür ist EDI die Grundvoraussetzung. In der Praxis zeigt sich, dass Unternehmen häufig erst über die Einführung und Verwendung von EDI zu einer klar strukturierten Auftragsabwicklung mit ihren Lieferanten kommen [2]. Dieser Veränderungsprozess bringt in der Anfangsphase Effizienz- und Zeitverluste in Disposition und Einkauf mit sich, da die Prozesse eindeutig definiert, Stammdaten gepflegt werden müssen. Nach erfolgreicher Einführung bieten sich jedoch erhebliche Rationalisierungspotentiale in der überbetrieblichen Auftragsabwicklung. Neben den direkten Prozesskosteneinsparungen können durch die Automatisierung der Lieferterminüberwachung nicht mehr nur die A-Teile überwacht werden, sondern auch die kritischen B- und C-Teile. In diesem Zusammenhang bietet EDI also die Basis um Monatgeunterbrechungen und innerbetriebliche Effizienzverluste zu reduzieren.

3 MyOpenFactory als Hebel im Auftragsmanagement

Das Verbundprojekt myOpenFactory wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF) innerhalb des Rahmenkonzeptes „Forschung für die Produktion von morgen“ gefördert und vom Projektträger Forschungszentrum Karlsruhe (PTKA) betreut. Im Rahmen des Projektes wurde von den 13 Partnern des Konsortiums ein neuer Standard – myOpenFactory ist ein freier Standard nach PAS 1074 des DIN – für den überbetrieblichen Datenaustausch über das Internet entwickelt. Neben Unternehmen des Maschinenbaus und den Verbänden des VDMA und des DIN bestand das Entwicklungsgremium maßgeblich aus Unternehmen der ERP-Industrie. Die entstandene webbasierte Integrationsplattform ist speziell für den elektronischen Datenaustausch zur Auftrags- und Projektabwicklung kleiner und mittelständischer Unternehmen des Maschinen- und Anlagenbaus geeignet.

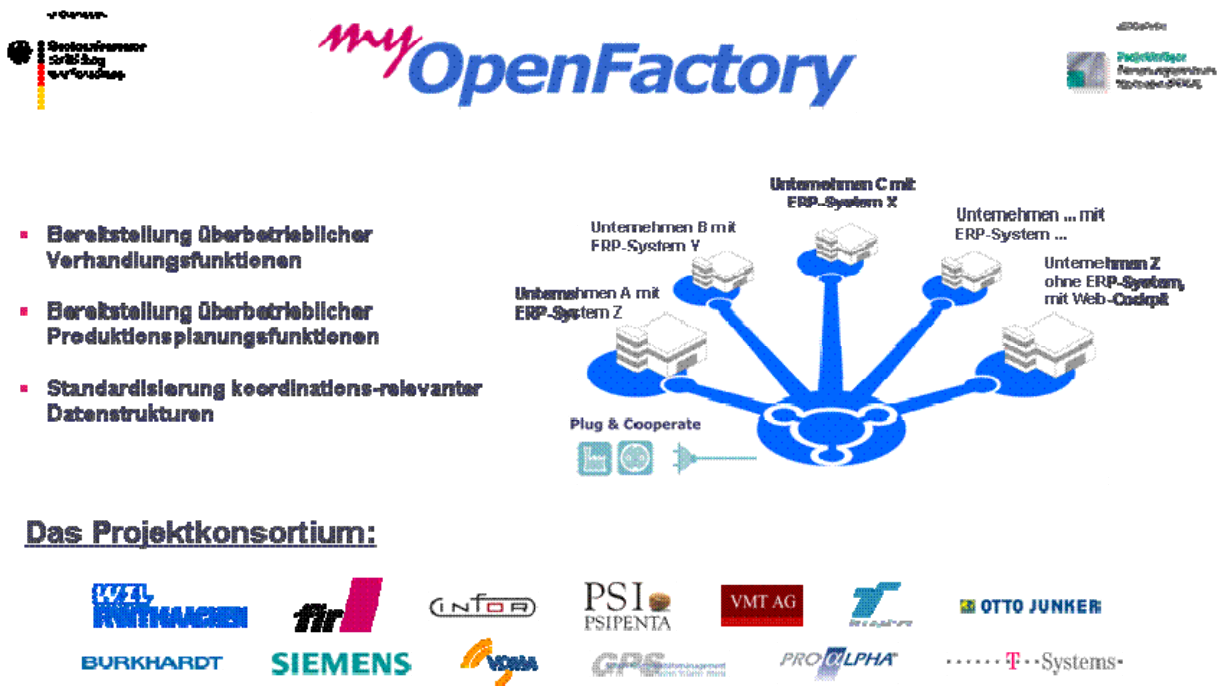


Abb. 3: MyOpenFactory – Initiative und Projektkonsortium

Im Projekt wurde ein Daten- und Nachrichtenstandard sowie eine Koordinationsplattform zur überbetrieblichen Auftragsabwicklung entwickelt, so dass die Problematik der Schnittstellenvielfalt und Dateninkonsistenz zwischen Unternehmen stark reduziert wird. Durch den Standard wird dabei die gegenseitige Kommunikation unterschiedlicher ERP- / PPS-Systeme ermöglicht sowie eine Vielzahl unnötiger und Aufwand verursachender Medienbrüche vermieden. Der klassische Bestellabwicklungsprozess und firmenübergreifende Projekte werden mit myOpenFactory ohne redundante Datenpflege, händische Eingabe und teure EDI-Schnittstellen abgewickelt. Statt vieler unterschiedlicher Schnittstellen wird nur noch eine Schnittstelle vom eingesetzten ERP- / PPS-System zum myOpenFactory-Standard benötigt und die ERP- / PPS-Systeme unterschiedlicher Anbieter können medienbruchfrei und vollautomatisch miteinander kommunizieren. Somit kann die Effizienz und Transparenz der Produktionsplanung und -steuerung sowie der gesamten unternehmensübergreifenden Auftragsabwicklung in hohem Maße gesteigert werden.

Für Unternehmen ohne eigenes ERP - / PPS-System wird zudem ein internetbasiertes Koordinationsinstrument (Web-Cockpit) bereitgestellt, das die erforderlichen Basisfunktionalitäten (z. B. Erstellen und Versenden von Anfragen, Angeboten usw.) bietet. Der innerhalb des Projektes entwickelte Standard ermöglicht dadurch auch Kleinstunternehmen eine kostengünstige und einfache Partizipation an der integrierten überbetrieblichen Auftragsabwicklung.

Bereits im Verlauf des Forschungsprojekts wurden dabei die Weichen für eine dauerhafte Etablierung des neuen Standards in der Industrie gestellt. Zu diesem Zweck wurden aus dem Projekt heraus u. a. die myOpen-Factory GmbH sowie die myOpenFactory eG gegründet, die für die weitere Entwicklung und Pflege des Standards sowie dessen stetige Verbreitung sorgen. Gleichzeitig wurde die Anwendbarkeit der entwickelten Lösung stetig in den Anwender- und Softwareunternehmen des Konsortiums geprüft. So konnten noch während der Projektlaufzeit die ersten Erfolgsgeschichten geschrieben werden, indem die überbetriebliche Auftragsabwicklung innerhalb des Projektkonsortiums beispielsweise zwischen Siemens und Burkhardt über myOpenFactory implementiert wurde. Diesem

Beispiel folgten mit dem Ende der Projektlaufzeit schnell kleinere und mittelständische Unternehmen außerhalb des Konsortiums, sowie weitere große Zulieferer wie Bosch Rexroth, Würth und die Festo AG.

4 “InTime – delivery in non-hierarchical manufacturing networks“

Auf dieser Basis einer effizienten und automatisierten Kommunikation durch myOpenFactory setzt das EU-Forschungsprojekt „InTime“ auf. In einem Konsortium aus 12 europäischen Partnern adressiert das Projekt die Problematik der mangelnden Liefertermintreue mit dem Fokus auf die typischerweise heterarchischen und von kurzfristiger Zusammenarbeit geprägten Netzwerke des Maschinen- und Anlagenbaus. Ziel des Projektes ist es, die Liefertermintreue zu einem bewert- und verhandelbaren Bestandteil der Kunden-Lieferantenbeziehung zu machen.

Heute werden nur die teuersten und kritischsten Teile einem manuellen Monitoring hinsichtlich des Produktionsstatus beim Zulieferer unterzogen. Und selbst bei diesen Teilen werden Vertragsstrafen meist völlig unabhängig von der tatsächlichen Höhe potentieller Kosten eines Lieferverzugs festgesetzt. Grund hierfür ist in erster Linie die mangelnde Kenntnis über die direkten und indirekten Kosten einer verspäteten Lieferung, die sich beispielsweise in vorgehaltenen Sicherheitsbeständen, notwendigen Umplanungen in der Produktion des Kunden, Produktionsstillstand oder Überstunden oder auch im schlechtesten Fall darin niederschlagen, dass der Kunde selbst seinen Liefertermin nicht halten kann.

Gleichzeitig fördert gerade die heterarchische Struktur der Unternehmensnetzwerke des Maschinen- und Anlagenbaus, in der durch Macht legitimierte Steuerungsorgane fehlen und mangelnde Transparenz in der Kunden-Lieferantenschnittstelle besteht, ein opportunistisches Verhalten auf Seite der Zulieferer. Ohne die Vorgabe von weiteren Bezugsgrößen verfolgen die Lieferanten die Maximierung ihrer eigenen Output-Leistung. Die Kunden-Liefertreue findet dabei gerade vor dem Hintergrund der oft projektbezogenen Zusammenarbeit eher geringe Berücksichtigung.



Abb. 4: Notwendigkeit neuer Supply Chain Management-Konzepte in den nicht-hierarchischen Netzwerken des Maschinen- und Anlagenbaus

Zur Erhöhung der Liefertreue ist somit der Einsatz von Werkzeugen des aktiven Lieferantenmanagements unverzichtbar. Ihre gezielte Anwendung im Rahmen der Beschaffungslogistik stellt eine klassische Regelaufgabe dar. Mit der Kunden-Lieferanten-Beziehung als Regelstrecke gibt die Lieferperformance die relevante Regelgröße der Beschaffungslogistik vor. Durch einen Vergleich mit den vertraglichen Rahmenbedingungen, die mit den Zulieferern vereinbart wurden, dient sie als Eingangsgröße für das Regelglied. Dieses besteht aus der Lieferantenbewertung [1] und dem Anreizsystem. Die Lieferantenklassifizierung zeigt als Ergebnis der Bewertung die Handlungsschwerpunkte für die weitere Steuerung der Lieferantenbasis auf. Mit Hilfe von Anreizsystemen kann darauf aufbauend aktiv auf die Leistung der Zulieferer Einfluss genommen werden, wodurch sich ein geschlossener Regelkreis ergibt.

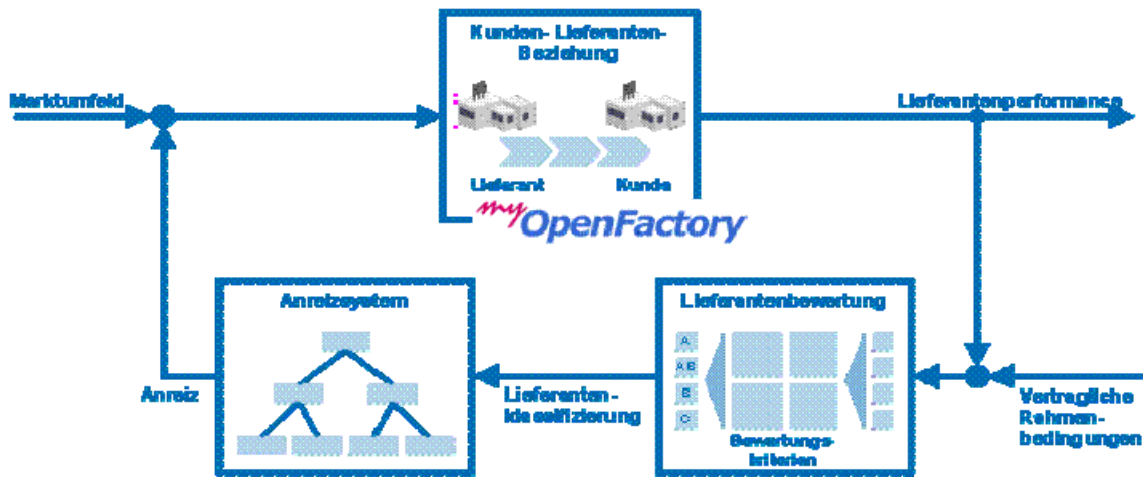


Abb. 5: Regelkreis des Lieferantenmanagements

Innerhalb der Lieferantenbewertung ist es dabei eine zentrale Aufgabe Transparenz über die tatsächlichen Kosten einer verspäteten Lieferung zu schaffen. Alle direkt und indirekt anfallenden Kosten einer verspäteten Lieferung beim Kunden müssen dabei im Rahmen einer standardisierten Bewertungsmethodik zusammengeführt werden. Auf dieser Basis können dann alternative Anreizsysteme aufgebaut und Verhandlungsmethoden entwickelt werden, die die Liefertermintreue explizit als Kriterium beinhalten und mit der nötigen Bedeutung gewichten.

Die praktische Anwendung und Validierung innerhalb des Projektes „InTime“ erfolgt dabei durch drei Piloten, die räumlich in Italien, Spanien und Deutschland verortet sind und sich jeweils aus einem Unternehmen des Maschinen- und Anlagenbaus, einem Verband und einem Institut zusammensetzen. Innerhalb des Projektverlaufs können durch diese Konstellation potentielle länderspezifische Besonderheiten abgeglichen, angepasst und international übertragbare Ergebnisse erzielt werden, die gleichzeitig die Verbreitung der Methodik im Nachgang des Projektes gewährleisten sollen.

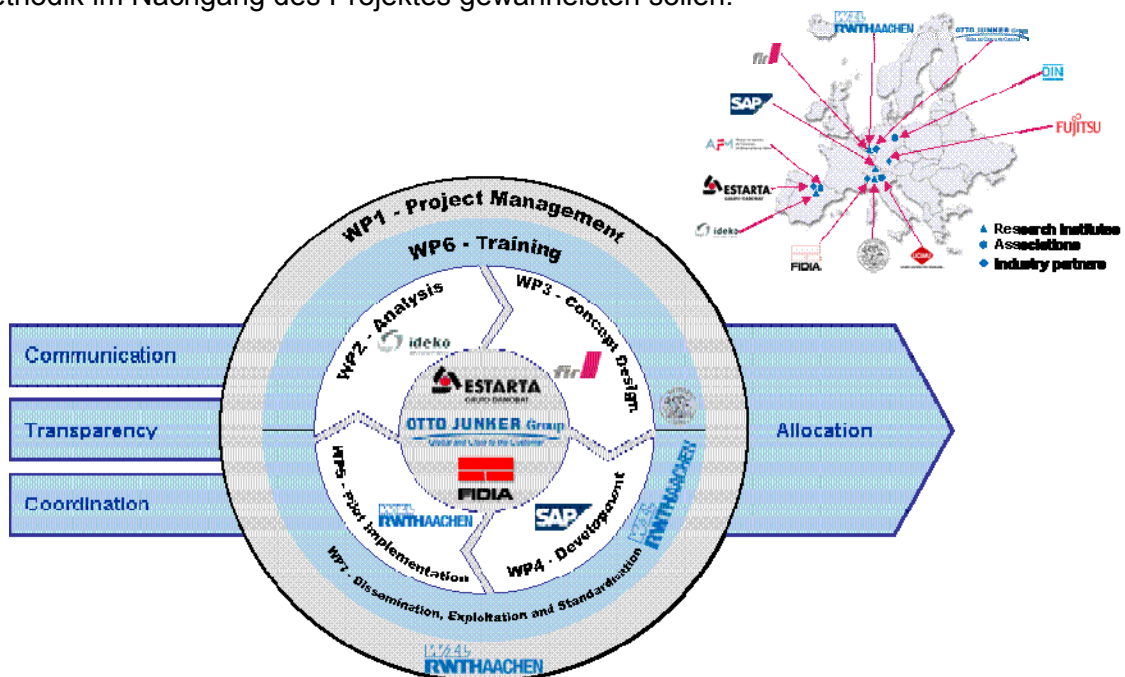


Abb. 6: „InTime“ – Konsortium und Projektstruktur

Abbildung 6 zeigt die Struktur der Arbeitspakete des Projektes. „InTime“ ist in 7 „Workpackages“ (WP's) unterteilt. Dabei fokussieren sich die inhaltlichen Arbeitspakete 2-5 auf die Analyse der Ausgangssituation, das Design der Methodik bzw. des Konzeptes, deren softwaretechnische Umsetzung und die Pilotimplementierungen. Im Projekt „InTime“ ziehen sich dabei die 4 Stränge „Communication, Transparency, Coordination, Allocation“ durch alle 4 inhaltlichen Arbeitspakete. Sie spiegeln die Aufgabenstruktur innerhalb der Arbeitspakete wieder, die nach diesen Aspekten unterteilt ist. Während „Communication“ die Frage nach sicherer und effizienter Informationsübertragung stellt, meint „Transparency“ die Ermittlung der Kosten einer verspäteten bzw. im Umkehrschluss den Wert einer pünktlichen Lieferung. „Coordination“ beschreibt den Mechanismus diesen Wert entsprechend in die Verhandlungen einzubeziehen, um daraufhin letztlich eine verbesserte Ressourcenallokation und höhere Effizienz erreichen. In jedem der vier inhaltlichen Arbeitspakete werden diese Stränge in Form zugeordneter Aufgabenpakete einmal durchlaufen.

Die Arbeitspakete 6 und 7 beschäftigen sich mit der Verbreitung der Projektergebnisse in Form von Trainingskonzepten zur Vermittlung der erzielten Ergebnisse an die letztlichen Anwender, wie auch in Form von Standardisierungsbestrebungen und Öffentlichkeitsarbeit. Koordiniert werden diese Arbeitspakete im Rahmen des Projektmanagements (WP1), das in erster Linie die administrativen Aspekte des Projektes zum Inhalt hat und das Konsortium dahingehend führt.

5 „Lessons learned“ und Empfehlungen einer EU-Projektbeteiligung

Um ein EU-Projekt durchführen zu können bedarf es einer erfolgreichen Antragsphase. Neben einem zur Ausschreibung konformen Thema und eines ausgeglichenen und auf die Zielstellung zugeschnittenen Projektkonsortiums, ist dabei die professionelle Erstellung des Antrags entscheidend:

- Problemorientierte Darstellung und Form
- Kenntnis der EU-Politik und -Forschungslandschaft
- Interpretation der Ausschreibung und Begrifflichkeiten
- Unterstützung durch zuständige NKS
- Stringente Koordination der Antragserstellung
- Wahrnehmung der Idee
- Verteidigung in Hearings durch motivierte Industriepartner
- Hohe Einsatzbereitschaft

Die Beteiligung an EU-Forschungsvorhaben wie „InTime“ bietet Chancen aber auch Risiken für die Konsortialpartner, die vor der „Bewerbung“ einer Projektidee im Rahmen eines Forschungsantrags für die Beteiligten transparent sein und intern abgewogen werden sollten. So müssen bestimmte Voraussetzungen gegeben sein bzw. geschaffen werden:

- Bereitschaft zu hohem Vorlaufinvestment beim Koordinator des Antrags
- Berücksichtigung unsicherer Erfolgswahrscheinlichkeit: Stufe 1: 20%; Stufe 2: 45%
- Antragsteller müssen eine europäische Marktausrichtung verfolgen
- Forschungsaufgaben sollten mit mittelfristiger Strategie konvergieren
- Vorwissen über formale Antragserstellung ist vorteilhaft
- Stringentes Projektmanagement, klare Umsetzungspfade und Nahtstellen
- Administrativen Aufwand berücksichtigen
- Liquiditätspuffer einplanen (z.B. aufgrund Verzögerungen der finalen administrativen Abwicklung)

Sind diese Voraussetzungen allerdings bewusst und können eingeplant werden, bietet sich den Projektpartnern die Chance in vielfältiger Weise von einer Beteiligung zu profitieren:

- Zugang zu Innovationen - Erschließung neuer Märkte
- Mitgestaltung von EU-Standards
- Prototypenentwicklung und Ergebnistransfer in Produktlinien
- Auf- bzw. Ausbau eines europäischen Netzwerks (Konsortium)
- Attraktive Förderbedingungen (Förderquote im Durchschnitt bei 65%)
- Know-how Gewinn und Synergien auf europäischer Ebene
- Qualifizierung, Weiterbildung und Motivation der Mitarbeiter

Die Verbindung hin zur volkswirtschaftlich europäischen Ebene bildet schließlich die Verbreitung der Ergebnisse, die einen zentralen Bestandteil jedes EU-Forschungsprojektes darstellt. Diese trägt damit direkt zur Intention der Europäischen Kommission bei, durch die europaweite Integration von wissenschaftlicher und praktischer Expertise, die beförderten Wissenschaftsfelder und damit letztlich die verbundenen Branchen in ihrer Wettbewerbsfähigkeit und Zukunftsfähigkeit zu stärken.

Literatur:

- [1] Erdmann, M.K.: Supply Chain Performance Measurement: Operative und strategische Management- und Controllingansätze, Josef Eul Verlag, 2003
- [2] Schuh, G. et. al.: Beschaffungslogistik im Maschinen- und Anlagenbau, Stand – Potenziale – Trends. Apprimus Verlag, 2009
- [3] Schuh, G.: Effiziente Auftragsabwicklung mit myOpenFactory, 2007
- [4] Schuh, G.; Friedli, T.; Kurr, M. A.: Kooperationsmanagement – Systematische Vorbereitung, Gezielter Auf- und Ausbau, Entscheidende Erfolgsfaktoren. Hanser Verlag, 2005.
- [5] Wiendahl, H.-H.; Meyer, M.: Methodische Grundlagen. In: Liefertreue im Maschinen- und Anlagenbau. Stand – Potenziale – Trends. Hrsg.: G. Schuh, E. Westkämper. Forschungsinstitut für Rationalisierung an der RWTH Aachen 2006, S. 11-18.



Informationsportal zur Steigerung der Kooperations- und Wettbewerbsfähigkeit von KMUs – Beispiel für ein ERA-NET-Projekt

Sébastien Kicin
CAS Software AG, Karlsruhe

Zusammenfassung

Zielsetzung des transnationalen Verbundprojektes „ESKALE“ war die Entwicklung, Konfiguration und Implementierung eines Informationsmanagement-Portals für traditionelle Mittelständler auf Basis der CAS-Lösungen. Insbesondere traditionelle Unternehmen in Deutschland, deren Historie eher im Bereich des Handwerks liegt, verfügen zwar häufig über exzellente Prozessfähigkeiten. Internationale Wettbewerber hingegen kompensieren diesen Wettbewerbsvorteil häufig über niedrige Preise und vor allem kurze Reaktionszeiten. Aus diesem Grunde ist die Bereitstellung KMU-tauglicher IT-Ansätze zur Unterstützung wissensintensiver Prozesse in Unternehmen (vor allem im Bereich der Produktspezifikation zur Verbesserung der Angebotsfähigkeit) ein entscheidendes Erfolgskriterium zur Verteidigung der Marktposition deutscher Anbieter. Das im ESKALE-Projekt entwickelte und anhand vier realer Anwendungsfälle evaluierte Informationsmanagementportal für traditionelle Mittelständler erfüllt diesen Bedarf. Das internationale Forschungsprojekt „ESKALE“ mit Partnern aus Industrie und Wissenschaft wird im Rahmen der ERA-NET Maßnahmen des BMBF unterstützt und durch den Projektträger PTKA betreut. ERA steht für „European Research Area“ und beinhaltet die Koordinierung von Forschungs- oder technologischen Entwicklungstätigkeiten in Europa und auf nationalen und regionalen Ebenen. Dabei spielt die Produktionsforschung aufgrund der internationalen Verflechtung bei der Entwicklung und Herstellung innovativer Produkte eine wesentliche Rolle. Vorteil eines ERA-NET-Projektes ist die grenzüberschreitende thematische Zusammenarbeit auch in kleinerem Maßstab mit geringerer Bürokratie als bei EU-Projekten.

1 Das Problem

Insbesondere KMUs, deren Historie und Tradition im Bereich des Handwerks liegt und die heute im industriellen Maßstab produzieren verfügen zwar häufig über exzellente Prozessfähigkeiten. Internationale Wettbewerber hingegen kompensieren diesen Wettbewerbsvorteil immer öfter über Massenproduktion und niedrigere Preise. Diese Unternehmen sind daher gezwungen, auch die wissensintensiven betrieblichen Abläufe zu professionalisieren. Hierzu gehören die Verarbeitung kundenindividueller Auftragspezifikation, das Handling umfangreicher Produktpaletten mit einer großen Anzahl an möglichen Varianten sowie ein verlässlicher Überblick über Bedarfe und Bestände in der Produktion. Die Chance, heute auch als Kleinunternehmen mit den eigenen Produkten einen weltweiten Markt bedienen zu können und die eigene Ressource möglicherweise weltweit in Kooperationen einzubringen, fordert gleichzeitig eine im Idealfall permanente Angebots- und Lieferfähigkeit der Unternehmen. Der Trend zur Individualisierung verlangt zusätzlich kurzfristig kundenspezifische Lösungen.

2 Das Projekt

Mit dieser Problemstellung beschäftigte sich seit Jahresbeginn 2008 das internationale Forschungsprojekt „ESKALE“ mit Partnern aus Industrie und Wissenschaft, um eine Lösung zum Aufbau eines Informationsmanagementportals für traditionelle Mittelständler zu

entwickeln, die u.a. die innerbetriebliche Auftragsabwicklung und unternehmensübergreifende Prozesse unterstützen soll.

Die Bereitstellung mittelstandskompatibler Software zur Unterstützung wissensintensiver Prozesse in Unternehmen (vor allem im Bereich der Produktspezifikation zur Verbesserung der Angebotsfähigkeit) ist ein entscheidendes Erfolgskriterium zur Verteidigung der Marktposition deutscher Anbieter. So können trotz kundenindividueller Massenfertigung kurze Reaktionszeiten erreicht werden.

ESKALE ist ein zweijähriges transnationales Verbundprojekt innerhalb des BMBF Rahmenkonzepts „Forschung für die Produktion von morgen“ im ERA-NET eTranet Programm und wird vom Bremer Institut für Produktion und Logistik GmbH koordiniert. Weitere Partner sind: CAS Software AG, VTT Technical Research Centre of Finland, Ovitor Oy, Hubstock Oy, Geo. Gleistein und Sohn GmbH und BISCHOFF International AG.

Tabelle 1: Individuelle Ziele der Projektpartner

Projektpartner	Individuelle Ziele für ESKALE
BIBA	<ul style="list-style-type: none"> • Erweiterung des Wissens und der Referenzen über technische und organisatorische Grundlagen der Kooperation von KMU • Erfahrungen in der Entwicklung und Vorbereitung von KMU-Kooperationen • Schaffung einer Wissensbasis zur Nutzung durch interessierte Unternehmen, in Lehrveranstaltungen und durch andere wissenschaftliche Forschungseinrichtungen
CAS	<ul style="list-style-type: none"> • Entwicklung der prototypischen ESKALE Portallösung • „Best Practice“ Referenzen für verschiedene Anwendungsfälle • Entwicklung von Ansätzen zur Markteinführung • Vermarktung und Ergebnisverbreitung der Projektziele um potenziellen Kunden mögliche Lösungen aufzuzeigen • Integration der Projektergebnisse in die laufenden Verkaufsaktivitäten der CAS
VTT	<ul style="list-style-type: none"> • Hilfestellung bei der Entwicklung von Geschäftsmodellen aus den Projektergebnissen • Unterstützung von Innovationen zur Eroberung neuer Märkte und Geschäftsfelder • Verbesserung der Reputation und Ausbildungsqualität in den Feldern Produktionsketten und komplexe technologische Systeme
Bischoff	<ul style="list-style-type: none"> • Entwicklung und Implementierung einer formellen IT-Strategie • Einführung der benötigten Technologien und Training
Gleistein	<ul style="list-style-type: none"> • Verbesserung der Marktorientierung • Integration von Verkaufs-, Entwicklungs- und Produktionsdaten
Hubstock	<ul style="list-style-type: none"> • Einführung eines passenden IT-Systems für traditionelle KMU • Standardisierung der IT für bessere Kooperation
Ovitor	<ul style="list-style-type: none"> • Erweiterung der Marktdurchdringung und besserer Kundenservice • Verbesserte Effizienz in der kompletten Produktionskette

3 Ziele und Ergebnisse

Ziel von ESKALE war es eine Grundlage zur internen und externen Kooperation von traditionellen produzierenden KMU zu schaffen. Damit wurde einerseits die innerbetriebliche Auftragsabwicklung verbessert, gleichzeitig bewirkt die informationstechnische Unterstützung der wissensintensiven Abläufe eine Verbesserung unternehmensübergreifender Prozesse. Die Produktivität erhöht sich, wenn Kooperation ermöglicht wird und die Mitarbeiter über einen einzigen Zugangspunkt für Anwendungen wichtige Informationen verwenden können. Mit ESKALE können Portal-Benutzer zusammenarbeiten und den in einem Web-Arbeitsbereich angezeigten Informationen entsprechend handeln. Diese Arbeitsbereiche bieten anpassbare Arbeitsumgebungen für Einzelpersonen, Teams oder Gemeinschaften. Mitarbeiter können unternehmensübergreifend Diskussionsbereiche für die Zusammenarbeit in Online-Bibliotheken gespeicherten Dokumenten erstellen, Gruppenkalender einrichten, Aufgaben zuweisen und kommunizieren. Damit ergibt sich auch für traditionelle Betriebe zukünftig die Chance, die eigenen Prozesse als möglichen Konsortialbeitrag in Kooperationen einzubringen und sich so neue Märkte zu erschließen. Die Forschungsergebnisse im Rahmen des ESKALE Projektes kommen aus Bereichen wie Extended Products und Wissensmanagement. Hierzu gehören Methoden und Werkzeuge zur kundenindividuellen Konfiguration von Produktlösungen schon in der Angebotsphase, um die Reaktionszeiten von Betrieben schon vor Auftragserteilung zu erhöhen. Auch Konzepte zur Konfiguration komplexer Produkte unter Abgleich von Lagerverfügbarkeiten und Ermittlung bedarfsgerechter Beschaffungsmengen wurden entwickelt. Zu diesem Zweck wurden Konfigurations- und Implementierungsstandards aus den Endanwender-Szenarien abgeleitet. Potentielle Zielbranchen wurden identifiziert und Branchenstandards für unterschiedliche Branchentypen werden definiert. So wurden Anforderungen und Lösungsprinzipien für traditionelle Betriebe entwickelt, um die Durchführung wissensintensiver Prozesse zu ermöglichen. Dadurch können neue Geschäftsfelder und Märkte identifiziert und erste Geschäftsmodelle formuliert werden.

4 Die Umsetzung

Im Rahmen des ESKALE Projektes wurden am Beispiel der Szenarien von vier typischen Endanwendern Softwarelösungen zum Aufbau eines Informationsmanagement Portals angepasst, konfiguriert und implementiert. So konnte für traditionelle Betriebe die Kooperationsfähigkeit gefördert und folglich die Grundlage zur Integration in Unternehmensverbünde gelegt werden.

In einer ersten Phase wurden die Anforderungen der Endanwender hinsichtlich einer Softwarelösung untersucht und mit den Leistungen existierender Software verglichen. So konnten fehlende und optimal umgesetzte Funktionalitäten ermittelt werden. Daran anschließend wurde eine Analyse der Geschäftsmodelle sowie der Bedeutung von Wissensmanagement und „Extended Products“ für traditionelle KMU durchgeführt. Eine Methodik zur Aufnahme von Anforderungen wurde entwickelt und bei den Endanwendern in Form von strukturierten Interviews eingesetzt. Ein Informations-Referenz-Modell (IRM) spielte hierbei eine zentrale Rolle. Dabei konnten anwenderspezifische Schwerpunktgebiete festgelegt werden.

		Information Type											
		Appoint-ments	Tasks	Events	Adresses	Cust. Projects	Product Mgmt.	Files	Emails	Phone Calls	Request Forms	Compe-tencies	Sales Opport.
Decision Area	Production Planning												
	Human Resources												
	Procurement & Purchasing												
	Sales, Market., After Sales												
	Product Developm.												
	Work Prep. and Production												
	Maintenance												
	Quality												
	Finance & Controlling												
	Logistics (In- & Outbound)												
	EDP												

Abb. 1: Informations-Referenz-Modell (IRM)

Auf dieser Basis erfolgte die Spezifikation des ESKALE-Prototyps, des Manufacturing Information Portals (MIP). Das MIP sollte mehrere Komponenten beinhalten: „Corporate Portal“, „CRM“, „SRM“ und „Shopfloor Portal“. Auf Basis der bestehenden CAS-Lösungen mussten Datentypen hinzugefügt, konfiguriert bzw. angepasst werden um die Prozesse produzierender Unternehmen genau abdecken zu können. Es sollte auch möglich sein, über das MIP Anfragen an andere Abteilungen zu stellen.

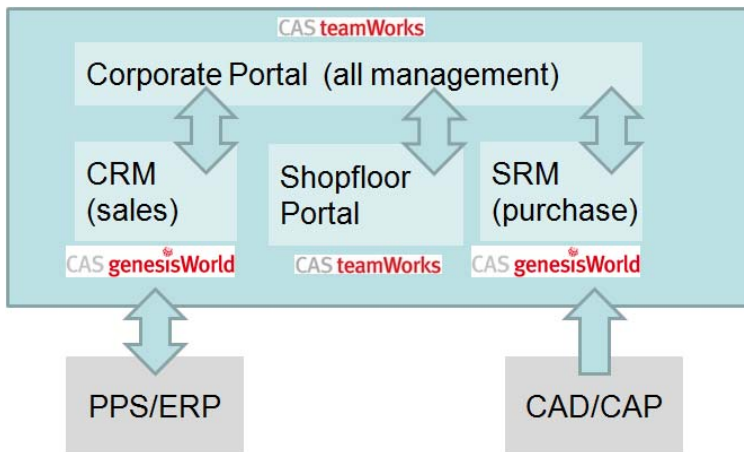


Abb. 2: Manufacturing Information Portal (MIP)

Im weiteren Projektverlauf wurde anhand der Spezifikation der MIP-Prototyp entwickelt und an die Bedürfnisse der Endanwender angepasst. Der Prototyp für ESKALE wurde aus zwei bestehenden CAS-Produkten abgeleitet: CAS teamWorks und CAS genesisWorld. Das CRM-System CAS genesisWorld wurde speziell für die Bedürfnisse des Mittelstands konzipiert und bietet alle Funktionen für das professionelle Kundenmanagement. Dazu gehören das Adressmanagement, der automatische Benachrichtigungs- und Aktionsdienst, komplette Kundenakten, Aufgaben und Termine, das Kampagnen-, Projekt- und Prozessmanagement, Dokumentenmanagement, mobile Lösungen sowie der eigene E-Mail-Client. Mit dem webbasierten Intra- und Extranet CAS teamWorks ist ein Unternehmensportal für Mitarbeiter, Geschäftspartner und Kunden schnell realisiert. Zum einen regelt CAS teamWorks das Informationsmanagement, speichert und verteilt Wissen,

zum anderen standardisiert es Abläufe im Unternehmen über Checklisten, Workflows und Formulare. In Verbindung mit CAS genesisWorld konnte das Kunden- und Informationsmanagement bei Produktionsunternehmen auf einer einheitlichen Datenbasis organisiert werden. Wesentliche Erweiterungen waren folgende:

- Datensatz-Typen für Maschinen und Werkzeuge wurden mit entsprechender Oberfläche neu angelegt
- Der Datensatz-Typ Produkt wurde erweitert und mit anderen Datensatz-Typen verknüpft
- Der Kalender wurde auf die Belegung von Maschinen und Werkzeugen erweitert

Dazu wurde eine vorgefertigte Branchenlösung mit geeigneten Prozessen, Arbeitsgruppen, Formularen, Datenkategorien und Datenansichten gestellt, die sich an den Bedürfnisse der Endanwender schnell anpassen lassen sollte.

In einer Evaluation wurde danach anhand vorher definierter Kriterien die Leistungsfähigkeit der Lösung ermittelt und daraus eine verbesserte Spezifikation hergestellt.

Die Hersteller im ESKALE-Projekt konnten den Benefit schon weit vor Ende des Projektes nutzen. Die Unternehmen werden das MIP als zentrale Plattform für weitere Entwicklungen ihrer innovativen wissensbasierten Fertigungsstrategie zu nutzen. Die Ergebnisse von ESKALE werden europaweit durch das Konsortium über vier verschiedene Kanäle verbreitet.

Bischoff hat eine Multi-Client-Umgebung, wo ein klares System für Kundenkontakte in jedem Format (E-Mails, Anrufe und Besuche) entscheidend ist. Das Management allgemeiner Kontaktinformationen ist eine Herausforderung für Bischoff, vor allem Telefonate sind müssen zentral dokumentiert für alle beteiligten Mitarbeiter verfügbar sein. Das ESKALE MIP kann hier mit seiner zentralen Kontaktdatenbank unterstützen. Die Multi-Client-Umgebung bedeutet auch Herausforderungen im Bereich des Dokumenten-Management. Jedes Produkt ist für das Unternehmen unterschiedlich, die zugehörigen Dokumente können über Verlinkungen im MIP leicht verwaltet werden. Kundenindividuelle Produkte auf einer Vielzahl von Maschinen herzustellen ist eine große Herausforderung für Bischoff. Zugang zu wichtigen Daten, wie Maschinenbelegungszeiten, Instandhaltungsplanung oder Bedienungsanleitungen, werden vom MIP unterstützt. Auch sind spezielle Mitarbeiterkompetenzen im Vertrieb bei Bedarf abrufbar. Der Datenaustausch zwischen den verschiedenen Niederlassungen und Vertretern wird durch das System ebenfalls vereinfacht.

Gleistein hat eine enorme Menge an Produktvarianten, die eine Herausforderung für das Dokumenten-Management darstellen. Über das MIP können die relevanten Informationen für jedes Produkt über Verlinkungen nicht-redundant und leicht abrufbar abgelegt werden. Gleistein hat auch eine Herausforderung im Customer Relationship Management, da sie sowohl Verbraucher als auch Unternehmen als Kunden haben. Im Projektmanagement wird die Verknüpfung bestimmter Dokumente und Anwendungen eines Seil mit einem Kunden oder Lieferanten durch das MIP unterstützt. Die Verknüpfung der Verwaltung der Dokumente und Kontakte unterstützt die Idee einer so genannten "Customer-Product-Application Cube". Das Wissen, welches Produkt wofür verwendet wird, ermöglicht Gleistein Dienstleistungen für das Produkt anzubieten und die Entwicklung neuer Märkte. Dies wird durch das Extended Product-Modul für die MIP ermöglicht. Gleistein braucht ein System zur Dokumentation ihrer Geschäftsprozesse, die auch eine Voraussetzung für die Zertifizierung nach ISO 9001:2000 sind. Das MIP bietet die Möglichkeit, interne und externe Anforderungen an Verfahren zu erfassen, sowie das Finden der relevanten Spezifikationen für die Arbeit jedes einzelnen Mitarbeiters.

Die Bereitstellung von Informationen für die Beschaffung war ein Hauptziel von **HUB Logistics**. Informationen über aktuelle Projekte, Kontakte, Produkt-Daten, etc. können über

das MIP abgerufen werden. Eine weitere aktuelle Herausforderung für HUB Logistics ist die Verwaltung aller Informationen über das Projekt-Management, wenn nur der Informationsfluss von HUB und der Materialfluss von Partnern gehandhabt werden. Das MIP unterstützt den Transfer und die Überprüfung der Angaben zwischen den Unternehmen. Ebenso können Daten zwischen verschiedenen Niederlassungen ausgetauscht werden. Ein konfigurierbares „Dashboard“ bietet einen schnellen Überblick über die wichtigsten Informationen.

Das MIP gibt **OVITOR** neue Möglichkeiten im Bereich des Customer Relationship Management (CRM). Dies erlaubt bessere Möglichkeiten zur Erweiterung der Märkte und neue Dienstleistungen für die Kunden. Das MIP erlaubt außerdem, die Menge der Dokumente in Papierform zu reduzieren und die interne Kommunikation zu verbessern. Ein betriebliches Knowledge Management (KM) etabliert ein Intranet für die interne Kommunikation. Auch die Einbindung des Kunden ist verbessert, z. B. bei der Verfolgung von Waren in der Lieferkette.

5 Trans-Europäische Kooperation

5.1 ERA-NET

Ziel der europäischen ERA-Net ist es, Initiativen mehrerer Länder in Bereichen von gemeinsamem strategischem Interesse anzuregen und zu unterstützen, mit denen durch die Koordinierung der Durchführung, die wechselseitige Öffnung und den wechselseitigen Zugang zu Forschungsergebnissen Synergien zwischen bestehenden Tätigkeiten genutzt und gemeinsame Tätigkeiten definiert und durchgeführt werden sollen. Aus diesem Grunde wurde das ERA-Net ETRANET, <http://www.etranel.net> gegründet, das die Forschungsaktivitäten der beteiligten europäischen Regionen und Länder im Bereich der Produktionstechnologien koordinieren soll. ETRANET ist ein gemeinsames Vorhaben von 14 europäischen Partnern zur Koordination von gemeinsamen Förderprogrammen mit regionalen und nationalen Ressourcen im Bereich der Produktionsforschung. Die deutschen Unternehmen erhalten durch eine Beteiligung an ETRANET den Zugang zum Know-how anderer europäischer Partner und können neue Märkte erschließen. Damit soll entsprechend der Hightech-Strategie der Bundesregierung die internationale Position Deutschlands gestärkt werden. Die Förderinitiative ist komplementär zur Förderung im 7. EU-Forschungsrahmenprogramm und wird zudem von der Europäische Kommission unterstützt.

Das ESKALE-Projekt wurde im Rahmen des Ideenwettbewerbes des ERANET-Projekts ETRANET ausgewählt und durch die ERA-NET Maßnahmen des BMBF unterstützt. Der Erfolg von ESKALE und von bereits laufenden Projekte bestätigen das große Interesse, das an der transeuropäischen Zusammenarbeit besteht, und liefert wunderbare Beispiele dafür, wie wir unseren Beitrag zur Forschung verbessern und erweitern können, indem wir die Ressourcen bündeln und rationeller einsetzen.

5.2 Vergleich

Wesentliche Vorteile der ERA-NET Maßnahme sind folgende:

- Gefördert werden Themen in Abstimmung zu nationalen und Europäischen Förderprogrammen
- Teilnehmer können Zugriff auf Kompetenzen bekommen, die nicht im Land vorhanden sind

- Teilnehmer werden hauptsächlich lokal betreut (nationale Projektträger)
- Eine viel geringere Bürokratie als bei EU-Projekten

5.3 Herausforderung

Übliche Herausforderungen bei nationalen Forschungsk Kooperationen werden durch die Europaweite Zusammenarbeit verstärkt. Die Durchführung, so wie die Beantragung solcher Projekte muss effizient und gut balanciert unternommen werden. Kommunikation ist schon in der Muttersprache nicht immer einfach. Dies wird in einer Fremdsprache und im Ausland nicht nur durch fehlende Sprachkenntnisse verstärkt, sondern auch durch das häufig fehlende Wissen um den Situationskontext. Ein Trans-Europäisches Projektmanagement beinhaltet einerseits ein sensibilisiertes Bewusstsein für das Potenzial und die Schwierigkeiten von multinationalen Teamzusammensetzungen sowie andererseits für die Auswirkungen, die unterschiedliche Sprachkenntnisse bzw. kulturelle Hintergründe auf die Zusammenarbeit im Team, die Arbeitsleistung und Anerkennung haben können.

Zu den interkulturellen Aspekten die eine besondere Aufmerksamkeit brauchen gehören:

- Kommunikationsmuster und Konfliktmanagement
- Kulturen, Vorurteile und Stereotypen
- Teamarbeit und Entscheidungsprozesse

Allerdings wird dies – im Vergleich zu EU-Projekten wie beim siebten Rahmenprogramm - gemildert durch die nationale Betreuung der Projektträger. ERA-NET bietet also eine ideale Einstiegsmöglichkeit in den Europäischen Forschungsraum insbesondere für kleine und mittelständische Unternehmen.

Lebensdauererlängerung bestehender und neuer geschweißter Stahlkonstruktionen – Beispiel eines EUREKA-Umbrella-PRO-FACTORY-Projekts

Prof. Dr.-Ing. T. Ummenhofer, Dipl.-Ing. S. Rack
Versuchsanstalt für Stahl, Holz und Steine, KIT, Karlsruhe

Zusammenfassung

Viele wechselnd beanspruchte Stahlkonstruktionen leiden unter Ermüdungsschäden. Oft wird die konstruktive Ausbildung durch den Nachweis ausreichender Ermüdungssicherheit bestimmt, wie bei Tragstrukturen von Windenergieanlagen. Um die Kerbschärfe zu reduzieren, werden maßgebende geschweißte Kerbdetails daher oft aufwändig beschliffen. Andere technische Disziplinen, wie der Fahrzeugbau, nutzen schon länger alternative Methoden der Schweißnahtnachbehandlung. Die Zeit war reif für die Entwicklung und Untersuchung von Verfahren, die nicht nur die Kerbgeometrie verändern, sondern durch gezielte plastische Verformungen im Schweißnahtübergang die lokale Streckgrenze anheben und dort im oberflächennahen Bereich Druckeigenstressfelder erzeugen. Die Kombination dieser Wirkweisen kann zu erheblichen Steigerungen der Ermüdungsfestigkeit führen und damit in den meisten Fällen zu einer Erhöhung der Lebensdauer einer Gesamtkonstruktion. Um dies zu untersuchen und die mögliche baupraktische Anwendung voranzutreiben, wurde das umfangreiche Forschungsvorhaben REFRESH vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) finanziert, welches der Autor leiten durfte. Wegen der transnationalen volkswirtschaftlichen Bedeutung wurde eine Kooperation mit Partnern im europäischen Ausland gesucht und im Rahmen eines EUREKA-Umbrella-PRO-FACTORY-Projektes umgesetzt. In diesem umfangreichen Verbund europäischer Projektpartner aus Industrie, Bundesanstalten und Forschungsinstituten sowie eines von der FOSTA geleiteten projektbegleitenden Industriearbeitskreises wurden die Anwendungsmöglichkeiten, die Anwendungsgrenzen und Verfahren zur Qualitätssicherung untersucht. Es wurde gezeigt, dass die Ermüdungsfestigkeit von Schweißnähten um 80 bis 100 % gesteigert werden kann. Aufbauend auf den Forschungsergebnissen wurde ein Zertifizierungs-, Qualitätssicherungs- und Bemessungskonzept für höherfrequente Hämmerverfahren entwickelt, so dass die Grundlage für eine Aufnahme der Verfahren in die europäischen Regelwerke geschaffen wurde. Im Folgenden wird die Wirkungsweise höherfrequenter Hämmerverfahren erläutert, ein einfacher Bemessungsansatz für nachbehandelte Schweißkonstruktionen dargestellt und bereits umgesetzte Anwendungsbeispiele der Projektpartner vorgestellt.

Weitere Informationen zu REFRESH finden Sie auf der website www.refresh-steel.de sowie in dem in Kürze erscheinenden Abschlussbericht [6].

1 Wirkprinzip

Die Lebensdauer ermüdungsbeanspruchter Konstruktionen wird neben der Unterhaltungsstrategie maßgeblich durch die Bildung von Ermüdungsrissen in hoch beanspruchten Bereichen bestimmt. Bei geschweißten Stahlkonstruktionen sind stets die Schweißnahtübergänge der Ausgangspunkt der Risse, die dann in das Grundmaterial wachsen. Die Ursachen für die in diesen Bereichen verminderte Ermüdungsfestigkeit sind zum einen die geometrische Kerbwirkung, zum anderen Zugeigenstressungen, die sich infolge der nach dem Schweißprozess beim Abkühlen des Werkstoffs entstehenden Zwängungen bilden. Die aus der Schweißnahtgeometrie resultierenden geometrischen Kerben führen zu Spannungserhöhungen, die unter anderem z. B. durch die Kerbzahl oder den Kerbfaktor beschreibbar sind. Die Zugeigenstressungen im Schweißnahtbereich

überlagern sich mit den äußeren Betriebsbeanspruchungen und verschieben so die Spannungsschwingbreite in Richtung des ungünstiger wirkenden Zugbereichs.

Die Wirkungsweise höherfrequenten Hämmerverfahren besteht darin, durch eine Nachbehandlung der kritischen Kerbdetails lokal Druckeigenstress einzuprägen und so eine Verschiebung der Spannungsschwingbreite in Richtung des Druckbereichs zu bewirken. Alle höherfrequenten Hämmerverfahren basieren auf dem gleichen Mechanismus. Gehärtete Stahlstifte verformen mit Frequenzen von 200 bis 250 Hz den Übergang zwischen Schweißnahtflanke und Grundwerkstoff. Durch die hohe kinetische Energie der Hartmetallpins entstehen bei jedem einzelnen Schlag lokale Eindrücke, die zur Einprägung von Druckeigenstress führen. Durch die Aneinanderreihung dieser Einzeleindrücke entsteht eine Nachbearbeitungslinie entlang des Schweißnahtübergangs. Abbildung 1 zeigt einen Schweißnahtübergang vor und nach erfolgter Nachbehandlung.



Abb. 1: Schweißnahtübergang (links) vor und (rechts) nach der HiFIT-Behandlung, [2]

Im Verbundprojekt REFRESH wurden die Verfahren High Frequency Impact Treatment (HiFIT) und Ultrasonic Impact Treatment (UIT) eingehend untersucht. Das HiFIT-Verfahren wurde im Rahmen des Projektes entwickelt, die UIT-Nachbehandlung ist ein, von Applied Ultrasonics Europe, einem der EUREKA-Projektpartner, angebotenes Verfahren. Die Forschungsergebnisse zeigen, dass sich beide Verfahren gleichermaßen für die in Abschnitt 2 beschriebene Erhöhung der Betriebsfestigkeit bzw. Lebensdauererlängerung ermüdungsgefährdeter Bauteile eignen. Abbildung 2 zeigt das HiFit Gerät, welches sich wegen seiner kompakten Bauweise – Größe einer Heimwerker-Bohrmaschine – auch für den Einsatz in beengten Situationen und Zwickeln eignet.

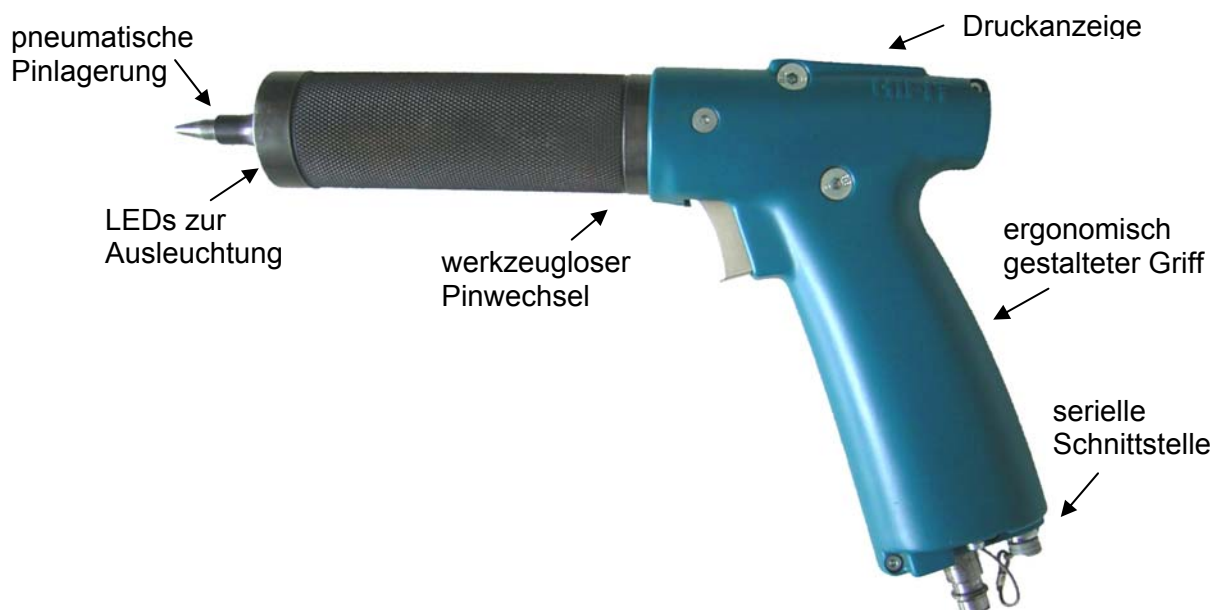


Abb. 2: HiFit-Gerät, [5]

2 Leistungsvermögen hochfrequenter Hämmerverfahren

2.1 Erhöhung der Ermüdungsfestigkeit

Eine Gegenüberstellung der Ergebnisse von Ermüdungsversuchen an HiFIT- bzw. UIT-behandelten Querstumpfstößen aus den untersuchten Werkstoffen S 355 und S 690 mit den Ergebnissen unbehandelter Schweißnähte ist in den Abbildungen 4 und 5 gegeben. Es zeigt sich eine deutliche Abhängigkeit der Ermüdungsfestigkeit der nachbehandelten Querstumpfstöße von der Werkstoffstreckgrenze. Für den Stahl S 355 J2 ergibt sich eine Ermüdungsfestigkeit entsprechend einer Kerbkategorie 187 im Vergleich zu 103 der unbehandelten Schweißnaht. Dies entspricht einer Steigerung von 82 %. Beim Werkstoff S 690 QL beträgt die Steigerung bei einer Kerbkategorie von 215 sogar 94 % gegenüber der unbehandelten Stumpfnah. Zum Vergleich ist in die Diagramme die für die unbehandelte Stumpfnah gültige Kerbfallklasse 90 nach Eurocode eingezeichnet. In Abbildung 3 sind die Ermüdungsriss einer unbehandelten und einer nachbehandelten Stumpfstoßprobe aus S 690 gegenübergestellt. Mit zunehmender Spannungsschwingbreite nimmt beim Stahl S 355 J2 der durch die Nachbehandlung erreichbare Gewinn an Ermüdungsfestigkeit ab. Beim höherfesten Werkstoff S 690 jedoch ist die Effizienz der Nachbehandlung unabhängig von der Spannungsschwingbreite. Der Einfluss der Werkstofffestigkeit auf die erzielbaren Erhöhungen der Ermüdungsfestigkeit ist auf die bei höherer Streckgrenze, durch die Nachbehandlung, höheren einprägbaren Druckeigenstress zurückzuführen. Diese können Maximalwerte bis in Höhe der Streckgrenze des Werkstoffs annehmen. Für das in Abbildung 6 dargestellte nachbehandelte Kerbdetail der Längsrippe mit Kehlnah wird im Vergleich zum unbehandelten Fall eine Steigerung der Ermüdungsfestigkeit von 86 % (S 690 QL) erzielt. Gegenüber der im Eurocode 3, Teil 1-9 definierten Kerbkategorie 56 ergibt sich eine Steigerung der Ermüdungsfestigkeit um 272 % auf eine Kerbfallklasse von 152. Die Ergebnisse zeigen, dass sowohl für die Längsrippe als auch für den Querstumpfstoß eine vergleichbare Steigerung der Ermüdungsfestigkeit erreicht wird.

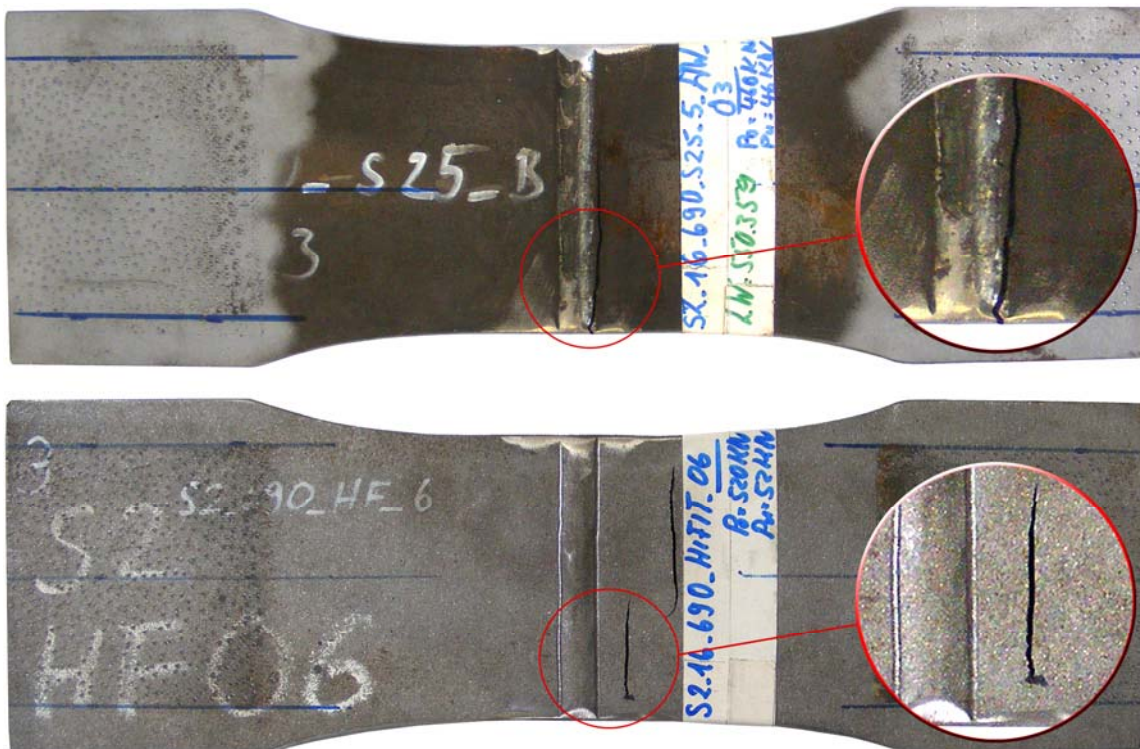


Abb. 3: Ermüdungsbrüche eines unbehandelten (oben) und eines HiFIT-behandelten (unten) Querstumpfstoßes aus S 690 QL, [6]

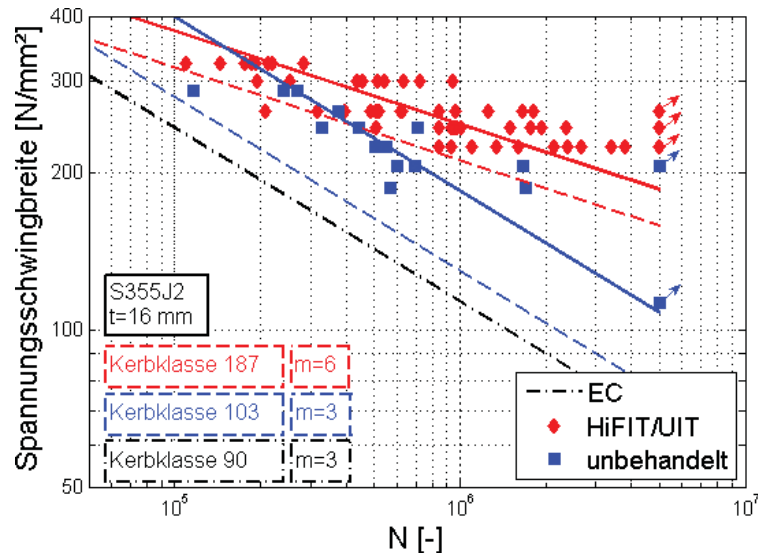


Abb. 4: Vergleich der Ergebnisse der Wöhlerversuche von unbehandelten und HiFIT/UIT-behandelten Querstumpfstößen aus S 355 J2, [6]

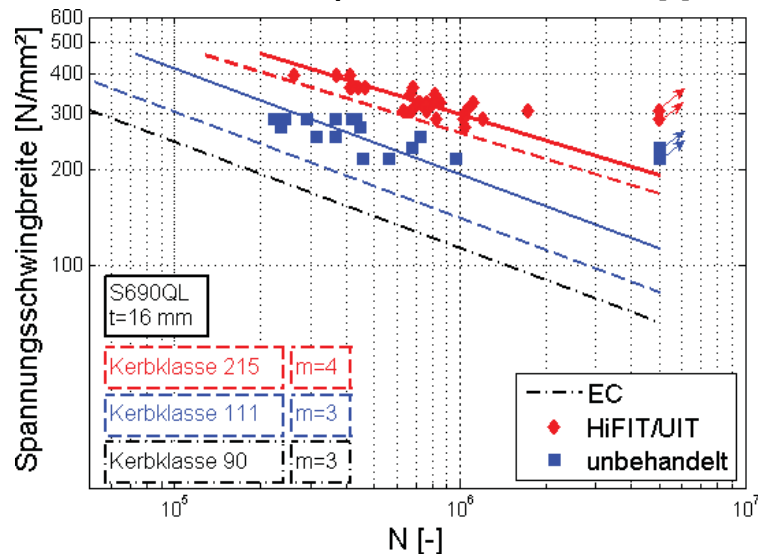


Abb. 5: Vergleich der Ergebnisse der Wöhlerversuche von unbehandelten und HiFIT/UIT-behandelten Querstumpfstößen aus S 690 QL, [6]

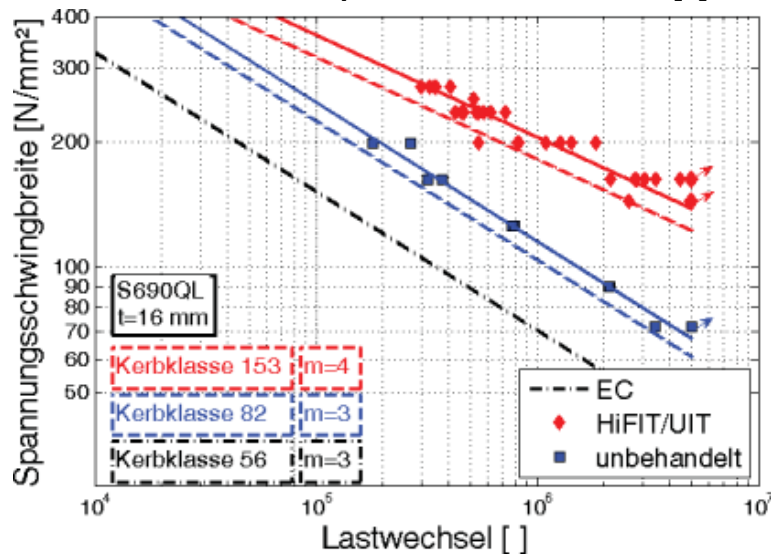


Abb. 6: Vergleich der Ergebnisse der Wöhlerversuche von unbehandelten und HiFIT/UIT-behandelten Längsrippen für den Werkstoff S 690 QL, [6]

2.2 Restlebensdauererlängerung neuer und bestehender Konstruktionen

Die durchgeführten Untersuchungen zur Restlebensdauererlängerung zeigen, dass die HiFIT- bzw. UIT-Behandlung, unter der Voraussetzung, dass kein Makroriss ($a \geq 0,5$ mm) vorhanden ist, unabhängig vom Vorschädigungsgrad zur gleichen Steigerung der Ermüdungsfestigkeit, wie bei ungeschädigten Schweißverbindungen führt. Dieses Ergebnis gilt für ein Spannungsverhältnis von $R = 0,1$. Die bereits während der zyklischen Vorschädigung der noch unbehandelten Schweißverbindungen ertragenen Lastwechselzahlen haben keinen Einfluss auf die Restlebensdauer des nachbehandelten Kerbdetails. Eine eingeschränkte Wirksamkeit wurde ab Risstiefen von 0,5 mm festgestellt.

3 Bemessungsverfahren

Die theoretische Ermüdungsfestigkeit für nachbehandelte Schweißnähte, $\Delta\sigma_{c,HP}$ ergibt sich aus der Ermüdungsfestigkeit unbehandelter Schweißnähte, $\Delta\sigma_c$ (FAT), unter Berücksichtigung des Faktors K_{HP} .

$$\Delta\sigma_{c,HP} = K_{HP} \cdot \Delta\sigma_c$$

mit $K_{HP} = k_0 \cdot k_{Re} \cdot k_R$

k_0 Verbesserungsfaktor

k_{Re} Werkstofffaktor in Abhängigkeit der Streckgrenze R_e

k_R Beanspruchungsfaktor in Abhängigkeit des äußeren Spannungsverhältnisses R

Der vorgegebene Verbesserungsfaktor k_0 basiert auf experimentellen Ergebnissen bei einem Spannungsverhältnis von $R = 0,1$ und einer Streckgrenze von $R_e = 355$ N/mm² und wird wie folgt festgelegt:

$$k_0 = 1,6$$

Der Wert k_0 wurde anhand des Vergleichs von Versuchsergebnissen – unbehandelt, nachbehandelt – für die Kerbdetails Querstumpfstoß, Querrippe und Längsrippe konservativ bestimmt. Die unterschiedlichen Werte experimentell ermittelter k_0 -Faktoren verschiedener Kerbdetails beruhen auf Einflüssen aus der Fertigungs- bzw. Werkstoffstreuung. Eine Geometrieabhängigkeit von k_0 wird nicht unterstellt. Deshalb wird nur der niedrigste, sich aus der Auswertung aller untersuchten Kerbdetails ergebende, Wert angesetzt. Um die größere Wirksamkeit der Nachbehandlung bei höherfesten Werkstoffen zu berücksichtigen, wird ein Korrekturfaktor für den Streckgrenzeinfluss bei Streckgrenzen $R_e \leq 690$ N/mm² vorgegeben:

$$k_{Re} = 1 + 0,6 \cdot (1 - 355/R_e)$$

Durch diesen Ansatz wird, bezogen auf den Stahl S 355, eine maximale Verbesserung um 30 % für den Werkstoff S 690 QL zugelassen. Dies ist experimentell durch Ermüdungsversuche und Eigenspannungsmessungen belegt. In Abbildung 7 sind mit dem vorgestellten Bemessungsvorschlag ermittelte Wöhlerlinien den Ergebnissen der Ermüdungsversuche für Stumpfnähte mit Werkstoffen S 355 und S 690 gegenübergestellt, so dass die konservative Abschätzung des Ermüdungswiderstands deutlich wird. Ergänzend wird für den Stahl S 690 bei einem Spannungsverhältnis von $R < 0,1$ zusätzlich zu dem berechneten Verbesserungsfaktor der Ansatz einer Wöhlerlinienneigung von $m = 3$ im Zeitfestigkeitsbereich zugelassen. Die rechnerischen Lebensdauern bei Schwingbreiten kleiner der erhöhten Kerbfallklasse werden damit nicht beeinflusst und mit der identischen Neigung wie für niederfestere Werkstoffe berechnet. Zur Berücksichtigung der gezeigten Abhängigkeit der Wirksamkeit der Nachbehandlung vom Spannungsverhältnis wird für Spannungsverhältnisse $R > 0,1$ ein Abminderungsfaktor eingeführt. Bislang liegen experimentelle Ergebnisse bis zu einem Spannungsverhältnis von $R = 0,5$ vor.

$$k_R = 1,075 - 0,75 \cdot R \quad 0,1 \leq R \leq 0,5$$

$$k_R = 1,0 \quad R < 0,1$$

In Abbildung 7 sind rechts die rechnerisch ermittelten Wöhlerlinien im Vergleich zu den experimentellen Ergebnissen für das Kerbdetail Stumpfnah bei einem Spannungsverhältnis von $R = 0,5$ für die Werkstoffe S 355 und S 690 dargestellt.

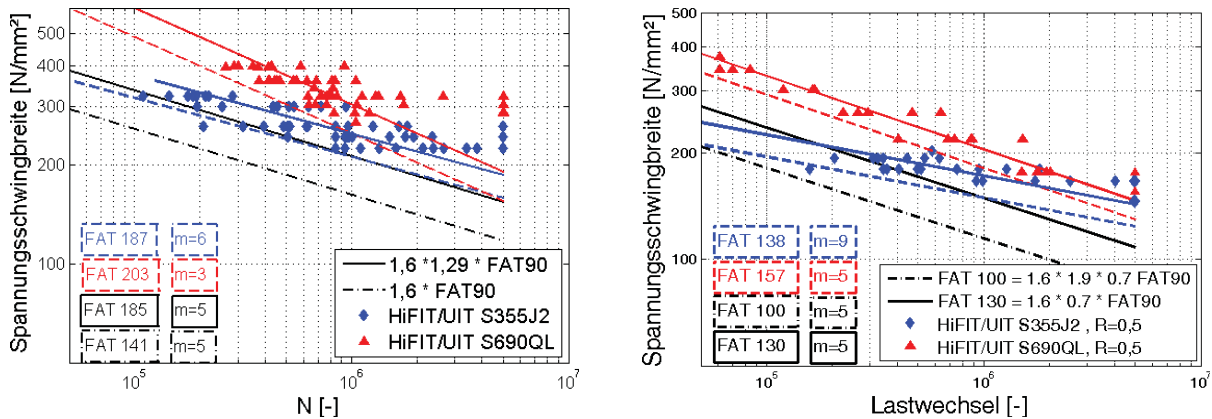


Abb. 7: Vergleich der experimentellen und rechnerisch ermittelten Wöhlerlinien von HiFIT/UIT-behandelten Querstumpfstößen in Abhängigkeit der Werkstoffstreckgrenze. Links: $R = 0,1$, rechts: $R = 0,5$ [6]

4 Anwendungserfahrungen der Projektpartner

4.1 Windenergie-Offshore-Strukturen - REpower Systems AG

Ein durch zyklische Beanspruchung extrem belasteter Bereich an Offshore-Windenergieanlagen ist der Übergangsbereich zwischen dem konventionellen Fußbereich des Stahlrohrturmes und der mehrstieligen Fachwerkstruktur, dem sogenannten Jacket, die im Meeresboden verankert wird. Diese Übergangsstrukturen erfahren eine Konzentration der Beanspruchung an der Lasteinleitung der Eckstiele, die nicht vollständig durch eine Geometrieoptimierung aufgefangen werden kann. Dimensionierend sind hier nicht eine strukturelle Festigkeit, wie Beulen oder Knicken, sondern die lokal ertragbaren Spannungszyklen, die sich aus der Wind- und Wellenbelastung der Gesamtstruktur während des Betriebs ergeben – also Materialermüdung. Die Bemessung in Anlehnung an die DIN EN 1993, Teil 1-9 ergab eine nahezu 100 %ige Ausnutzung der Schweißnähte. Zur Steigerung des Sicherheitsniveaus wurden die kritischen Bereiche einer Nachbehandlung mit dem HiFIT-Verfahren unterzogen. Die lokale Nachbehandlung erbrachte eine Erhöhung der Gesamtsicherheit von mehr als 50 % [3].

4.2 Brücke Schenkendorfstraße in München - Maurer Söhne GmbH & Co. KG

Die Brücke über die Schenkendorfstraße in München ist eine kombinierte Geh-/Radweg- und Straßenbahnbrücke, die aufgrund ihrer spezifischen Stahlkonstruktion und ihrer Beanspruchung ermüdungsgefährdet ist. Die Bemessung der Brücke erfolgte für eine Lebensdauer von 80 Jahren unter Ansatz des realitätsnahen Verkehrsaufkommens [1]. Die Untersuchung der Auswirkung von Überfahrten schwererer Straßenbahnfahrzeuge von 85 t ergab unter der Annahme gleichbleibender Frequentierung einen nicht ausreichenden Ermüdungswiderstand. Die Wahrung dieser Nutzungsoption wäre nur durch Vergrößerung der Bauteilabmessungen möglich gewesen. Durch die Nachbehandlung der kritischen Kerbstellen mit dem HiFIT-Verfahren gelang es, die erhöhte Ermüdungsbeanspruchung ohne Änderung der Bauteilabmessungen nachzuweisen [4].

4.3 Rüttelrohre - Schachtbau Nordhausen GmbH

Um Straßen und Autobahnen auf nicht tragfähigem Baugrund bauen zu können, muss die Tragfähigkeit des Untergrundes erhöht und ertüchtigt werden. Für diese Untergrundvorbereitung setzen Tiefbauunternehmen spezifische Verfahren ein. Rohre mit einem Durchmesser von bis zu 660 mm und einer Länge bis zu 27 m werden mit Rüttelgeräten in den Untergrund getrieben und anschließend mit einem Kies-Schotter-Gemisch gefüllt. Danach wird das Rohr unter mehrmaligem Nachstopfen aus der Erde gezogen wodurch eine verdichtete Kiessäule im Erdreich entsteht. Die Schachtbau Nordhausen GmbH ist Hersteller solcher Rüttelrohre. Diese bestehen aus einem oberen Abschnitt mit Trichter, dem Rohr und aus Verschlussklappen, welche sich im Erdreich öffnen und schließen können. Durch die hohen Wechselbeanspruchungen zeigten sich rasch einige Schwachpunkte an den Rüttelrohren hinsichtlich des Ermüdungswiderstandes. Insbesondere am Übergang zwischen Trichter und Rohr traten Schweißnahttrisse auf. Aus diesem Grund wurde das Bauteil konstruktiv verbessert, wodurch eine Verlagerung des Ermüdungsschwachpunktes erreicht wurde. Durch weitere Ertüchtigungsmaßnahmen sollte die Dauerhaftigkeit der Gesamtkonstruktion auf die des Rüttelrohres angehoben werden. Alternativ zu einer kostenintensiven Verstärkung der Wanddicke des Rohres im Übergangsbereich zum Trichter wurde eine Nachbehandlung der Knotenblechumschweißung mit dem HiFIT-Verfahren durchgeführt. Der praktische Einsatz zeigt dass mit Hilfe des wesentlich kostengünstigeren Nachbehandlungsverfahrens Rüttelrohre mit höchster Lebensdauer hergestellt werden können [4].

4.4 Qualitätssicherung

Im Rahmen des Forschungsprojektes REFRESH wurden an über 800 durchgeführten Ermüdungsversuchen der Einfluss der Pingeometrie, der Pinanordnung – ein Pin oder mehrere in Reihe – der Hämmerintensität sowie der Geräteanwendungsparameter (Anpressdruck, Fortschrittgeschwindigkeit und Applikationswinkel) untersucht. Die erzielten Ergebnisse und damit die Kenntnis der Auswirkungen der Variation der wesentlichen, den Nachbehandlungsprozess beschreibenden, Parameter erlauben es, zulässige Behandlungsparameterfelder festzulegen. Um die Anwendung überwachen zu können und die Behandlungsqualität sicherzustellen, wurde ein Qualitätssicherungssystem und ein Anforderungskatalog an das Fachpersonal erarbeitet. Die Zertifizierung der Verfahren erfolgt auf Basis eines gemeinsam von der Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung und der Versuchsanstalt für Stahl, Holz und Steine der Universität Karlsruhe erarbeiteten Zertifizierungssystems.

5 Projektrahmen

REFRESH wurde als EUREKA-PRO-FACTORY-Projekt mit Beteiligung europäischer Partner durchgeführt. EUREKA bietet eine einfache europäische Kooperation an ohne das komplexere Regelwerk der EU beachten zu müssen. Zum einen sollte die Untersuchung der Hochfrequenzhämmerverfahren neben dem im Projekt entwickelten HiFIT-Verfahren auf ein weiteres Verfahren, dem UIT-Verfahren, ausgeweitet werden. Da dieses nur von niederländischen Firmen angeboten wird, war die Beteiligung eines niederländischen Partners erforderlich. Weitere Partner aus der Schweiz und Frankreich sollten gewährleisten, dass auch im europäischen Ausland eine Akzeptanz und Verbreitung der Verfahren erzielt wird. Deren Mitarbeit in Gremien zur Erarbeitung europäischer und nationaler Regelwerke hat einen großen Einfluss auf die Aufnahme der untersuchten Verfahren in diese Regelwerke.

6 Ausblick

Der praktische Einsatz der im REFRESH-Projekt untersuchten höherfrequenten Hämmerverfahren belegt eindeutig die enormen Kosteneinsparpotentiale, die sich für ermüdungsbeanspruchte, geschweißte Stahlkonstruktionen ergeben. Dies gilt sowohl für ermüdungsbeanspruchte Bauteile des Anlagenbaus als auch für Konstruktionen des Bauwesens. Wie gezeigt wurde, kann mit Hilfe der untersuchten Verfahren auch die Lebensdauer bestehender Konstruktionen erheblich gesteigert werden. Hieraus ergeben sich neben den privatwirtschaftlichen Kosteneinsparungen auch enorme volkswirtschaftliche Einsparpotentiale, wie z.B. anhand des Brückenbestandes der Deutschen Bahn aufgezeigt werden kann. Rund 15% dieser Brücken sind geschweißte Stahlkonstruktionen. Ein Großteil dieser Konstruktionen, mit einem Bestandswert von ca. 31 Mrd €, steht kurz vor dem Ende ihrer rechnerischen Lebensdauer, weshalb in den nächsten Jahren enorme Kosten für Neubau- bzw. Erneuerungsmaßnahmen anfallen. Durch Einsatz höherfrequenter Hämmerverfahren kann die Lebensdauer solcher Infrastruktureinheiten deutlich erhöht und damit volkswirtschaftliche Kosten in Milliardenhöhe eingespart werden.



Literatur:

- [1] Busler, H.; Mayer, G.: Schrägseilbrücke für Straßenbahn-, Geh- und Radverkehr. Fachthema in Stahlbau 78 (2009), H. 2 S. 78 - 85
- [2] Neher, M.: HiFIT – Verbesserung der Betriebsfestigkeit von Schweißverbindungen durch höherfrequentes Hämmern. Stahlbau 78 (2009), H. 9 S. 677 - 679
- [3] Rahlf, U.: Alternativer Berechnungsansatz zum Hochfrequenzhämmern – Versuch und praktische Anwendung in der Windenergietechnik. Stahlbau 78 (2009), H. 9 S. 637 - 644
- [4] Smida, M.; Senk, B.; Sträuber, V.: Versuche und Anwendung hochfrequenter Hämmerverfahren als Schweißnahtnachbehandlung. Stahlbau 78 (2009), H. 9 S. 650 - 661
- [5] Telljohann, G.; Dannemeyer, S.: HiFIT – Technische Entwicklung und Anwendung. Stahlbau 78 (2009), H. 9 S. 622 - 626
- [6] Ummenhofer, T. et al.: Abschlussbericht REFRESH-Lebensdauererlängerung neuer und bestehender geschweißter Stahlkonstruktionen, 2010
- [7] Weich, I.: Ermüdungsbeanspruchung mechanisch nachbehandelter Schweißverbindungen in Abhängigkeit des Randschichtzustands, Dissertation, 2008

Virtuelles Automatisierungsnetzwerk – ein EU-Projekt mit KIT als Projektmanagementpartner

Diplom-Informatiker Ralf Greiner-Jacob

Siemens AG, Nürnberg



Abbildung 1: Projekt-Logo (Quelle: VAN-Konsortium)

Zusammenfassung

Mit der Absicht, die europäische Führung in der industriellen Kommunikation und Automatisierung zu stärken, setzte sich das Projekt „VAN – Virtual Automation Networks“ das Ziel, Grundlagen für eine offene, nahtlose, herstellerunabhängige Netzwerklösung in der Prozess- und Fertigungsautomatisierung zu schaffen. Das Projekt lief als „Integrated Project“ im „Sixth Framework Programme“ der EU im Rahmen der IST (Information Society Technologies).

Das VAN-Konsortium bestand aus acht Firmen und sechs Instituten, die von führenden europäischen Partnern im Bereich der industriellen Automatisierung ihre Kompetenzen auf das spezielle Projektziel bündelten.

Der Schwerpunkt dieses Projekts lag in der Kommunikation über Netzwerke, die sehr hohen Ansprüchen der industriellen Automatisierungstechnik genügen müssen. In Bezug auf „Real-time“, „Safety“, „Security“, „Open Plattform“, „Wireless Communication“ und „Cooperation in private and public networks“ sind die einzelnen Bedingungen sehr restriktiv, insbesondere wenn man versucht, bereits bestehende Automatisierungsnetzwerke in eine gängige IT-Struktur einzubinden. Eine flexible Umgebung in Netzwerken zieht eine veränderte Systemarchitektur nach sich. Diese erfordert mitunter neue oder erweiterte Funktionen sowie neue Lösungskonzepte einer herstellerunabhängigen Netzwerklösung.

Die VAN-Projektstruktur wurde in 11 Hauptarbeitsgruppen gegliedert, wobei 10 davon überwiegend eine technische Aufgabenstellung inne hatten und über weitere Unter-Arbeitsgruppen verfügten. Die letzte Hauptarbeitsgruppe bündelte die Aufgaben des üblichen Projektmanagements sowie die speziellen Aufgaben, die in Zusammenhang mit der EU-

Förderung und dem Controlling des 6. Forschungsrahmenprogramms an das Projekt gestellt wurden.

Die Siemens AG stellte als größter Partner den Gesamt-Koordinator, Herrn Dr. Axel Klostermeyer, der zusammen mit dem technischen Koordinator, Herrn Ralf Greiner-Jacob, für die Projektkoordination verantwortlich zeichnete.

Das administrative Projektmanagement wurde in die Hände der PM-Gruppe beim Projektträger PTKA-PFT im KIT gelegt, dessen Hauptarbeit darin bestand, das wissenschaftliche Team weitgehend von notwendigen, aber hinderlichen Büro- und Verwaltungstätigkeiten zu entlasten. Die Arbeit der PM-Gruppe begann bereits weit vor dem eigentlichen Projektstart mit der Vertragsgestaltung zwischen den Partnern und der Europäischen Kommission und endete erst mit der Verteilung der letzten Fördermittel unter den Partnern. Die beteiligten Partner können somit ihre Kapazitäten innerhalb der Projektlaufzeit optimal konzentrieren, da alle begleitenden Maßnahmen über die PM-Gruppe abgewickelt werden.

1 Projektüberblick

Um in der industriellen Kommunikation und Automatisierung die europäische Führung zu stärken, setzte sich das Projekt VAN – Virtual Automation Networks das Ziel, eine offene, nahtlose und herstellerunabhängige Netzwerklösung zu entwerfen als Grundlage für sowohl die Prozess- als auch Fertigungsautomatisierung.

Das Projekt war eingegliedert als Integrated Project im Sixth Framework Program der EU im Rahmen von IST (Information Society Technologies). Die EU finanzierte dabei die Projektkosten für industrielle Partner zu 50% und trug diese für Universitäten und öffentliche Institute zu 100%. Die Gesamtkosten bei einer Projektdauer von 48 Monaten beliefen sich auf 12 Mio. €, davon wurden 7 Mio. € von der EU finanziert. Innerhalb der Laufzeit von September 2005 bis Oktober 2009 entwarfen die Partner dabei 72 Dokumente, sogenannte „Deliverables“, die ihre Arbeiten beschrieben, sowie zwei Demonstrationsanlagen, „Industrial Enhanced Setups“ (IES).

1.1 Konsortium

Das VAN-Konsortium bestand aus einer breiten Mischung von führenden europäischen und akademischen Partnern mit exzellenten Fachkenntnissen im Bereich der industriellen Automatisierung und einer großen Kompetenz, R&D-Projekte in diesem Gebiet auszuführen.

Folgende acht Firmen und sechs Institute bildeten das VAN-Konsortium:

Siemens AG, Nürnberg / Deutschland (Koordinator)

AUCOTEAM, Ingenieurgesellschaft für Automatisierungs- & Computertechnik mbH, Berlin / Deutschland

BUT, Vysoke Ucení Technické v Brně, Brno / Republik Tschechien

CARTIF, Centro de Automatización, Robótica y Tecnologías de la Información y de la Fabricación, Boecillo / Spanien

Fidia S.P.A., San Mauro Torinese / Italien

Heitec AG, Berlin / Germany

Ifak, Institut für Automation und Kommunikation e.V., Magdeburg / Deutschland

MCM, Machining Centers Manufacturing S.P.A., Vigolzone / Italien

Phoenix Contact Electronics GmbH,

Bad Pyrmont / Deutschland

Politecnico di Milano, Milano / Deutschland

Schneider Electric GMBH, Seligenstadt / Deutschland

TSA, Teleport Sachsen-Anhalt GmbH, Barleben / Deutschland

CVS, Otto-von-Guericke Universität Magdeburg, Magdeburg / Deutschland

Projektträger Karlsruhe im KIT, Produktion und Fertigungstechnologien (PTKA-PFT), Karlsruhe / Deutschland

1.2 Projektstruktur

Das Projekt gliederte sich in 8 Work Packages (WPs) mit unterschiedlichsten Aufgaben in Forschung, Überprüfung, Verwaltung und Implementierung.

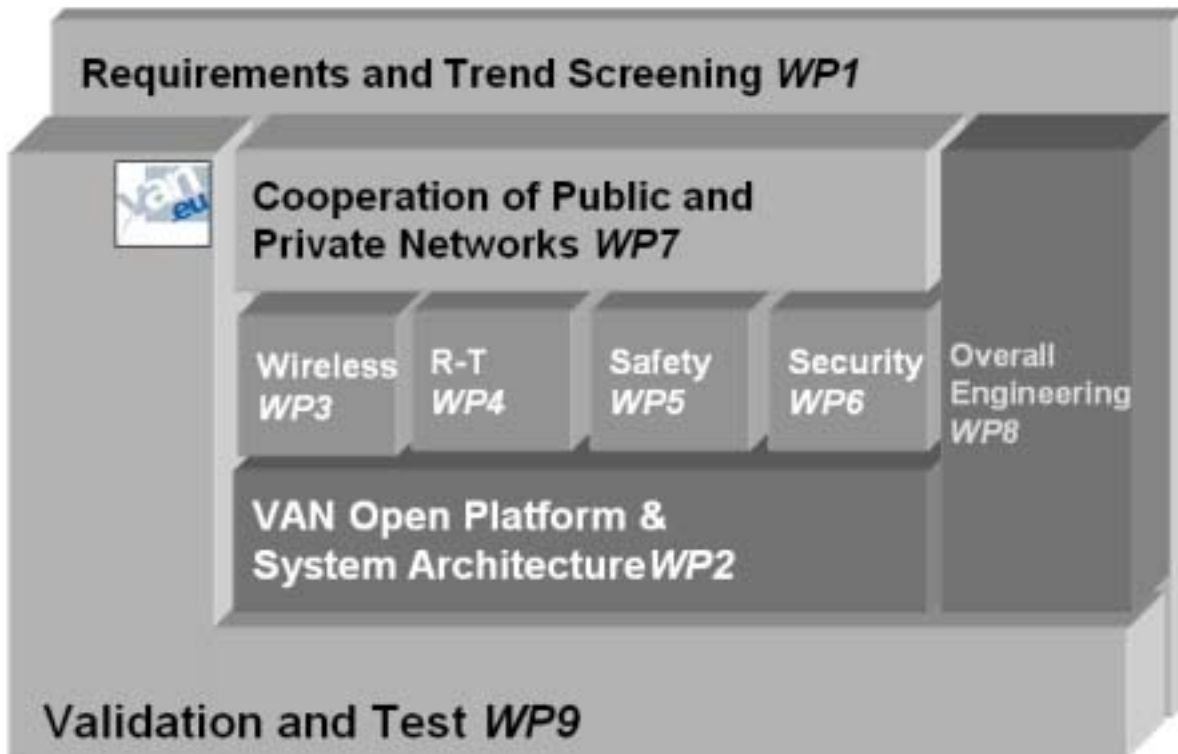


Abbildung 2: VAN-Projektstruktur (Quelle: VAN-Konsortium)

Die technische Forschung und Entwicklung lag in den WPs 2 bis 8, die von einer steten Validierung der Ergebnisse bezüglich des Stands der Technik vom WP1 begleitet wurde und schließlich durch WP9 auch eine Probeimplementierung erhielt, die in realen Anlagen verwendet wurde.

Die Siemens AG als größter Partner übernahm die Projektkoordination mit dem Gesamtkoordinator Dr. Axel Klostermeyer und dem technischen Koordinator Ralf Greiner-Jacob.

Das Projektmanagement lag in Händen der PM-Gruppe beim Projektträger PTKA-PFT im KIT, dessen Arbeit eine Entlastung von sonst notwendigen, mitunter aber hinderlichen Verwaltungstätigkeiten bescherte:

- KIT übernahm die Dokumentation und das Berichtswesen der Treffen sowohl zur Projektkoordination, wie auch zur technischen Koordination (PCCs)
- Ebenso zeichnete sich KIT für die periodische Berichterstattung zur EU verantwortlich.
- Daneben verfasste KIT nach vorhergehender Abstimmung mit den Partnern die erforderlichen Planungsunterlagen zur Weiterreichung an den Project Officer in Brüssel.
- Bei den halbjährlich stattfindenden Review-Sitzungen unterstützte KIT kompetent mit Sekretariatsaufgaben, sodass die Verantwortlichen von diesen Aufgaben entlastet wurden und sich auf die notwendigen inhaltlichen Themen konzentrieren konnten.
- Dies spiegelte sich auch in organisatorischer Hilfe bei turnusmäßigen Treffen des Konsortiums wider. Nicht zuletzt sorgte das meistens unbemerkbare Eingreifen des KIT-Personals für den reibungslosen und erfolgreichen Ablauf.

- Die Archivierung der Tagungs- und Projektergebnisse war eine Leistung, die allen Partnern bei der zügigen Auswertung half, sodass eine schnelle Weiterarbeit erfolgen konnte.
- Nicht zuletzt oblag die kaufmännische Kontrolle des Gesamtprojekts dem KIT und wurde mit allen Facetten und fundierter Sachkenntnis wahrgenommen.

2 Forschungsfelder

Der Akzent dieses Projekts lag auf der Kommunikation über Netzwerke, deren Tauglichkeit mit Blick auf die besonderen Ansprüche der industriellen Automatisierung untersucht wurde. In der Folge erarbeiteten die Arbeitsgruppen und Sub-Teams Verbesserungsansätze, neue Ansätze zur Nutzung sowie Richtlinien zur Anwendung bereits bestehender Konzepte, um diesen Anforderungen Genüge zu tun.

2.1 VAN Architektur

Grundlegend für das Projekt und auch die wesentliche Arbeit in der ersten Phase des Projekts war eine Gesamtbetrachtung der Kommunikationsanforderungen der industriellen Hauptbereiche Fertigungsautomatisierung und Prozessautomatisierung. Nach einer extensiven Anforderungssammlung in einer allen Konsortiumsmitgliedern zugänglichen Datenbasis wurden die wesentlichen Anwendungsszenarien extrahiert.

Daraus resultierte die grundlegende architektonische Betrachtung im Hinblick auf Kommunikationswege und die für diese Sicht notwendigen Gerätetypen. Ein großer Vorteil bei diesen Diskussionen beruhte auf der Zusammensetzung des Konsortiums. Es gab erfahrene Partner sowohl aus dem Bereich der öffentlichen Kommunikation wie auch aus dem Bereich der industriellen LANs. Die entworfene Sicht vereint nun Anforderungen und Einschränkungen aus beiden Bereichen.

Die wesentlichen Ergebnisse sind eine flexible Kommunikationsstruktur, die VPNs in Teilsegmenten benutzt, ein namensbasierter Zugriff auf Geräte und Objekte, der auch in privaten Adressierungsbereichen möglich ist. Diese VPN-Strecken sind innerhalb gewisser Vorgaben trotz der dieser privaten IP-Adressstruktur routbar und auch für den Zugang über DMZ einsetzbar. Darüber hinaus bietet die Struktur Sicherheit gegenüber Industriespionage, Sabotage und fehlerhafter Anwendung, sowie konsequente Integration von Industrial Safety.

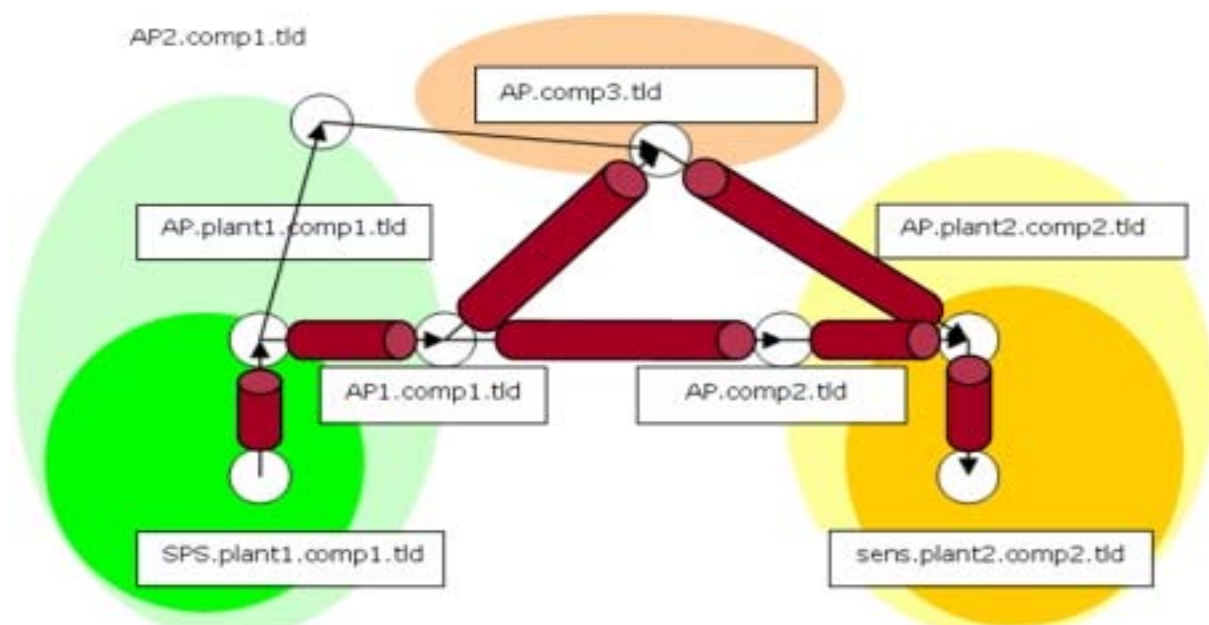


Abbildung 3: VPN-Tunnel in VAN-Netzsegmenten

2.2 Kabellose Kommunikation

Das Augenmerk bei der kabellosen Kommunikation lag auf Koexistenzuntersuchungen, Echtzeitübertragung und der Positionsbestimmung von Teilnehmern in einem WLAN. Randbedingung für Letzteres war die Benutzbarkeit eines bestehenden WLANs, ohne dass Erweiterungen bei handelsüblichen Wireless-Geräten vorgenommen werden müssen. So ist es beispielsweise möglich, Personen zu orten, die ein WLAN-Handy bei sich tragen, oder die Position von Fahrzeugen zu ermitteln, die eine Verbindung ins WLAN besitzen oder gar über dies gesteuert werden.

Basierend auf Frames oder Beacos, empfangen von mehreren industriellen Clients, wertet ein Server die Signale mit geeigneten Filtermethoden aus und bestimmt so die Position mittels Triangulation. Weitere Verfeinerungen konnten mit Hilfe eines probabilistischen Verfahrens unter Zuhilfenahme einer topologischen Datenbasis erzielt werden.

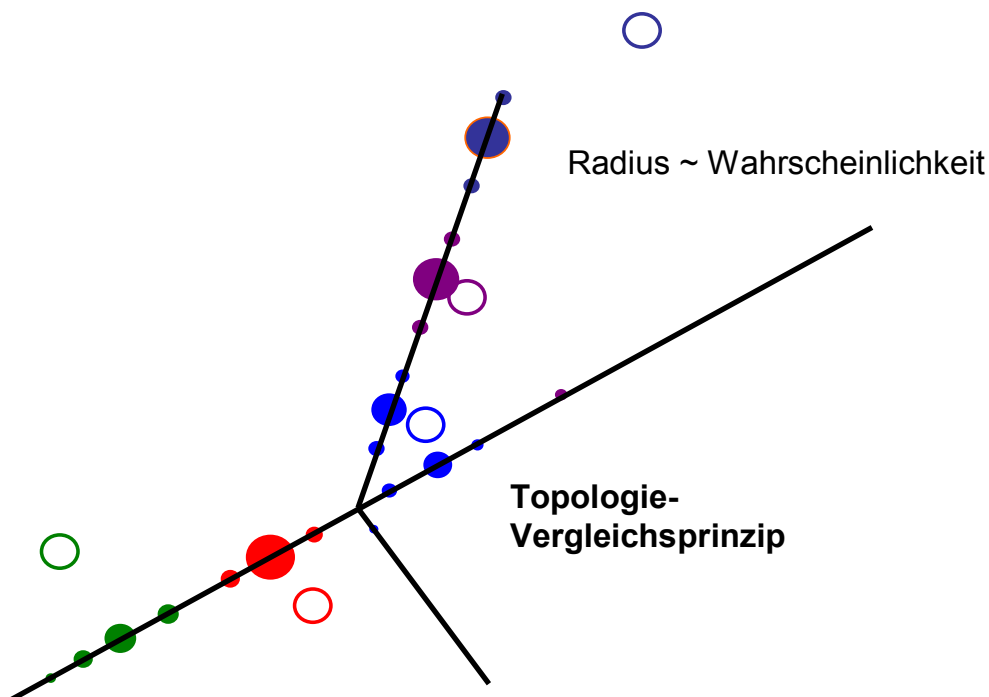


Abbildung 4: Positionsbestimmung in einem VAN-WLAN

Mit dieser Methode wurde in Probeimplementierungen im 5 GHz-Bereich ein minimaler Fehler von 1,7 m bis 1,9 m ermittelt, maximale Fehler lagen zwischen 3,9 m und 5,8 m, im 2,4 GHz-Bereich zeigten sich minimal Fehler von 1,8 m bis 2,8 m, maximal von 3,59 m bis 9,01 m. Die Ursache für die Unterschiede im Frequenzbereich konnte nicht ermittelt werden.

2.3 Real-time

Die Untersuchung der Echtzeitkommunikation zeitigte einige erwähnenswerte Ergebnisse. Die zuständigen Teams nahmen zur Erweiterung des bestehenden PROFINET-Protokolls um den Dienst RToverUDP eine Probeimplementierung vor. Mittels eines Hardware-Werkzeugs für Vergleichsmessungen konnten die resultierenden Werte für Latency, Jitter, Bitfehlerrate und Paketverlust ermittelt werden. Die Ergebnisse zeigen, dass eine Echtzeitkommunikation in einem öffentlichen Netzwerk unter gewissen Bedingungen möglich ist. Auf einige dieser Bedingungen wird im Kapitel Fernwirktechnik näher eingegangen.

Eine absolut notwendige Voraussetzung dafür stellt die Verbesserung von VPN-Mechanismen bei der Benutzung dieser Echtzeitprotokolle mittels des TOS-Mappings dar. Dabei werden Prioritäten der Frames des Echtzeitprotokolls auf die Prioritäten (TOS-Parameter) des VPN-Frames übertragen.

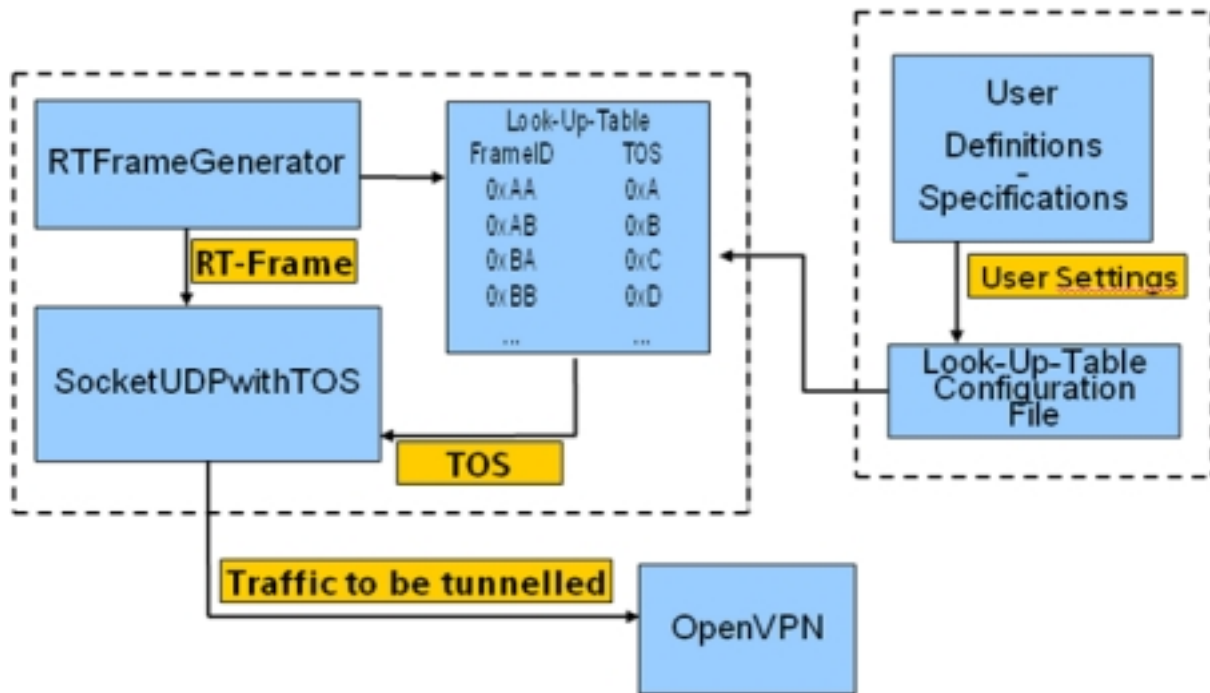


Abbildung 5: TOS-Mapping im Echtzeit-Frame

2.4 Safety

In den Arbeitspaketen zu Safety wurde die Verwendung der bestehenden Safety-Layer-Technologie PFOFISave in öffentlichen Netzwerken überprüft. Die Safety-Anforderungen machten dabei eine zusätzliche IT-Security-Analyse notwendig, die im Kontext des Projekts erbracht wurde. Auf Grund fehlender Standards für Infrastruktur-, Gefahren- und Risiko-Analyse auf diesem Gebiet wurde diese Analyse entsprechend der VDI/VDE-Richtlinie 2182 „IT-Security in der industriellen Automation“ erstellt.

Insbesondere stellen dort die zeitlichen Anforderungen der Anwendungen an die Kommunikation die Begrenzung für den Einsatz dar. Es konnte gezeigt werden, dass eine breite Palette möglicher Anwendungen mit den erzielten Zeiten möglich ist. Jedoch zeigte sich beim Einsatz von UMTS, dass die dort gemessenen maximalen Zeitverzögerungen für viele Anwendungen noch nicht ausreichen, um Safety auf diesem Medium einzusetzen.

2.5 Security

Drei wesentliche Säulen definieren das Security-Konzept von VAN.

- Verwaltung der Security-Police über einen getrennten Kanal
- Vorgelagerte SW-Pakete zum Schutz der Anwendung von DoS-Angriffen
- Tiefenschutz durch mehrfache Sicherheitsprotokolle

Eigene Container mit Authentifizierung bei getrenntem Kanal für die Police-Verwaltung machen eine Manipulation über den Abfragekanal unmöglich. Daneben können die vorgelagerten Implementierungen Schutzmechanismen in der Anwendung entfallen und reduzieren damit auch fehlerhafte Implementierung oder Anwendung bzw. lassen unabhängige Anwendungen überhaupt erst zu. Der vollständige Verzicht auf Schreibvorgänge bei der Policeauswertung reduziert die potentiellen Sicherheitslöcher um einen weiteren Faktor.

Der Tiefenschutz beinhaltet Filter mit Whitelists (beispielsweise über Adressen). Daneben wurde ein dezidiertes Konzept für PKI-Zertifikate bei maschinenbasierter Kommunikation erarbeitet, wie auch eine Vorschrift zum Bootstrapping und der damit verbundenen Schlüsselübernahme.

2.6 Fernwirktechnik

Mit der verstärkten Benutzung von öffentlichen Netzwerken geht einher, dass bestimmte Fernwirktechniken in die allgemeine Kommunikation übernommen werden müssen. So ist beispielsweise mitunter keine stehende Verbindung zwischen sporadisch kommunizierenden Maschinen notwendig. Unter Umständen kann eine Verbindung auf wenige Minuten pro Tag zum Austausch von Archiv- oder Statistikdaten begrenzt werden, oder eine Verbindung ist nur bei bestimmten Ereignissen nötig. Das macht beidseitig dynamisch initiierbare Kommunikation notwendig, ebenso die verbindungsspezifische Speicherung von Werten während einer Offline-Phase. Dazu kommen weiter auch Filter, um nicht jeden Zwischenwert erfassen zu müssen bzw. um ein interessantes Werteintervall festzulegen.

Basierend auf einem Echtzeit-Peer-to-Peer-Kommunikationsprotokoll wurde ein minimales Fernwirktechnik-Profil implementiert, das die genannten Anforderungen abdeckt und bei Bedarf mit entsprechend projizierten Werten in die Anwendungskommunikation integriert werden kann.

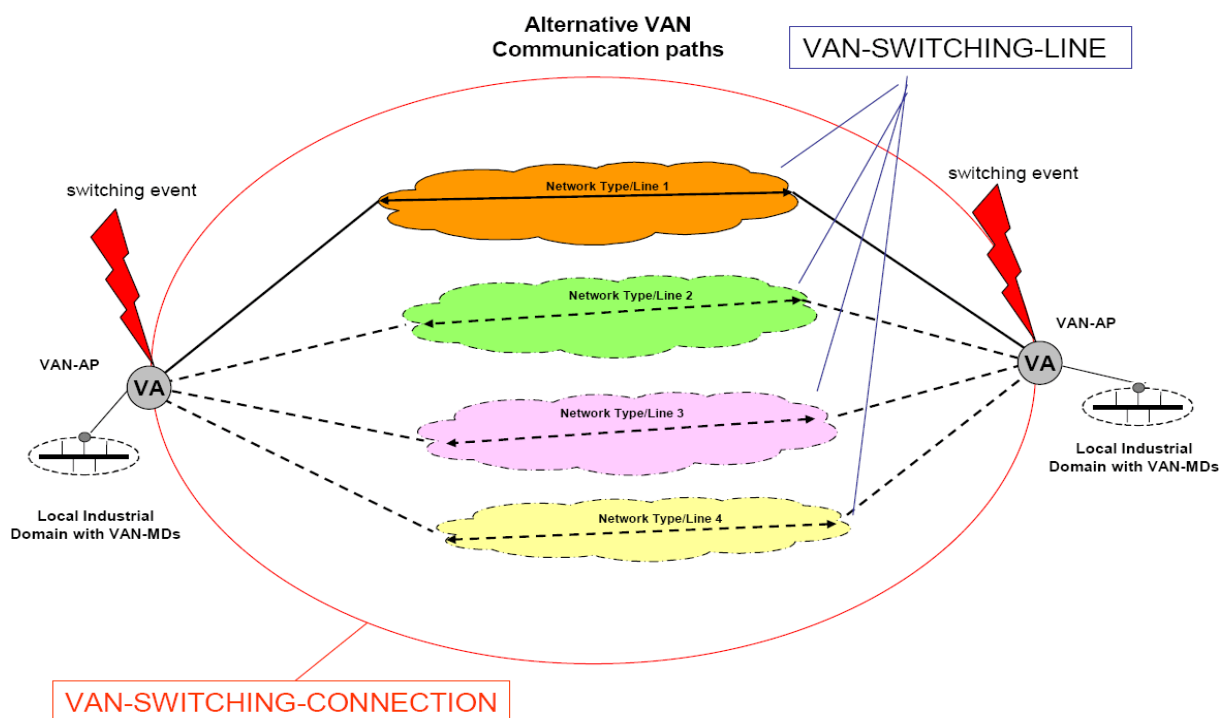


Abbildung 6: Provider-Switching

Darüber hinaus bietet eine stete Messung der Verbindungsqualität die Möglichkeit eines dynamischen Wechsels des Providerzugangs, sobald ein nicht mehr akzeptables Niveau eines bestimmten kritischen Parameters wie Jitter, Delay oder Packet Loss erreicht wird.

2.7 Projektierung

Die Projektierung der VAN-Geräte wurde mit Hilfe von Web-Services vorgenommen. Basierend auf der XML-Technologie wurde ein Werkzeug programmiert, das spezielle VAN-Gerätebeschreibungen laden kann und daraus resultierende Facetten im Laufe eines bestimmten Inbetriebnahme-Projekts zur Verfügung stellt. Die Gerätetypbeschreibung liefert die Auswahl der jeweils vom Gerät angebotenen Funktionalitäten, die Beschreibung jeder Funktionalität enthält eine Eingabemaske für die zugehörigen Parameter. Im Zuge dieser Aktionen entstand ein Stand-Alone-Werkzeug, das unabhängig von einem gerätespezifischen Engineering additiv benutzt werden kann und eine in Step7 integrierte Implementierung, die zeigt, wie die VAN-Funktionalität als Paket in bestehende Projektierungswerkzeuge integriert werden kann.

3 Validierung und Test

3.1 Begleitende Trend- und Technologierecherche

Einen Erfolgsfaktor des Projekts bildeten parallel laufende Recherchen zu den in den Arbeitsgruppen behandelten Themen. Damit erfolgte ein sofortiger Rückfluss, ob die derzeitigen Trends und laufende Neuerscheinungen von Automatisierungsprodukten in eine vergleichbare Richtung gehen, was bei einem Projekt mit einer entsprechend langen Laufzeit durchaus notwendig ist. Darüber hinaus bot sich die Technologierecherche auch als eine Ideenquelle an, um Lösungen für offene Punkte in der VAN-Architektur zu finden.

3.2 Prototypen in realen Anlagen

Gegen Ende des Projektes konzentrierten sich die Aktivitäten auf zwei prototypische Implementierungen jeweils einer Anlage für Fertigungsautomatisierung und für Prozessautomatisierung.



Abbildung 7: Prototypanlage für Fertigungsautomatisierung in Modugno

So entstand aus dem Maschinenpark und der Applikations-Software des parallel laufenden EU-Projekts „Pabadis Promise“ eine Teilanlage für eine Motorenfertigung bestehend aus einer zentralen Steuereinheit (JFMX) des Konsortiums-Partners Fidia, Fräsmaschinen, einem Fließband und einem Roboter-Arm, der Maschinenteile vom Fließband entnahm und bei der Fräsmaschine auflegte und umgekehrt. Die VAN-spezifischen Erweiterungen in den angeschlossenen Speicherprogrammierbaren Gerätesteuerungen ermöglichte es, den Standort des JFMX von der lokalen Halle zu einem entfernten zu verlegen. So könnte die Anlagensteuerung bei einem Ausfall einer lokalen Steuereinheit von einem anderen Firmenstandort oder auch als Garantieleistung vom Gerätehersteller übernommen werden, ohne dass die laufende Produktion unterbrochen werden muss. Um dies zu demonstrieren, wurde die Testanlage in Modugno/Bari/Italien mit einem lokalen JFMX versehen, dessen Aufgabe nach einem ersten Lauf in einem zweiten Schritt von einem baugleichen Gerät übernommen wurde, das im ca. 1000 km entfernten Vigolzone/Milano/Italien stand.

Der Prototyp für die Prozessautomation ist eine Biogasanlage der Firma Wabio mit Standort Neukirchen/Sachsen/Deutschland. Wabio plant in Gera/Thüringen/Deutschland ein zentrales

Kontrollzentrum für diese und andere Anlagen, wie z.B. die in Bau befindliche Anlage in Briselang/Brandenburg/Deutschland und weitere in Betrieb zu nehmen. Eine zentrale Supervisor-Steuerung wertet verschiedene Messwerte aus dem jeweiligen Bioreaktor aus, um durch entsprechende Zuführung von verschiedenen Rohmaterialien die optimale Effizienz zu erreichen.

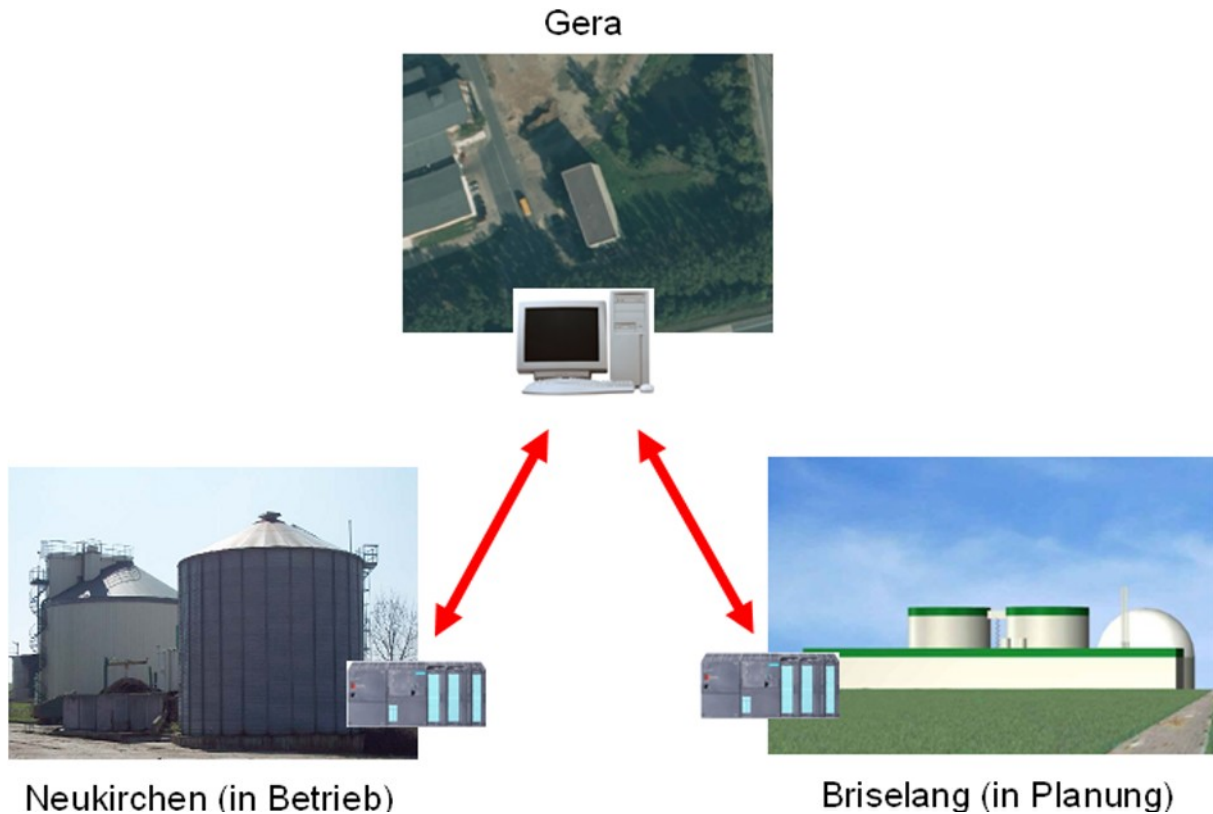


Abbildung 8: Prototypanlage der Prozessautomatisierung in Neukirchen und Gera

Basierend auf der VAN-Kommunikation wurden Messgeräte für die Essigsäurekonzentration über Speicherprogrammierbare Steuerungen mit VAN-Erweiterungen der beiden Standorte verbunden und die Werte auf diese Weise übertragen. Um die Sicherheit der Anlage zu demonstrieren, wurde nach einer Inbetriebnahme der Security-Pakete mit PKI-Schlüssel ein Hacker-Angriff simuliert. Zeitgleich erschien im Kontrollzentrum Gera eine Meldung über das versuchte Eindringen in das Virtuelle Automatisierungsnetzwerk.

Literatur:

[1] The VAN Consortium, Deliverables D01.1-1 bis D11.1-3

Herausforderungen für die Produktion(sforschung) 2020

Prof. Dr.-Ing. Eberhard Abele

Institut für Produktionsmanagement, Technologie und Werkzeugmaschinen (PTW)
Technische Universität Darmstadt

Zusammenfassung

Das produzierende Gewerbe in Deutschland bildet die Basis unseres Wohlstandes. Rund 7,7 Mio. Arbeitsplätze sind direkt im produzierenden Gewerbe beschäftigt. Nochmals rund 7.1 Mio. Arbeitsplätze sind im Bereich der Dienstleistung, Logistik etc. von der Produktion von Waren abhängig. Kein anderes Land hat einen vergleichbar hohen Anteil an Beschäftigten (von über 30 %), die direkt oder indirekt von der Produktion abhängen.

Szenarien, die eine positive und eine eher negative Entwicklung der Produktion in Deutschland gegenüberstellen, zeigen, dass sowohl ein Potential aber auch ein Risiko für mehrere Millionen Arbeitsplätze vorhanden ist. Ein entscheidender Hebel für die Nutzung unserer Chancen in einem globalen Wettbewerb liegt in der zukünftigen Gestaltung der Innovationskraft in dem Bereich der Produktionstechnologie.

Aufgrund dieser immensen Bedeutung der Produktionstechnologie für Beschäftigung und Wohlstand in der Bundesrepublik sieht die Bundesregierung deshalb die Produktionstechnologie als eine tragende Säule ihrer Hightech-Strategie.

Zur Vorbereitung eines Programms „Produktionsforschung 2020“ hat das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) und der Projektträger Karlsruhe (PTKA) eine Studie in Auftrag gegeben. Ziel der Studie soll sein

- Die Herausforderungen der Produktion für die nächsten Jahre herauszuarbeiten
- Handlungsbedarf und insbesondere Forschungsbedarf aufzuzeigen.

Die Projektleitung der Studie lag bei PTW, TU Darmstadt und iwB, TU München. Um möglichst umfassende und vielfältige Erfahrungen in die Studie einbringen zu können, wurden insgesamt 16 Institute, Industrievertreter, Verbände und Gewerkschaftsvertreter eingebunden. In mehreren Workshops und Fachgesprächen mit wissenschaftlichen Einrichtungen wie Acatech, dem Berliner Kreis und der WGP wurden der Handlungsbedarf konkretisiert und prioritäre Maßnahmen erarbeitet. Die Zusammenführung aller Erkenntnisse erfolgte in einem Kernteam, in dem Vertreter aus Forschung, Industrie, Verbänden sowie dem BMBF und dem Projektträger PTKA vertreten waren.

Die Studie zeigt klar: Unser Produktionsstandort Deutschland ist im Umbruch. Die bisher erreichte Position Deutschlands im Bereich der Produktionstechnologie steht auf dem Prüfstand! Ein tiefgreifender globaler Wandel von Märkten, Fähigkeiten und Rahmenbedingungen bestimmt in Zukunft mehr denn je die Herausforderung an den Erhalt der Produktion und damit auch der Arbeitsplätze.

Dieser Wandel ist aber auch eine einzigartige Chance als „Erster“ Innovationen z.B. im Bereich energieeffizienter Produktionsausrüstung oder ressourcenschonender Produkte auf den Markt zu bringen. Nur mit einer leistungsfähigen Produktionsforschung werden wir als Industriestandort in Zukunft an der Spitze eines globalen Innovationswettbewerbes stehen können.

Die Studie hat, ausgehend von den Bedarfsweldern der Gesellschaft und den erkennbaren Megatrends, den Forschungsbedarf in den verschiedenen Themenfeldern eines produzierenden Unternehmens wie zum Beispiel Produktentwicklung, Produktionstechnologie oder Planung und Logistik untersucht (Arbeitspaket 1).

Parallel wurden, um einen gewissen Tiefgang zu erreichen, ausgewählte Branchen betrachtet (Arbeitspaket 2). Ein Einblick in nationale und internationale produktionsbezogene Forschungsprogramme ergab ein umfassendes Bild der weltweiten Produktionsforschung.

Produktionsforschung sollte in Zukunft zwei Ansatzpunkte haben:

- Stärkung der produktionstechnischen Vorreiterrolle in den Kernbranchen wie z.B. Automobil, Maschinenbau, elektrotechnische und verfahrenstechnische Industrie etc.
- Befähigung einer Produktion am Standort D in zukünftigen neuen Wachstumskernen wie zum Beispiel Umwelttechnologien, Elektromobilität etc.

Im Rahmen der Studie wurden rund 200 zukunftsorientierte Produktionsforschungsansätze erarbeitet.

Exemplarisch sind einige hier genannt:

- Neue Produktionstechnologien für zukünftige regenerative Energiesysteme (Photovoltaik etc)
- Aufbau einer nationalen Wertschöpfungskette / Produktionstechnologie für die Mobilität der Zukunft z.B. Elektromobilität
- Ressourceneffiziente Produktionstechnologien, Produkt- und Rohstoffkreisläufe
- Digitale Fabrik /IT in der Fabrik von morgen
- Automations-Know-how ausbauen, „Intelligente“ Produktionstechnik
- Neue Formen des Lernens für die Produktion von morgen
- Neue Produktionstechnologien für die Medizintechnik von morgen
- Hochleistungsprozessketten für zukünftige Wachstumskerne
- Produktentwicklung, vorausschauend und systemorientiert
- Das atmende und wandlungsfähige Produktionsnetzwerk
- Wissensmanagement in der Komplexität der Fertigungsprozesse

Innovationssprünge erfordern zukünftig eine interdisziplinäre und simultane Forschung entlang des Produktentstehungs- und Produktionsprozesses. Deshalb umfasst die Produktionsforschung die Produktentwicklung, die Produktionstechnik und -organisation, aber auch insbesondere den Menschen und sein Wissen als Schlüsselfaktor der Zukunft. Die Produktionsforschung integriert Ideen, Erkenntnisse und Erfahrungen aus anderen Technologiebereichen wie Informations- und Kommunikationstechnik, Mikro-, Nano-, und Biotechnologie, Materialwissenschaft und der Elektronik sowie Ergebnisse aus der Dienstleistungs- und Sicherheitsforschung. Erst durch die Produktion werden Ideen und Erfindungen aus den Schlüsseltechnologien in verkaufsfähige Produkte umgesetzt und damit Innovationen am Markt etabliert.

Die Studie zeigt, dass Produktion eine zentrale Schlüsseltechnologie ist und damit Produktionsforschung in Zukunft eine wichtige synergetische Wirkung auf die Innovationskompetenz einer Industrienation wie Deutschland haben wird.

Karlsruhe, 10. März 2010



Herausforderungen für die Produktion(sforschung) 2020

Prof. Dr.-Ing. E. Abele
 Institutsleiter PTW TU-Darmstadt
 Leiter Kernteam Produktionsforschung 2020

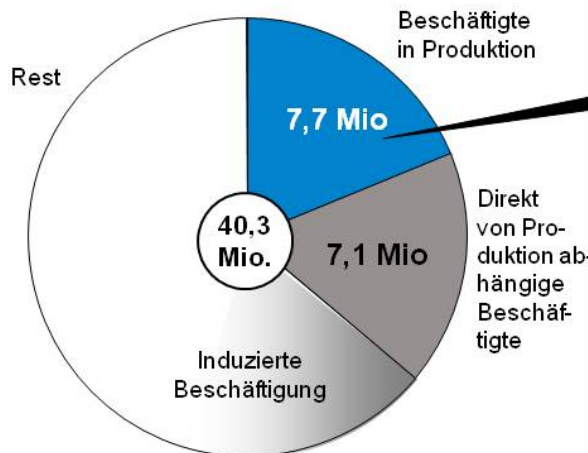


Abb. 0: Herausforderungen für die Produktion(sforschung) 2020

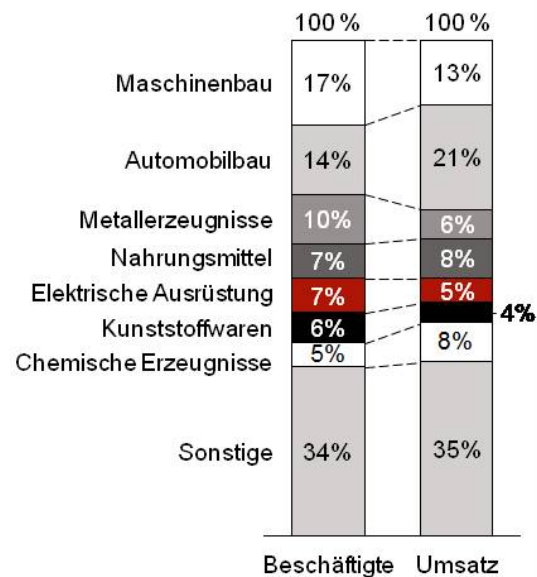
Beschäftigungsstruktur in Deutschland



Beschäftigte gesamt in Deutschland (2008)*




Branchenstruktur in Deutschland (2008)**



Quelle: * Statistisches Bundesamt, Stand 01/2010
 ** Statistisches Bundesamt, Stand 01/2010


100102BH1 Bild 1

Abb. 1: Beschäftigungsstruktur in Deutschland (Quelle: Stat. Bundesamt)



Produktion – Bedeutung für Deutschland

- Industrielle Produktion ist bis heute der **zentrale Treiber** für Wertschöpfung und Beschäftigung
- Kein anderes Industrieland hat einen vergleichbaren **hohen Anteil**, der direkt und indirekt von der Produktion abhängige **Arbeitsplätze** und deren **Wertschöpfung** (37% der Gesamtwirtschaft)
- In den Sektoren der **Spitzentechnologie** arbeiten bislang nur **10% der Beschäftigten**. Teilweise haben diese Sektoren auch Beschäftigungsrückgang. Sie kompensieren keinen Beschäftigungsrückgang in den traditionellen Bereichen.
- Deutsche Wirtschaft ist wie keine andere auf Entwicklung von Maschinen- und Anlagenbau und damit auch **Produktionstechnologie spezialisiert**.
- Produktionstechnologie hat Charakter einer Querschnitts- und **Schlüsseltechnologie**. **Ihr Standort zieht** Produktentwicklung, Dienstleister und Zulieferer **an**.



Nur ein starker Produktionsstandort kann Deutschland aus der Krise befreien!




Foto: ABB




Foto: AFP




Foto: B+M GmbH




Foto: Computer & Automation

100102BH1 Bild 2

Abb. 2: Produktion – Bedeutung für Deutschland



Produktion 2020 – Quo vadis?

Weltwirtschaftliche Entwicklung?

- Märkte?
- Marktzugang?

Volkswirtschaftliche Entwicklung?

- Entwicklung der Standortfaktoren relativ zu anderen Industrieländern?
- Produktivitätsfortschritt in Relation zu anderen Industrieländern?

Unternehmensentwicklung?

- „Richtige Produkte“,
- mit der besten Produktionstechnik,
- zur richtigen Zeit am „richtigen Markt“





100102BH1 Bild 3

Quelle: PTW, VNR, Oral B

Abb. 3: Produktion 2020 – Quo Vadis?

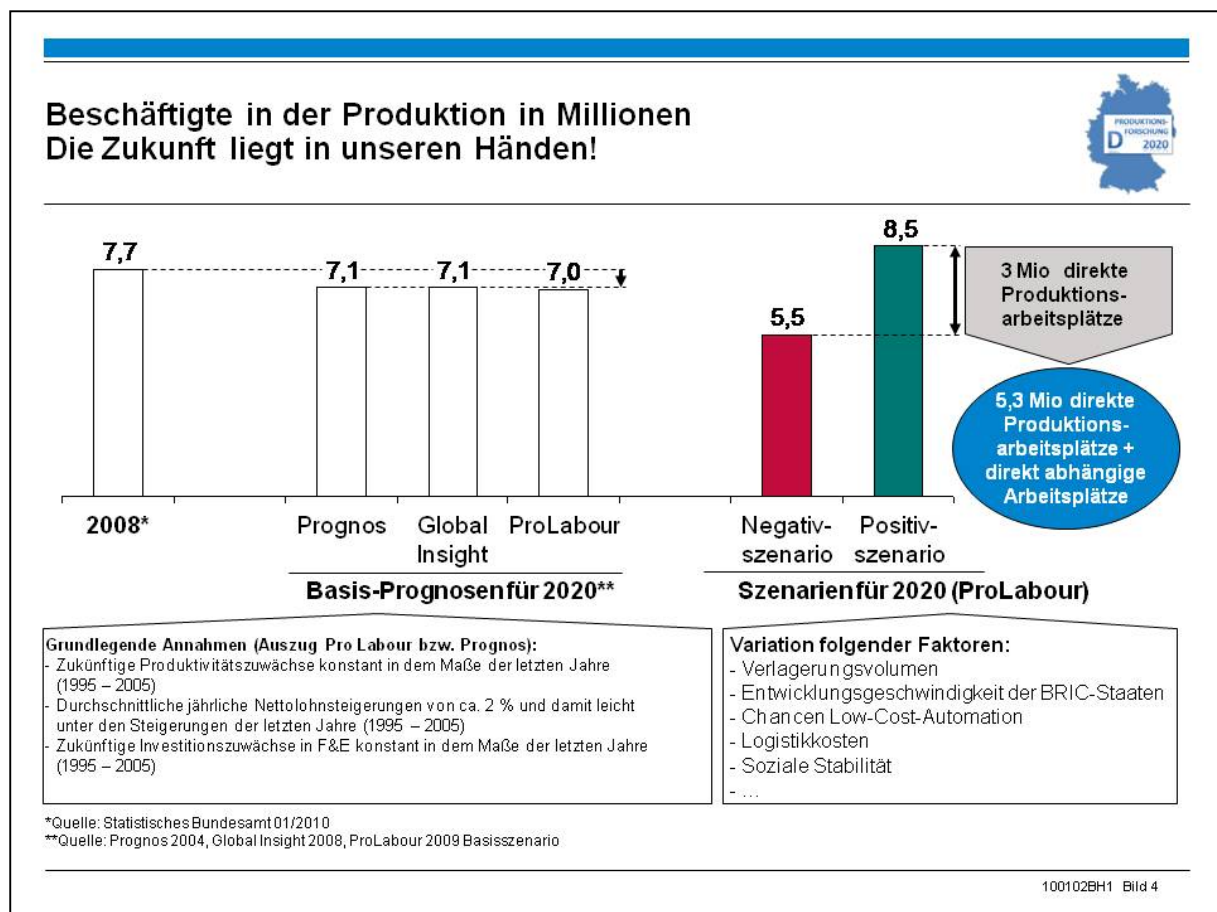



Abb. 4: Beschäftigte in der Produktion in Millionen (Quelle: Stat. Bundesamt / Prognos)

Zielsetzung der Studie „Produktionsforschung 2020“

1. Industrielle Produktion in D ist nachhaltig zu stärken. **Innovationsführerschaft und damit** Impulse für Erhalt und **Ausbau der Beschäftigung** sind vorrangiges Ziel
2. Deutschland besetzt (noch) eine **Spitzenposition im Bereich der Produktionsforschung** und der Produktionstechnologie. Diese gilt es gegen einen zunehmend härteren Wettbewerb zu verteidigen.



- „Chancen und Risiken der Produktionstechnologie in D unter Beachtung zukünftiger Megatrends
- Vision und Leitbild der Produktion 2020
- Forschungsbedarf aufzeigen
- Vorschläge für prioritäre Maßnahmen
- Empfehlungen zur Gestaltung eines Forschungsprogramms „Produktionsforschung 2020“

100102BH1 Bild 5

Abb. 5: Zielsetzung der Studie „Produktionsforschung 2020“

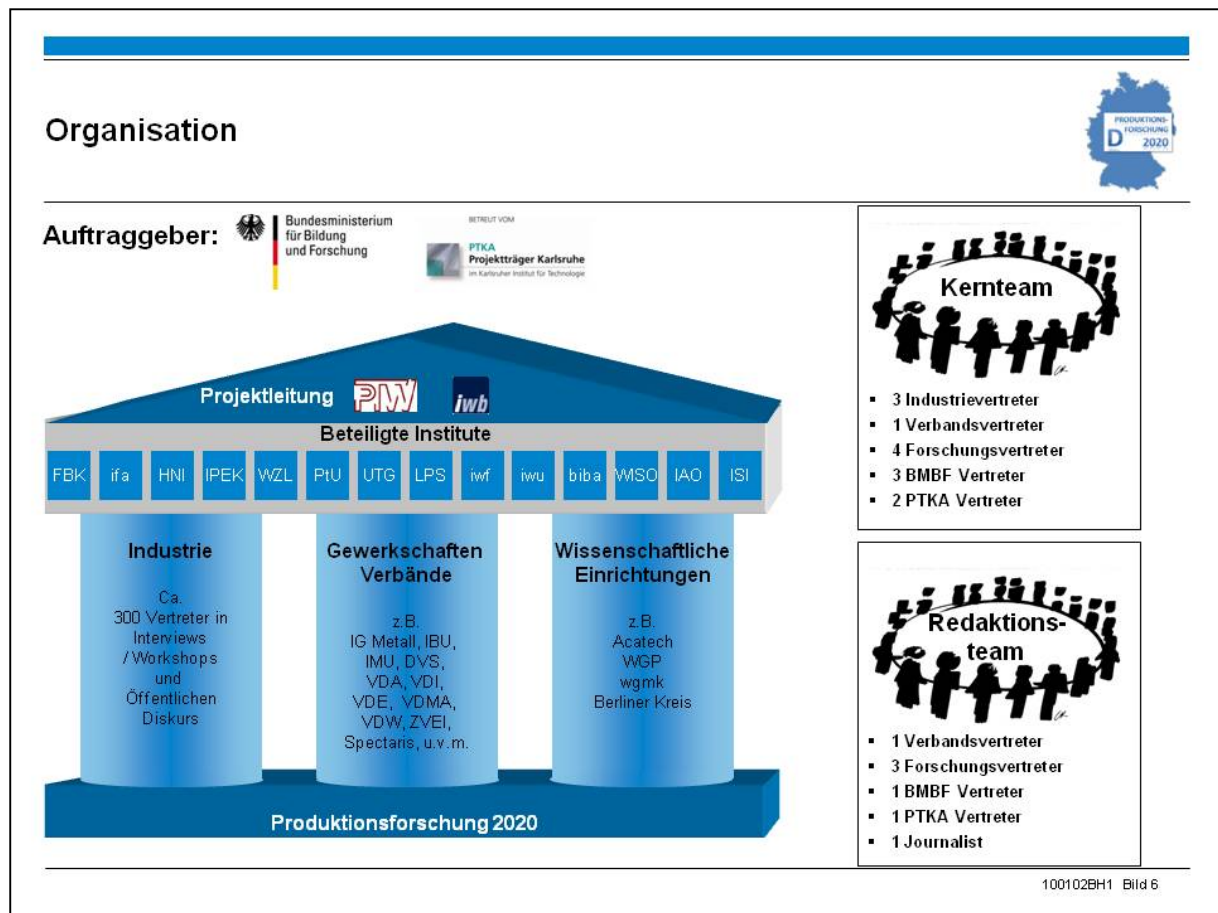


Abb. 6: Beteiligte an der Studie „Produktionsforschung 2020“

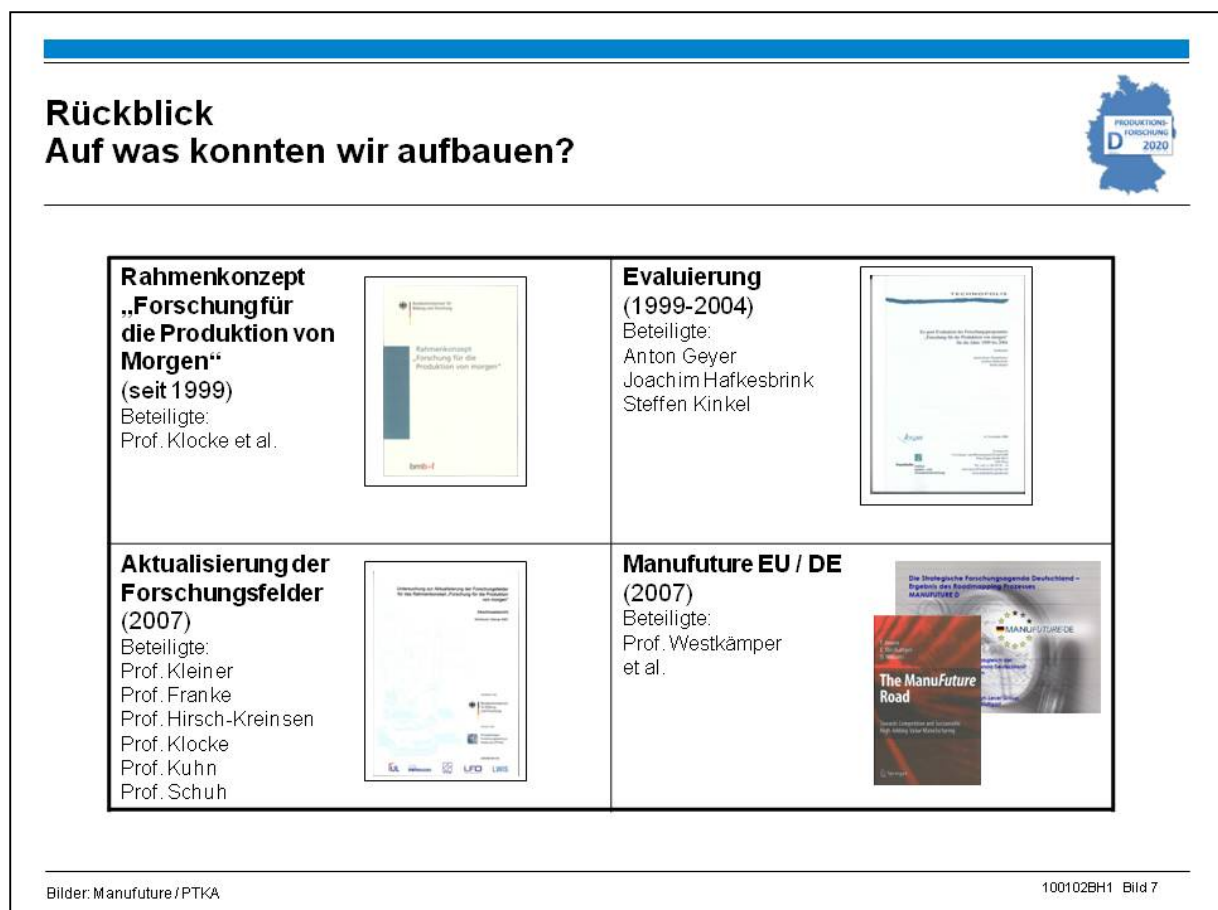


Abb. 7: Rückblick – Auf was konnten wir aufbauen?

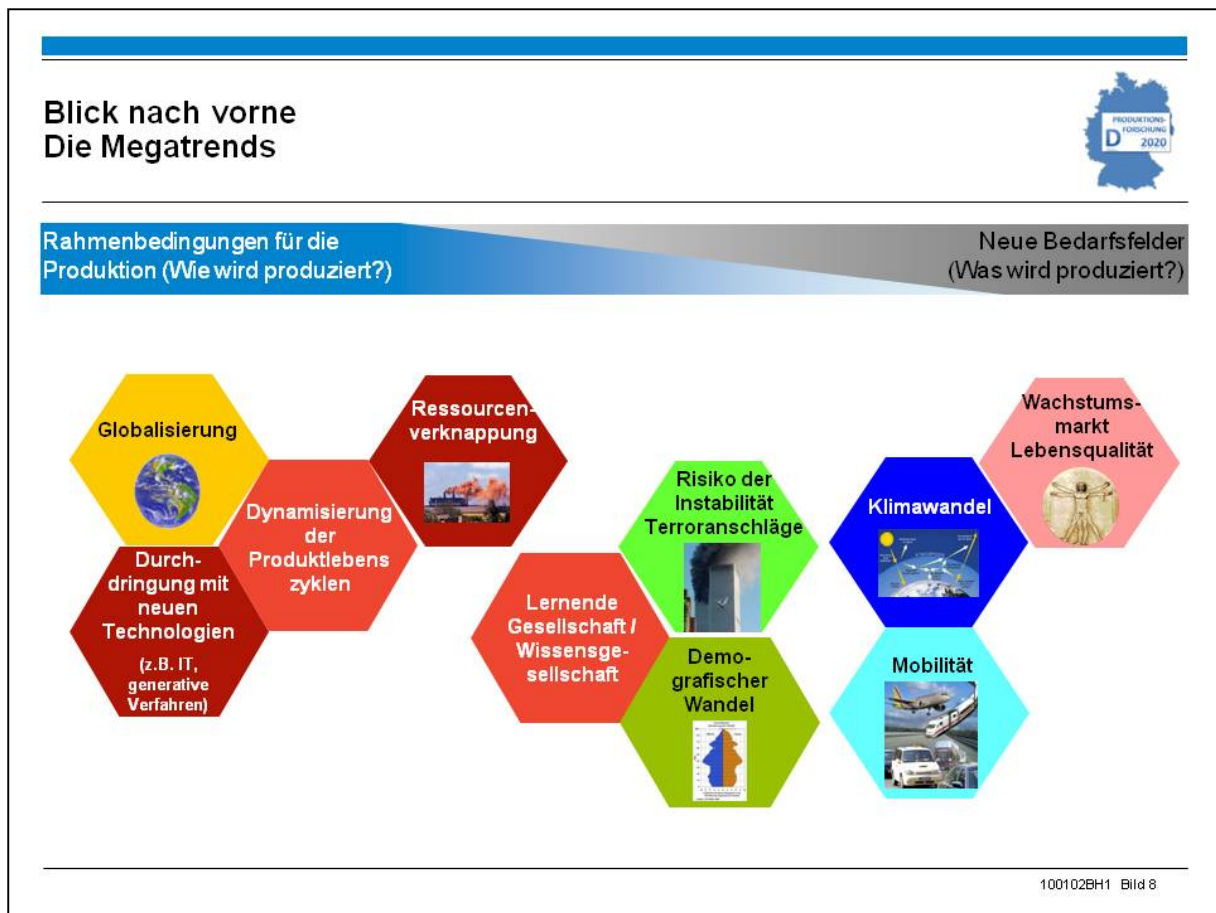


Abb. 8: Blick nach vorne – die Megatrends

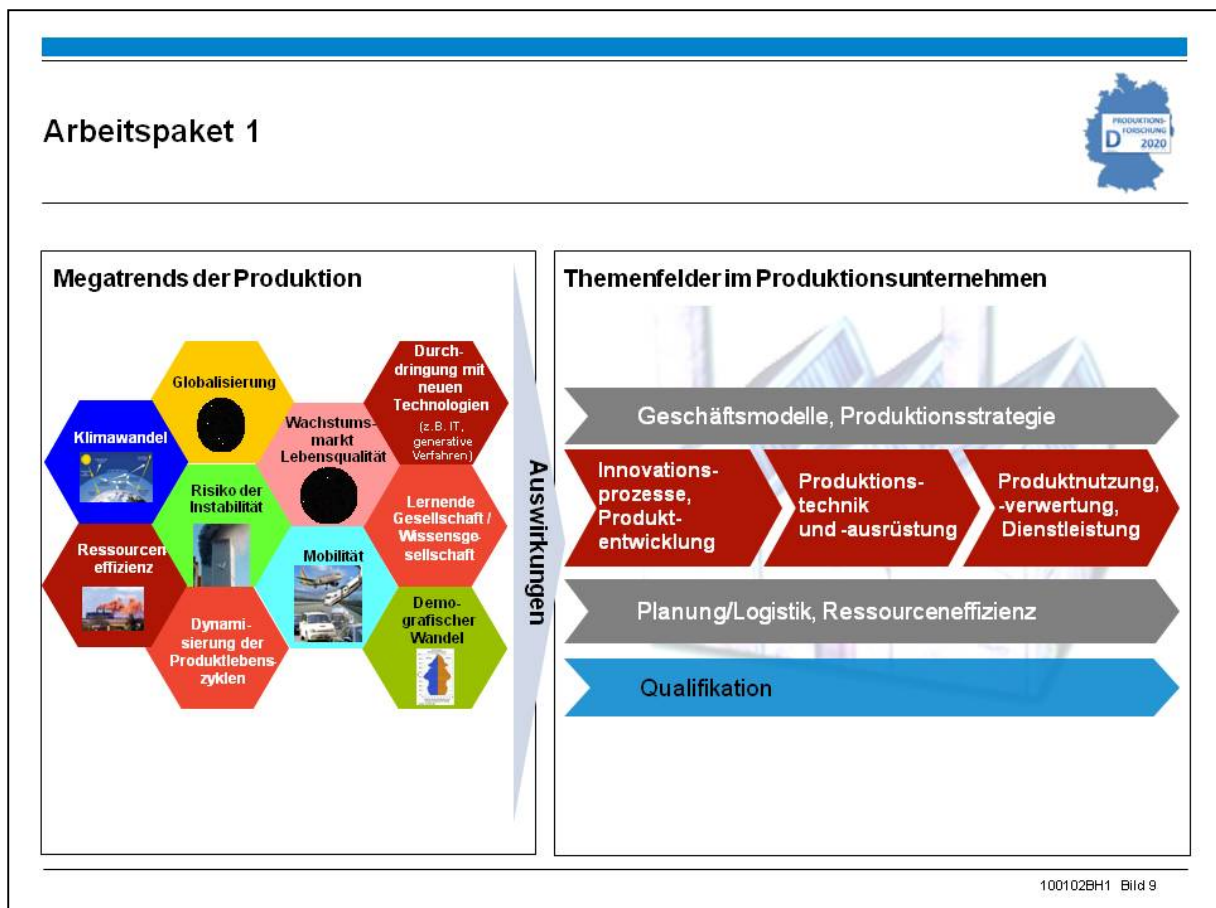


Abb. 9: Arbeitspaket 1

Arbeitspaket 1: Erwartete Ergebnisse



Fragestellungen in Arbeitspaket 1:

- Stand der Forschung / Stand der Anwendung
- Herausforderungen durch die Megatrends auf die Themenfelder der Produktion
- Ermittlung des Handlungs-/ Forschungsbedarfs
- Priorisierung des Forschungsbedarfs

Themenfelder im Produktionsunternehmen



100102BH1 Bild 10

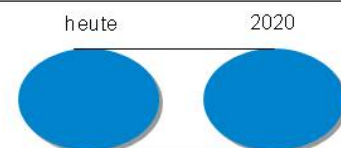
Abb. 10: Arbeitspaket 1 – zentrale Fragestellung der 6 Arbeitsgruppen

Arbeitspaket 2: Schlüsseltechnologien und –kompetenzen in ausgewählten Branchen

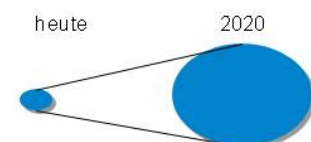


Erwartete Ergebnisse

1. Was sind die Wachstums- und Kernbranchen für Produktionsarbeitsplätze in Deutschland?
2. Sammlung von Branchenzweigen, Produktbereiche die aus Sicht der Teilnehmer besonderes Wachstum versprechen.
3. Identifizieren von Schlüsseltechnologien / -kompetenzen der Branchen.
4. Wie kann Deutschland in dieser Branche eine Vorreiterrolle in der Produktion behalten oder übernehmen?
5. Was kann Produktionsforschung dazu leisten?



Stärken stärken...
(Kernbranchen)




... Chancen nutzen
(Wachstumsbranchen)



100102BH1 Bild 11

Abb. 11: Arbeitspaket 2 – Schlüsseltechnologie und –kompetenzen in ausgewählten Branchen




Arbeitspaket 2: Betrachtete Branchen „Brancheninterviews“

Fabrikausrüster	Fabrikanwender
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Werkzeugmaschinen (AG3) ▪ Werkzeuge inkl. Prototypenbau (AG3) ▪ Montage- und Handhabungstechnik, Intralogistik, Robotik, Automation, Mess- / Prüftechnik (AG3) ▪ Nahrungsmittel- & Verpackungsmaschinen (AG6) ▪ Druck- & Papiertechnik (AG2) ▪ Textilmaschinen (AG5) ▪ Productronic und Micro Technology (AG1) ▪ Bau- und Landmaschinen (AG1) ▪ Verfahrenstechnische Fabrikausrüstung, Oberflächentechnik (AG4) ▪ Fluid- und Antriebstechnik, inkl. Pumpen, Vakuumtechnik, elektr. Antriebstechnik (AG3) ▪ Umwelttechnologie, Recycling (AG4) 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Optische Industrie, Medizin-, Mess-, Steuertechnik (AG1) ▪ Elektronik und Elektrotechnik (AG1) ▪ Energieerzeugung/-speicherung, Turbinen, Solar, Wind, Wärmepumpe (AG5) ▪ Allgemeiner Maschinenbau (AG3) ▪ Luft- und Raumfahrt (AG3) ▪ Automotive (OEM) (AG6) ▪ Herstellung von Metallerzeugnissen (incl. Automotivzulieferer) (AG2) ▪ Herstellung von chemischen und pharmazeutischen Produkten (AG4)


100102BH1 Bild 12


Abb. 12: Arbeitspaket 2 – Betrachtete Branchen



Arbeitspaket 3: Implikationen (inter-)nationaler Forschungsprogramme

- Analyse nationaler Forschungsprogramme mit Ausstrahlung auf „Produktionsforschung 2020“
- Analyse internationaler Produktionsforschungsprogramme mit Ausstrahlung auf „Produktionsforschung 2020“
- Analyse der europäischen Manufuture-Aktivitäten
- Gespräche mit Industrieverbänden
- Industrie-Workshop mit an Verbundprojekten beteiligten Unternehmen


Aufzeigen von Lücken, weißen Feldern und *best-practices* in der Förderlandschaft


Mögliche Kooperation mit „Produktionsforschung 2020“, Synergiepotenziale und Anregungen

100102BH1 Bild 13

Abb. 13: Arbeitspaket 3 – Implikation (inter-)nationaler Forschungsprogramme

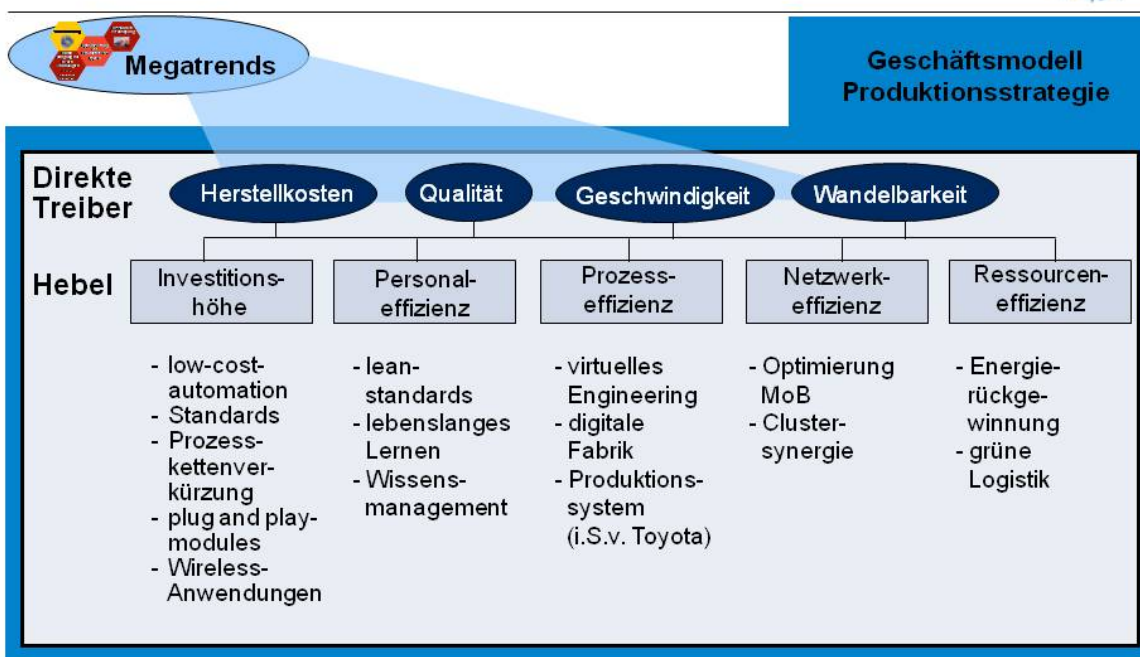
Arbeitspaket 3: Überblick der Recherchen, befragten Verbände und beteiligten Unternehmen



Nationale Programme	Internationale Programme	Europäische Manufuture-Aktivitäten	Industrieverbände	Industrie-workshop
<ul style="list-style-type: none"> ▪ AIF ▪ DFG ▪ BMWi ▪ BMU ▪ BMVBS ▪ Programme auf Landesebene (z. B. Bayerische Forschungsförderung) ▪ Weitere Referate BMBF 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Brasilien ▪ China ▪ Indien ▪ Japan ▪ Kanada ▪ Korea ▪ USA ▪ Russland 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ AREE ▪ England ▪ Dänemark ▪ Finnland ▪ Frankreich ▪ Italien ▪ Österreich ▪ Niederlande ▪ Schweden ▪ Spanien ▪ Irland 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Acatech ▪ BDLI ▪ DECHEMA ▪ Eisen-Blech-Metall ▪ Gießerei ▪ IG Metall ▪ SPECTARIS ▪ Südwestmetall ▪ VBM/BayME ▪ VDA ▪ VDI ▪ VDMA ▪ VFA ▪ ZVEI ▪ VDW 	<p>Unternehmen:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Arnold ▪ AUDI ▪ BMW ▪ CADFEM ▪ FESTO ▪ F&K ▪ Hofmann ▪ HOMAG ▪ MTT Tech. ▪ LIEBHERR ▪ Sartorius ▪ SITEC

Abb. 14: Arbeitspaket 3 – Überblick der Recherchen, befragten Verbände und beteiligte Unternehmen

Fabrik der Zukunft



100102BH1 Bild 15

Abb. 15: Treiber und Hebel für die Fabrik der Zukunft

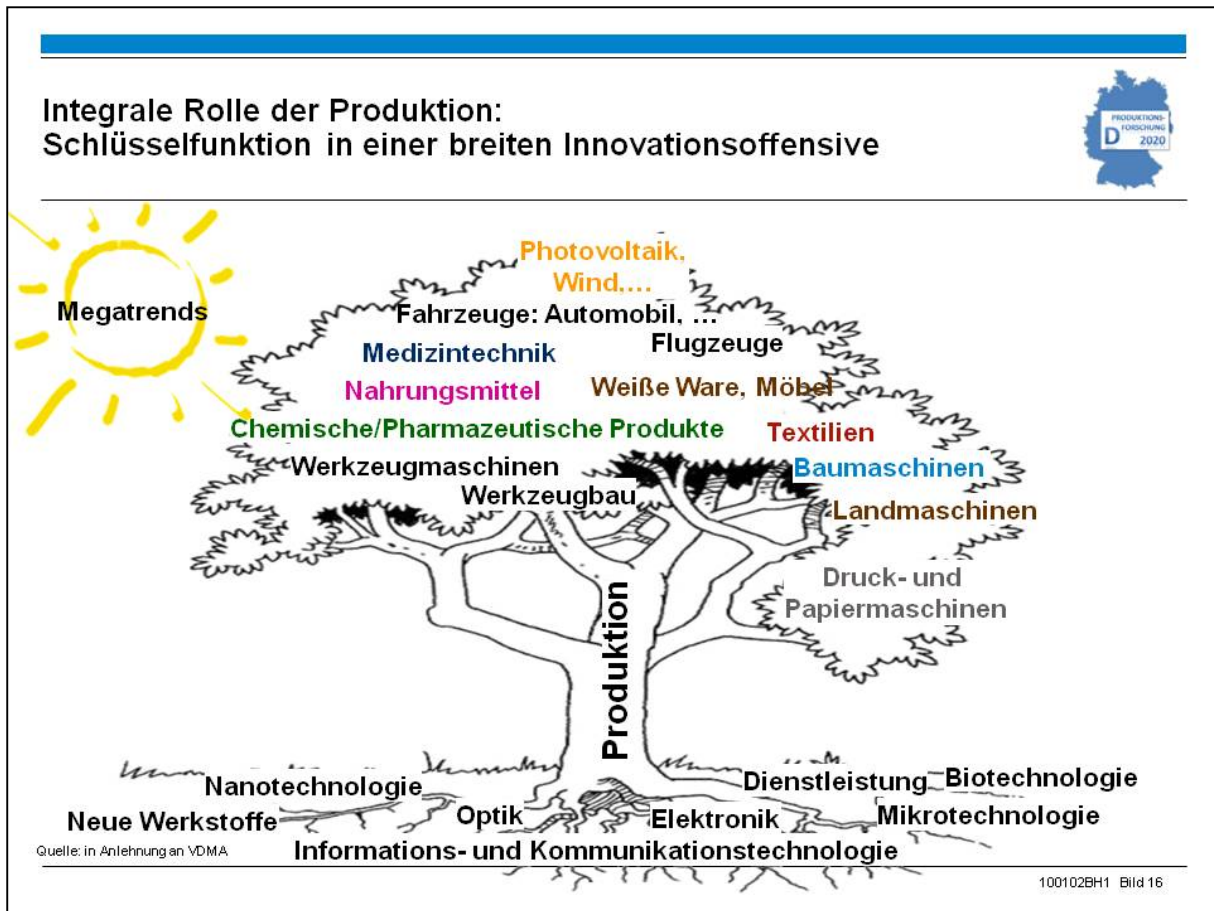
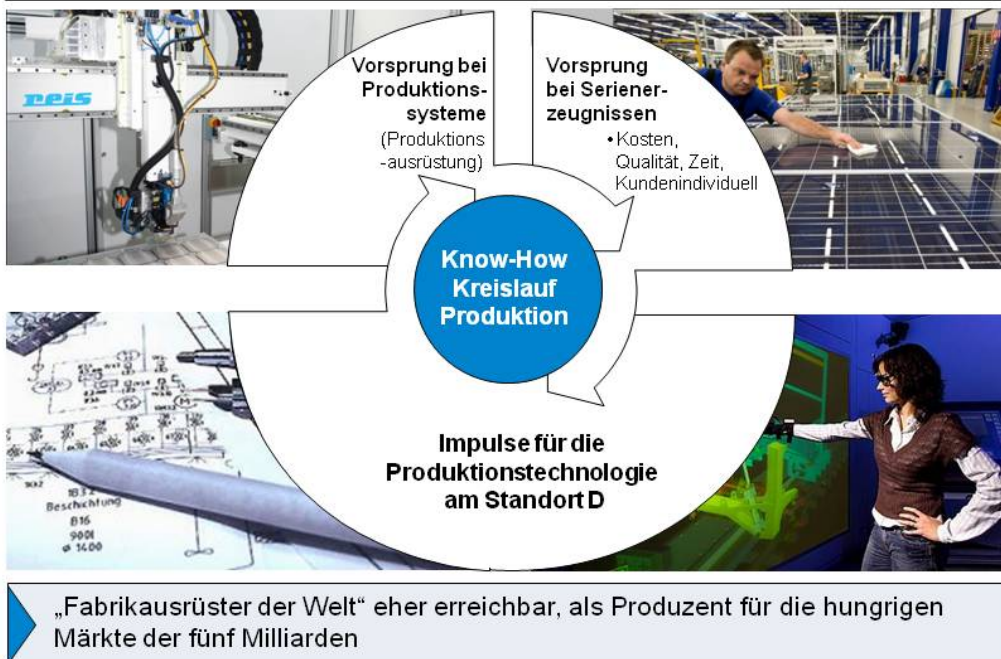


Abb. 16: Produktionstechnik: Schlüsselfunktion in einer breiten Innovationsoffensive



Abb. 17: Entwurf eines Leitbildes der Produktion 2020

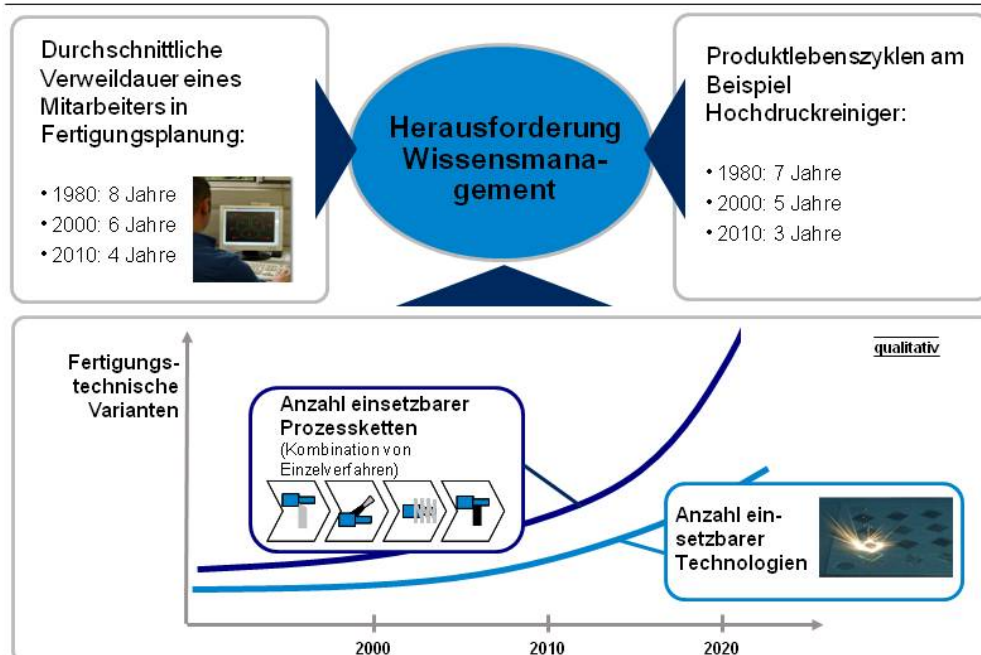


Quelle: Uni Paderborn; drawing-design.net; ReisRobotics; BMVBS

100102BH1 Bild 18

Abb. 18: Die Produktionstechnologie hat eine Schlüsselstellung bei der Gestaltung des zukünftigen Produktionsstandortes Deutschland

Zukünftige Herausforderung Wissensmanagement in der Produktionstechnik



100102BH1 Bild 19

Abb. 19: Zukünftige Herausforderungen

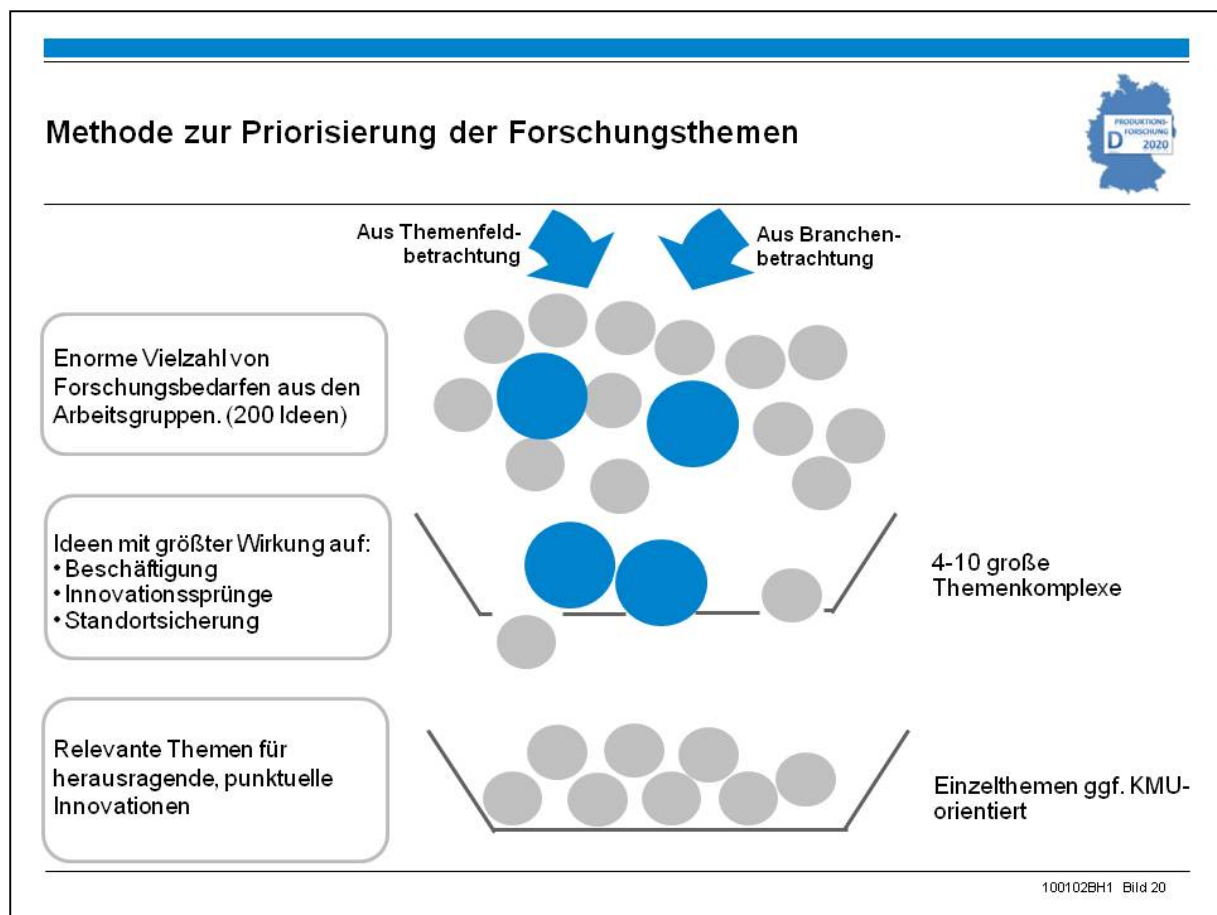


Abb. 20: Methode zur Priorisierung der Forschungsthemen


Herausforderungen für die Produktion der Zukunft (1 von 6)



- **Neue Produktionstechnologien für zukünftige Energiesysteme**
 - Entwicklung hochproduktiver Anlagen zur Herstellung von Photovoltaik, Windkraftanlagen und Wärmepumpen
 - Entwicklung und Etablierung von internationalen Standards
 - Innovationsführerschaft durch Know-How-Cluster und Zulieferernetzwerke
- **Wertschöpfungsketten und Produktionstechnologien /-systeme für Elektromobilität**
 - Standards setzen für den Elektroantrieb der Zukunft
 - Schaffen der Voraussetzungen für den Aufbau einer nationalen Wertschöpfungskette (Strategie, Cluster, Technologie) für Batterie und Antriebe
 - Entwicklung neuer notwendiger Produktionsverfahren und -maschinen für die wettbewerbsfähige Produktion
 - Automatisierungskonzepte
- **Ressourceneffiziente Produktionstechnologien**
- **Von der Quellen-Senken-Wirtschaft zur Kreislaufwirtschaft**



Foto: andmag.com



100102BH1 Bild 21

Abb. 21: Herausforderungen für die Produktion der Zukunft (1 von 6)

Herausforderungen für die Produktion der Zukunft (2 von 6)



- **Produktionstechnologien für die Märkte von Morgen**
 - High-Tech-Produktionstechnologie für Low-Cost-Produkte
 - Kulturraumspezifisches Produktdesign und zugehöriger Produktionstechnologien
 - Nutzen- statt Produktverkauf/Integration von Produkt und Dienstleistung
- **Digitale Fabrik / IT in der Fabrik von morgen**
 - Fortschritt durch integrierte MES, PPS, ERP-Systeme
 - Ganzheitliche Simulation von Produkt und Produktionssystemen
 - Augmented & Virtual Reality
 - PLM-Integration
- **Der zukunftsorientierte Prototypen- und Formenbau am Beginn der Wertschöpfungskette**
 - Generative Verfahren zur materialschonenden und kundenindividuellen Produktion
 - Prozessketten für individuelle Produkte



100102BH1 Bild 22

Abb. 22: Herausforderungen für die Produktion der Zukunft (2 von 6)

Herausforderungen für die Produktion der Zukunft (3 von 6)



- **Automations-Know-how ausbauen**
 - Kognition in Planung und Programmierung
 - Robotik für Dienstleistung, Logistik
 - Low-Cost Automation, Mensch-Maschine-Schnittstelle
 - „Intelligente“ Antriebstechnik, Sensor-Aktor-Technik
- **Neue Formen des Lernens für die Produktion von morgen**
 - Lernfabriken zur exzellenten produktionstechnischen Aus- und Weiterbildung
 - Lernfelder und Didaktik für die Fabrik von morgen
 - Konzepte für virtuelle und reale Produktionsumgebung



100102BH1 Bild 23

Abb. 23: Herausforderungen für die Produktion der Zukunft (3 von 6)

Herausforderungen für die Produktion der Zukunft (4 von 6)



- **Neue Produktionstechnologien für die Medizintechnik von Morgen**
 - Produktion von kundenspezifischen Implantaten
 - Komplettausrüster für Krankenhäuser
- **Chemische und Pharmazeutische Produktionstechnologie**
 - Die Chemische Fabrik: Modulare Produktionszellen und Wandelbarkeit
 - Mikroverfahrenstechnik: Schlüssel für neue Produkte
- **Die demografiegerechte Fabrik**
 - Altersgerechte Arbeitssysteme
 - Qualifizierungskonzepte



100102BH1 Bild 24

Abb. 24: Herausforderungen für die Produktion der Zukunft (4 von 6)

Herausforderungen für die Produktion der Zukunft (5 von 6)



- **Innovative Werkzeugmaschinentechnologie als Basis einer produktionstechnischen Führerschaft**
 - Verfahrensintegration / Multitechnologieplattform
 - Ganzheitliche Simulation von Maschine und Prozess hinsichtlich Qualität, Zeit und Ressourcen
 - Innovative Benutzerschnittstellen
- **Hochleistungsfertigungsverfahren zur Sicherung des Fortschritts in den Kernbranchen**
 - Verfahrensstabilität am Produktivitätslimit
 - Simultaneous Engineering Fertigungsverfahren, Betriebsmittel und Produkt
- **Beherrschung von Hochleistungsprozessketten für zukünftige Wachstumskerne**
 - „Intelligente“ Prozessketten, best practice
 - Integrierte Qualitätssicherung, Prozessregelung
 - Simulationswerkzeuge, geschlossene Simulationskette



Foto: ThomasErnsting



Foto: WolfProduktionssysteme

100102BH1 Bild 25

Abb. 25: Herausforderungen für die Produktion der Zukunft (5 von 6)

Herausforderungen für die Produktion der Zukunft (6 von 6)



- **Produktentwicklung, vorausschauend und systemorientiert**
 - Strategische Entwicklungen von Produktinnovationen
 - Innovationsgeschwindigkeit erhöhen durch Verzahnung Materialwissenschaft, Entwicklungsmethodik, Produktionstechnik
 - Methoden zur integrierten Produkt- und Produktionssystementwicklung

- **Das atmende und wandlungsfähige Produktionsnetzwerk**
 - Verknüpfung von flexiblen Kapazitätsstrukturen und wandlungsfähigen Netzwerken
 - Rekonfigurierbare Gebäude- und Produktionstechnik
 - Wandlungsfähige Organisationsstrukturen
 - Supply-Chain Management

- **Know-how-Schutz in dynamischen Märkten**
 - Produktionstechnik mit integriertem Plagiatschutz
 - Fertigungstechnologien für Kennzeichnung



100102BH1 Bild 26

Abb. 26: Herausforderungen für die Produktion der Zukunft (6 von 6)

Mögliche Gestaltungsparameter der Produktionsforschung 2020



Orientierung an	„klassischen“ Themenfeldern der Produktion (Strategie, Technologie,...)	↔	Megatrends
Schwerpunkt	Stärken stärken (Neue Technologien für Maschinen- und Anlagenbau, KFZ-Industrie)	↔	Prozessketten in Wachstumskernen zukunftsorientiert gestalten
Thematische Orientierung	Hardwarebezogene Themen, Technologieorientierung	↔	Ergebnis ist eine neue Methode, ein Modell, Software
	Fokus auf Hypethemen (?)	↔	Eher klassische Felder (?)
Vorlaufzeit	Anwendungsnah (prototypisches Produkt am Projektende)	↔	Grundlagen
Bezug zur High-Tech-Strategie des BMBF?	ja	↔	nein
Verzahnung mit anderen Programmen	nein	↔	ja IKT, Materialwissenschaften, Bio, Nano, MST, Dienstleistungen

100102BH1 Bild 27

Abb. 27: Gestaltungsparameter Produktionsforschung 2020



Abb. 28: Passen die Ideen zu den Bedarfsfeldern der High-Tech-Strategie?



Abb. 29: Synergien durch Kooperation der Wissenschaftsdisziplinen entlang der Wertschöpfungskette am Beispiel Solartechnologie

Zusammenfassung



Industrielle Produktion ist der zentrale Treiber für Wertschöpfung und Beschäftigung

Produktionstechnologie ist eine Querschnitts- und Schlüsseltechnologie

Deutsche Wirtschaft ist wie keine andere auf Produktionstechnologie spezialisiert



Fotos: Reisl| Trumpf



Die Rolle Deutschlands **als führendes Land der Produktionstechnologie** steht auf dem Prüfstand.

Produktionsforschung muss und kann wichtige Impulse liefern um die Zukunft der Produktionstechnologie und die Attraktivität des Produktionsstandort zu gestalten.

100102BH1 Bild 30

Abb. 30: Zusammenfassung

Warum wir in Deutschland eine starke Produktion brauchen – ein Beispiel

Dr. Joachim Schulz

Mitglied des Vorstands, Aesculap AG, Tuttlingen

1 Manchester – die Wiege der Industrialisierung und das Zentrum der Produktionstechnik im 19. Jahrhundert

Wie viele andere auch, pilgerte Mitte des 19. Jahrhunderts Herr Friedrich Engels, Textilfabrikant aus Barmen, einem Stadtteil des heutigen Wuppertals, nach Manchester, der Wiege der Industrialisierung und dem damaligen Zentrum der Produktionstechnik. Hier ist nicht der Herr Engels, der Co-Autor des kommunistischen Manifestes, gemeint, dessen Konterfei neben den Gesichtern von Wladimir Iljitsch Lenin und Karl Marx an vielen Orten der sozialistischen Staaten gesehen wurde, sondern sein Vater. Friedrich Engels war ein erfolgreicher Textilunternehmer in einer Gegend von Deutschland, in der die Textilindustrie Mitte des 19. Jahrhunderts aus vielen kleinen Gewerbebetrieben bestand, dem damals schon sogenannten Wupperthale.



Abb. 1: Manchester ca. 1850 und Friedrich Engels sen. (1796 – 1860)

In Manchester kaufte er Maschinen ein, erlernte Produktionsmethoden und führte diese Produktionstechniken dann in seinem Werk in Engelskirchen im Bergischen Land ein. Eine einzigartige Konstellation von Wirtschaftsfaktoren hatte Manchester zu dem gemacht, was es Mitte des 19. Jahrhunderts war – eine enorme Ansammlung von Fabriken, die das industrielle Zeitalter begründeten. Getrieben wurde diese Entwicklung weniger durch eine vorwettbewerbliche Produktionsforschungsförderung, sondern vielmehr von dem unstillbaren Hunger der Bevölkerung nach Textilien und begünstigt durch solche Dinge wie das Sklavenhandelsdreieck, das Unmengen von Baumwolle aus den jungen USA nach Liverpool schaffte, und eine moderne Gesellschaft (-> Mother of Parliaments).

Auch in dem damaligen „Wupperthale“, was aus vielen Orten und Städten bestand, war Textilindustrie zuhause. Und noch lange vor dem Ruhrgebiet, oder dem Rems-Murr-Kreis, oder Ludwigshafen am Rhein, oder anderen großen Industriestandorten von heute, war das Wupperthale die erste große Industrialisierungszone auf deutschem Boden, sozusagen die deutsche Wiege der Industrialisierung.

England war zweifellos im 19. Jahrhundert das Land der Technik, der Industrialisierung und der Produktion, aber es hat seine Rolle im Laufe der Jahrzehnte abgegeben. Auch Wuppertal erlangt aktuell traurige Berühmtheit als eine der am höchsten verschuldeten Großstädte Deutschlands.

2 USA – Henry Ford und die Entstehung der Fließbandfertigung

Anfang des 20. Jahrhunderts übernahmen die USA die führende Rolle. Die ungeheuren Märkte Nordamerikas, die sich gegenüber dem kriegsgeschädigten Europa viel schneller entwickelten und Massenfertigung erforderten, als Antwort darauf die Fließbandfertigung insbesondere von Henry Ford sowie der dortige Siegeszug des Automobils waren Entwicklungen, die dazu führten, dass die USA gerade in den 20er Jahren des 20. Jahrhunderts das Mekka der Produktionstechnik wurden. Viele fuhren nach Amerika, um sich dort diese Dimension von Produktion anzuschauen und deren Wesen wie Organisation zu lernen. Es gab aber noch eine dritte Phase der Pilgerreisen.

3 Japan und das Toyota Produktionssystem

Seit Ende der 80er Jahren reisten viele Produktionstechniker nach Japan, um sich dort das Original und die Derivate des Toyota Produktionssystems anzuschauen. Aber auch schon vor dem Toyota Produktionssystem hatte sich die japanische Industrie einen Namen gemacht: im Computer-Integrated-Manufacturing. Wir erinnern uns an Bilder aus Fabriken, die in automatisierter Weise Werkzeugmaschinen herstellten und montierten. Etwas, das sich zwar nicht durchgesetzt hat, aber für die damaligen Verhältnisse in den 1980er Jahren revolutionär war.

Es ist nicht zu verleugnen, dass in den letzten Jahrzehnten auch sehr viele Leute nach Deutschland gekommen sind, um dort vor allem eines zu tun: Produktionstechnik, Werkzeugmaschinen und Anlagen einzukaufen, denn das ist der große Name, den wir uns in Deutschland aufgebaut haben. Aber was passiert jetzt damit? Ein kleines Beispiel soll zeigen, wie dynamisch die Welt außerhalb von Deutschland ist.

4 Suzhou Industrial Park China

Suzhou - China, etwa 2 Autostunden westlich von Shanghai.

In Suzhou wurde vor 14 Jahren ein riesiger Industriepark mit Hilfe aus Singapur gegründet. Dieser Industriepark umfasst nicht nur Industrieansiedlungen, sondern auch Wohnungen, Einkaufszentren, Krankenhäuser, praktisch eine ganze eigene Stadt. Auch die B. Braun Melsungen AG hat eine Niederlassung in diesem Industriepark, in der zwei der vier B. Braun Sparten ihre Produkte herstellen. Die Darstellung verdeutlicht, dass wir hier wirklich über einen Park sprechen, mit einer künstlichen Seenlandschaft, gepflegten Anlagen, Wohngebieten und Einkaufsmöglichkeiten.

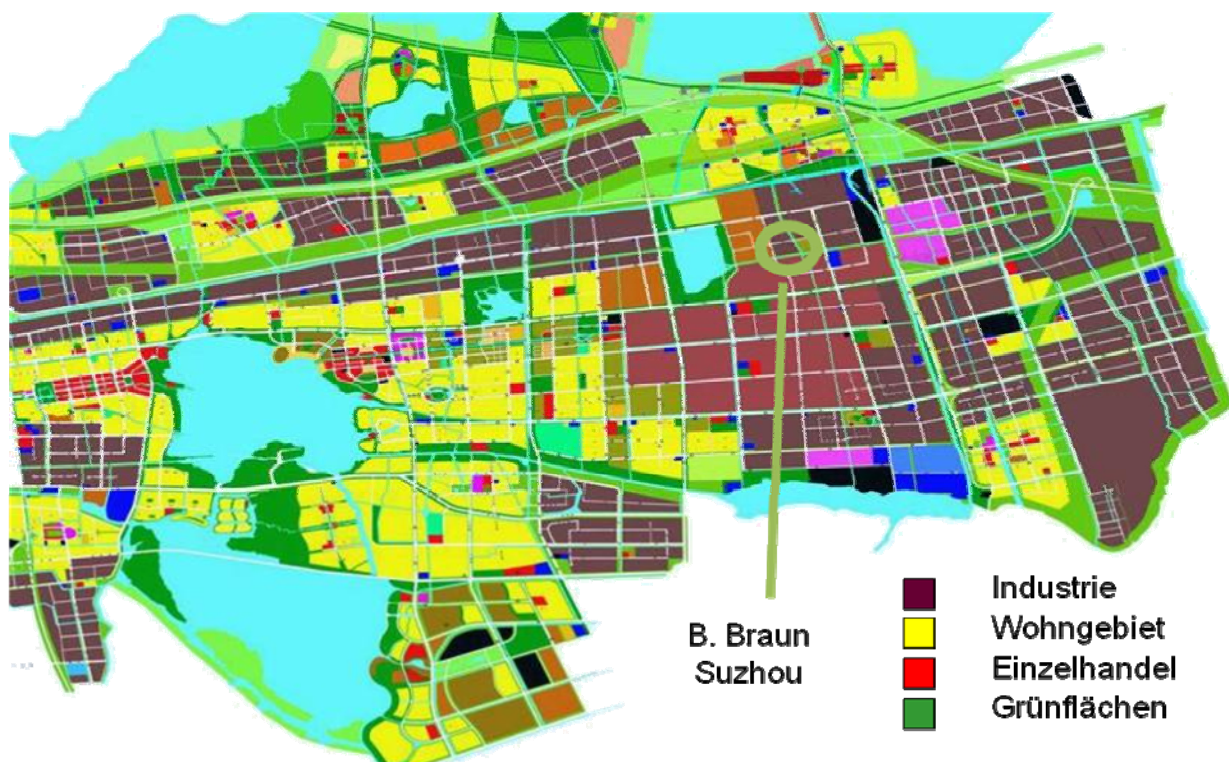


Abb. 2: Suzhou Industrial Park und B. Braun Suzhou – eine von vielen westlichen Firmen

Die zwei nachfolgenden Bilder zeigen die Situation vor und nach der Erschließung dieses Industrieparks. Das erste Bild ist ungefähr 12 Jahre alt, das zweite Bild ist aktuell. Man kann nicht leugnen, dass das eine beeindruckende Leistung ist. In Suzhou können die meisten ersten Adressen der westlichen Industrieländer vorgefunden werden, die dort in schicken Bauten und Palästen produzieren – viele für den chinesischen Markt. Man kann nur vermuten, dass diese Produktionen dort mit einer Technik vorstättengehen, die in den Heimatländern abgebaut und nach China verschifft wurde, während im eigenen Land dann wieder neuere, modernere Anlagen aufgestellt wurden. Trotzdem muss man sich fragen, ob bei dieser Dimension an Produktion, bei dieser Dimension an Studenten, die die Universitäten verlassen, bei dieser Dimension von Know-How-Transfer aus den entwickelten Ländern, das zukünftige Produktionsmekka China sein wird. Anders ausgedrückt: Wenn wir uns nicht spüren und uns auf unsere Stärken besinnen, werden wir die Stellung, die wir heute noch in der Welt haben, auf Dauer verlieren.



Abb. 3: Suzhou Industrial Park vor ca. 12 Jahren und heute

Der Blick auf die Verteilung der Bruttowertschöpfung nach Wirtschaftsbereichen in Deutschland im Jahr 2008 zeigt, dass das produzierende Gewerbe mit knapp 26% nur ein Viertel der gesamten Bruttowertschöpfung ausmacht. Es muss aber davon ausgegangen werden, dass die Ausstrahlung des produzierenden Gewerbes auf Baugewerbe, Handel, Gastgewerbe, Verkehr, auch Finanzierung, Vermietung und Unternehmensdienstleistungen erheblich ist, d.h. die tatsächliche Bedeutung des produzierenden Gewerbes ist sicherlich wesentlich größer als das, was diese Prozentzahl aussagt.

5 Der B. Braun Konzern und die Aesculap AG

Auch der B. Braun Konzern hat Wurzeln, die bis weit ins 19. Jahrhundert hineinreichen. Unabhängig voneinander entstanden um 1839 die Rosenapotheke in Melsungen, die der Nukleus der B. Braun Melsungen AG wurde, und andererseits gründete 1867 Gottfried Jetter seine Firma zur Herstellung chirurgischer Instrumente in Tuttlingen. Mittlerweile sind beide Firmen zusammengewachsen in der B. Braun Melsungen AG und es gibt heute vier Sparten, die mit verschiedenen Produkten das Krankenhaus versorgen. Die B. Braun Melsungen AG zählt inzwischen zu den größten Krankenhausversorgern Europas. Dabei gibt es folgende Spezialisierungen:

Die Sparte Aesculap steht für chirurgische Instrumente, Implantate, und Motoren, die Sparte Avitum für Behandlungssysteme für die Akutdialyse, Hämodialyse, die Apherese, und die Sparte Hospital Care mit Produkten und Dienstleistungen zur medizinischen Grundversorgung sowie umfassende Therapiekonzepte in der Anästhesie und Intensivmedizin. Die Sparte Out Patient Market fokussiert sich auf die Kunden außerhalb des Krankenhauses und auf die Nachbehandlungen als Folge von Krankenhausaufenthalten.

Die B. Braun Melsungen AG ist in vielen Ländern der Welt vertreten. Mit ungefähr 38.000 Mitarbeitern generiert sie einen Umsatz von ungefähr vier Milliarden Euro und an etwa 50 Standorten der Welt wird auch produziert.

5.1 Beispiele für die Produktionstechnik bei B. Braun

Ein gerade in der Realisierung befindliches Projekt ist die Infusionsgerätefertigung in Hanoi, Vietnam, mit einem Investitionsvolumen von 24 Mio. Euro. Mit Infusionsgeräten bezeichnet man Kunststoffschläuche, Spritzeneinheiten und Hähne, die dazu dienen, Nährlösungen oder Medikamente dem Körper zuzuführen. Die Produktionstechnik, die dort in dieser Fabrik in Vietnam steht, stammt im Wesentlichen aus Deutschland bzw. Europa. In Europa stehen die technisch führenden Fabriken der B. Braun Melsungen AG.



Abb. 4: Infusionsgerätefertigung in Hanoi (Quelle: B. Braun AG)

So zum Beispiel in Melsungen, Hessen, die Leading Infusion Factory Europe (LIFE 1), die 2005 mit einem Investitionsvolumen von 150 Mio. Euro gebaut wurde und Volumenersatzlösungen in großer Menge produziert. Ein Produkt, das vordergründig einfach ist, aber wenn man genau hinschaut auch sehr große Ansprüche an seine Qualität hat, vor allen Dingen aber auch dadurch, dass große Mengen hergestellt werden. LIFE 2, die Erweiterung dieser Fabrik für spezielle Nährlösungen, wurde mit einem Investitionsvolumen in ähnlicher Größenordnung gerade vor kurzem in Angriff genommen.



Abb. 5: LIFE in Melsungen (Quelle: B. Braun AG)

Oder nehmen wir die so genannte Benchmark Factory Tuttlingen, eine der modernsten Implantatefertigungen in Europa. Die Benchmark Factory wurde 2001 mit einem Investitionsvolumen von 30 Mio. Euro gebaut, mittlerweile sind mehr als das Doppelte dieser Summe nochmal in diese Fabrik geflossen. Sie wurde ständig erweitert, verbessert und ausgebaut.



Abb. 6: Die Benchmark Factory in Tuttlingen (Quelle: B. Braun AG)

Diese Fabriken sind zwei Beispiele dafür, wie Produktionstechniken aus Deutschland für die B. Braun Melsungen AG Schrittmacher sind. Diese Produktionstechniken werden gemeinsam mit Anlagenherstellern aus Deutschland und Europa entwickelt und werden dann in die Fabriken in Deutschland eingeführt. Erst danach kommt der zweite Schritt: nämlich die Produktionstechniken, wenn sie ausgereift sind, in die Länder zu exportieren, in denen für die dortigen Märkte oder auch für den weltweiten Vertrieb produziert wird.

6 Fazit

Die Schrittmacherfunktion der deutschen Produktionstechnik ist für die B. Braun Melsungen AG eine entscheidende Voraussetzung für die erfolgreiche Internationalisierung und Wettbewerbsfähigkeit. Diese Leistungsfähigkeit der deutschen Produktion muss auch weiterhin erhalten bleiben, damit wir nicht hinterher feststellen müssen, dass das Produktionsmekka längst China geworden ist.

Von der fachdisziplinorientierten zur vorausschauenden und systemorientierten Produktentstehung

Prof. Dr.-Ing. Dr. h.c. A. Albers

IPEK - Institut für Produktentwicklung
Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Campus Süd

Prof. Dr.-Ing. J. Gausemeier

Heinz Nixdorf Institut (HNI)
Universität Paderborn

Zusammenfassung

Für die Sicherung und den Ausbau von Wohlstand und Beschäftigung in Deutschland sind vor dem Hintergrund des globalen Wettbewerbs und der sich abzeichnenden Entwicklungen mannigfaltige Herausforderungen zu bewältigen. Zentrales Element auf dem Weg zu Wachstum und Beschäftigung sind Produktinnovationen. Die entscheidenden Impulse dafür gibt die Produktentstehung. Produktentstehung beschreibt den Innovationsprozess von der Geschäfts-/Produktidee bis zum erfolgreichen Markteintritt und umfasst die Hauptfunktionsbereiche Strategische Produktplanung, Produktentwicklung und Produktionssystementwicklung. Die Produktentstehung beinhaltet unter anderem, dass die Anforderungen an die Produktinnovationen zur Eroberung der Märkte von morgen identifiziert werden, damit künftige Erfolgspotenziale frühzeitig erkannt und für das Unternehmen nutzbar gemacht werden. Zudem muss bei der Entwicklung moderner technischer Systeme für das erfolgreiche Bestehen auf dem Markt der gesamte Produktlebenszyklus ins Auge gefasst werden. Die zunehmende Dynamisierung des Produktlebenszyklus führt dabei zu wachsendem Zeit- und Kostendruck in der Entwicklung bei gleichzeitiger Zunahme der Komplexität, wie z.B. bei multidisziplinären Produkten. Im Verlauf der dynamischen Entwicklung der auf die Kundenbedürfnisse ausgerichteten Produkte ist eine ständige Validierung der Entwicklungsergebnisse in Bezug auf die anfangs identifizierten aber auch sich veränderten Ziele von zentraler Bedeutung. Der Vermeidung von Produktpiraterie sowie Wahrung der IP (intellectual property) in international agierenden Kooperationsnetzwerken zur Sicherung der Entwicklungsleistungen ist in geeigneter Weise ebenso Rechnung zu tragen.

Heute existiert eine Reihe von Barrieren, die den Innovationserfolg behindern: In der Produktentstehung wird fachdisziplinorientiert, abgegrenzt und nicht ganzheitlich gedacht; bereits erarbeitetes Wissen ist nicht ohne Weiteres verfügbar bzw. zugänglich; es mangelt an qualifizierten Ingenieuren; der Transfer von Forschungsergebnissen in die industrielle Praxis gelingt nur teilweise; die zur Verfügung stehenden Entwicklungswerkzeuge und Methoden sind nur unzureichend in den Gesamtentwicklungsprozess integriert.

Diese Barrieren können überwunden werden. Die identifizierten Forschungsbedarfe mit Blick auf „Innovationsprozesse und Produktentwicklung“ können in den im Folgenden beschriebenen vier Bereichen zusammengefasst werden. Sie markieren den notwendigen Übergang von der fachdisziplinorientierten zur vorausschauenden und systemorientierten Produktentstehung.

- Integrierte Produktentwicklung

Die integrierte Produktentwicklung ist ein systemischer Ansatz, der alle Einflüsse auf die Entstehung eines Produktes berücksichtigt. Dies beinhaltet eine konsequente Betrachtung der gesamten, vernetzten Aktivitäten entlang des Produktlebenszyklus. Die Betrachtung der Wechselwirkungen zwischen strategischer Planung sowie Produktionssystementwicklung und der Produktentwicklung sind zentraler Bestandteil des Ansatzes.

- Produktentstehung als Wissensarbeit
Produktentstehung als Wissensarbeit adressiert das Wechselspiel von Externalisierung, Kombination, Internalisierung und Sozialisation im Sinne der lernenden Organisation sowie den Schutz von Wissen mit dem Ziel, das im Unternehmen und global verfügbare Wissen effizienter für die Wertschöpfung zu nutzen.
- Strategische Entwicklung von Produktinnovationen
Produktinnovationen und ggf. komplementäre Dienstleistungsinnovationen im Sinne von hybriden Leistungsbündeln ergeben sich, wenn Marktbedarf auf technologische Möglichkeiten trifft und sich eine attraktive Rendite realisieren lässt. Hier kommt es insbesondere auf die Antizipation von „Market Pull“ und „Technology Push“ an.
- Werkzeuge der Produktentstehung
Werkzeuge in der Produktentstehung unterstützen die an der Produktentstehung beteiligten Akteure. Wesentlich sind hierbei die Virtualisierung der Produktentstehung und die adäquate Methodenunterstützung.

Bei der Bewältigung aller genannten Herausforderungen wird eine effiziente, nachhaltige und breitenwirksame Zusammenarbeit von Industrie und Wissenschaft von entscheidender Bedeutung sein. Wesentliche Ziele sind, gemeinsam der hohen Hebelwirkung der Produktentstehung auf Wachstum und Beschäftigung Rechnung zu tragen, den effizienten Transfer von Forschungsergebnissen sicherzustellen und dem Mangel an Ingenieuren entgegenzuwirken.

1 Produktentstehungsprozess und Produktlebenszyklus

Den Kern des Themenfeldes bildet der Produktentstehungsprozess. Er ist Teil des Produktlebenszyklus und beschreibt den grundsätzlichen Ablauf von der Produkt- bzw. Geschäftsidee bis zum Serienanlauf (vgl. Abb. 1). Der Produktentstehungsprozess wird in die Aufgabenbereiche strategische Produktplanung, Produktentwicklung und Produktionssystementwicklung untergliedert. Der eigentlichen Produktentwicklung ist also die systematische Erarbeitung des „Entwicklungsauftrags“ vorangestellt. Die Produktionssystementwicklung beinhaltet selbst wieder Entwicklungsprozesse für die Fertigungsanlagen bzw. für Arbeitsplanung sowie die Produktionslogistik und Materialflussplanung.



Abb. 1: Produktentstehung als Teil des Produktlebenszyklus

Ziel eines jeden Produktentstehungsprozesses ist es, ein gefordertes Zielsystem (alle Ziele, die mit dem neuen Produkt verfolgt werden) durch das Handlungssystem (z.B. Unternehmen mit allen zur Verfügung stehenden Ressourcen) in ein geeignetes Objektsystem (z.B. Simulationsmodell, Prototyp, serienreifes Produkt) zu überführen. Durch die permanente Bearbeitung verändert sich das Zielsystem und es wird dabei zunehmend konkretisiert.

1.1 Strategische Produktplanung

Ziel der strategischen Produktplanung ist die Schaffung der ökonomischen Grundlage für das Produkt. Es werden der Bedarf, die Marktsegmente, die Potentiale, die zukünftigen Entwicklungen der Technologien und Märkte sowie die daraus resultierenden Möglichkeiten für das Unternehmen beschrieben. Der Aufgabenbereich charakterisiert den Ablauf vom Finden der Erfolgspotentiale der Zukunft bis zur Erfolg versprechenden Produktkonzeption. Er umfasst die Tätigkeitsbereiche Potentialfindung, Produktfindung, Geschäftsplanung und Produktkonzipierung. Das Ziel der Potentialfindung ist das Erkennen zukünftiger Erfolgspotentiale sowie die Ermittlung entsprechender Handlungsoptionen. Basierend auf den erkannten Erfolgspotentialen befasst sich die Produktfindung mit der Suche und Auswahl neuer Produkt- und Dienstleistungsideen zu deren Erschließung. In der Geschäftsplanung geht es zunächst um die Geschäftsstrategie, d.h. um die Beantwortung der Frage, welche Marktsegmente wann und wie bearbeitet werden sollen. Auf dieser Grundlage erfolgt die Erarbeitung der Produktstrategie. Diese enthält Aussagen zur Gestaltung des Produktprogramms, zur wirtschaftlichen Bewältigung der vom Markt geforderten Variantenvielfalt, zu eingesetzten Technologien, zur Programmpflege über den Produktlebenszyklus etc. Die Produktstrategie mündet in einen Geschäftsplan und der damit verbundenen Betrachtung, ob mit dem neuen Produkt bzw. mit einer neuen Produktoption ein attraktiver Return on Investment zu erzielen ist.

1.2 Produktentwicklung

Das Ziel der Aktivitäten der Produktentwicklung ist es, neue technische Lösungen zu entwickeln, um die definierte Produktstrategie aus der strategischen Produktplanung umzusetzen. Die Produktentwicklung umfasst alle Aktivitäten, von der Projektierung und Profilmodellierung hin zur fachdisziplinspezifischen Gestaltmodellierung und die entsprechende Ausarbeitung sowie die Integration der Ergebnisse der einzelnen Fachdisziplinen zu einer Gesamtlösung. Die Aktivitäten der Produktentwicklung führen somit zu einer vollständigen Dokumentation und Beschreibung des Produkts. Die Aussagen der Produktbeschreibung müssen bezüglich technischer Funktionsfähigkeit, Kosten, Qualität und Zeit verbindlich und exakt sein. Eine hinreichende Darlegung der technisch-wirtschaftlichen Machbarkeit soll gewährleistet werden. Hierbei müssen mit möglichst geringem Aufwand grundlegende Aussagen zur meist multidisziplinären Realisierung schlüssig dargelegt und validiert werden. Da in diesem Zusammenhang die Bildung und Analyse von rechnerinternen Modellen eine wichtige Rolle spielt, hat sich der Begriff Virtuelles Produkt bzw. Virtual Prototyping verbreitet. Die Validierungsaktivitäten erstrecken sich über den gesamten Produktentstehungsprozess und besitzen eine zentrale Bedeutung, da sie durch Simulation und Experiment die Eigenschaften des Zielsystems mit den einzelnen Objektsystemen (z.B. neues Getriebe auf einem Antriebsstrangprüfstand) abgleichen. Hieraus lassen sich entscheidende Erkenntnisse für die weitere Planung der Produktentstehung (z.B. die Freigabe des Produktes für die Produktionssystementwicklung) sowie für weitere Produktentstehungsprojekte und deren Optimierung gewinnen.

1.3 Produktionssystementwicklung

Die Produktionssystementwicklung ist selbst wieder als eigener Produktentstehungsprozess der Produktionsmittel und Ressourcen aufzufassen. Den Ausgangspunkt bildet die Konzipierung des Produktionssystems. Dabei sind die vier Aspekte Arbeitsablaufplanung, Arbeitsmittelplanung, Arbeitsstättenplanung und Produktionslogistik integrativ zu betrachten. Wie in der Produktentwicklung spielt auch hier die Modellbildung und -analyse eine wichtige Rolle, was mit den Schlagworten Virtuelle Produktion bzw. Digitale Fabrik zum Ausdruck kommt. Produkt- und Produktionssystementwicklung sind parallel und eng aufeinander abgestimmt voranzutreiben, um sicherzugehen, dass auch alle Möglichkeiten der Gestaltung eines leistungsfähigen und kostengünstigen Erzeugnisses ausgeschöpft werden.

1.4 Wechselwirkungen und integrativer Charakter

Die drei beschriebenen Aufgabenbereiche werden nicht sequentiell durchlaufen. Vielmehr handelt es sich um ein Wechselspiel verschiedener Aktivitäten, die vom jeweiligen Konkretisierungsgrad des Zielsystems abhängen. Aus dem Wechselspiel ergeben sich in den Überschneidungsbereichen die Tätigkeitsfelder strategische Produktentwicklung, strategische Produktionssystementwicklung und integrierte Produkt- und Produktionssystementwicklung. Das Zusammenwirken dieser Bereiche, also der integrative Charakter, ist das wesentliche Merkmal des Themenfeldes (vgl. Abb. 2).

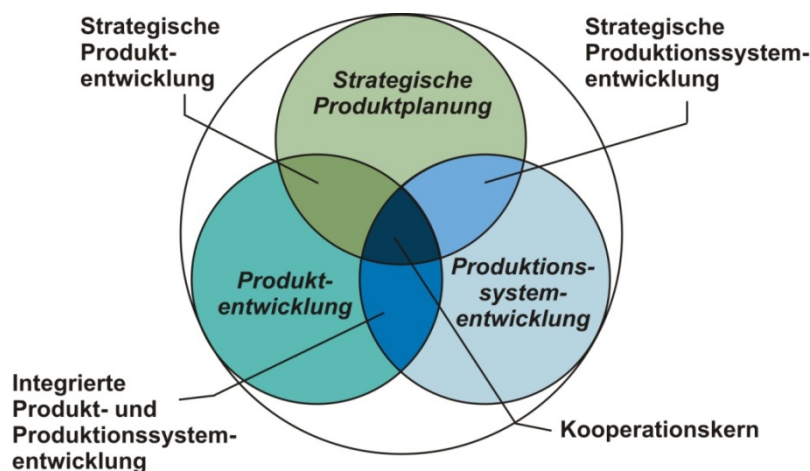


Abb. 2: Integrationsbereiche des Themenfeldes Innovationsprozesse und Produktentwicklung [nach Gausemeier, Lindemann, Reinhart, Wiendahl]

Die Komplexität der gesamten Produktentstehung wird durch Einflussfaktoren, Megatrends und Gestaltungsfaktoren bestimmt. Einflussfaktoren und Megatrends entziehen sich dem direkten Einfluss eines Unternehmens und können daher nicht aktiv beeinflusst werden. Gestaltungsfaktoren können hingegen gezielt beeinflusst werden. Die für die Produktentstehung maßgeblichen Gestaltungsfaktoren lassen sich in die vier Bereiche Mensch, Organisation, Wissen und Werkzeuge unterteilen. Eine zusammenfassende Darstellung der beschriebenen Bereiche zeigt Abbildung 3.

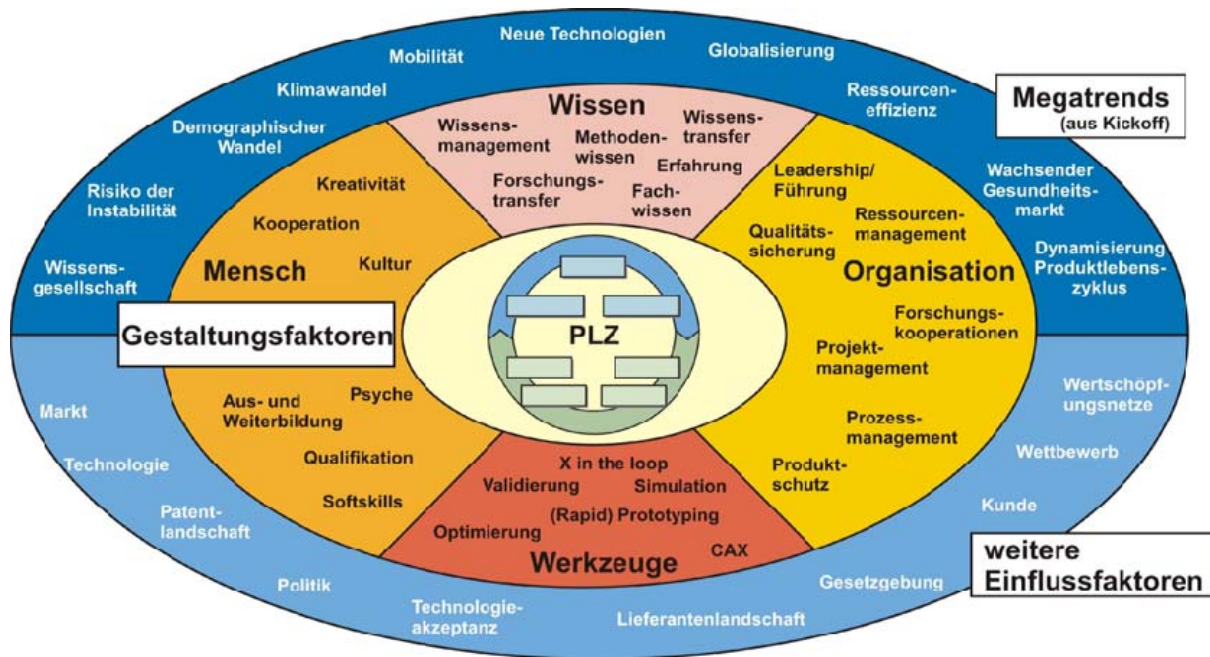


Abb. 3: Einflussbereiche der Produktentstehung

2 Forschungsbedarf „Innovationsprozesse und Produktentwicklung“

Im Rahmen der durchgeführten Untersuchung wurden unter Einbeziehung der Bedürfnisse, der Kenntnisse, des Know-how, der Erfahrung und der Expertise sowohl von Wissenschaft als auch Industrie Herausforderungen identifiziert, denen man sich zukünftig gemeinsam stellen muss. Diese sind im Einzelnen:

- Der hohen Hebelwirkung der Produktentstehung auf Wachstum und Beschäftigung Rechnung tragen
- Effizienten Transfer von Forschungsergebnissen sicherstellen
- Dem Mangel an Ingenieuren entgegenwirken

Darüber hinaus wurde ein für das Themenfeld „Innovationsprozesse und Produktentwicklung“ spezifischer Forschungsbedarf ermittelt, der durch die im Folgenden dargestellten Ergebnisse adressiert wird.

2.1 Integrierte Produktentwicklung

Die Integrierte Produktentwicklung (vgl. Abb. 4) ist ein systemischer Ansatz, der alle Einflüsse auf die Entstehung eines Produktes berücksichtigt. Dies beinhaltet eine konsequente Betrachtung der gesamten, vernetzten Aktivitäten entlang des Produktlebenszyklus. Die Wechselwirkung zwischen Produkt und Prozess wird verstärkt berücksichtigt, indem die an der Produktentstehung beteiligten zu einer ganzheitlichen Denk- und Verhaltensweise ausgebildet und angehalten werden. Die Betrachtung der Wechselwirkungen zwischen strategischer Planung sowie Produktionssystementwicklung und der Produktentwicklung sind zentraler Bestandteil des Ansatzes. Die Produktentwicklung ist somit keine Zusammenstellung separater Tätigkeiten einzelner Fachdisziplinen, sondern die gleichberechtigte, systemorientierte Integration von Methoden und Arbeitstechniken aus mehreren Fachdisziplinen.

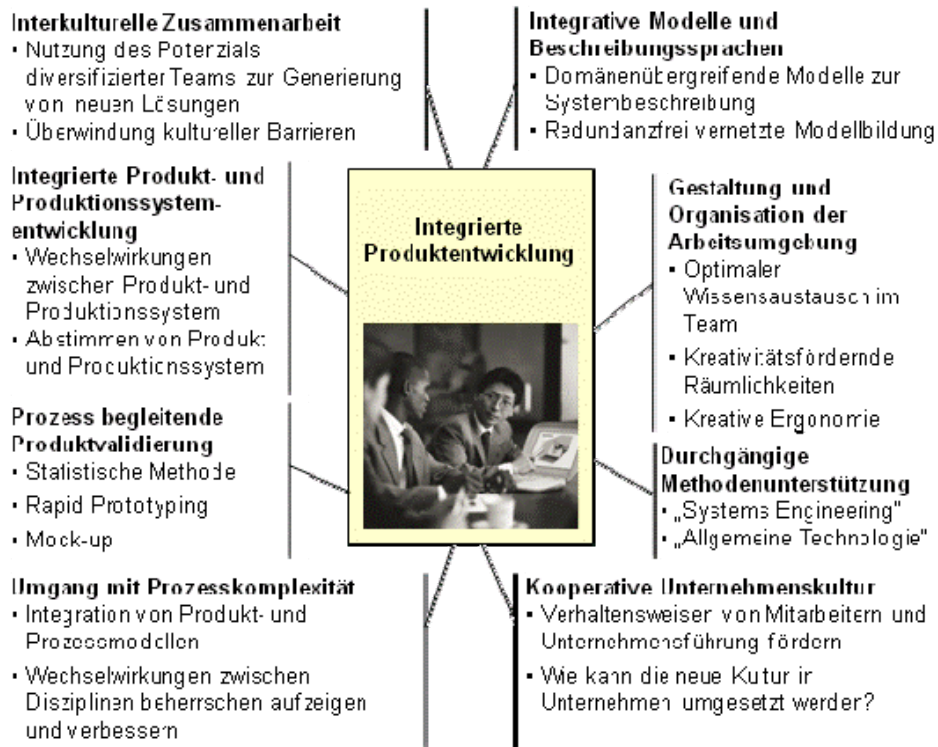


Abb. 4: Integrierte Produktentwicklung

2.2 Produktentstehung als Wissensarbeit

Das Forschungsfeld Produktentstehung als Wissensarbeit (vgl. Abb. 5) adressiert das Wechselspiel von Externalisierung, Kombination, Internalisierung und Sozialisation im Sinne der lernenden Organisation sowie den Schutz von Wissen mit dem Ziel, das im Unternehmen und global verfügbare Wissen effizienter für die Innovation und Wertschöpfung zu nutzen. Speziell in der Produktentstehung findet sich das für die Generierung von Innovationen notwendige Wissen oftmals nur stark personengebunden wieder. Dieses Wissen über Prozesse, Abläufe, Methoden und Technologien bildet aber oftmals die Grundlage für die führende Wettbewerbsposition großer Unternehmen, aber vor allem auch von KMU, die es zu erhalten und auszubauen gilt.



Abb. 5: Produktentstehung als Wissensarbeit

2.3 Strategische Entwicklung von Produktinnovationen

Produktinnovationen und ggf. komplementäre Dienstleistungsinnovationen im Sinne von hybriden Leistungsbündeln ergeben sich, wenn Marktbedarf auf technologische Möglichkeiten trifft und sich eine attraktive Rendite realisieren lässt. Daher kommt es insbesondere darauf an, den „Market Pull“ wie auch den „Technology Push“ zu antizipieren und daraus die Schlüsse für die Entwicklung von Produkt-, Technologie- und Geschäftsinnovationen zu ziehen (vgl. Abb. 6). Zukünftige Markt- und Technologieentwicklungen sind in einer systematischen Potentialfindung vorauszudenken und die sich daraus ergebenden Erfolgspotentiale und entsprechenden Handlungsoptionen für die Zukunft abzuleiten. Basierend auf den erkannten Erfolgspotentialen sind neue Produkt- und Dienstleistungsinnovationen zu suchen und auszuwählen. Aufgrund der sich abzeichnenden Verknappung von Rohstoffen und des Bewusstseinswandels in der Bevölkerung werden hierbei zukünftig insbesondere die Aspekte Ressourcenschonung und Nachhaltigkeit von Bedeutung sein. In der Geschäftsplanung kommt es darauf an, die Konsistenz von Produkt-, Technologie- und Produktionsstrategie auf der einen Seite und den künftigen Geschäftsmodellen und -zielen auf der anderen Seite herzustellen. Ferner sind die Auswirkungen von neuen Geschäftsmodellen wie Ultra-LowPrice-Strategien und „Systemkopfstrategien“ auf die Produktentstehung zu berücksichtigen.

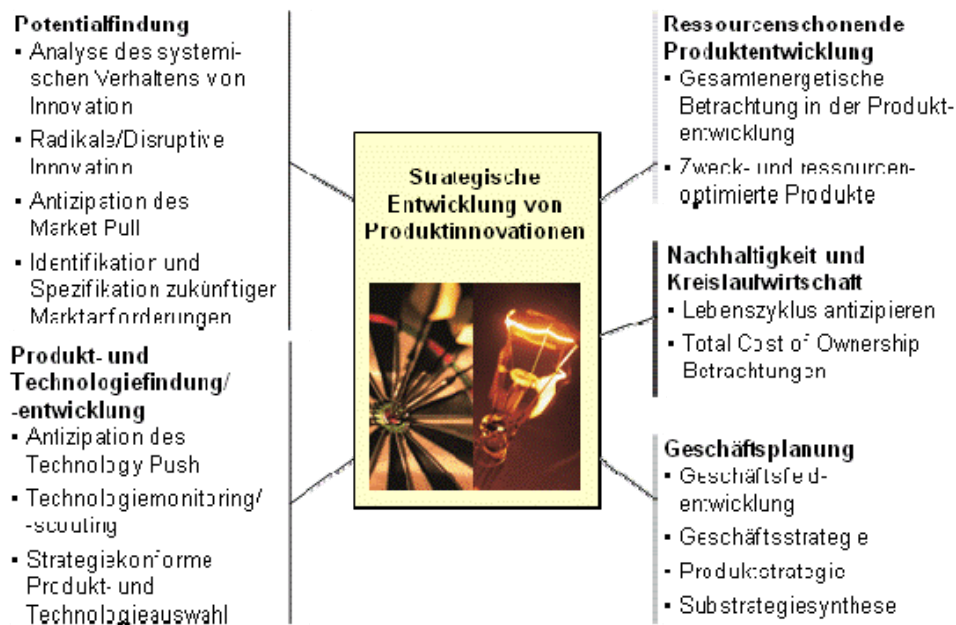


Abb. 6: Strategische Entwicklung von Produktinnovationen

2.4 Werkzeuge der Produktentstehung

Die Neu- und Weiterentwicklung von Entwicklungswerkzeugen zielt auf die Unterstützung der an der Produktentstehung beteiligten Akteure ab (vgl. Abb. 7). Die beiden wesentlichen Dimensionen sind hierbei die Virtualisierung der Produktentstehung und die adäquate Methodenunterstützung. Beide sind für eine erfolgreiche Nutzung der entwickelten Werkzeuge in der Praxis verschiedenen Randbedingungen unterworfen. Die Anforderungen an die Werkzeuge ergeben sich beispielsweise aus dem Bedarf, mit der Komplexität und Struktur der Produktentstehung um zu gehen (z.B. Lebenszyklus-Orientierung und Komplexität der Produkte). Zum anderen resultieren sie aus der Ausrichtung der Werkzeuge auf die Bedürfnisse der Anwender.

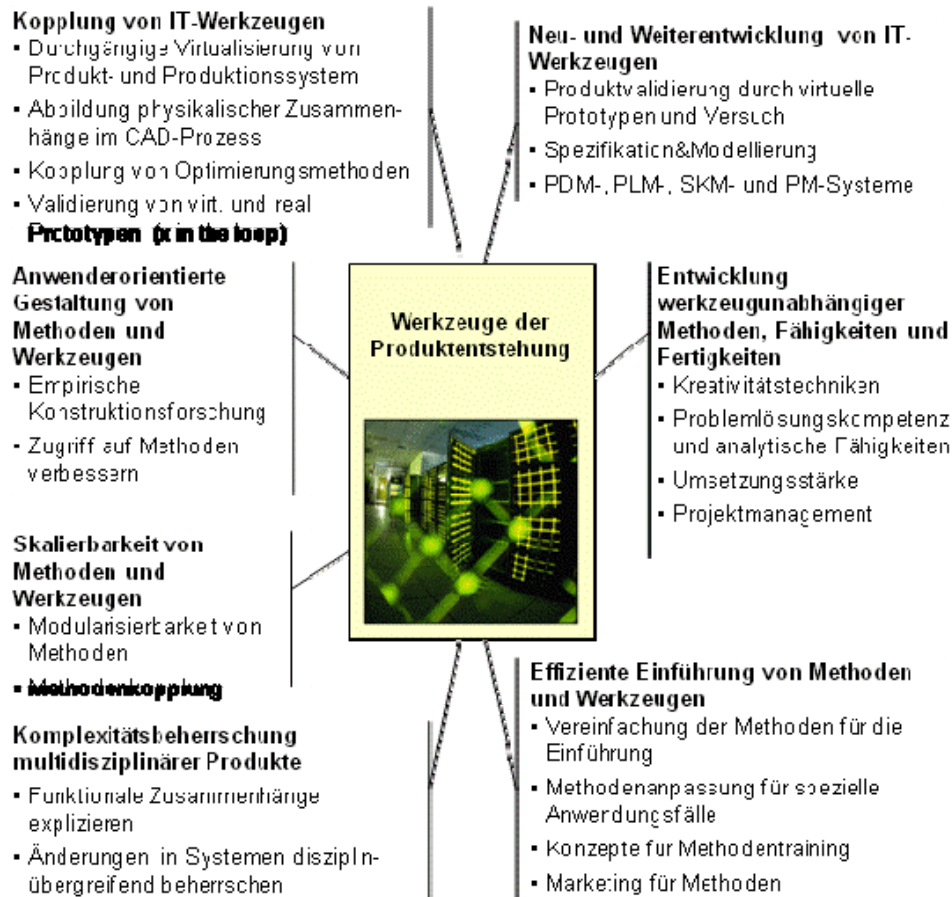


Abb. 7: Werkzeuge der Produktentstehung

3 Vision: Vorausschauende und systemorientierte Produktentstehung

Auf dem Weg zu den Innovationen kommt es auf Effizienz an. In diesem Kontext sind die in Abbildung 8 wiedergegebenen, charakteristischen Merkmale von besonderer Bedeutung. Sie markieren den notwendigen Übergang von der fachdisziplinorientierten zur vorausschauenden und systemorientierten Produktentstehung. Dies wird in Abbildung 9 entsprechend veranschaulicht dargestellt.

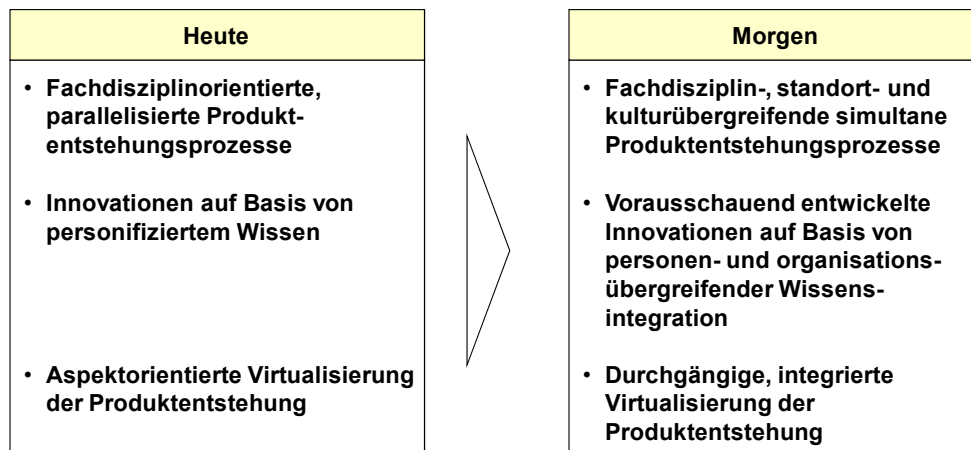


Abb. 8: Von der fachdisziplinorientierten zur vorausschauenden und systemorientierten Produktentstehung (charakteristische Merkmale)

Wertschöpfung und Beschäftigung stellen sich nur dann ein, wenn das Richtige richtig getan wird. Aus der Vorausschau von Märkten, Technologien und Geschäftsumfeldern ergeben sich die grundlegenden Weichenstellungen für den Innovationserfolg, d.h. Vorausschau sorgt für die unternehmerische Effektivität – das Richtige zu tun.

Ausgehend von der vorausschauenden Identifikation zukünftiger Erfolgspotentiale werden systematisch Produkt- und Dienstleistungsinnovationen zu deren Erschließung erarbeitet. Die Innovationen beruhen maßgeblich auf dem synergetischen Zusammenwirken verschiedener Fachdisziplinen und Unternehmensbereiche. Der Prozess von der Produktidee bis zum Produktionsanlauf wird dabei aus einer systemischen Sichtweise heraus als Ganzes gesehen. Typisch für diese Sichtweise ist unter anderem, dass schon frühzeitig Produkt- und Produktionssystemkonzeption im Wechselspiel entwickelt werden.

Weiteres herausragendes Merkmal der vorausschauenden und systemorientierten Produktentstehung ist der Umgang mit Wissen. Hier kommt es darauf an, die Bedeutung von personengebundenem Wissen zu erkennen und Wissensmanagement als sozioökonomische Herausforderung zu begreifen sowie das Wechselspiel von Externalisierung, Kombination, Internalisierung und Sozialisation von Wissen zu beherrschen. Auf dieser Grundlage wird u.a. Wissen in Form von Lösungsmustern, Richtlinien, Best Practices, Lessons Learned etc. in der Produktentstehung verfügbar; Veränderungs- und Erkenntnisprozesse werden objektiv und nachvollziehbar.

Mehr denn je wird die Leistungsfähigkeit der Produktentstehung durch die Möglichkeiten der Informations- und Kommunikationstechnik geprägt werden. Den Schwerpunkt bildet die konsequente Virtualisierung, d.h. rechnerinterne Modelle zu bilden und zu analysieren. Als besondere Herausforderung ergibt sich, die vielfältigen Modelle zu integrieren. Ferner wird es darauf ankommen, die neuen leistungsfähigen rechnerunterstützten Entwurfstechniken den mittelständischen Unternehmen zugänglich zu machen. Getragen wird die Virtualisierung von einer durchgängigen Methodenunterstützung der gesamten Produktentstehung.

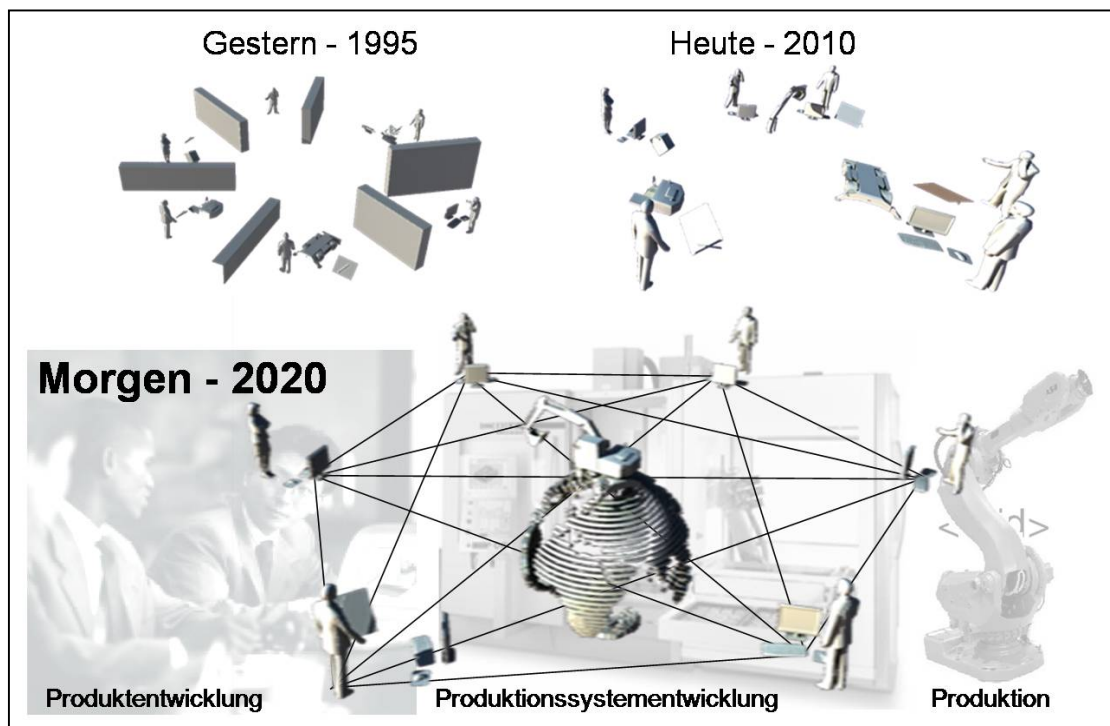


Abb. 9: Von der fachdisziplinorientierten zur vorausschauenden und systemorientierten Produktentstehung (Visualisierung)

Herausforderungen der Produktentstehung in globalen Unternehmensstrukturen

Dirk Spindler, Leiter Zentrale Entwicklung
Schaeffler Technologies GmbH & Co. KG, Herzogenaurach

Zusammenfassung

Die fortschreitende Globalisierung der Märkte mit „local content“, „global sourcing“ usw. sowie die zunehmende Komplexität von Produkten/Systemen führen zu neuen Anforderungen an Organisation und Prozesse in global agierenden Unternehmen. Die Definition, Entwicklung und Einführung der zur Umsetzung der Produktentwicklungsstrategie notwendigen Prozesse, Tools und Methoden sind dabei ebenso erfolgskritisch wie die Berücksichtigung der unterschiedlichen Kulturen, Qualifikationen und die Historie der an der Produktentstehung beteiligten Menschen. Global erfolgreiche Unternehmen bringen alle diese Anforderungen in Einklang. Die Schaeffler Gruppe hat dazu eine standardisierte Vorgehensweise zur Planung und dem Aufbau lokaler Entwicklungszentren entwickelt und diese beim Aufbau mehrerer Zentren bereits erfolgreich angewandt. Eine neue, derzeit in der Definition befindliche Entwicklungsplattform wird die weltweiten Entwicklungsprozesse unterstützen und den Datenfluss ohne Verluste überall in der Welt garantieren. Werkzeuge und Methoden zum Multiprojektmanagement regeln die Zusammenarbeit der an der Produktentstehung Beteiligten. Es gilt außerdem, die Organisationen vor Ort zu befähigen, ihren jeweiligen Markt selbständig und vollständig zu bearbeiten, denn nur so kann ein Kunde in einem schnell wachsenden Markt wie China oder Indien mit den Produkten versorgt werden, die er tatsächlich zur Weiterentwicklung seines Geschäftes benötigt. Die unterschiedliche „Reife“ der Märkte benötigt dazu unterschiedliche Markt- und Produktstrategien, deren Entwicklung und Umsetzung zunehmend weniger Aufgabe einer Zentralen Entwicklung z.B. in Deutschland sein kann. Der Beitrag zeigt für einige der oben genannten Themenkreise Beispiele zur Umsetzung in der Schaeffler Gruppe.

1 Anforderungen an ein globales Netzwerk in Produktion und Entwicklung

Mit einer großen Anzahl weltweit verteilter Produktions- und Entwicklungsstandorte (Abb.1) sieht sich die Schaeffler Gruppe mit ihren weltweiten Kunden in besonderem Masse mit der Herausforderung konfrontiert, die interne Zusammenarbeit effizient und ohne Zeit- und Informationsverluste zu organisieren.

Globale Kundennähe

SCHAEFFLER GRUPPE

Mitarbeiter, Umsatz, Produktionsstandorte

Mitarbeiter weltweit: rund 66.000

Umsatz (Gj. 2008) weltweit: rund 8,9 Mrd. Euro

180 Standorte in mehr als 50 Ländern

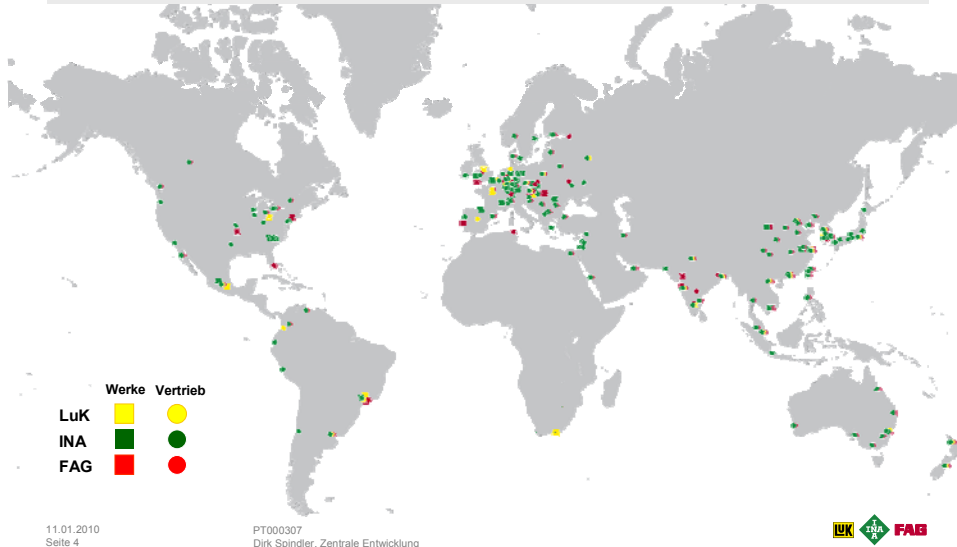


Abb. 1: Globale Kundennähe erfordert globale Aufstellung eines Unternehmens in Produktion und Produktentstehung

Zunehmende Komplexität von Produkten und Prozessen erfordert eine Organisation der Zusammenarbeit über Ländergrenzen und Kulturen hinweg. Die wesentlichen Faktoren dabei sind gemeinsame Prozesse, Tools und Methoden und als besonders wesentliche Komponente der Mensch, der alle Prozesse leben und die Werkzeuge anwenden muss (Abb. 2).

Effektive Entwicklung

SCHAEFFLER GRUPPE

Anforderungen an die Schaeffler Gruppe

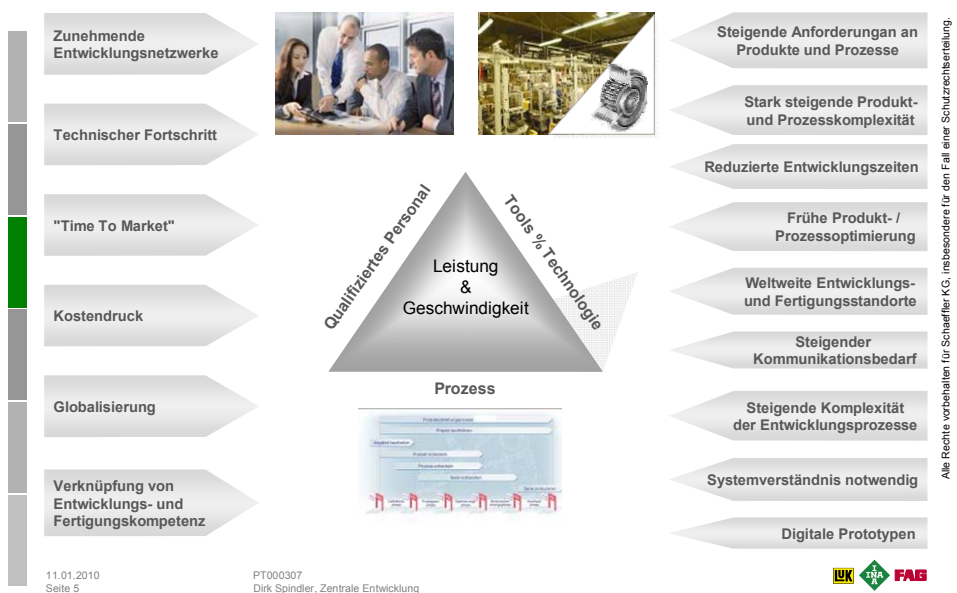


Abb. 2: Anforderungen an eine effektive und effiziente Entwicklungsorganisation

Die folgenden Kapitel geben einen Überblick über die Vorgehensweise bei der Entwicklung und dem Aufbau eines globalen Netzwerks für die Produktentstehung am Beispiel der Schaeffler Gruppe.

1.1 Strategie zur Definition der weltweiten Produktenstehung

Ausgehend von der Strategie eines Unternehmens zum Aufbau der weltweiten Märkte sind die Organisation, Führungssysteme und -kultur, aber auch Prozesse, Methoden und zur Umsetzung notwendige Tools und IT-Systeme zu entwickeln. Das geschieht unter Anwendung des in Abb. 3 gezeigten Regelkreises. Regelmäßig erfolgt eine Anpassung der Unternehmensstrategie an die Marktveränderungen, sowie entsprechend der Prozesse und Tools.

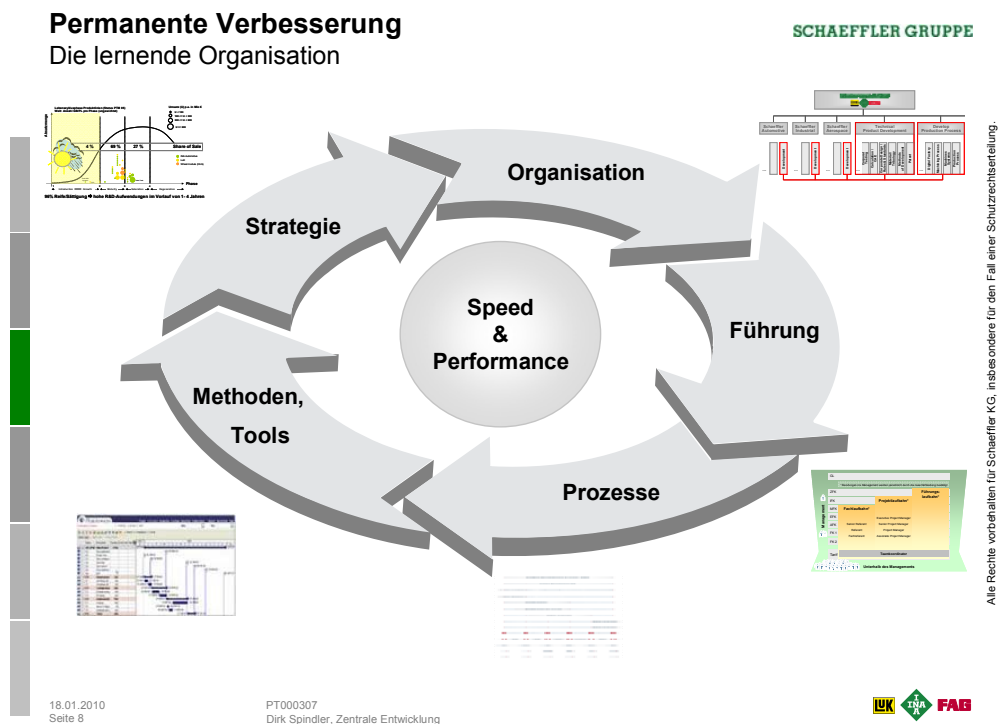


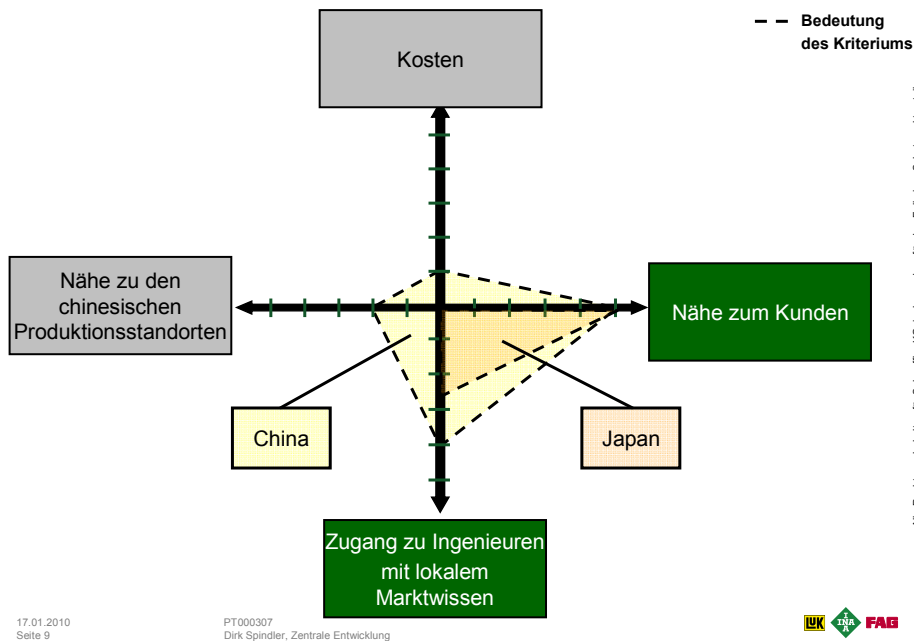
Abb. 3: Regelkreis zur Definition der Prozesse und Tools in der Produktentstehung

1.2 Global Footprint

Die Schaeffler Gruppe folgt beim Aufbau ihres globalen Entwicklungsnetzwerks der Leitlinie „in der Region für die Region“, nutzt also die Entwicklungsstandorte im wesentlichen nicht als „Low-Cost“ Standorte, sondern macht sich die Marktkennntnis der Ingenieure vor Ort zunutze. Es ist außerdem fraglich, ob Produkte und einfache Systeme für ein aufstrebendes Land wie z.B. China oder Indien in einem High-Tech-Land wie Deutschland angepasst auf die tatsächlichen Kundenanforderungen entwickelt werden können. In der Regel reicht es dazu nicht aus, bestehende Produkte durch Wertanalysen oder andere geeignete Methoden zu verbilligen. Hier sind andere Denkweisen und die Anpassung an die lokalen Gegebenheiten gefordert. Welche Kriterien in jedem Land von vorrangiger Bedeutung sind, unterscheidet sich je nach Land und Kundenstruktur (Abb. 4).

R&D Zentrum - Entscheidungskriterien

SCHAEFFLER GRUPPE



17.01.2010
Seite 9

PT000307
Dirk Spindler, Zentrale Entwicklung

Alle Rechte vorbehalten für Schaeffler AG, insbesondere für den Fall einer Schutzrechtsanmeldung.

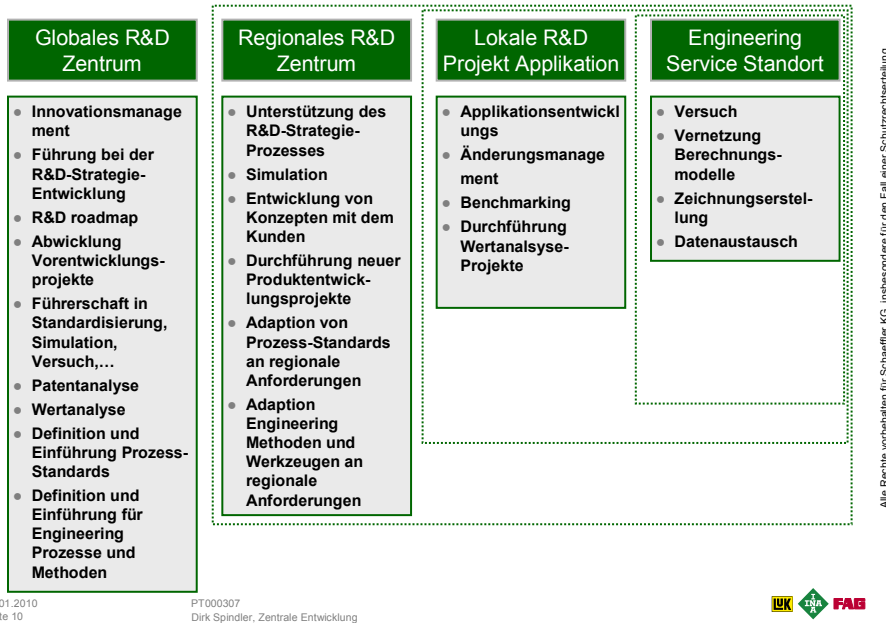
Abb. 4: Entscheidungskriterien zur Festlegung der Aufgaben eines Entwicklungsstandortes

Der Aufbau der Entwicklungszentren erfolgt nach einem Reifegradmodell gemäß Abb. 5.

Globale Entwicklungs-Standorte

"Reifegrad-Modell"; Funktionen beispielhaft

SCHAEFFLER GRUPPE



17.01.2010
Seite 10

PT000307
Dirk Spindler, Zentrale Entwicklung

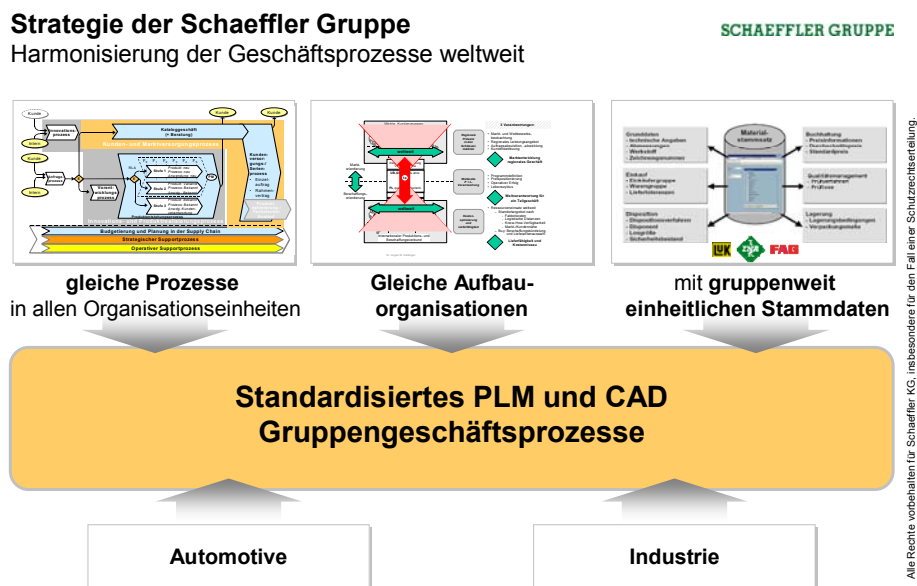
Alle Rechte vorbehalten für Schaeffler AG, insbesondere für den Fall einer Schutzrechtsanmeldung.

Abb. 5: Ausprägungen lokaler Entwicklungsstandorte

1.3 Prozesse

Gemeinsames Arbeiten erfordert ein gemeinsames Verständnis und eine Harmonisierung der Prozesse, mit denen die Kommunikation der an der Produktentstehung Beteiligten und der Fluss der notwendigen Daten organisiert wird. Dabei sind "lean-Kriterien" zur Sicherstellung größtmöglicher Effizienz zu berücksichtigen.

Die Schaeffler Gruppe hat dazu eine Prozesslandschaft aus für alle Mitarbeiter im Unternehmen gültigen Prozessen definiert. Im 2009 aufgesetzten Projekt SPEED wird zur Umsetzung der Themen in der Produktentstehung eine neue Entwicklungsplattform beschrieben, die die weltweiten Datenflüsse aber auch Kommunikationsthemen in Produktlebenszyklen festlegt. Abb. 6 zeigt die Schwerpunktthemen Harmonisierung der Prozesse, Aufbauorganisation und einheitliche Datenstrukturen.



17.01.2010
Seite 12

PT000307
Dirk Spindler, Zentrale Entwicklung



Abb. 6: Gruppengeschäftsprozesse, Organisation und Datenmanagement als Basis für weltweite Kooperation.

Die wesentlichen wertprägenden Geschäftsprozesse im Rahmen des Produktlebenszyklus sind die vertriebsunterstützende **Customer Chain**, die **Design Chain**, auf die im Folgenden näher eingegangen wird und die **Supply Chain**, mit der Abwicklung aller logistischen Prozesse (Abb. 7).

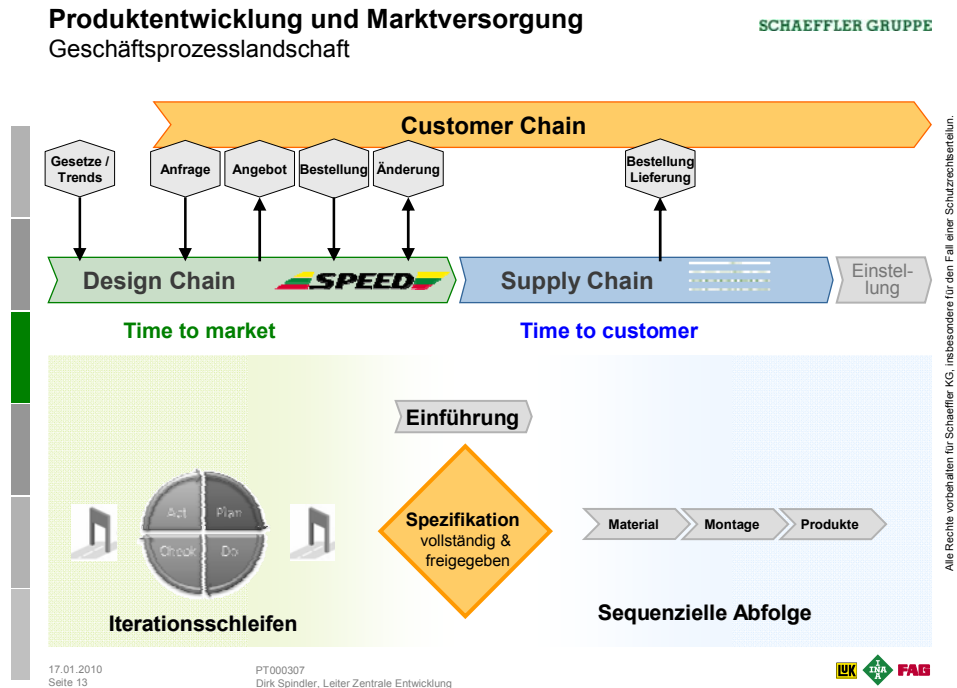


Abb. 7: Prozesslandschaft im Produktlebenszyklus

2 Die Entwicklungsplattform SPEED zur Unterstützung der weltweiten Produktentstehung

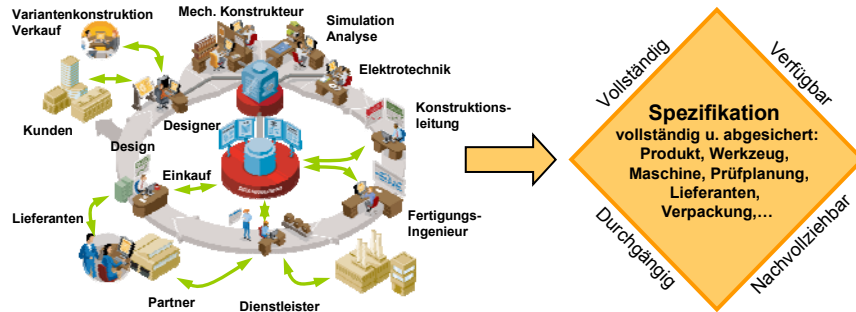
Die Produktentstehung erfolgt in der Design Chain, das Ergebnis wird dokumentiert in der Spezifikation bestehend aus Zeichnungen, Stücklisten und sonstigen beschreibenden Dokumenten. Die Entwicklungsplattform stellt die Zusammenarbeit in der Entwicklung sicher und garantiert die Verfügbarkeit aller notwendigen Informationen in der Produktentstehung (Abb. 8). Die Spezifikation beschreibt außerdem die Übergabeinformation aus der Entwicklung in die Supply Chain.

Vollständige abgesicherte Spezifikation

Bessere Nutzung vorhandenen Wissens

SCHAEFFLER GRUPPE

Globales, konsistentes System für
Entwicklungsdaten, Zusammenarbeit, Reifegrad



➔ Die Entwicklungsplattform ermöglicht und unterstützt die globale, effektive und effiziente Produktentstehung mit allen Beteiligten

17.01.2010
Seite 14

PT000307
Dirk Spindler, Zentrale Entwicklung



Alle Rechte vorbehalten für Schaeffler AG, insbesondere für den Fall einer Schutzrechtserteilung.

Abb. 8: Die Spezifikation ist das Ergebnis der Produktentstehung, die von der Entwicklungsplattform effizient unterstützt wird.

Die Entwicklungsplattform SPEED definiert nicht nur die Datenflüsse und die Integration der CAD-Systeme, sondern stellt Schnittstellen zu allen Tools wie Berechnungsprogrammen, Konfiguratoren (in Software „übersetzte“ Konstruktionsrichtlinien zur standardisierten Produktauslegung) und allen anderen in der Produktentstehung eingesetzten Werkzeugen zur Verfügung. Zusätzlich sind moderne Wissensmanagementsysteme (z.B. Schaeffler-Wiki) im Einsatz, die die Nutzung vorhandenen Wissens irgendwo in der Schaeffler Gruppe ermöglichen (Abb. 9).

Bei der Einführung der Werkzeuge und - noch wesentlich wichtiger - der dahinter stehenden Philosophien und Denkweisen, sind die Menschen als der wesentlichste Erfolgsfaktor zu beachten. Jede Änderung bisheriger Vorgehensweisen bedingt Change Management. Es ist daher wichtig, die Bedürfnisse der Kunden und Mitarbeiter zu erfassen und in die Tools und Prozesse einfließen zu lassen.

Ziel der Aktivitäten muss es sein, eine lernende Organisation zu schaffen, die schnell und effizient auf die sich ändernden Anforderungen der globalen Märkte reagieren kann. Dazu müssen die vorhandenen Werkzeuge adaptierbar und je nach Aufgabe skalierbar sein.

Globale Zusammenarbeit
Tools und Prozesse

SCHAEFFLER GRUPPE

The collage illustrates the integration of various tools and processes in the product development process. It features a meeting scene for project management, a process flowchart, a knowledge management portal for radial roller bearings, design standards, and calculation standards.

Alle Rechte vorbehalten für Schaeffler AG, insbesondere für den Fall einer Schutzrechtserteilung.

17.01.2010
Seite 15

PT000307
Dirk Spindler, Zentrale Entwicklung



Abb. 9: Standards und Methoden im Produktentstehungsprozess

Produktentwicklung komplexer technischer Systeme

Dr.-Ing. Frank Thielemann

Smart Mechatronics GmbH, Josef-von-Fraunhofer-Str. 20 44227 Dortmund

Zusammenfassung

Die Mechatronik erlaubt die Optimierung bestehender Produkt genauso wie die Realisierung bisher nicht bekannter oder nicht umsetzbarer Funktionen in modernen technischen Systemen. Die höchsten Nutzenpotentiale lassen sich erschließen, wenn die erforderlichen Fachdisziplinen gemeinsam ein zu entwickelndes Produkt konzipieren und dann parallel die optimal auf einander abgestimmten Produktbestandteile entwickeln können.

Dieses Vorgehen erfordert aber ein Umdenken in den etablierten Entwicklungsprozessen der meisten Unternehmen. Darüber hinaus erweisen sich neue Vorgehensweisen und Werkzeuge, wie die Entwicklungsmethodik für mechatronische Systeme (VDI-2206) und die Spezifikationstechnik nach GAUSEMEIER ET AL, als dringend benötigte Hilfsmittel für die Produktentwicklung.

Neben den methodischen Grundlagen zeigt dieser Beitrag auch die Praxiserfahrungen auf, die wir bei der Anwendung dieser neuen Methoden und Werkzeuge bei Neuentwicklungen, Produkt Re-Designs und der Optimierung bestehender Produkte in der Industrie gemacht haben.

1 Nutzen und Herausforderungen mechatronischer Systeme

Die Erzeugnisse des Maschinenbaus und verwandter Branchen wie der Automobilindustrie beruhen heute vielfach auf dem engen Zusammenwirken von Mechanik, Elektrik, Elektronik und Softwaretechnik. Der Begriff Mechatronik bringt dies zum Ausdruck. Bereits heute haben die Fachdisziplinen Elektrik, Elektronik und Softwaretechnik einen erheblichen Anteil an den Entwicklungs- und Herstellkosten komplexer technischer Systeme. Die sich abzeichnende Entwicklung der Kommunikations- und Informationstechnik lässt darauf schließen, dass insbesondere der Anteil der Softwaretechnik künftig noch weiter steigt [1].

Durch ein optimales Zusammenwirken von Mechanik, Elektronik und Software sind mechatronische Systeme herkömmlichen technischen Produkten überlegen. Die Mechatronik steigert den Nutzwert moderner technischer Systeme. Die jeweiligen Fachdisziplinen allein sind nicht in der Lage, eine derartige Funktionalität zu realisieren. Beispiele für Nutzwertsteigerungen mechatronischer Systeme gegenüber konventionellen Lösungen sind:

- die Erhöhung der Zuverlässigkeit von Produkten durch die Reduktion von Verschleiß oder Ausfallzeiten,
- die Verbesserung der Effektivität durch Verhaltensoptimierung oder Ressourceneinsparungen,
- die Steigerung des Produktwertes durch die Integration von Zusatz- bzw. Komfortfunktionen sowie
- die Möglichkeit der Mehrfach- und Wiederverwendung mechatronischer Komponenten in unterschiedlichen Anwendungsfeldern z.B. durch Parameteranpassungen.

Grundsätzlich lassen sich bei der großen Bandbreite mechatronischer Systeme zwei Klassen identifizieren (Abbildung 1): Die erste Klasse beruht auf der räumlichen Integration von Mechanik und Elektronik. Die zweite Klasse befasst sich mit dem kontrollierten Bewegungsverhalten von Mehrkörpersystemen.

Ziel der ersten Klasse ist es, eine hohe Anzahl mechanischer und elektronischer Funktions-träger auf einem kleinen Bauraum zu integrieren. Das wesentliche Potential der Integration liegt hierbei in der Miniaturisierung und den geringeren Herstellkosten. Die Aufbau- und Verbindungstechnik mit Ausprägungen wie MID (Molded Interconnect Devices) steht hier im Vordergrund.

Bei der zweiten Klasse von Systemen geht es um die Verbesserung des Bewegungsverhaltens. Dazu erfassen Sensoren Informationen über die Umgebung, sowie über das System selbst. Diese Informationen werden anschließend verarbeitet und mit Hilfe von Aktoren werden im jeweiligen Kontext die geeigneten Reaktionen zur Verbesserung des Bewegungsverhaltens ausgelöst. Zentrale Aufgabe bei der Entwicklung von Erzeugnissen dieser Art ist die Regelungstechnik. [2] Mechatronische Systeme können die Charakteristika nur einer oder beider der genannten Klassen aufweisen. Je stärker die Charakteristika ausgeprägt sind, desto höher ist in der Regel die Komplexität der Entwicklungsaufgabe.

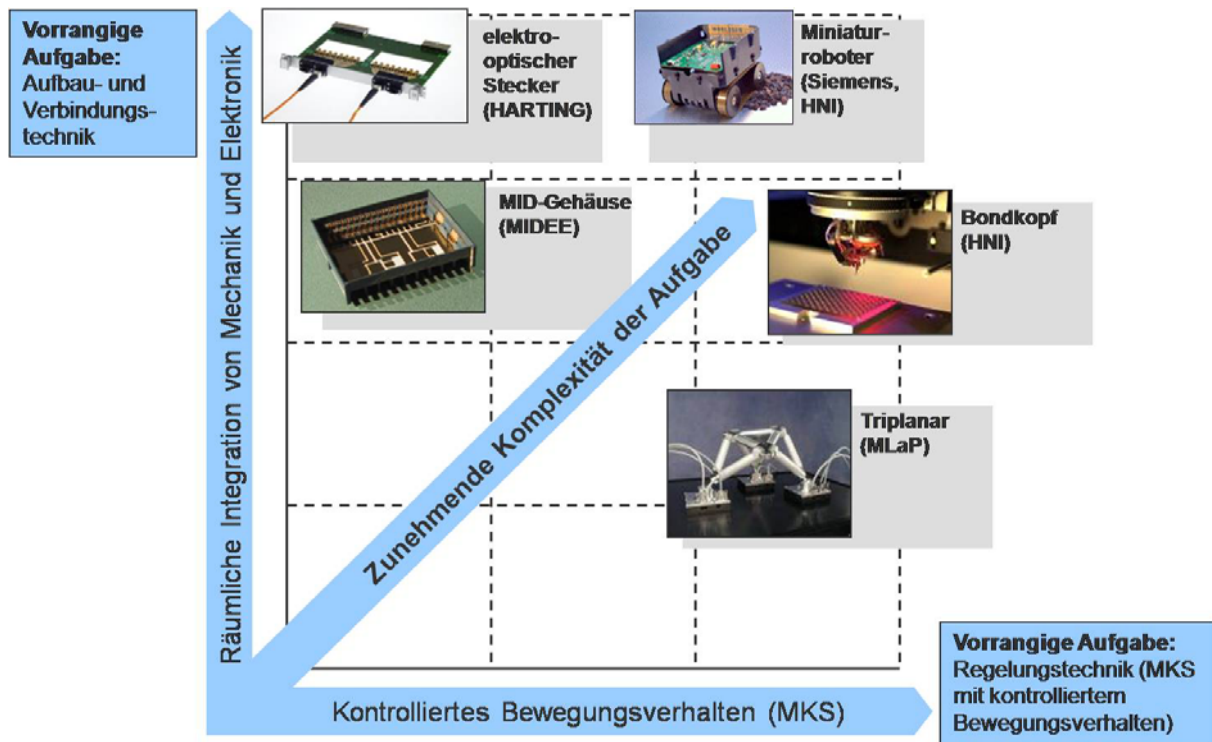


Abb. 1: Klassen mechatronischer Systeme (in Anlehnung an [2])

Dem Nutzen der Mechatronik stehen somit auch Barrieren entgegen: Die zunehmende Komplexität der Produkte, der erhöhte Bedarf an Kommunikation und Kooperation der Entwickler verschiedener Fachdisziplinen und die damit einhergehende Notwendigkeit der Entwicklung geeigneter Methoden und Werkzeuge für eine fachdisziplinübergreifende Produktentwicklung.

2 Fachdisziplinübergreifende Produktentwicklung erfordert neue Vorgehensweisen und Kommunikationsmittel

Die Entwicklung mechatronischer Systeme ist auf Grund der genannten Barrieren nach wie vor eine Herausforderung. Um dieser Herausforderung zu begegnen beschreibt das V-Modell der VDI-Richtlinie 2206 ein generisches Vorgehen, das den grundsätzlichen Ablauf der Entwicklung eines mechatronischen Produkts wiedergibt [3]. Es stellt den minimalen Konsens der Fachwelt dar und kann als geeigneter Handlungsleitfaden für die domänen-

übergreifende Produktentwicklung mechatronischer Systeme betrachtet werden (vgl. Abbildung 2).

Ausgehend von der Anforderungsanalyse erfolgt der Systementwurf. Hier werden der grundsätzliche Aufbau und die grundlegenden physikalischen sowie logischen Wirkungsweisen des zukünftigen Produktes in Form einer fachdisziplinübergreifenden Systemkonzeption (synonym: Produktkonzept, Prinziplösung, prinzipielle Lösung) festgelegt. Die Systemkonzeption ist die Basis für den anschließenden fachdisziplinspezifischen Entwurf. Hier konkretisieren die an der Entwicklung beteiligten Disziplinen das zu entwickelnde System mit Hilfe fachdisziplinspezifischer Vorgehensmodelle, Methoden und Werkzeuge. Anschließend werden die fachdisziplinspezifischen Ergebnisse zu einem Gesamtsystem integriert und die Systemeigenschaften getestet. Die Absicherung der Systemeigenschaften wird während der beschriebenen Teilschritte durch Computermodelle unterstützt. Ergebnis nach Durchlaufen des V-Modells ist das Produkt, wobei dieses nach Durchlauf eines Zyklus in der Regel noch keinen serienreifen Zustand erreicht haben wird. Es können vielmehr eine Reihe von Durchläufen notwendig sein, in denen das Produkt zunehmend konkretisiert wird und damit verschiedene Reifegrade durchläuft, z.B. Labormuster, Funktionsmuster, Vorserienprodukt oder Serienprodukt. Um immer wieder auftretende Teilschritte innerhalb des V-Modells konkreter zu beschreiben, definiert die VDI-Richtlinie 2206 eine Reihe von Prozessbausteinen.

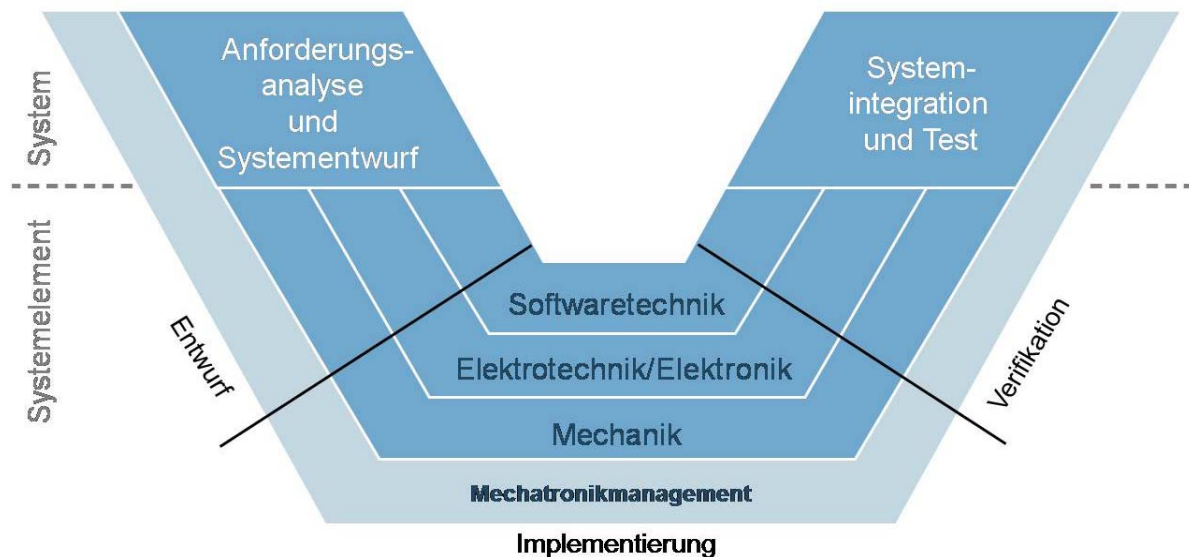


Abb. 2: V-Modell zur Entwicklung mechatronischer Systeme [3]

Unsere Erfahrung hat gezeigt, dass die erfolgreiche Anwendung des V-Modells maßgeblich vom Einsatz eines geeigneten Kommunikationsmittels für eine gleichberechtigte, fachdisziplinübergreifende Beschreibung der Systemkonzeption abhängt. Wir verwenden hier die Spezifikationstechnik nach GAUSEMEIER ET AL., weil sie den unterschiedlichen Ansprüchen der beteiligten Domänen gerecht wird und eine vollständige Beschreibung des technischen Systems während des Systementwurfs unterstützt [4].

Die wesentlichen zu beschreibenden Aspekte sind: Umfeld, Anwendungsszenarien, Anforderungen, Funktionen, Wirkstruktur, Verhalten und Gestalt. Die genannten Aspekte stehen zueinander in Beziehung und ergeben ein konsistentes Ganzes. Sie sind während des Systementwurfs im Wechselspiel zu bearbeiten, wenngleich es eine gewisse Reihenfolge gibt (vgl. Abbildung 3) [5]. Die so erarbeitete Systemkonzeption bildet zum einen, wie erwähnt, den Ausgangspunkt für die weitere Detaillierung des Produkts in den beteiligten Fachdisziplinen. Zum anderen dient sie der Sicherstellung der Konsistenz des Entwicklungsgeschehens. Falls während der fachdisziplinspezifischen Detaillierung Änderungen auftreten, die den Aufbau und die Wirkungsweise des Systems betreffen, sind diese in die Systemkonzeption

tion zurück zu übertragen und von dort aus an andere, von diesen Änderungen ebenfalls betroffene Fachdisziplinen zu propagieren.

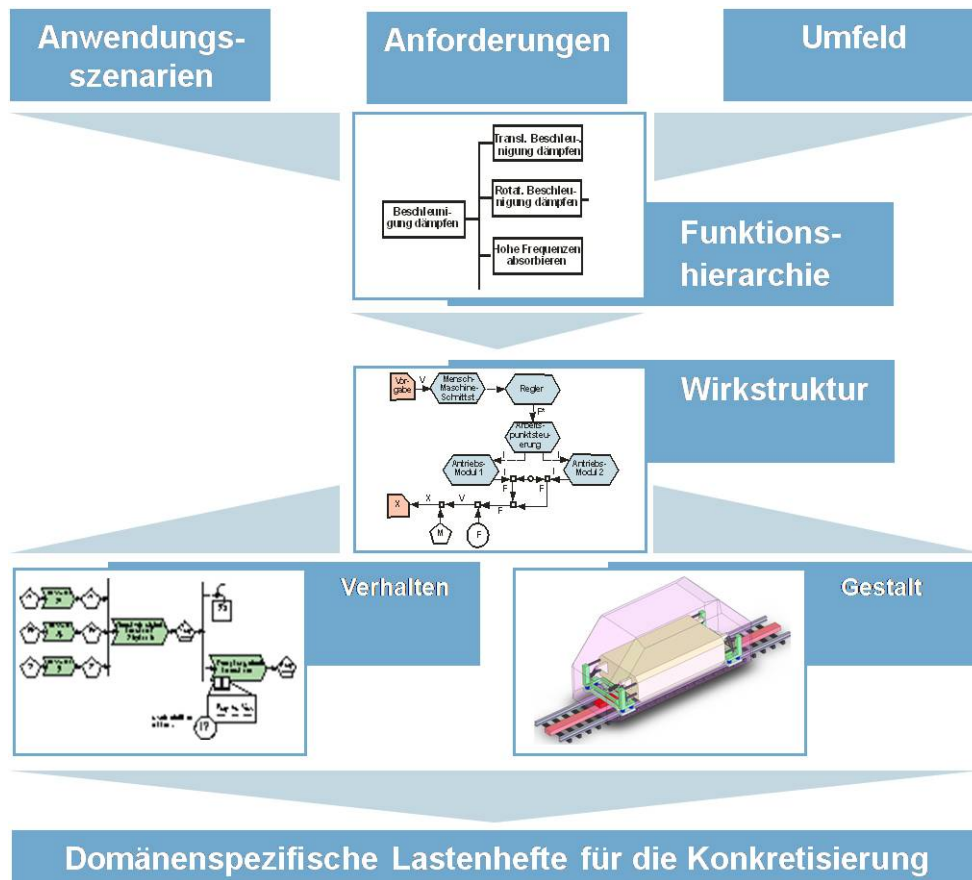


Abb. 3: Zu entwickelnde Aspekte eines mechatronischen Systems in der Reihenfolge ihrer Entwicklung [5]

3 Praktische Erfahrungen bei der fachdisziplinübergreifenden Produktentwicklung

Die in Kapitel 2 in groben Zügen vorgestellte Vorgehensweise haben wir in Kombination mit der beschriebenen Spezifikationstechnik in mehreren Entwicklungsprojekten erfolgreich angewandt. Dabei hat sich die Entwicklungsmethodik für mechatronische Systeme als hervorragender Leitfaden für alle Arten der Produktentwicklung von der Neuentwicklung, über das Re-Design bzw. die Variantenentwicklung bis hin zur Optimierung von Produkten bzw. Produktbestandteilen erwiesen.

Die **Neuentwicklung** komplexer technischer Systeme erfordert zunächst ein gemeinsames Verständnis aller Beteiligten für das zu entwickelnde Produkt. Oftmals wird gerade in der frühen Phase der Entwicklung, in der die Vorstellungen des Produktmarketings in ersten Produktkonzepten durch die Entwicklung umzusetzen sind, sehr viel Zeit verschwendet. Meist liegt dies an einer unzureichenden Beschreibung der Anforderungen in einem Lastenheft für das gesamte Produkt.

Im Rahmen einer Neuentwicklung einer kontaktlosen Türüberwachung für Fertigungsanlagen (z.B. Dreh- und Fräsmaschinen, automatisierte Schweißprozesse o. Ä.) haben wir den Hersteller dieser Systeme insbesondere in der frühen Phase der Produktentwicklung unterstützt. In mehreren moderierten Entwicklungsworkshops wurden gemeinsam mit den Fachdisziplinen Mechanik, Elektronik, Software, dem Produktmarketing, aber auch dem Service und der Fertigung die Anforderungen an das neue Produkt analysiert, dessen Funktionalität lösungs-

neutral beschrieben und anschließend eine Wirkstruktur dieses Systems entworfen. Diese bildete die Grundlage für eine Technologierecherche und -auswahl. Die einzelnen Produktbestandteile konnten parallel entwickelt und getestet und anschließend im Rahmen der Systemintegration zusammengefasst werden.

Durch die systematische Vorgehensweise wurde zum Einen die Entwicklung bzw. das Produktkonzept so dokumentiert, dass das sicherheitsrelevante Produkt zügig eine Freigabe vom TÜV erhielt. Zum Anderen vergingen zwischen den ersten Workshops und der Vorstellung des seriennahen Prototypen auf der Messe SPS/IPC/Drives 2009 in Nürnberg nur gut acht Monate.

In einem anderen Entwicklungsprojekt bestand die Aufgabe darin, die Herstellkosten einer gewachsenen Lösung unter Beibehaltung der Funktionalität zu senken sowie ein neues fertigungsgerechtes Design des Produktes zu entwickeln. Im Rahmen dieses **Re-Design Projektes** haben wir die Entwicklungsmethodik für mechatronische Produkte mit einer System-FMEA (gemeinsame Fehlermöglichkeits- und Einflussanalyse für Produkt und Herstellprozess) kombiniert. Dieses Vorgehen hat sich als äußerst praktikabel erwiesen, um insbesondere die vorhandenen Erfahrungen aus Entwicklung und Fertigung, die mit dem Produkt bereits gesammelt wurden, zu dokumentieren.

Beim Re-Design dieses Produktes wurden so unter anderem eine vertauschungssichere Montage der Stromanschlüsse (Poka Yoke) durch den Verzicht auf eine Verkabelung und eine Einsparung von 25 % Kunststoff gegenüber dem Vorgängerprodukt realisiert. Und dies bei gleicher oder besserer Funktionalität. In diesem Projekt vergingen vom ersten FMEA-Workshop bis zum fertigen virtuellen Prototypen lediglich acht Wochen.

Neben der Neu- und Variantenentwicklung bietet sich die beschriebene Methodik auch für eine zielgerichtete **Optimierung bestehender Produkte** an. So haben wir gemeinsam mit der Firma Krause Biagosch GmbH aus Bielefeld einen bestehenden Belichtungsautomat für die Belichtung von Druckplatten für Tageszeitungen analysiert und in seiner Funktionalität beschrieben. Dabei stellte sich heraus, dass die Leistungsfähigkeit der Mechanik und Antriebstechnik des Automaten nicht ausgenutzt werden konnte, weil die Steuerungstechnik eine zu geringe Verarbeitungsgeschwindigkeit aufwies.

Gemeinsam mit der Entwicklung von Krause Biagosch haben wir eine neue Steuerung konzipiert und umgesetzt. So konnte mit einer neuen Steuerungstechnik, deren Herstellkosten in der späteren Serienfertigung nicht einmal bei 100 Euro lagen, die Verarbeitungsgeschwindigkeit der Belichtungsautomaten um 17% gesteigert werden. In absoluten Zahlen bedeutete dies die Verarbeitung von 350 anstatt vorher 300 Druckplatten pro Stunde. Alle übrigen Komponenten des Automaten blieben unverändert.

4 Resümee und Ausblick

Die sich abzeichnende Entwicklung der Kommunikations- und Informationstechnik eröffnet eine erfolgversprechende Perspektive zur Weiterentwicklung mechatronischer Erzeugnisse, die schon heute durch ein enges Zusammenwirken von Mechanik, Elektrotechnik, Elektronik, und Softwaretechnik gekennzeichnet sind. Allerdings hat sich noch kein standardisiertes Vorgehen für die Entwicklung mechatronischer Systeme etabliert. Die zentrale Herausforderung besteht in der Förderung der Kommunikation und Kooperation der an der Entwicklung beteiligten Fachdisziplinvertreter sowie in der fachdisziplinübergreifenden Beschreibung der Systemkonzeption. Die vorgestellte Methodik ist ein gelungener Schritt hin zu einer interdisziplinären Zusammenarbeit, wobei der Systementwurf fokussiert wird. Innovative Ideen und Lösungen für neue Produkte können mit ihrer Hilfe schnell identifiziert und sicher umgesetzt werden. Die erfolgreiche Anwendung bei kleinen und mittelständischen Unternehmen verschiedener Branchen des Maschinenbaus hat dies bestätigt.

Für die konsequente Umsetzung der interdisziplinären Zusammenarbeit in großen Unternehmen und über den gesamten Produktlebenszyklus sind weitere Forschungsarbeiten notwendig. Hier spielen beispielsweise neben der Interdisziplinarität auch Fragestellungen von standorts- und unternehmensübergreifenden Entwicklungen eine Rolle. Eine geeignete Werkzeugunterstützung und die Skalierbarkeit der entstehenden Methoden werden in Zukunft ebenfalls erfolgsentscheidende Faktoren bei der Entwicklung mechatronischer Systeme sein.

Literatur:

- [1] Institut der deutschen Wirtschaft, Köln, 2008
- [2] Krause, F.-L.; Franke, H.-J.; Gausemeier, J. (Hrsg.): Innovationspotentiale in der Produktentwicklung. Carl Hanser Verlag, München, 2007
- [3] Verein Deutscher Ingenieure (VDI): VDI 2206 – Entwicklungsmethodik für mechatronische Systeme. Beuth-Verlag, Berlin, 2004
- [4] Gausemeier, J.; Frank, U.; Donoth, J.; Kahl, S.: Spezifikationstechnik zur Beschreibung der Prinziplösung selbstoptimierender Systeme des Maschinenbaus (Teil2). In: Konstruktion, Springer-VDI-Verlag, Düsseldorf, Ausgabe 9-2008
- [5] Ibers, C.; Schäfer, M.; Stollt, G.; Wolff, C.: Mechatronik-Potenziale in der Produktgestaltung erkennen und erschließen. In: Gausemeier, J.; Rammig, F.; Schäfer, W.; Trächtler, A. (Hrsg.): Entwurf mechatronischer Systeme. 6. Paderborner Workshop „Entwurf mechatronischer Systeme“, 2.-3. April 2009, Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 250

Produktionstechnik im nächsten Jahrzehnt – innovativ und integrativ

Prof. Dr.-Ing. Christian Brecher, Dr.-Ing. Lutz Oliver Schapp

Werkzeugmaschinenlabor der RWTH Aachen, Aachen

Prof. Dr.-Ing. Dipl.-Wirt.-Ing. Peter Groche

(Institut für Produktionstechnik und Umformmaschinen, Technische Universität Darmstadt)

Prof. Dr.-Ing. Hartmut Hoffmann

(Lehrstuhl für Umformtechnik und Gießereiwesen, Technische Universität München),

Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Dr. h.c. Fritz Klocke

(Werkzeugmaschinenlabor, RWTH Aachen),

Prof. Dr.-Ing. Uwe Reisinger

(Institut für Schweißtechnik und Fügetechnik, RWTH Aachen)

Zusammenfassung

Die Vorteile des Hochlohn-Produktionsstandortes Deutschland müssen effektiv und effizient eingesetzt werden. Als Vorteile neben der guten Infrastruktur und der Verfügbarkeit einer Vielzahl hoch spezialisierter Unternehmen sind im weltweiten Vergleich der hohe Ausbildungsstandard und das hohe produktionstechnische Know-how zu nennen. Das Zusammenspiel dieser Vorteile muss effizient umgesetzt werden. Ein wesentlicher Aspekt hierbei ist die optimale Kombination von Mensch und Technik. Der gut ausgebildete Mitarbeiter sollte so weit wie möglich von Routine-Tätigkeiten entlastet werden, um seine Kompetenz maximal auf die sich ihm stellenden Herausforderungen fokussieren zu können. Hieraus resultiert das wichtige Forschungsfeld der selbstoptimierenden Produktion. Über fertigungstechnologische Grenzen hinweg wird die Befähigung von technischen Systemen weg von rein ausführenden Maschinen und Anlagen hin zu Entscheidungen treffenden, intelligenten Systemen an Bedeutung gewinnen. Auf informationstechnischer Seite bedeutet dies einen neuen Weg in der Steuerung von Anlagen zu gehen. Es sind Steuerungsprinzipien einzusetzen, welche auf Basis vorher definierter Regeln selbstständig Entscheidungen treffen und durch intelligente Lernalgorithmen sich selbst weiter entwickeln können. Von hoher Relevanz ist hier die Kommunikation des Menschen mit diesen selbstoptimierenden Systemen. Nur durch die Sicherstellung einer hohen Transparenz des technischen Systems, also der Möglichkeit für den Menschen, die Entscheidungen des sich selbst optimierenden Systems nachzuvollziehen, werden diese Systeme akzeptiert und auf breiter Basis eingesetzt werden können. Auf Seiten der Fertigungstechnologien ist zur Erreichung dieser selbstoptimierenden Systeme die weitere physikalische Erforschung der zu Grunde liegenden Wirkmechanismen notwendig. Auf Seiten der Maschinen und Anlagen muss der sinnvolle und wirkungsvolle Einsatz von Sensorik/Aktorik und die Sensorentwicklung vorangetrieben werden.

Generell ist der Erforschung der produktionstechnologischen Zusammenhänge weiterhin große Bedeutung beizumessen. Produktionstechnisches Know-how als einer der zentralen positiven Standortfaktoren Deutschlands ist aufgrund des Aufschließens der Konkurrenzländer verstärkt weiter zu entwickeln. Den Sprung vom rein inkrementellen Erkenntnisgewinn hin zu einem deutlichen Wissenssprung schafft die integrative, also die übergreifende Betrachtung produktionstechnischer Zusammenhänge. Rein disziplinspezifische Problemlösungen tragen durch die zwangsläufige Annahme unsicherer Randbedingungen nur bedingt zur weiteren Verständnisgenerierung und somit zur effektiven Optimierung der Systeme bei. Die Wechselwirkungen zwischen Werkstoff, Fertigungstechnologie, Maschine und Mensch beeinflussen das Gesamtergebnis in dominanter Weise. In Zukunft ist die Erforschung dieser unzureichend betrachteten Wechselwirkungen verstärkt zu verfolgen, im Werkzeugmaschinenbau beispielsweise durch die Weiterentwicklung und Verwendung

mechatronischer Baukästen. Ein weiteres wichtiges Werkzeug stellen die Modellierungs- und Simulationstechniken bereit, welche allgemein unter dem Begriff der virtuellen Produktion zusammengefasst sind. Wesentlicher Forschungsbedarf besteht hier in dem Gebiet der Informationsstrukturierung.

Das so generierte Wissen dient u.a. der Überwindung bestehender produktionstechnischer Grenzen, so dass entweder bekannte Werkstoffe produktiver oder neue Werkstoffe wirtschaftlich bearbeitet werden können. Hier ist die Kombination verschiedener fertigungstechnologischer Wirkmechanismen eine wichtige Stoßrichtung, um das Leistungsspektrum der Einzeltechnologien auszuweiten. Diese kombinierten Fertigungstechnologien werden auch unter dem Begriff der hybriden Produktion zusammengefasst.

1 Einführung

Globalisierung ist der dominierende Megatrend für produzierende Unternehmen weltweit. Durch die Globalisierung erschließen Unternehmen neue Absatzmärkte. Die Bedürfnisse der neuen Absatzmärkte unterscheiden sich jedoch von denen der traditionellen Märkte, so dass Unternehmen, die verschiedene Märkte gleichzeitig bedienen, ein größeres Produktspektrum bereitstellen müssen. Dies führt zu einer höheren Komplexität innerhalb der Produktion, die mit entsprechenden organisatorischen, aber auch technischen Prozessen aufgefangen werden muss. Globalisierung führt darüber hinaus zu einer Verschärfung der Wettbewerbssituation, da neue Wettbewerber mit geringeren Faktorkosten präsent werden, die durch geringere Produktionskosten einen hohen Preisdruck erzeugen. Neben der Globalisierung ist die Dynamisierung der Produktlebenszyklen ein weiterer wichtiger Treiber. Kunden fragen in stets kürzer werdenden Zeitabständen neue Produkte nach. Zusammen mit den Folgen der Globalisierung stehen produzierende Unternehmen somit vor der Herausforderung, kostengünstig dem Kundenwunsch angepasste Produkte herzustellen und auf veränderte Marktbedürfnisse schnell reagieren zu können.

Von großer Bedeutung für den Erhalt der Produktion speziell in Deutschland ist, dass nicht nur die Fokussierung auf die Herstellung von High-Tech-Produkten stattfinden darf. Der Wettbewerb im High-Tech-Segment ist vergleichsweise gering und stellt somit zunächst eine komfortable Wettbewerbssituation dar. Das Aufschließen der durch die Globalisierung vorhandenen neuen Konkurrenten an das produktionstechnische Know-how Deutschlands erfolgt allerdings zügig, so dass in Zukunft die Mid-Tech-Märkte und später auch die High-Tech-Märkte von diesen neuen Wettbewerbern ebenfalls erschlossen werden. Der Rückzug deutscher Unternehmen auf die Herstellung von High-Tech-Produkten ist somit keine sichere Erfolgsposition. Produzierende Unternehmen in Deutschland müssen aktiv den Wettbewerb in den Mid-Tech-Märkten mit den neuen Konkurrenten aufnehmen.

2 Forschungsbedarf in der Urformtechnik

Der langfristige Forschungsbedarf ergibt sich aus der Weiterentwicklung der bisherigen kurzfristigen Ansätze, da zum Beispiel die Ermittlung von Werkstoffkennwerten sehr zeitintensiv ist und fundamental an Bedeutung gewinnt. Werkstoff- und Bauteilkennwerte stellen dabei eine wichtige Grundlage für die virtuelle Abbildung von Prozessen dar. Parallel dazu wird die Werkstoffentwicklung in den kommenden Jahren die prägende Herausforderung für den Bereich der Urformtechnik sein.

Eine weitere zunehmend wichtigere Rolle wird die Energieeffizienz von Prozessen spielen. Vor allem die Nutzung der zuvor investierten Schmelzwärme beim Erstarren ist ein wichtiges Ziel. Knapper werdende Energieressourcen zwingen hier zu schnellem Handeln.

Die virtuelle Abbildung des kompletten Produktentstehungsprozesses von der optimierten Bauteilkonstruktion bis zur virtuellen Bauteilüberprüfung bleibt ebenfalls eine wichtige Aufgabe. Dadurch ließen sich Ressourcen und Kosten in hohem Umfang einsparen.

Die Verordnung zur Klassifizierung von Werkstoffen (REACH) wird, wie die Tendenz zu ökologischen Stoffen, bei vielen Prozessen eine Suche nach alternativen Hilfsstoffen (wie z.B. SF6- Ersatz beim Magnesiumguss) notwendig machen.

3 Forschungsbedarf in der Umformtechnik

3.1 Fertigungstechnologie

Auf lange Sicht kann eine verstärkte Forschung auf folgenden Gebieten einen sehr wertvollen Beitrag für die umformende Fertigungstechnologie leisten:

- Flexibilisierung der Umformprozesse,
- Tribologie,
- hybride Fertigungsverfahren und
- net-shape.

Zur Erlangung einer höheren Flexibilisierung der Umformprozesse ist die Servotechnik mit ihren prozesstechnischen Vorteilen unbedingt weiter zu erforschen. Pressenanwender stellen fest, dass es bei einigen Umformprozessen einer anderen als der mit konventionellen mechanischen oder hydraulischen Antrieben umsetzbaren Kinematik zur Erreichung einer bestimmten Bauteilqualität bedarf. Um eine optimal an den Prozess angepasste Umformcharakteristik zu erhalten, lässt sich jede Phase des Stößelbewegungsablaufs programmieren. Somit lassen sich Werkzeugbewegungen ermöglichen, die tribologisch besonders günstig sind und somit neben einer hohen Bauteilqualität auch eine Verschleißminderung und damit eine Standmengenerhöhung versprechen. Durch den hohen Freiheitsgrad der Kurvenprogrammierung ergeben sich zahlreiche Möglichkeiten von Verläufen. Hier eröffnet sich ein sehr weites Feld der Prozessoptimierung.

Die Beschreibung der tribologischen Verhältnisse im Prozess und vor allem deren Optimierung ist noch zu wenig fortgeschritten. Die angenommenen Reibersatzmodelle werden als zu starr und theoretisch bezeichnet und bieten nicht die geforderte Abbildegenauigkeit. Hier werden Ersatzmodelle gefordert, mit denen man beispielsweise schnell den Reibwerteeinfluss bei Phosphatierung oder Ölschmierung oder einer Kombination aus beidem abschätzen und Probleme bei grenzwertigen Teilen wie z.B. langen Hülsen aufdecken kann. Hierbei können chargenabhängig Versagensfälle auftreten, die sich auf Schwankungen hinsichtlich der Werkstoffkennwerte, aber auch z.B. der Phosphatierung zurückführen lassen. Die tribologischen Einflüsse bei umformtechnischen Prozessen müssen viel stärkeren Einzug in die Simulationen finden, um die Prozesse hinsichtlich der Auswirkungen von Kühlung und Schmierung systematisch untersuchen und optimieren zu können. Dazu zählt z.B. die Ermittlung von Sprühwirkungsgraden in Abhängigkeit von der Ventilöffnungszeit und der sich einstellenden Temperatur. Bei Kenntnis der weg geflossenen bzw. verdampften Sprühmittelmenge könnte besser auf den sich ausbildenden Schmierfilm geschlossen werden. Die Schwierigkeit hierbei liegt in der Erfassung der realen, teilweise prozessveränderlichen Daten wie Wärmeübertragungskoeffizienten, Reibwerte oder andere Eigenschaftskennwerte, die als Eingabegrößen für die Simulation dienen könnten. Durch die bei Simulationen und Versuchen ermittelten Ergebnisse hinsichtlich der Parameterkombinationen sollte der Aufbau eines Katalogs bzw. einer Anwenderdatenbank erfolgen, so dass die Auswirkungen der Parameterwahl bei der Prozessauslegung besser abgeschätzt werden können. Ganz konkret werden tribologische Verbesserungen z.B. bei der schwierigen Umformung von nichtrostendem Material gewünscht.

Ebenfalls stellen die Werkzeugwerkstoffe und deren Beschichtung weiterhin einen wichtigen Forschungsgegenstand dar. Neben dem weiteren Verbessern der Grundwerkstoffe wie z.B. der Keramiken muss bei den Beschichtungen noch daran gearbeitet werden, dass sie besser und länger halten. Auch die Standmengenerhöhung von Werkzeugen durch das Einbringen von Schmieraschen oder anderen Strukturen und die Haltbarkeit von durch Schrumpfverbände realisierten kostengünstigen Werkzeugen (hoch beanspruchbare Umformfläche als

Außenhaut und Hinterfüllung mit kostengünstigem Material) ist noch nicht in ausreichendem Maße erforscht.

Die hybriden Fertigungsverfahren liefern Ansätze, um durch eine simultane Kombination mehrerer Fertigungsverfahren innovative Prozesse und Produkte bei gleichzeitiger Prozesskettenverkürzung zu ermöglichen. Durch kleiner werdende Losgrößen wird in diesem Bereich auf erhöhte Flexibilität durch geometrisch einfache Werkzeuge gesetzt. Als Beispiel kann die Inkrementelle Blechumformung im Zusammenwirken mit dem Streckziehen genannt werden. Mithilfe solcher Verfahrenskombinationen ist u.a. die Produktion von Bauteilen mit gezielt lokal eingestellten Eigenschaften und kompliziert geformten Bauteilen in kleineren Stückzahlen möglich. Allerdings sind die Bearbeitungszeiten und die Geometrieabweichungen bei solchen Verfahren meist noch inakzeptabel hoch. Des Weiteren sind die trial'n'error-Phasen noch zu lang und die Übertragbarkeit bei diesen Prozessen ist noch sehr gering, so dass in diesem Bereich sehr viel Untersuchungsbedarf hinsichtlich systematischer Prozessauslegung und -beherrschung besteht. Bei den Kombinationsmöglichkeiten nimmt die Lasertechnologie als Mittel der berührungslosen Umformung und der lokalen Bauteilerwärmung einen besonderen Stellenwert ein. Innovative Verfahrenskombinationen werden bei der Fertigung mit neuartigen Werkstoffen bzw. Werkstoffverbunden eine Rolle spielen.

Zur Reduktion von Energie- und Werkstoffeinsatz trägt die Weiterführung des near-net-shape-Gedankens zur net-shape-Fertigung bei. Beispielsweise könnten manche Schmiedeprozesse durch eine weitergehende Optimierung der Einsatzmassen zu einem Präzisions-schmiedeprozess umgestellt werden. Hierbei wäre es wünschenswert, wenn die die Genauigkeit negativ beeinflussende Zunderschicht simuliert bzw. vermieden werden könnte. In diesem Zusammenhang bietet auch die Regelung von Umformprozessen auf bestimmte Produkteigenschaften vielversprechende Ansätze. Auf diesem Gebiet gibt es z.B. beim Walzprofilieren schon die Möglichkeit, durch Regelung die Rückfederung von Profilschenkeln zu kompensieren. Es besteht aber immer noch großer Forschungsbedarf hinsichtlich der Sensorik, der Aktorik und der Regelalgorithmen.

3.2 Maschinen und Anlagen

Für eine nachhaltige Verbesserung der Produktionsanlaufphase sowie der Produktivität selbst besteht erhöhter Forschungs- und Optimierungsbedarf bei

- den Rüstvorgängen,
- der gekoppelten Simulation,
- der Diagnose,
- der Adaptronik und
- der Selbstoptimierung der Umformprozesse.

Im Zuge des steigenden Kostendrucks auf die Unternehmen muss in jeder Produktionsphase eine Optimierung stattfinden. Hierzu zählt auch der Einrichtvorgang bei einem Werkzeugwechsel. Die erreichbare Bauteilqualität und die zum Einrichten benötigte Zeit sind stark von der Erfahrung und vom Geschick des Maschinenbedieners abhängig. Die Güte des eingerichteten Zustands entscheidet auch über die mit dem verwendeten Werkzeugsatz erreichbare Standmenge. Je näher man sich prozesstechnisch am Optimum befindet, umso geringer ist auch der Werkzeugverschleiß. Ein nicht unerheblicher Anteil der Werkzeuge versagt sogar schon mit dem zweiten Hub, da man die beim ersten Hub aufgetretenen Störungen nicht wahrnimmt. Selbst wenn das Werkzeug schon einmal auf der gleichen Maschine im Einsatz war, unterscheiden sich in der Regel die Bauteile voneinander. Um dem entgegen wirken zu können, müssen Mittel und Wege gefunden werden, um den Einrichtprozess zu unterstützen.

Ein wichtiger Schritt, um sich in dieser Phase einem Optimum nähern zu können, ist die Weiterentwicklung der gekoppelten Simulation von Umformmaschine/-werkzeug und Umformprozess. Ergebnisse solcher Simulationen sind z.B. die Stößelverkipfung, der

Stößelversatz oder die Auffederung des Gestells. Mithilfe dieser Größen lässt sich das Maschinenverhalten im Prozess beschreiben. Hierüber können dann die Auswirkungen von Imperfektionen beim Einrichtprozess auf das Bauteil und die Maschine bzw. das Werkzeugsystem abgeschätzt werden, so dass im Vorfeld ein Toleranzbereich für die Werkzeugposition ermittelt oder bei sehr schneller Simulation online die Güte des Einrichtvorgangs abgeschätzt werden kann.

Damit das Ober- und das Unterwerkzeug auch in diesem Toleranzbereich zueinander fluchtend angeordnet werden, sollten intelligente Positionierhilfen zum Einsatz kommen. Hierzu gehören neben hochpräzisen mechanischen Anschlägen, Führungen usw. auch interaktive Diagnosesysteme, die den Einrichter bei seiner Tätigkeit unterstützen, indem sie ihn über die Konsequenzen seiner Maßnahmen informieren. Wenn beispielsweise ein Werkzeug über das Anziehen von Schrauben fixiert wird und der Einrichter zieht die Schrauben so an, dass sich hierdurch eine unbeabsichtigte Verschiebung des Werkzeugs ergibt, so ergibt sich damit verbunden auch eine Verschiebung des Oberwerkzeugs zum Unterwerkzeug. Bei einem Prozess wie z.B. dem Stanzen äußert sich dies in einer Veränderung des Schnittspaltes, was zu einer verminderten Schnittqualität und einem beschleunigten Verschleiß des Schnittwerkzeugs führen kann. Die Position des Werkzeugs oder andere für den Einrichtprozess relevante Größen zur Charakterisierung des Werkzeugzustands werden von Sensoren aufgenommen und durch das Diagnosesystem weiter verarbeitet/simuliert. Zur Anwendung könnten z.B. neben Laser- oder optischen Messsystemen für die Positionsermittlung auch in die Werkzeuge integrierte Sensoren zur Überwachung der Einhaltung der tolerierten Fixierung kommen. Bei einer negativen Rückmeldung des Diagnosesystems müsste der Einrichter dann eine vom Diagnosesystem vorgeschlagene Maßnahme durchführen. Eine Weiterentwicklung dieses Konzepts wäre die selbsttätige Justage des Werkzeugs über in das Werkzeug integrierte adaptronische Komponenten, so dass der Maschinenbediener das Werkzeug nur noch grob positionieren muss. Dies würde in einer Optimierungsschleife im Zusammenwirken zwischen den verwendeten Messsystemen und der gekoppelten Maschine-Prozess-Simulation geschehen. Hierfür muss die Simulation aber neben einer sehr hohen Genauigkeit auch eine sehr hohe Schnelligkeit bieten.

Die Nutzung der adaptronischen Komponenten könnte zudem auf die Selbstoptimierung des Prozesses ausgeweitet werden. Diese könnte beispielsweise ebenfalls unter dem Einbezug von Online-Simulationen stattfinden, die früh genug vor dem Erreichen kritischer Zustände unter Abschätzung der Tendenzen als Eingangsgröße starten und auf deren Basis dann die Ansteuerung der Adaptronik erfolgt. Zur Unterstützung dieses Ansatzes können im Vorfeld grundlegende simulative Untersuchungen hinsichtlich der Befestigungselemente dienen. Häufig kommt es zu einem nicht immer zu erklärenden Versagen von Schrumpfverbänden und Schraubenverbindungen.

Diese Selbstoptimierung ist natürlich nicht nur auf das Werkzeugsystem begrenzt. Auch die Maschinenintelligenz sollte weiter verbessert werden. An dieser Stelle ist z.B. noch Bedarf bei der automatischen Stößelverstellung bei Hubzahländerungen oder bei zu großer Bauteilmasse. Um geregelte Umformprozesse mit der Auflösung der heutzutage noch sehr starren Prozesskettenstruktur verbinden zu können, bedarf es kinematisch hochflexibler Maschinen mit geometrisch möglichst einfachen Werkzeugen. Diese Konstellation erlangt bei den stark schwankenden Märkten hinsichtlich Beschaffung und Absatz immer stärkere Bedeutung. Ein Kritikpunkt ist, dass die heutigen Regelungen zu weit entfernt vom Prozess operieren, d.h. dass sie über Größen regeln, die eher anlagenspezifisch sind und weniger einen Rückschluss auf den Umformprozess zulassen. Um dieses Problem zu lösen, müssen auch Sensoren an den relevanten Stellen, nämlich im Werkzeug integriert, untergebracht werden. Hier besteht noch Handlungsbedarf hinsichtlich einer freieren Wahl des Applikationsortes (Prozessstabilität vorausgesetzt), so dass auch die prozesskritischen Bauteilbereiche vermessen werden können, sowie hinsichtlich der Integration in kompakte Werkzeuge, der Robustheit und der Reduktion von notwendigen Kalibriervorgängen bei einem Werkzeugwechsel.

Ein wichtiger Baustein für die Realisierung dieser flexibel agierenden Maschinen ist die Servotechnik. Die umformtechnologischen Möglichkeiten sind hier allerdings sowohl von wissenschaftlicher als auch von industrieller Seite noch wenig durchdrungen, so dass hier weiterhin Forschungsbedarf besteht, um diese Technik für den breiten Einsatz zu qualifizieren. Des Weiteren ist der immense Platzaufwand zur Ansteuerung der Servoachsen unbedingt zu reduzieren. Die Servotechnologie wird als ein Feld angesehen, auf dem insbesondere auch prozessbezogen ein unbedingter Forschungsbedarf besteht.

4 Forschungsbedarf bei trennenden Fertigungsverfahren

4.1 Fertigungstechnologie

Langfristig bedarf es einerseits, die übergeordneten Ziele wie die Orientierung an den Wertvorstellungen der Kunden, das Produzieren mit standardisierten Prozessen, die Lösung der Aufgabe, wie der geforderte Kundennutzen möglichst schnell und einfach realisiert werden kann, nicht aus dem Auge zu verlieren. Andererseits gilt es, sich jederzeit erfolgreich einer Vielzahl übergeordneter Trends anzupassen.

Nach Expertenmeinung (Interviewpartner) dominieren derzeit drei Trends die Produktionstechnik:

1. Weitere Globalisierung des Marktes: Während das Wachstum in den traditionellen Absatzmärkten nachlässt, steigt es in den Schwellenländern weiter an. Wegen knapper Ressourcen steht die Produktion in Hochlohnländern vor großen Herausforderungen. Gleichzeitig erwachsen aber auch Chancen auf positive Geschäftsentwicklungen unabhängig von den Zyklen des Heimatmarktes.
2. Individualität der Märkte (Dynamisierung der Produktlebenszyklen): Bedingt durch die unterschiedlichen technologischen Reifegrade der globalen Märkte werden die Anforderungen an Produkte und Leistungen zukünftig zunehmend differenzierter. Als Konsequenz sind für weltweite Markterfolge regionalisierte und differenzierte Produkt- und Produktionskonzepte zu entwickeln. Dadurch steigt die zu beherrschende Komplexität signifikant an.
3. Innovationsfähigkeit: Die Steigerung der technischen Leistungsfähigkeit von Investitions- und Massengütern wird zunehmend schwieriger. Vorsprünge, die auf technologischen Differenzierungen basieren, werden immer kurzlebiger und kleiner, da sich der Wettbewerb aus Schwellenländern dem deutschen Technologieniveau bedrohlich angenähert hat und zukünftig voraussichtlich weiter annähern wird. Als Konsequenz müssen neue, intelligente Innovationsstrategien gefunden werden, um so die Voraussetzungen für eine deutlich schnellere Umsetzung schaffen zu können.

Ein weiterer Trend, dem sich die Produktionstechnik in immer stärkerem Maße stellen und widmen wird, ist die Ressourceneffizienz. Hierunter fallen nach Expertenmeinung die Technologiebereiche Prozesse, Maschinen, Prozessketten, Durchlaufzeitverkürzung, Bestände und Bewertungsmethoden. Betroffen sind einerseits Methodiken, Werkzeuge und Organisationen in der Wertschöpfung (Produkt-Entstehungsphase), zum anderen auch die Produkte der Märkte (Produkt-Nutzungsphase). Dabei können Ressourcenmehrbedarfe in der Produktion durchaus zu Minderbedarfen in der Produkt-Nutzungsphase führen, so dass der Ressourcenbedarf im gesamten Produktlebenszyklus sinkt. Eine der größeren Herausforderungen ist es daher, einzelne Fertigungsschritte nicht mehr separat zu betrachten und energetisch zu optimieren, sondern vor- und nachgelagerte Prozesse sowie die Produkt-Nutzungsphase zu berücksichtigen. Durch die heute noch meist falsch gesteckten oder interpretierten Bilanzgrenzen rücken der Prozesskettengedanke und der Produktlebenszyklus noch zu weit in den Hintergrund und energieintensive Prozesstechnologien werden nicht auf synergetisch optimalen Ressourceneinsatz hin untersucht. Hierdurch bleiben Potenziale zur Steigerung der Ressourceneffizienz z. B. durch Verfahrenskombinationen ungenutzt. Um hier Verbesserungen zu erreichen, muss untersucht werden, welche Technologien und Prozesse effizient miteinander zu kombinieren sind, ohne die Vorteile

durch die neu geschaffene Komplexität zu überkompensieren. So kann beispielsweise die Kombination mechanischer, fügender und wärmebehandelnder Bearbeitungen deutliche Einsparungen ermöglichen. Im Anschluss an die Identifikation sinnvoller Verfahrensschnittstellen können angepasste Systeme und Prozesse zur Funktionsintegration entwickelt werden. Langfristiges Ziel muss es auch in diesem Zusammenhang sein, modulare, leicht konfigurierbare Technologieplattformen zur Erzielung flexibler Verfahrenskombinationen verfügbar zu machen. Die Steigerung der Fertigungsflexibilität und der Ressourceneffizienz durch Prozesskettenverkürzung und autarke, ansatzweise selbstoptimierende Technologien wäre das Resultat.

Als zentrale langfristige Vision ist im Bereich der trennenden Fertigungsverfahren die selbstoptimierende Produktion zu sehen. Beispiele hierfür sind:

- eine beschleunigte Verfügbarkeit produktiver Fertigungsverfahren für neue Werkstoffe,
- durchgängige Daten- und Informationsstrukturen und -systeme über die Fertigungsprozesse hinaus in die vorgelagerten Produktentwicklungs- und Engineeringsschritte,
- „intelligente Zerspanwerkzeuge“, d.h. modulare Werkzeugsysteme mit integrierter Sensor-/ Aktortechnik in hoher Verfügbarkeit bzw. zu moderaten Preisen,
- robuste Prozesse mit angepassten Sensor-/Aktorsystemen: zur Beherrschung der Komplexität soll der Einsatz zusätzlicher Intelligenz in den Systemen nach dem Motto »so viel wie nötig, so wenig wie möglich« erfolgen. Die Herausforderung besteht noch stets darin, Prozesse an ihren Grenzen robust und beherrschbar zu gestalten (Technologiebeherrschung).
- Schließen der Simulationskette Fertigungsverfahren/Maschine/CAM durch gesamtheitliche, gekoppelte Maschinen-, Prozess- und Bauteileigenschaftssimulationen. Dabei sind die vielen, stark unterschiedlichen Einflussfaktoren auf das Bearbeitungsergebnis wie
 - CAM-Bahngenerierung/ Postprocessing,
 - NC-Steuerung (Geometriedatenverarbeitung und Parametrierung)
 - Werkzeugmaschine (Kinematik, Antriebsdynamik, Strukturverhalten) und
 - Prozess (Werkstückwerkstoff, Fertigungshistorie Schneidstoff, Werkzeuggeometrie, Kühlschmierstoffeinfluss) zu berücksichtigen.

Prozessüberwachung

Bisherige Lösungen auf dem Gebiet der Einrichtungs-, Überwachungs- und Regelungssysteme sind zumeist auf einzelne fertigungstechnische Prozesse fokussiert und betrachten nicht die gesamte Wertschöpfungskette. Hinzu kommt, dass eine Übertragbarkeit einzelner technischer Lösungen auf andere, abweichende Prozessketten zumeist nicht möglich ist bzw. es eines großen Aufwands bedarf, erforderliche Änderungen zur Anpassung an den neuen Prozess umzusetzen. Es besteht daher die Forderung nach der Entwicklung neuer Methoden und Modelle, um zukünftig eine frühzeitige Absicherung der Funktions- und Leistungsfähigkeit von automatisierten Fertigungsprozessen durch Überwachung und aktive Regelung zu gewährleisten.

Primäre Zielgröße in einem Regelungssystem ist eine konstante Produktqualität über die gesamte Lebensdauer der gefertigten Komponenten und Anlagen. Darüber hinaus muss eine ausreichend hohe Transparenz der Methoden und Modelle geschaffen werden, um die Übertragbarkeit auf unterschiedlichste Fertigungstechnologien zu gewährleisten und dem Anwender gleichzeitig die Möglichkeit zu geben, die Vorgehensweise der eingesetzten Systeme zu verstehen.

Übergeordnetes Ziel muss demnach sein, ein in die Produktion integrierbares Gesamtsystem für die selbstoptimierende Einrichtung, Überwachung und Regelung von Fertigungsprozessen zu erarbeiten. Arbeitspunkte, die in diesem Zusammenhang als primäre Aufgabenstellungen zu bearbeiten wären, sind:

- Die Entwicklung allgemeingültiger, reduzierter Modelle zur Beschreibung unterschiedlicher Fertigungstechnologien, um eine Anwendbarkeit auf jeden Produktionsprozess zu gewährleisten, Darüber hinaus muss eine Transparenz zum nachvollziehbaren Verständnis der Abläufe innerhalb der Überwachungs- und Regelungssysteme für den Anwender geschaffen werden.
- Die detaillierte Aufschlüsselung aller Maschinen-, Produkt-, Prozess- und Sensordaten, zur Erörterung einer Überwachungs- und aktiven Regelungsstrategie für unterschiedliche Fertigungsprozesse. Auf dieser Basis werden Algorithmen entwickelt, die einen selbstoptimierenden Produktionsablauf ermöglichen.
- Die Detektion von Messunsicherheiten, um die Stabilität entworfener Systeme beurteilen und eine Qualitätsüberwachung entwickeln zu können.

Schließen der Simulationskette

Zur detaillierten Untersuchung von Anwenderzyklen benötigen sowohl Hersteller als auch Anwender von zerspanenden Werkzeugmaschinen Simulationen, die die Maschinensteuerung gekoppelt mit der Maschinenkinematik abbilden. Auch in der zerspanenden Simulation kommt der optimalen Kopplung von Maschinen- und Prozessdynamik in Simulationen eine immer größere Bedeutung zu, da so bereits in der Entwicklung anwendungsspezifische Bewertungskriterien als Grundlage für Optimierungen genutzt werden können. Währenddessen müssen im Anwenderbereich die Grundlagen für eine angemessene Rückkopplung der Ergebnisse aus der Prozessuntersuchung in die Fertigungsplanung zunächst auf der Basis von Versuchsdaten geschaffen werden. Hierzu müssen maschinennahe Simulations- und Visualisierungsmöglichkeiten geschaffen werden. Langfristig wird es Ziel der Anwendersimulationen sein, nicht nur die Kollisionsfreiheit der Werkstückprogramme, sondern auch die erreichbare Fertigungsgenauigkeit und Fertigungsqualität bei wirtschaftlichen Prozessparametern zu verifizieren.

Am Ende dieser Entwicklungen soll weit über die heutigen Simulationsziele wie Planung von Werkzeugen und Spannmitteln, Verifikation des Materialabtrags und kollisionsfreie NC-Programme hinaus die sich begrenzend auf die Fertigungsqualität auswirkende und bisher unzureichend betrachtete Interaktion von Maschine und Prozess abgebildet werden, um auch über diese Methode einen weiteren wichtigen Schritt in Richtung der selbstoptimierenden Produktion gehen zu können.

4.2 Maschinen und Anlagen

Die Dynamisierung der Produktlebenszyklen in einer von der Globalisierung geprägten Weltwirtschaft stellt höchste Anforderungen an die Reaktionsgeschwindigkeit produzierender Unternehmen. Neuartige Produkte müssen möglichst schnell auf den Markt gebracht werden. Gleichzeitig ist eine bereits vom ersten Teil an optimal laufende und an den physikalischen Prozessgrenzen ausgelegte Produktion anzustreben, um die Kosten zu senken und eine hohe Wettbewerbsfähigkeit zu ermöglichen. Andererseits herrscht in Deutschland seit Jahren besonders in den ingenieurwissenschaftlichen Disziplinen ein Fachkräftemangel, der durch den demographischen Wandel zukünftig verschärft wird.

Vor diesem Hintergrund, müssen Prozesse vor dem Produktionsstart optimal ausgelegt werden. Die Entwicklungsphasen der Produktionsprozesse müssen daher zunehmend virtuell, das heißt auf Basis von Simulationen erfolgen, und die virtuelle Optimierung muss automatisiert ablaufen. Um umfassende realitätsnahe Simulationen und Optimierungen durchzuführen, sind noch große Forschungsanstrengungen zu unternehmen. Insbesondere in den folgenden Bereichen ergeben sich vielfältige Optimierungsansätze:

- Ganzheitliche Simulation und Optimierung
 - Die Prozess- und Maschinen-Simulationen verschiedener Aspekte (Dynamik, Thermik) müssen verknüpft werden können, um eine ganzheitliche Simulation zu erreichen.

- Die Verkettung von Simulationen konsekutiv durchgeführter Fertigungsprozesse muss möglich werden.
- Eine Integration der Prozess-Maschinen-Simulationen in eine übergeordnete Simulation auf Produktionszellen- und auf Produktionslinien-Ebene ist zu realisieren (mehrschalige Simulationen).
- Eine einheitliche Datenhaltung und standardisierte Datenweitergabe zwischen verschiedenen Simulationsumgebungen und Simulationsebenen dient der Vermeidung von Datenbrüchen.
- Eine verstärkte Gemeinschaftsforschung ist notwendig, um den bestehenden Stand nutzen und Standards definieren zu können.
- Bedienfreundlichkeit virtueller Prototypen
 - Die Bedienbarkeit der Simulationswerkzeuge ist intuitiver zu gestalten, um eine schnellere Entwicklung zu ermöglichen.
 - Eine weitere Steigerung der Bedienfreundlichkeit virtueller Prototypen wird durch die Vereinfachung und Standardisierung der Erfassung von Parametern als Simulationseingangsdaten erzielt.
- Teilautomatisierte Modellbildung: Die Modellbildung ist der anspruchsvollste Schritt in der Simulation und galt bisher als größtenteils nicht automatisierbar. Dennoch entfällt ein nicht unerheblicher Anteil innerhalb der Modellbildung auf festgelegte deterministische Vorgänge, die sich automatisieren lassen.
 - Die Erstellung von Gesamtmodellen aus Teilmodellen bzw. aus Modellen einer untergeordneten Ebene ist zu vereinfachen und zu teilautomatisieren.
 - Weitere Teilautomatisierungen lassen sich durch eine Systematisierung der Vorgehensweisen zur Modellbildung und eine explizite Formulierung von Erfahrungswissen erzielen.
- Lernende Systeme und Nutzung von Expertenwissen
 - Die Nutzung des Wissens von Anwendern und Entwicklern zur Senkung der Komplexität von Simulationsumfängen ist wichtig.
 - Verstärkte systematische Bereitstellung und Nutzung des empirischen Wissens sowie der Simulationsergebnisse.
 - Prozessparameter müssen mit Hilfe der Simulation übergeordneter heuristischer Verfahren automatisch optimiert werden können.

Der Anteil der Energie- und Ressourcenkosten an den Produktionskosten wird in der durchgeführten Umfrage größtenteils als zurzeit relativ gering angesehen. Allerdings werden sich durch den Klimawandel und durch die Verknappung der Ressourcen die Produktionskosten aufgrund von steigenden Energiekosten langfristig erhöhen. Daher wird das Thema Energie- und Ressourceneffizienz auf lange Sicht stark an Bedeutung gewinnen.

- Ressourcen- und energiesparende Produktion
 - Erst die ganzheitliche Betrachtung des Ressourcenverbrauchs über den gesamten Produktlebenszyklus schafft Transparenz bzgl. der Verteilung der Lebenszykluskosten von Werkzeugmaschinen und offenbart die Notwendigkeit des Handelns.
 - Um langfristig die Wettbewerbsfähigkeit der deutschen Werkzeugmaschinenbranche zu gewährleisten, muss ein Ressourcen sparender Betrieb von Produktionsmaschinen und -werkstätten ermöglicht werden. Mehrkosten, die für die Anschaffung Ressourcen schonender Technologien entstehen, müssen systematisch den eingesparten Kosten gegenübergestellt werden.
 - Die Forderung nach hoher Maschinensteifigkeit zur Gewährleistung der Bearbeitungsqualität führt in heutigen konstruktiven Lösungen zu einer Erhöhung der Maschinenmasse. Diese erfordert wiederum größer dimensionierte Antriebe zur Gewährleistung der hohen Achsbeschleunigungen und -geschwindigkeiten. Eine Erhöhung der Steifigkeit durch aktive Systeme

könnte diesen Zielkonflikt lösen und gleichzeitig Material- und Energieeinsparungen ermöglichen.

5 Forschungsbedarf in der Füge-technik

Eine Voraussetzung um vor dem Hintergrund der Globalisierung und einer zunehmenden Dynamisierung der Produktlebenszyklen auch im Hochlohnland Deutschland nicht nur High-Tech-, sondern auch Low- und Mid-Tech-Produkte kostengünstig produzieren zu können, sind sowohl flexible Produktionsprozesse als auch wandlungsfähige Produktionsanlagen.

Die Flexibilisierung spezialisierter, hochproduktiver Fügeprozesse ermöglicht es, diese an geänderte Fertigungsrandbedingungen und unterschiedliche Bauteile anzupassen. Die weitere Flexibilisierung hin zu selbstlernenden Prozessen, die selbstständig auf geänderte Randbedingungen reagieren können, ermöglicht eine hohe Fertigungssicherheit auch im technologischen Grenzbereich, in dem solche Höchstleistungsprozesse arbeiten.

Um auf unterschiedliche Stückzahlen und Varianten reagieren zu können, sind neben den Prozessen selbst auch wandlungsfähige Produktions- bzw. Füge-systeme gefordert. Hierzu ist die Integration von anlagen- und prozesstechnischen Komponenten konsequent weiterzuentwickeln. So kann beispielsweise das „Fügen in der Werkzeugmaschine“ realisiert werden. Neben einer hochflexiblen Fertigungsumgebung können so gleichzeitig Kosten, unter anderem für Investitionen und Flächenbedarf, reduziert werden.

Langfristiger Forschungsbedarf besteht zudem in der Entwicklung geeigneter Baukastenkonzepte für die Füge-technik, welche es grundsätzlich ermöglichen, bereits zu einem frühen Planungsstadium die für eine bestimmte Fügeaufgabe geeigneten Verfahren und Anlagen zu identifizieren. Dies ermöglicht die effiziente Planung des Produktionsablaufes und der notwendigen Anlagentechnik auf Basis „standardisierter“ Füge-lösungen für konkrete Fügeaufgaben, die später ohne fundamentale Änderung von Produktionsablauf und Anlagentechnik an die spezifischen Fertigungsrandbedingungen angepasst werden können. Modularisierungskonzepte wie die Zerlegung der Füge-technik in Schlüsselprozesse und Standardprozesse bzw. -komponenten bieten darüber hinaus eine Möglichkeit der zunehmenden Produkt- und Wissensspiraterie zu begegnen.

Ein weiterer innovativer Ansatz ist die Integration vorhandener physikalischer Prozessmodelle in die Anlagentechnik. Dies ermöglicht direkt in der Maschine die Simulation des Fügeprozesses unter geänderten Fertigungs-Randbedingungen und somit kurze Entwicklungszeiten sowie den Aufbau von Qualitätsregelkreisen auf Basis von Fehlerdiagnose und Fehlerprognose.

Der Einsatz geeigneter Füge-techniken ermöglicht extrem hohe Freiheitsgrade bei der Kombination unterschiedlicher Bauteilgeometrien, Wandstärken sowie Werkstoffe. Die Füge-technik ist vor dem Hintergrund zunehmender Ressourcenverknappung damit eine Schlüsseltechnologie für eine belastungsgerechte, Ressourcen schonende Konstruktion bzw. Produktion. Dieses Potential gilt es voll auszuschöpfen.

Damit einher geht auch die Möglichkeit auf Änderungen der produktionstechnischen Rahmenbedingungen zu reagieren. Die große Breite fügetechnischer Verfahren ermöglicht alternative Prozesspfade um beispielsweise schnell auf einen geänderten Rohstoffmarkt (Preisschwankungen, nicht lieferbare Rohstoffe) zu reagieren. Hierbei gilt es zu beachten, dass die Planung und Auswahl alternativer Prozesspfade zurzeit ein hohes Fachwissen beim Prozessplaner verlangt. Langfristig gilt es, die Planung alternativer Prozesspfade mittels Simulation virtueller Fügeprozesse zu unterstützen. Eine Voraussetzung hierfür ist die Integration der Füge-technik in eine ganzheitliche Simulation der Prozesskette.

In zahlreichen Branchen, wie beispielsweise dem Pipelinebau, werden zunehmend leistungsfähige Füge-techniken verlangt, die auch unter den Bedingungen vor Ort wirtschaftlich und sicher eingesetzt werden können. Einige Fügeverfahren, insbesondere aus dem Bereich des Lichtbogenschweißens, sind hier bereits heute einsatzfähig. Vor dem Hintergrund steigender Mobilität sind langfristig jedoch auch für Hochleistungs-Füge-techniken, die bislang noch

durch ortsfeste Produktionsanlagen gekennzeichnet sind, autarke, dezentrale und mobile Produktionssysteme für raue Fertigungsumgebungen zu entwickeln.

Vor dem Hintergrund des demographischen Wandels in Deutschland besteht ein erheblicher Bedarf nach der Entwicklung assistierender Maschinen und Systeme, die auch ältere oder allgemein nicht voll leistungsfähige Mitarbeiter befähigen, optimale Prozessergebnisse zu liefern, welche hohe Qualität mit hoher Produktivität vereinbaren. Ein großes Potential besteht hier in der Übertragung bekannter Sensortechnologie, die bislang häufig vor dem Fokus Produktivität und Prozesssicherheit in der automatisierten Produktion betrachtet wurde, in assistierende Systeme für den Werker.

Die Frage des Wissenstransfers von älteren erfahrenen auf jüngere Mitarbeiter ist ein gesamtgesellschaftliches Problem und muss selbstverständlich auch für die Fügetechnik beantwortet werden. Neben Mentoring- und Tutoring-Maßnahmen, die in der Regel durch das Personalmanagement gesteuert werden, kann Wissenstransfer unterstützt werden durch die Integration von lern- und lehrunterstützenden Funktionen in vorhandene Simulationstools. Diese sind bislang nahezu ausschließlich auf die Simulation konkreter Problemfälle und wenig auf prinzipgerichteten Erkenntnisgewinn ausgerichtet.

Nicht zuletzt ist die Frage verminderter Belastungen am Arbeitsplatz vor dem Hintergrund längerer Lebensarbeitszeiten zu beantworten. Hier besteht langfristig Bedarf nach einem intelligenten Emissionsmanagement auf Basis belastbarer Emissionsgrenzwerte für Mensch und Umwelt.

6 Forschungsbedarf in der Montage-/ Handhabungstechnik und Robotik

Im Rahmen der Studie zur Produktionsforschung der nächsten Jahre sind u.a. die langfristigen Auswirkungen von Megatrends wie der Globalisierung, Ressourceneffizienz, Demografie und weitere ermittelt worden. Im Bereich der Montage- und Handhabungstechnik hat laut mehreren Expertenaussagen insbesondere die Demografie einen hohen Einfluss auf die langfristige Entwicklung. Dabei werden weniger die Risiken gesehen, dass durch den demografischen Wandel im eigenen Unternehmen Fachkräfte fehlen, Arbeitsplatzkosten steigen oder die nachlassende körperliche Leistungsfähigkeit im Alter die Produktivität beeinträchtigt. Im Gegenteil wird dies eher als Chance begriffen, neue Absatzmärkte für die eigenen Produkte im Bereich der Montage und Handhabung zu erschließen. Unternehmen, denen derzeit Fachkräfte fehlen, sind – wenn Sie in Deutschland produzieren wollen – allein schon aus diesem Grund gezwungen einen erhöhten Automatisierungsaufwand zu betreiben. Ebenso sind strengere Vorschriften im Arbeitsschutz ein Anreiz zum verstärkten Einsatz von Automation. Da die kundenindividuelle Montage heutzutage noch durch einen hohen manuellen Arbeitsanteil geprägt ist, fällt die demografische Entwicklung in diesem Bereich besonders ins Gewicht. Auch in personalintensiven Dienstleistungsbranchen ist durch den Arbeitskräftemangel eine verstärkte Nachfrage z.B. nach Produkten aus dem Bereich der Servicerobotik zu erwarten. Da die Servicerobotik allerdings besonders in Japan bzw. Asien im Fokus der Forschung steht, besteht das Risiko auf diesem Gebiet forschungstechnisch den Anschluss zu verlieren. Aktuell stellt die Servicerobotik aufgrund geringer Akzeptanz und mangels adäquater Lösungen noch einen Nischenmarkt dar. Der demografische Wandel begünstigt jedoch langfristig die Notwendigkeit neuer und angepasster Montage- und Handhabungstechnik.

Der Megatrend der Wissensgesellschaft beinhaltet, dass mit steigender Komplexität technischer Systeme die Bedienbarkeit, die Darstellung grundlegender Abhängigkeiten und des Systemaufbaus sowie die Verständlichkeit gewährleistet bleiben müssen. Zudem muss Erfahrungswissen effizient aufgebaut, verwaltet und weitervermittelt werden. Es stellt sich die Frage, mit welchen Methoden Informationen und (Erfahrungs-)Wissen erhalten, weitergegeben und auch auf andere Wissensgebiete transferiert werden können, um als zentraler unternehmerischer und auch unternehmensübergreifender Erfolgsfaktor zu wirken? Erster Ansatzpunkt hierzu könnte die Abbildung automatisierungstechnischer Aufgabenstellungen

auf eine grundlegende von der realen Anlage abstrahierende Ebene und die Nutzung von Methoden aus den Kognitionswissenschaften sein.

Ziel der Kognition hierbei ist es, teilautonome und darauf aufbauend optimierende Systeme oder Produktionsassistenten zu betreiben, die sich hinsichtlich unterschiedlicher Kriterien optimale Abläufe selbständig erarbeiten. Trotz der zunächst vorgenommenen Abstrahierung von der realen Anlage müssen die durch Mechanik und Anlagenstruktur gegebenen Randbedingungen bei der Lösungsgenerierung berücksichtigt werden. Ein Beispiel hierfür könnte die selbstständige und zeitoptimierte Montage einzelner Bausteingruppen sein, welche aus einem Rohteillager aus Einzelbausteinen aufgebaut werden. Durch entsprechend eingesetzte Greifermechanik und die Bausteingruppe selbst bestehen nicht-triviale Einschränkungen bzgl. möglicher Aufbaureihenfolgen. Somit ist bei falscher Aufbaureihenfolge auch ein Verfehlen des Ziels möglich. Eine zur Entscheidungsfindung einsetzbare Methode ist z.B. die kognitive SOAR-Architektur (State Operator And Result). Zu analysieren sind Methoden und Vorgehensweisen, die solche Anforderungen

- in optimierter Zeit,
- mit optimiertem Kostenumfang oder
- mit optimierter Automatisierungsstruktur (Handhabung, Robotik, Mix)

erfüllen können. Ziel ist, dass in Deutschland nicht nur High-Tech-, sondern auch für Volumenmärkte im Low- und Mid-Tech-Bereich kostengünstig produziert werden kann. Hierzu müssen Montage- und Handhabungsanlagen einfacher in der Bedienung und flexibler in der Integration werden und von der Mechatronik und Modellierung umfangreiche Varianten abdecken können. Dies muss durch eine intelligente Software unterstützt werden, die sich selbst bzgl. verschiedener Kriterien optimieren und einstellen kann. Modulbaukästen und Plug&Play-Schnittstellen sind zudem Kernelemente für eine skalierbare, erweiterbare und auf Varianten abstimmbare Anlagengestaltung.

7 Forschungsbedarf in der Automation und der industriellen Informationstechnologie

Die heute lediglich als evolutionär einzustufenden Fortschritte hinsichtlich der durchgängigen Informationsverarbeitung in der Produktionsautomatisierung bereiten langfristig den Boden für revolutionäre Veränderungen in diesem Gebiet vor. Eine durchgängig vernetzte Informationstechnologie-Infrastruktur wird die Zugänglichkeit, die Rückführung und die Wiederverwendung sämtlicher Informationen über alle Hierarchieebenen der Automatisierungspyramide und die Lebenszyklusphasen der Produkte und der Produktionssysteme ermöglichen. Langfristig sollten die vorhandenen Informationen zunächst disziplinübergreifend semantisch beschrieben werden. Dies wird bisher unerreichbare Potentiale für die Auswertung der vorhandenen Informationen eröffnen. Hierzu sind zunehmend intelligente Algorithmen zur Verarbeitung der definierten Semantik erforderlich.

Hohe Dynamik der Märkte erfordert eine schnelle Rekonfigurierbarkeit und Adaptionsfähigkeit in der Produktionstechnik. So stellt die durchgängige Informationsintegration hinsichtlich Produkt-Prozess-Ressource in der Produktionssteuerung und dem Betrieb der Produktionssysteme eine wesentliche Voraussetzung für die Selbstoptimierung, die Selbstorganisation und die Selbstadaption der Produktionssysteme dar. Heutige Steuerungssysteme werden von bestimmten Menschen zur Erfüllung einer bestimmten Aufgabe (Roboter/ SPS/ Maschine) programmiert und bringen lediglich die Fähigkeit zur Ausführung eines definierten Programms mit. Der Inhalt einer Steuerungsaufgabe kann heute aufgrund vorhandener Informationsbrüche und fehlender Modelle, die die Strukturen und das Verhalten der Automatisierungssysteme und der zu steuernden Produktionssysteme einheitlich beschreiben könnten, nicht anderweitig abstrahiert werden. Die beherrschbare Dezentralisierung wird nur in Verbindung mit der steigenden Kommunikationsperformance und Intelligenz der Automatisierungskomponenten möglich, indem die einzelnen

Komponenten eines Automatisierungssystems mit den Fähigkeiten zur Interpretation, Analyse, Veränderung und dem Austausch der Modellinformationen über sich selbst und über die Umwelt ausgestattet werden. Vernetzt dezentralisierte Komponenten eines Automatisierungssystems werden so in die Lage versetzt, ihr Steuerungsverhalten ständig „intelligent“ zu optimieren. Diese „Intelligenz“ der Produktionssysteme ist allerdings auch mit einem sinkenden Grad des Determinismus verbunden, der in der Produktionstechnik nicht immer erwünscht ist, bzw. abzusichern ist. Die Wissenschaft muss künftig verlässliche Lösungen zur Beherrschung dieses Dilemmas liefern.

Es ist zu erwarten, dass sich aufgrund leistungsfähiger IT-Lösungen zukünftig auch die Architektur und der Aufbau der Produktionssysteme ändern werden. Aufgrund der Fortschritte in der Bilderkennung und -verarbeitung und der Selbstintelligenz der Systeme wird die Handhabungs- und Robotertechnik eine zunehmend wichtige Rolle in der Produktionstechnik spielen. Hierdurch wird die Automatisierbarkeit vieler heutzutage nicht automatisiert durchführbarer Prozesse gewährt. Die frühzeitige und wirtschaftliche Verifikation durch Engineeringwerkzeuge wird insbesondere für KMUs zur Abgrenzung am Markt dienen und gegenüber dem Einfluss aus Niedriglohnländern eine entscheidende Überlebensgrundlage darstellen.

Diese veränderte Wahrnehmung wird auch die Gestalt der Prozesse in der Produkt- und Produktionssystementwicklung drastisch verändern. Die herkömmlichen starren Grenzen zwischen den Phasen Entwicklung, Inbetriebnahme und Betrieb von Produktionssystemen werden zum einen aufgrund der Dynamisierung der Lebenszyklen von den Betriebsmitteln und zum anderen aufgrund der Verlagerung der Intelligenz in den operativen Betrieb und Ansätzen zur Selbstoptimierung aufweichen. Dies wird die Veränderung der herkömmlichen Entwicklungsansätze nach sich ziehen, die heute sehr stark disziplinspezifisch ausgerichtet sind. Eine ganzheitliche Betrachtung der unterschiedlichen Aspekte und Domänen im Engineering erfordert wiederum die Entwicklung deutlich präziserer und umfangreicherer Modelle gegenüber den heute vorhandenen. Mit Hilfe solcher Modelle wird gleichzeitig möglich, nahezu alle Aspekte der Produktionssysteme zu frühen Phasen ihrer Entstehung virtuell zu simulieren. Folglich werden der reale Betrieb und die Simulation nach und nach verschmelzen, so dass die Verwendung derselben Modelle und Softwarekomponenten in der Simulation und im realen Betrieb ermöglicht wird.

Die Simulationsmodelle spielen auch für die Gestaltung der Mensch-Maschine-Schnittstellen eine entscheidende Rolle, indem die Modellinformationen dem Nutzer in augmentierten bzw. virtuellen Umgebungen präsentiert werden. Die ergonomischen multimodalen Mensch-Maschine-Schnittstellen werden einen bidirektionalen Informationsaustausch mit dem Menschen unterstützen und ihm dabei möglichst situationsangepasste Informationen bereitstellen. Auch die Interaktion des Menschen mit „intelligenten“ Handhabungssystemen und Robotern, die nicht mehr auf eine Aufgabe starr programmiert werden, sondern über eine gewisse Anpassungsfähigkeit und Flexibilität verfügen werden, wird eine Unterstützung durch geeignete Mensch-Maschine-Schnittstellen erfordern. In diesem Zusammenhang werden die Sicherheitsaspekte an Bedeutung gewinnen, da höhere Flexibilität der Produktionssysteme auch höheres Risiko in sich birgt.

Die IT-Vernetzung und Kommunikation wird nach wie vor eine zentrale Rolle für die informationstechnische Infrastruktur in der Produktion spielen. Eine durchgängige Vernetzung und ein „Internet der Dinge“ im Rahmen einer Fabrik setzt eine hohe Erreichbarkeit der einzelnen Kommunikationsteilnehmer voraus. Damit besteht ein Dilemma zwischen der erforderlichen hohen Erreichbarkeit einerseits und der Gewährleistung der Sicherheit in den Automatisierungsnetzwerken andererseits. In Analogie zu heutigen Firewalls werden künftig fortgeschrittene Sicherheitskonzepte für die komplexen Umgebungen erforderlich. Zum einen darf hier unternehmensintern und übergreifend der Zugriff auf die vernetzten Informationen nicht unkontrolliert ablaufen, zum anderen ist eine strukturierte Kapselung der Informationen alleine aus dem Grund der Komplexitätsbeherrschung erforderlich.

Autonomie und Selbstkonfigurierung werden auch für die Sensor- und Aktortechnik zunehmend wichtig. Eine vollständige Autonomie der Sensoren kann z.B. durch die

drahtlose Datenübertragung und die Energiegewinnung (energy harvesting) aus dem laufenden Prozess bzw. der Umgebung erreicht werden. Installiert in einem Produktionssystem sollen sich solche Sensoren möglichst selbständig in ggf. heterogene Sensor-Netzwerke organisieren. In solchen Netzwerken soll eine Selbsterkennung der installierten Sensoren, eine Aufgabenverteilung zwischen unterschiedlichen ggf. redundanten Sensoren und eine flexible intelligente Selbstüberwachung möglich sein. Der Konfigurationsaufwand für die Einbindung der Sensoren soll damit minimiert werden.

Der wesentliche Enabler der geschilderten Vision ist eine geeignete domänenangepasste Modellbildung. Aufgrund der Komplexität der Domäne Produktionsautomatisierung und IT decken die heute bestehenden Modelle lediglich ausgewählte Bereiche einzelner Teildisziplinen ab. Diese zahlreichen Modelle liegen bereits einzelnen IT-Systemen zugrunde. Um die geschilderte Intelligenz und Selbstoptimierung in allen Bereichen der Automatisierung und IT zukünftig gewährleisten zu können, sollen nicht nur grundlegende Zusammenhänge in der Struktur der Produktionssysteme und den Abläufen, sondern auch das Wissen aus zahlreichen benachbarten Bereichen formal abgelegt werden. Zukünftig sind daher vor allem die Lösungsansätze zur Kopplung bzw. der Integration heterogener Modelle zu entwickeln. Dabei besteht ein Dilemma zwischen der grundsätzlich dezentralen Natur der Produktionsumgebungen und dem Bedarf an einer integrierten widerspruchsfreien Modellbildung und -haltung. Der Bereich Basissoftware- und Modellierungstechnologien soll hier zukünftig vor allem verlässliche Lösungen und Technologien zu Definition, Erstellung, Anreicherung, Ablage und Integration der Modelle liefern.

8 Forschungsbedarf in der elektrischen Antriebstechnik

Die stichprobenweise befragten Unternehmen gaben an, vorwiegend den High-Tech Bereich mit anspruchsvollen Produkten abzudecken, da mit diesen eine höhere Rendite zu erzielen ist. Es werden zwar ebenfalls Produkte im Low-Cost-Bereich angeboten, aber diese sind vom Umsatzvolumen nur in geringem Maß relevant und stehen zudem derzeit nicht im Fokus der Unternehmensstrategie. Der Anspruch ist insgesamt, ein Komplettsortiment für den Kunden anzubieten. Teilweise werden Low-Cost-Produkte und -Fertigung wegen mangelnder Rendite komplett auf- oder abgegeben, um sich gleichzeitig auf neuartige Produkte und Anwendungen zu konzentrieren. Auch hier könnte eine angepasste Automatisierung ggf. Volumenmärkte wieder attraktiver gestalten. Als Wachstumsmarkt der elektrischen Antriebstechnik ist beispielsweise die Medizintechnik interessant. Neue Felder ergeben sich zudem durch die Elektrifizierung von Anwendungen, die aktuell mit mechanischen, hydraulischen oder pneumatischen Lösungen umgesetzt sind.

Eine Schlüsseltechnologie stellt die Sensortechnik dar, weil Einzelkomponenten durch Sensorik intelligent gestaltet und neue Funktionen wie z.B. die messtechnische Absicherung der Kernaufgabe realisiert werden können. Optimal ist hierbei, wenn bidirektionale Aktor-Sensor-Module eingesetzt werden können, bei denen der Aktor direkt auch als Sensor genutzt werden kann. Beispiele sind heutige Standardantriebe mit Ausgabe der Prozessgrößen, piezoelektrische Elemente oder auch spezielle Anwendungen aus der Magnetlagertechnik (Hochdrehende Werkzeugmaschinen-Spindeln). Wichtig ist hierbei die Entwicklung gekapselter Komplettsysteme, da durch einen minimierten Schnittstellenaufwand Systeme für Kunden attraktiver und einfacher nutzbar sind.

Der Trend zur Energie- und Ressourceneffizienz wird in der Branche als Chance gesehen, da deutsche Firmen heutzutage und bei entsprechender Forschungsförderung im weltweiten Vergleich auch zukünftig effiziente Produkte herstellen können. Zu einer hohen Ressourceneffizienz ist dabei ein effizienter Maschineneinsatz in Form von gesicherten Verfügbarkeiten und Prozessqualität notwendig. Hierzu ist die kontinuierliche Überwachung eine erste Voraussetzung, um Maschinen zukünftig in einem definierten durch Kennwerte beschriebenen gültigen Bereich zu betreiben. Hier sind insbesondere die an der Maschine bereits vorliegenden Antriebssignale zu nennen. Langfristig ist zudem die Nutzung dieser Daten in der Planung vorstellbar. Hiermit können z.B. Belastungsspitzen oder Leistungsreserven im Produktionsbetrieb erkannt und eine möglichst gleichförmige

Maschinenbeanspruchung und kurze Prozesszeit realisiert werden. Denkbar ist zudem die dynamische Anpassung von Regelungsparametern um die Dynamik bearbeitungsabhängig zu steigern. Ein weiteres langfristiges Thema wird zudem die Sicherstellung der Energieversorgung von Maschinen und Anlagen sein. Hierzu sind autarke Antriebssysteme, die sich aus alternativen Energiequellen speisen, zu erforschen.

Aus Sicht der Industrie hat langfristig der Megatrend der Wissensgesellschaft einen hohen Stellenwert, da zukünftige Systeme intelligenter und gleichzeitig komplexer sein werden. Hierzu gehört ebenso die Gestaltung der Zusammenarbeit zwischen Mensch und Maschine. Trotz steigender Komplexität müssen Systeme in ihrer Funktion und ihrem Verhalten verständlich bleiben und mit intuitiv und bedienerfreundlich gestalteten Mensch-Maschine-Interfaces zu betreiben sein.

Forschungsbedarf in der Massivumformung – Einschätzung eines Automobilzulieferers

Dipl.-Ing. M. Dahme, Dr.-Ing. H.-W. Raedt
Hirschvogel Automotive Group, Denklingen

Zusammenfassung

Die Massivumformung stellt in Deutschland eine High-Tech-Industrie dar. Eine durchgängige CAX-Kette vom Design des Bauteils, über die Auslegung der Stadienfolge (FEM-Stoffflußsimulation), über die Konstruktion der Werkzeuge bis zu ihrer Fertigung ist Stand der Technik. Neben der Simulation des eigentlichen Umformprozesses werden inzwischen Maschinenverlagerungen und –elastizitäten kombiniert simuliert. Rasterelektronenmikroskopische Untersuchungen im Schmiedebetrieb sowie CAQ-Techniken begleiten die Fertigung. Natürlich ergeben sich trotzdem in allen Feldern Möglichkeiten zur wissenschaftlichen und technologischen Weiterentwicklung. Einige Anstöße sollen in diesem Beitrag gegeben werden.

1 Forschungsbedarfe in der Massivumformung

1.1 Eckdaten der Massivumformindustrie

Die Massivumformung ist eine wichtige Branche in Deutschland. Abbildung 1 zeigt einige Eckdaten.

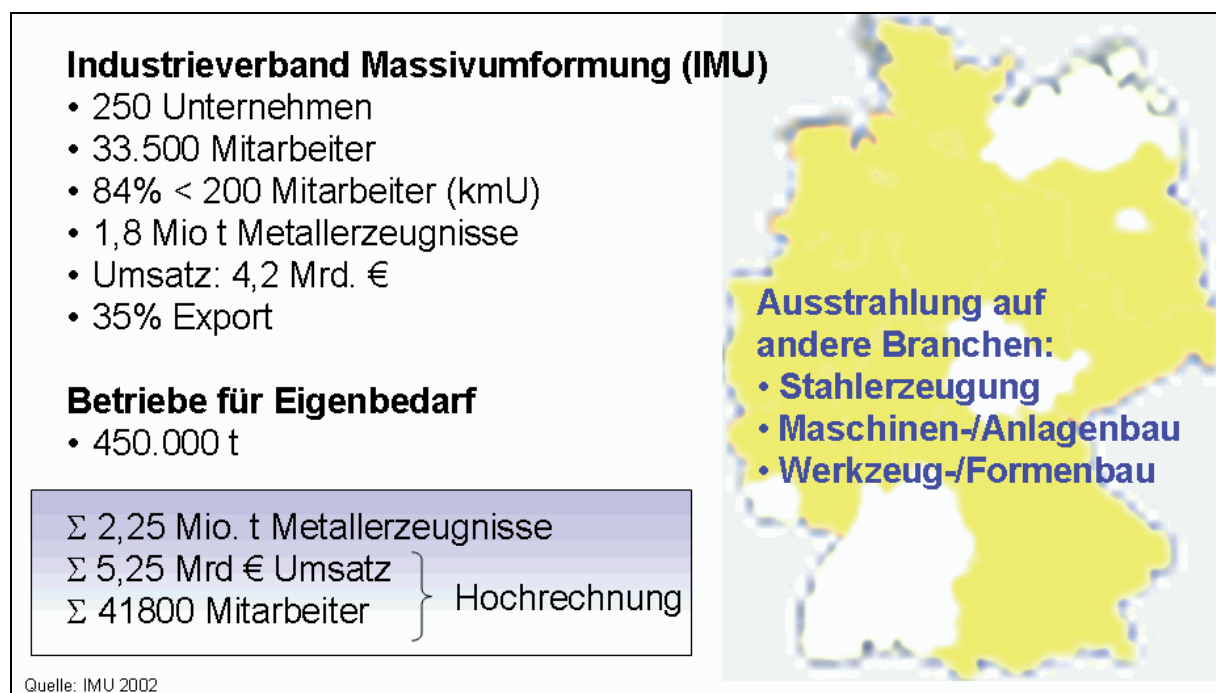


Abbildung 1: Massivumformung in Deutschland

1.2 Übersicht Forschungsfelder

Das Ziel von Entwicklungs- und Forschungstätigkeiten ist immer die Steigerung der Wirtschaftlichkeit (zu der auch die Stärke der Wettbewerbsfähigkeit gehört). Abbildung 2 zeigt eine Auswahl von Feldern.

- **Bessere Bauteileigenschaften**
Herstellen, was andere nicht können (Verfahren, Werkstoffe, Geometrie)
- **Leistungsfähiger Maschinenpark**
Maschinen und Anlagen einsetzen, die andere nicht haben oder beherrschen, bzw. angepasst an die lokalen Bedürfnisse, bzw. angepasst an die verfügbaren Mitarbeiter (demographischer Wandel)
- **Innovative und stabile Verfahren**
einsetzen, die nicht überall verfügbar / beherrschbar sind - Dabei sichere Prozesse schaffen mit dem Hilfsmittel „Simulation“ (Modell: Stofffluss, Werkstoff, Werkzeug, Maschine)
- **Resourcenschonung und Klimaverträglichkeit**
Energie- und Materialeinsatz minimieren, Umweltverträglichkeit beachten
- **Wissen nutzen**
Können und Wissen der Mitarbeiter erzeugen und bewahren, nutzen und fördern
- **Time to Market**
Durch kurze Vorlauf-, Durchlauf- und Transportzeiten schneller sein
- **Entwicklungspartnerschaft**
Nähe zum Kunden nutzen (Automobil- und Maschinenbau)
- **Global agieren können**
Global verteilte Standorte besitzen und Preisniveau auf Weltmarktniveau

Abbildung 2: Übersicht über Forschungs- und Entwicklungsfelder

Im Folgenden sollen einige Felder detaillierter vertieft werden.

1.3 Simulation von Prozess, Werkstoff und Maschine

Die „virtuellen“ Techniken haben in den letzten Jahren Einzug in die industrielle Praxis gehalten. Am Beispiel der FEM-Stoffflußsimulation ist dies beispielhaft eindrucksvoll sichtbar. Die Zusammenführung von Einzelsimulationen muß jetzt das nächste Ziel werden. Dies kann am Beispiel des Gleichlaufgelenkwellen - Festgelenks demonstriert werden. Abbildung 3 zeigt die gesamte Prozeßkette dieses Bauteiles vom Strangguß bis zum Einsatz. Als Simulationsergebnisse können Aussagen darüber erwartet werden, wie z.B. während der Wärmebehandlung „Induktionshärten“ sich der Verzug des Bauteils gestaltet. Dies würde den Prozessentwickler in die Lage versetzen, den Kalibrierprozeß, das Induktionshärten und die Hartbearbeitung der Laufbahnen optimal aufeinander abzustimmen. Die Abstimmung des Werkstoffdesigns mit der gesamten Herstellungsgeschichte ließe sich dann durchführen, wenn aus einer die gesamte Prozeßkette abbildenden durchgehenden Werkstoffsimulation Aussagen über die Wälzfestigkeit der Kugellaufbahnen abgeleitet werden könnten.

Von den Hochschulen wird diese Vision schon seit längerem propagiert. Die Industrie verlangt hier nach Lösungen für technisch gebräuchliche Werkstoffe, mit ihren üblichen Imperfektionen aber auch mit ihrer wirtschaftlichen Bedeutung.

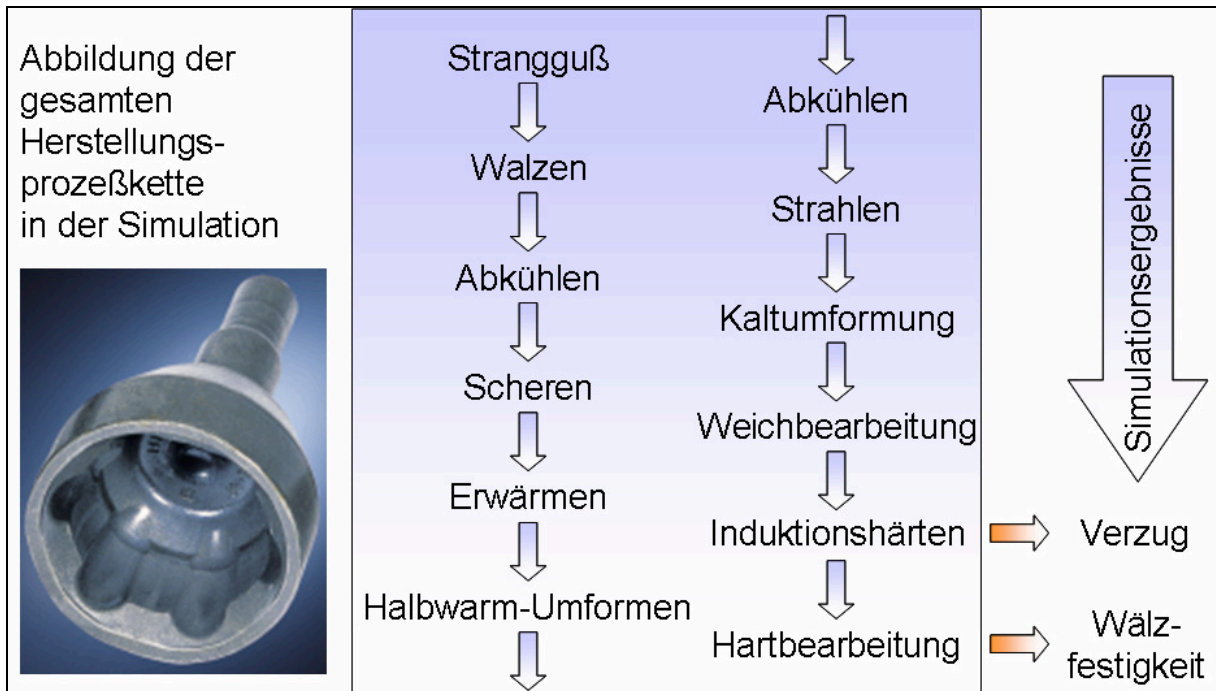


Abbildung 3: Beispiel für eine komplexe Prozesskette mit möglichen Simulationsergebnissen

1.4 Simulation von Einzelprozessen

Die Vision der Simulation der gesamten Prozesskette darf nicht dazu führen, daß wir die Qualität der Einzelsimulationen aus dem Auge verlieren. Dies gilt sowohl im Hinblick auf die Anwendung der Einzelsimulationen (Abbildung 4) für sich; natürlich bilden diese einzelnen Simulationen dann aber später die Bausteine der Simulation der gesamten Prozesskette.

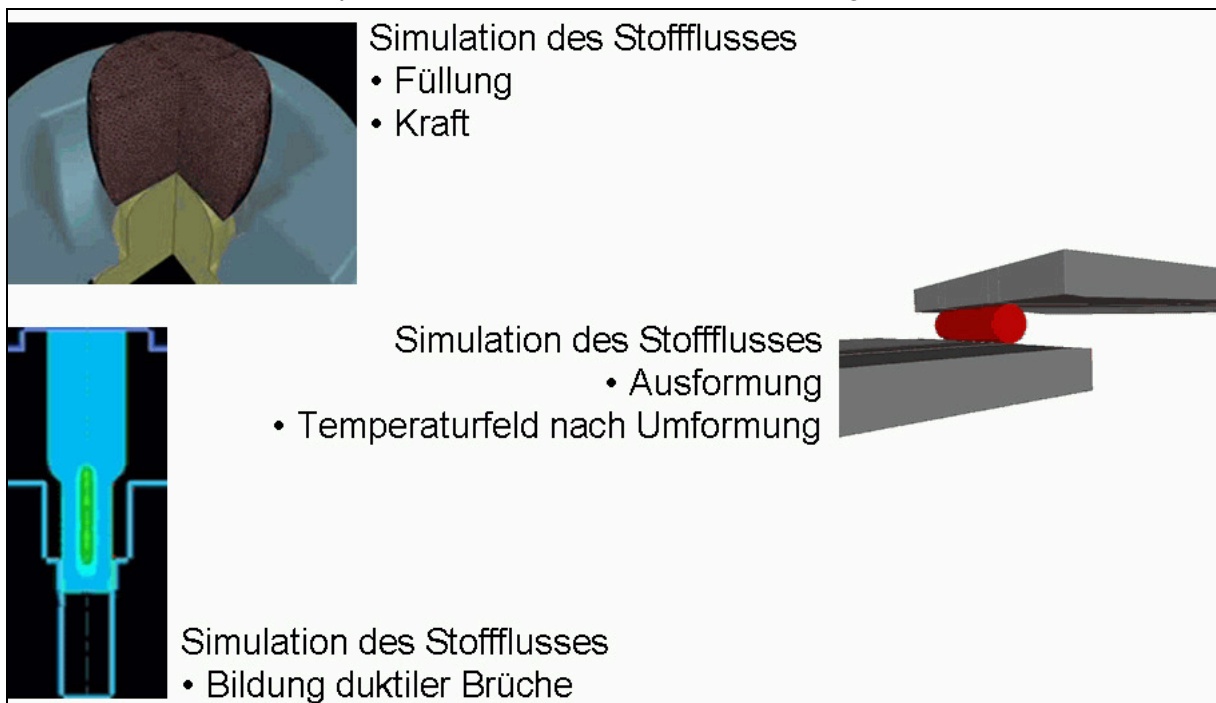


Abbildung 4: Auswahl an simulierbaren Stoffflussprozessen

1.5 Werkstoffe

Umformtechnisch verarbeitete Werkstoffe stehen seit langem für hochbelastbare und wirtschaftliche Lösungen für HighTech-Produkte (Abbildung 5). Unter Verwendung neuer

Methoden der Abbildung von Werkstoffeigenschaften auf unterschiedlichen Größenskalen (nano -> mikro -> meso -> Bauteil) sind aber in Zukunft Abstimmungen von Legierungslage und Prozeßablauf möglich, die noch deutliche Steigerung der Leistungsfähigkeit von Werkstoffen ermöglichen. Hier gilt es, einerseits das Verständnis derzeitiger Werkstoffkonzepte bis in den atomarskaligen Wirkungsbereich hin zu erweitern (validierbare Ergebnisse), um auf dieser Basis neue Werkstoffkonzepte zu entwickeln und in die praktische Anwendung zu bringen. Ein weiteres wichtiges Entwicklungsziel ist hier die Ablösung der aktuell verwendeten empirischen Werkstoffmodelle durch ab-initio-Ansätze, die die realen Vorgänge im Werkstoff besser als die derzeitigen formelhaft zusammengefassten Modelle abbilden dürften.



Abbildung 5: Handlungsfelder im Bereich Werkstoffe

1.6 Komplexe Bauteile

Komplexe Bauteile, die massivumformtechnisch hergestellt werden, tragen zur Verkürzung von Prozeßketten bei. Es gibt ermutigende Ergebnisse, die von einzelnen Forschern vorgelegt wurden (Abbildung 6). Leider sind diese Vorhaben bisher oft auf den einzelnen Prozeß der Massivumformung konzentriert gewesen. Zur Umsetzung wegweisender Technologien darf aber nicht nur der Einzelprozeß, sondern die ganze Prozeßkette betrachtet werden. Am Beispiel des laufverzahnten Bauteiles soll dies illustriert werden. Prozeßkettenbeteiligte sind Werkstoffhersteller (Bauteil und Werkzeug), Umformer, Weichbearbeiter, Oberflächenbehandler, Hartbearbeiter und übergreifend der Anwender des Bauteils. In entsprechenden Projekten müssen alle Beteiligten zusammenarbeiten, um in intensiver Diskussion zu einer ganzheitlich erarbeiteten Lösung zu gelangen, die dann revolutionäre Ausmaße annehmen kann.

- Beispiel: Verzahnungen
 - Umsetzung von Forschungsergebnissen in die Praxis
 - Betrachtung der gesamten Prozeßkette unbedingt notwendig (nachfolgende Bearbeitungsschritte)
 - Bauteilwerkstoff
 - Oberflächenbehandlung
 - Werkzeugtechnik
 - Weich- / Hartbearbeitung
- ➔
- Verfahrensgrenzen erweitern
 - Prozessangepaßte Bauteilanforderungen

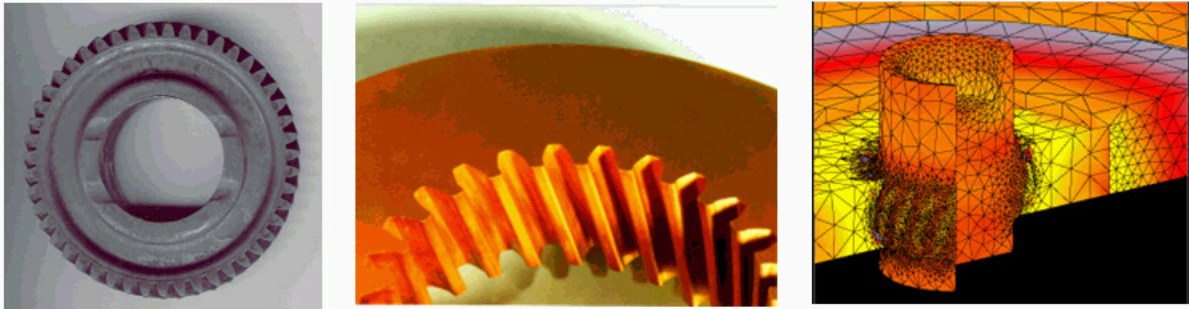


Abbildung 6: Komplexere umgeformte Bauteile

1.7 Sichere Prozesse

Aus Sicht der Produktivität, aber auch aus Sicht möglicher Qualitätskosten, sind sichere Prozesse die Basis für eine wirtschaftliche Fertigung. Hier gilt es, ergebnisbeeinflussende Faktoren zu kennen, durchgreifend zu verstehen (Thema Prozesssimulation) und ihre Auswirkungen zu vermeiden oder zu kontrollieren. Für noch nicht bewältigte Abweichungen greifen dann die Methoden der Prozessüberwachung. Schließlich sorgt noch die Qualitätskontrolle für weitere Sicherheit, wobei eine ideale Fertigung keine Qualitätskontrollen/-prüfung beinhalten sollte. Absolut sichere Prozesse würden diese Vision ermöglichen.

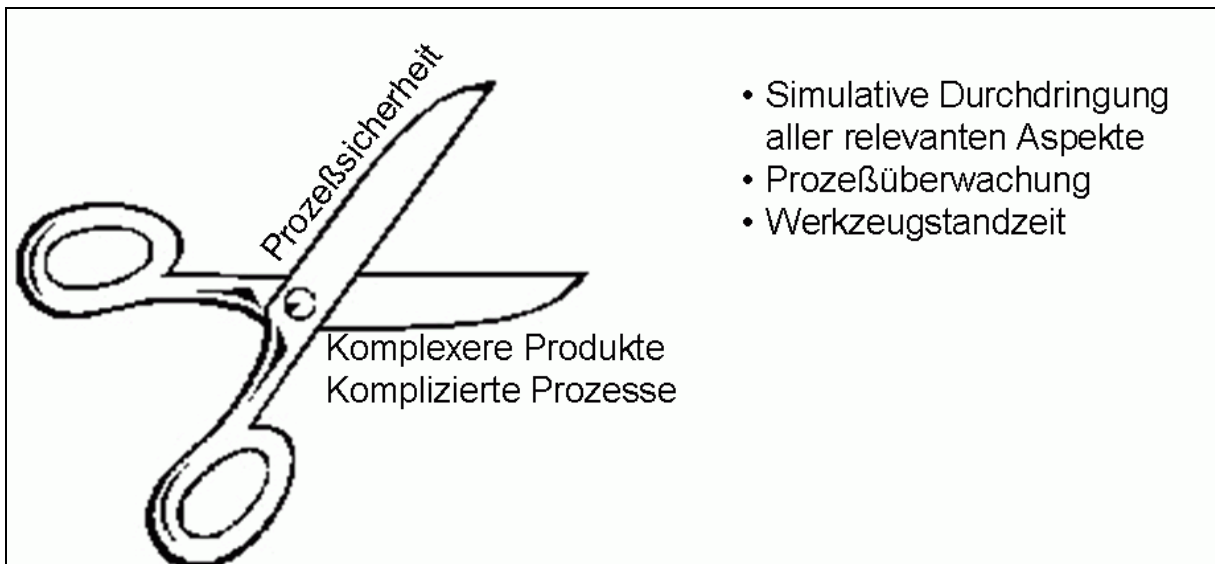


Abbildung 7: Sichere Prozesse

1.8 Werkzeuge

Das Werkzeug ist das Herz der Umformtechnik. In ihm ist ein wesentlicher Teil der Technologie abgebildet. Das Werkzeug trägt maßgeblich zur Fähigkeit und Wirtschaftlichkeit eines Massivumformprozesses bei.

Forschungsaspekte, die die Massivumformtechnik stärken können, sind demnach sicherlich auch bei der Werkzeugtechnik anzusetzen:

- Die wirtschaftliche Herstellung von Werkzeugen muß als ein Aspekt genannt werden. Das kann durch weitere Optimierungen der CAD-CAM-Kette geschehen, in der weniger manuelle Eingaben und noch mehr „Intelligenz“ abgebildet werden muß.
- Durch Erhöhung der Autonomie von Werkzeugmaschinen läßt sich eine wirtschaftlichere Fertigung erzielen.
- Anders als in der Blechumformung müssen Prototypenwerkzeuge in der Massivumformung auch bei kleinen Stückzahlen eine hohe Belastbarkeit besitzen (Ausfall durch Bruch, nicht unbedingt durch Verschleiß). Die Einbeziehung der Massivumformungsprozesse in Vorserien-Entwicklungsprozesse mit seriennahen Eigenschaften benötigt ein „Rapid“ - Werkzeug, welches heute noch nicht dargestellt werden kann.

Der Themenkomplex der Werkzeugstandmenge beeinflusst schließlich direkt und indirekt die Produktionskosten. In diesem Fokus müssen bisher entwickelte Ansätze weiterentwickelt werden; es sind aber ebenso neue Konzepte zur Werkzeugstandmengenerhöhung gefragt.

- Wirtschaftliche Herstellung von Werkzeugen
 - CAD-CAM-Kette weiter optimieren
 - Autonome Werkzeugmaschine
 - Flexible Herstellung von Prototypwerkzeugen für die Massivumformung (hohe Belastungen)
- Werkzeugstandmenge
 - WZ-Werkstoffe: Belastbarkeit / Gestaltung
 - Oberflächenbehandlung
 - System Werkzeugsubstrat / Oberfläche / Zwischenstoffe

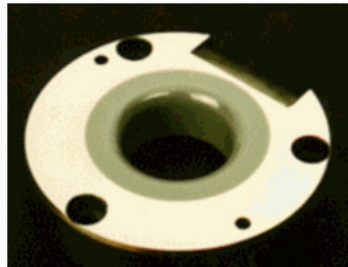
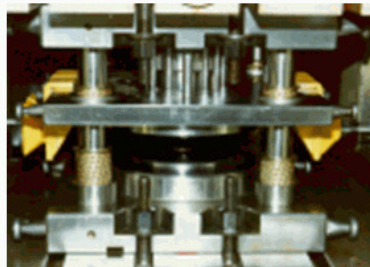


Abbildung 8: Themenfeld Werkzeuge

1.9 Ressourceneinsparung

Die Produktion von Massivumformprodukten ist prozeßbedingt ressourcenintensiv. Gleichzeitig ist unbestritten, daß Aufgrund der hohen Anforderungen in Deutschland die Produktion von Massivumformteilen sicherlich unter bester technisch möglicher Ressourcenausnutzung durchgeführt wird. Dies gerade auch im Vergleich zu anderen Ländern, die von den Kunden der Massivumformung aus rein preislicher Sicht immer mehr nachgefragt werden. Verlagerung in diese Low-Cost-Länder führt dann aber in der Summe zu höheren Umweltbelastungen.

In jedem Fall ist die weitere Optimierung des Ressourceneinsatzes ein Ansatz, der unseren Produktionsstandort nicht zuletzt auch wirtschaftlich weiter voranbringen wird. Auch hier greifen Ansätze der Prozeßkettenverkürzung, aber auch Verbesserungen, die die Einzelprozesse betreffen. Einige mögliche Einzelthemen sind in Abbildung 9 dargestellt.

- Zusammenhang mit Werkstoffthema: Verkürzte Prozeßketten führen zu Ressourcenschonung - Umweltschutz
- Einsparung von Wirkmedien im tribologischen System
 - Werkzeugwerkstoffe
 - Beschichtungen
 - Oberflächenbehandlungen

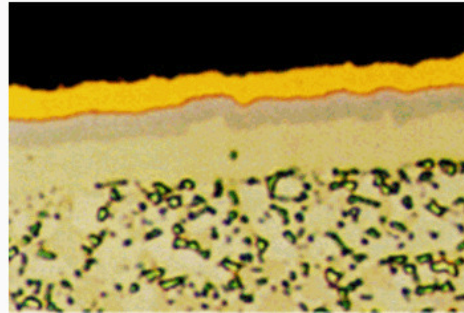
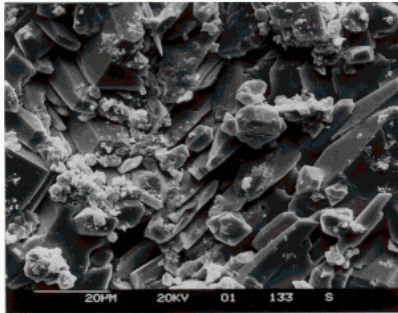


Abbildung 9: Themenfeld Ressourceneinsparung

2 Zusammenfassung

Wie jedes technische Betätigungsfeld bietet auch die älteste Fertigungstechnologie „Umformung“ zahlreiche Ansätze zur technischen und wissenschaftlichen Weiterentwicklung. Dabei dürfte es sich bei dieser jahrtausendlang entwickelten Technologie in der Regel nicht mehr um revolutionäre Sprünge handeln. Trotzdem muß aber klar sein, daß bei der gegebenen volkswirtschaftlichen Relevanz dieser Branche der Ausbau der Wirtschaftlichkeit (durch technologische Weiterentwicklung) einen wesentlichen Beitrag zur Sicherung des Wohlstandes einer produzierenden Gesellschaft leistet.

Werkzeugmaschinen der Zukunft – Sicht eines Herstellers

Dr. Gerhard Hammann

TRUMPF Werkzeugmaschinen, Ditzingen

Zusammenfassung

Wie viele andere Produktionsausrüster befindet sich TRUMPF Werkzeugmaschinen als führender Hersteller von Fertigungssystemen zur flexiblen Blechbearbeitung in einem sich zunehmend dynamischer verändernden Technologie-, Markt- und Wettbewerbsumfeld. Nach einer Phase des kontinuierlichen Marktwachstums in technologisch stabilem Umfeld geht es darum, zusätzlich zur Bewältigung der derzeitigen tiefgreifenden Wirtschaftskrise die Chancen und Risiken struktureller Verschiebungen frühzeitig zu erfassen und ihnen adäquat zu begegnen.

Insbesondere die neuen Wachstumsmärkte erfordern an deren Entwicklungsstand angepasste Produktionsmittel, die sich durch moderaten Invest und eine hohe Robustheit für das raue Betriebsumfeld auszeichnen und die ganz entscheidend dem Ausbildungsstand der Bediener Rechnung tragen. Zusammen mit dem sich abzeichnenden Technologiewandel in Teilbereichen der lasergestützten Blechbearbeitung hin zum Festkörperlaser entsteht ein günstiges Klima für neue lokale Wettbewerber, die auf Basis von bereits am Weltmarkt verfügbaren Schlüsselkomponenten relativ schnell die technologische Einstiegsschwelle überschreiten können.

Diese Herausforderungen bedingen eine Dynamisierung der Produktlebenszyklen, um die individuell und regional geprägten Anforderungen deutlich schneller als bisher adressieren zu können. Auf Basis einer neuen Plattformstrategie wird ein effizienterer, konsequent auf die zeitnahe Erfüllung der geforderten Funktionen ausgerichteter Entwicklungsprozess benötigt.


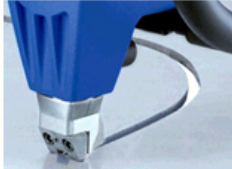


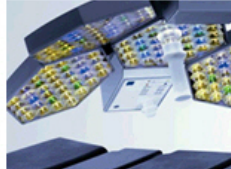
Unabdingbare Voraussetzung für einen dauerhaften technologischen Vorsprung ebenso wie für eine optimale Kostenstruktur ist die theoretische Durchdringung der Schlüsselthemen wie der Maschinendynamik und der (Laser-) Bearbeitungsprozesse. Erst dies ermöglicht eine fundierte Beherrschung und damit einen sicheren Betrieb der Fertigungssysteme an den physikalischen Grenzen ohne die bisher eingebauten Sicherheiten.

1 Die TRUMPF Gruppe

Mit TRUMPF verbinden Kunden innovative Hochtechnologie, erstklassige Produkte und Dienstleistungen, moderne Fertigungsmethoden, engagierte Spezialisten. TRUMPF gehört zu den weltweit führenden Herstellern von Werkzeugmaschinen für die Blechbearbeitung, von industrieller Lasertechnik, Hochleistungs-Elektronik und Medizintechnik (Abb. 1).

Weltweit setzen rund 8.000 Mitarbeiter die Vorstellungen, das Wissen und die Ziele des Unternehmens um. Die Position von TRUMPF ist nicht nur in Europa, sondern auch in Amerika und Asien sehr stark, weil dort entwickelt und produziert wird.

Kontinuität ist für TRUMPF als Familienunternehmen ein besonderes Anliegen. Sie kommt vor kurzfristigem wirtschaftlichem Erfolg. Grundsatz für alle Aktivitäten ist, im Weltmaßstab führend zu sein. Die Innovationskraft basiert auf hohen Aufwendungen für Forschung und Entwicklung in Höhe von 9 Prozent des Umsatzes (Geschäftsjahr 2008/09).

Geschäftsbereiche der TRUMPF Gruppe				
Werkzeugmaschinen/ Elektrowerkzeuge		Lasertechnik/ Elektronik		Medizin- technik
Werkzeug- maschinen	Elektro- werkzeuge	Lasertechnik	Elektronik	Medizin- technik
				
Werkzeugmaschi- nen für die flexible Blechbearbeitung	Elektrowerkzeuge für die Blechbear- beitung	Laser für die Fertigungstechnik	Prozessstromversor- gungen für Plasma- anwendungen, induktive Erwärmung und CO ₂ -Laser- anregungen	OP-Tische und -Leuchten, Deckenstative
Umsatz (Mio €) Mitarbeiter	1.330 5.416	Umsatz (Mio €) Mitarbeiter	421 1.795	Umsatz (Mio €) 140 Mitarbeiter 544

Geschäftsjahresende 30.06.2009, konsolidiert innerhalb des Geschäftsbereichs; Zahlen gerundet

Abb. 1: Die TRUMPF Geschäftsbereiche

Kerngeschäft von TRUMPF sind Werkzeugmaschinen für die gesamte Prozesskette der Flexiblen Blechbearbeitung (Abb. 2) zum Stanzen und Umformen, für die Laserbearbeitung, für die kombinierte Stanz- und Laserbearbeitung und zum Biegen – ergänzt durch technologiespezifische CAD/CAM Lösungen und Systeme zum Laserschweißen. Standardisierte Systemkomponenten ermöglichen automatisierte Fertigungslösungen.

Die Elektrowerkzeuge zum Trennen, Fügen und Formen ergänzen das breite Spektrum stationärer Werkzeugmaschinen für die Blechbearbeitung. Sie erleichtern die tägliche Arbeit in der Werkstatt oder auf der Baustelle.

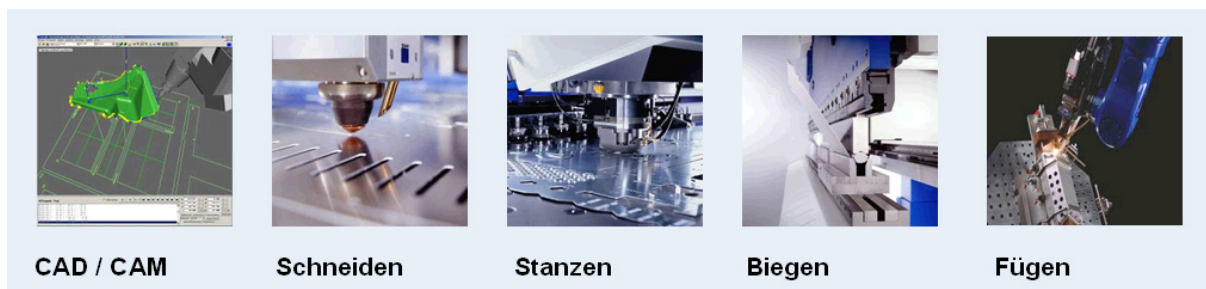


Abb. 2: Prozesskette Flexible Blechbearbeitung

Das Produktprogramm von TRUMPF in der Lasertechnik umfasst Lasersysteme für das Schneiden, Schweißen und für die Oberflächenbearbeitung dreidimensionaler Teile, Hochleistungs-CO₂-Laser sowie lampen- und diodengepumpte Festkörperlaser, Beschriftungslaser und -systeme. Zur Elektronik gehören Hoch- und Mittelfrequenzgeneratoren zur induktiven Materialerwärmung, für die Oberflächenbeschichtung und -bearbeitung mittels Plasmatechnologie sowie zur Laseranregung.

In der Medizintechnik bietet TRUMPF Systemlösungen für den Operations- und Intensivbereich an: Operationstische, Operationsleuchten und deckenhängende Arbeitsplatzsysteme für medizinische Geräte.

2 Aktuelle Herausforderungen mit ihren Chancen und Risiken

2.1 Wirksame Antworten auf die aktuelle Krise

Auch wenn die aktuelle Wirtschaftskrise im öffentlichen Bewusstsein überwiegend mit dem Automobilbereich in Verbindung gebracht wird, sind die Produktionsausrüster in deutlich stärkerem Maße und zudem nachhaltiger betroffen. Die vorhandenen Produktionskapazitäten werden auf absehbare Zeit nur unzureichend ausgelastet sein. Dies führt dazu, dass Investitionen in diesem Marktsegment nur dann erfolgen, wenn diese zur Umsetzung neuer und deutlich effizienterer Fertigungsprozesse unverzichtbar sind.

Diese Tatsache begünstigt aktuell Werkzeugmaschinen im HighEnd-Bereich mit hohem Innovationsanteil, die den Kunden eine technologische Differenzierung in der verschärften Wettbewerbssituation ermöglichen und dazu beitragen aus dem reinen Preiswettbewerb heraus zu kommen.

Ein markantes Beispiel für diese Entwicklung ist die neue kombinierte Stanz-Lasermaschine TruMatic 7000 (Abb. 3), die eine um 30% höhere Produktivität bei erweitertem Funktionsumfang als die Vorgängermaschine bietet:

- Die hochdynamischen Zusatzachsen für die Laserbearbeitung ermöglichen in Überlagerung mit der Bewegung des Bleches höhere effektive Bearbeitungsgeschwindigkeiten vor allem bei filigranen Konturelementen.
- Die Ein-Schneidkopfstrategie und ein schneller Düsenwechsler erlauben einen manlosen Mehrschichtbetrieb.
- Die Aktive Matrize lässt größere, höhere Umformungen und aktiven Umformhub von unten zu und ermöglicht eine kratzerfreie Bearbeitung durch Absenken der Aktiven Matrize bei der Blechpositionierung.
- Eine modulare, ausbaufähige Automatisierung für höhere Prozesssicherheit und Mehrteilentnahme sichert die Produktivität der Grundmaschine.



Abb. 3: Hochdynamische Zusatzachsen der TruMatic 7000

2.2 Erschließung der neuen Märkte in dynamischem Umfeld

Schon in der Boomphase vor der Krise zeichneten sich klare Marktverschiebungen ab. Die etablierten Märkte zeigten Sättigungseffekte, neue Wachstumsmärkte in Osteuropa und Asien erschlossen sich für die Flexible Blechbearbeitung. Diese Entwicklung setzt sich jetzt verstärkt fort. Eindrücklich zeigt sich der Übergang von handwerklicher zu industrieller Blechbearbeitung in den vielen Material Markets Chinas (Abb. 4).



Abb. 4: Einer der vielen Material Markets in China

Unter einfachsten äußeren Bedingungen wird die gesamte Prozesskette Blech in einer hohen Arbeitsteilung abgebildet. Im nächsten Entwicklungsschritt können hier moderne Fertigungstechnologien platziert werden, insofern sie den besonderen Randbedingungen Rechnung tragen. Entscheidend wird neben der Kompaktheit die Robustheit und Einfachheit in der Bedienung sein.

Der Einstieg in die lasergestützte Blechbearbeitung ohne Vorkenntnisse wird mit der neuen TruLaser 1030 möglich, einer Maschine mit äußerst geringen Investitions- und Betriebskosten sowie einer revolutionär einfachen Bedienung (Abb. 5).



Abb. 5: TruLaser 1030 als Lowbudget-Maschine

Die TruLaser 1030 ebnet den Weg in die Welt des Laserschneidens mit geringen Investitions- und Betriebskosten:

- Niedriger Platzbedarf von nur 25 m² und unkomplizierter Aufbau ohne Verbohrungen und ohne Installation von Laser-Gasleitungen für einen schnellen Produktionsstart
- Intelligentes Bedienkonzept mit dialogbasierter Menüführung und unterstützenden Erklärungen für eine intuitive Bedienung
- Einfache Werkstattprogrammierung auf der Maschine, die in 5 Schritten zum fertigen Programm führt und schnelle Nachproduktion von Teilen aus einem bereits geschachtelten Programm
- Energiesparender TruCoax 2000, der besonders im Standby sehr wenig Strom benötigt

2.3 Aktive Gestaltung des Technologiewandels

Der CO₂-Laser war bisher die favorisierte Strahlquelle zum Laserschneiden. Mit der Verfügbarkeit von faserführbaren Festkörperlasern hoher Brillanz, zeichnet sich in Teilbereichen der Flexiblen Blechbearbeitung eine Substitution des CO₂-Lasers ab. Die Stärken des Festkörperlasers liegen in einer deutlichen Vorschubsteigerung im Dünoblechbereich verbunden mit einer um den Faktor 2-3 höheren Energieeffizienz. Die zusätzlichen systemtechnischen Vorteile aufgrund der Strahlführung von der Strahlquelle zum Bearbeitungskopf über eine Faser begünstigen den Technologieeinstieg neuer Wettbewerber.

Die TruLaser 7040 fibre (Abb. 6) stellt die weltweit produktivste Laserschneidmaschine dar. Entscheidend für deren Marktakzeptanz ist eine ausreichende Schneidqualität auch in den mittleren bis hin zu den oberen Blechdickenbereichen.



Abb. 6: TruLaser 7040 NEU als weltweit produktivste Laserschneidmaschine

Die Bewegungseinheit aus CFK mit doppelter Steifigkeit bei reduziertem Gewicht im Vergleich zur konventionellen Blechschweißkonstruktion führt schon zu einer um 35% höheren Produktivität. Der Scheibenlaser ermöglicht im Dünoblech Vorschubsteigerungen im Vergleich zum CO₂-Laser von bis zu 80%. Ein Höchstmaß an Produktivität und Flexibilität bietet die Doppelkopfausführung, mit der der TruDisk 6001 über Strahlteiler und Strahlweiche flexibel auf einen oder beide Schneidköpfe geführt werden kann.

2.4 Symbiotische Prozessketten

Das Laserschneiden hat sich in der Flexiblen Blechbearbeitung aufgrund der technologischen und wirtschaftlichen Vorteile als Standardtechnologie zur Konturgebung durchgesetzt. Die erreichbaren Automatisierungsgrade rechtfertigen auch den Einsatz kostendominanter Strahlquellen. Im Prozessschritt Fügen begrenzen der geringere Automatisierungsgrad und die damit verbundenen geringeren Einschaltzeiten eine stärkere Durchdringung des Laserschweißens.

Die gemeinsame Nutzung einer Strahlquelle für parallele oder hintereinander geschaltete Prozessschritte kann die investitionsbezogene Einstiegshürde deutlich senken. Das jüngste Beispiel hierfür ist die TruMatic 3000 fibre im Lasernetzwerk mit einer Laserschweißzelle (Abb. 7).

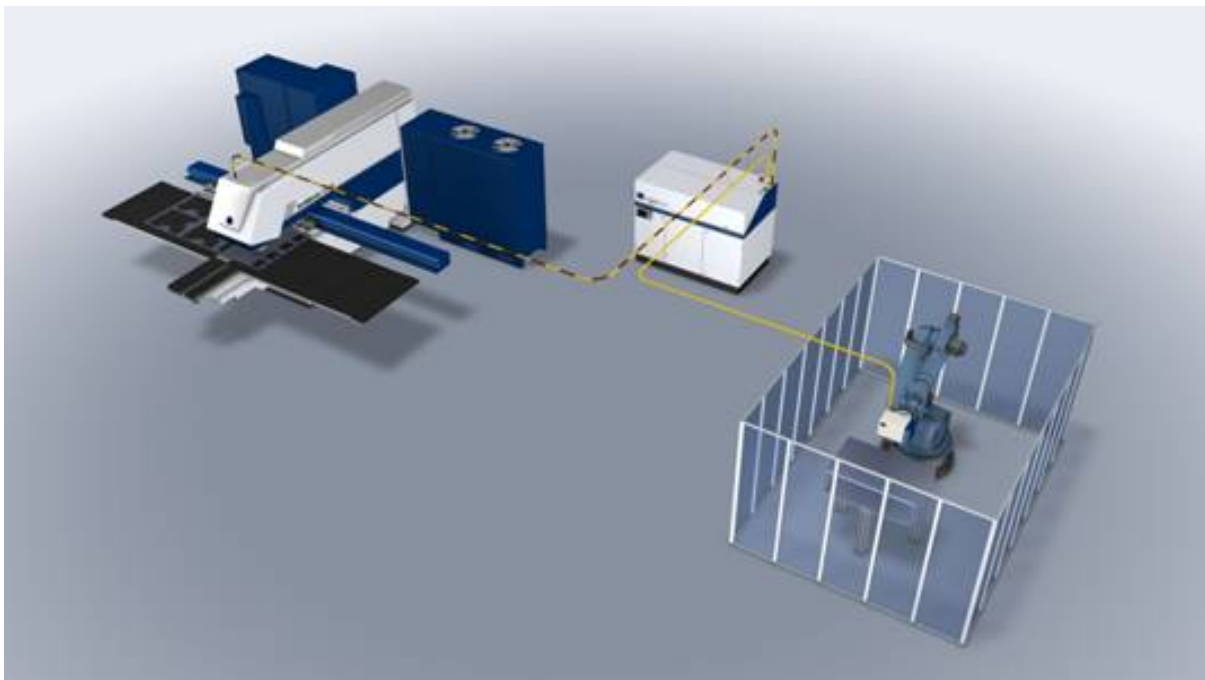


Abb. 7: TruMatic 3000 fibre im Lاسernetzwerk mit einer Roboterschweißzelle

In den Laser-Pausen der Kombimaschine mit einer typischen Laser-Ein-Zeit von unter 30% kann die Laserleistung von der Roboterschweißzelle angefordert werden.

Der faserführbare Festkörperlaser kann über das TRUMPF Lاسernetzwerk sehr flexibel räumlich und zeitlich verteilt eingesetzt werden, was zu einer maximalen Nutzung des hochproduktiven Werkzeugs Laser führt.

Mit dem TRUMPF Lاسernetzwerk lassen sich Redundanzsysteme ideal umsetzen! Alle notwendigen Komponenten sind bereits tausendfach in der Automobilindustrie erprobt!

3 Forschungsbedarf aus Unternehmenssicht

Die angeführten Beispiele stellen bereits wirksame Antworten auf die aktuellen Herausforderungen dar. Um auch zukünftig eine führende Rolle in der Produktionsausrüstung zu behalten, besteht langfristiger Handlungsbedarf, um das Produktionsmittel Werkzeugmaschine den sich dynamisch verändernden Anforderungen anzupassen und komplementär hierzu die Produktentstehungsprozesse so zu gestalten, dass sie mit den dynamischen Veränderungen Schritt halten können.

Die folgenden Beispiele zu konkretem Forschungsbedarf aus Unternehmenssicht stellen eine Auswahl dar, die zusätzlich zu den jetzt schon im Fokus stehenden Forschungsthemen wie

- Energie- und Ressourceneffizienz
- virtuelle Produktentwicklung
- transparente Maschinen- und Prozesszustände
- durchgängig vernetzte Fertigungssysteme

mit Nachdruck zu verfolgen sind.

3.1 Dynamisierung der Produktlebenszyklen

Um schnell und kostengünstig kundenspezifische und marktangepasste Fertigungssysteme in den Markt bringen zu können, sind Plattformkonzepte prädestiniert und in vielen Bereichen bereits etabliert. Eine Herausforderung besteht darin, die damit verbundene Modularität ohne die damit verbundenen Mehrkosten der mechanischen, elektrischen und steuerungstechnischen Schnittstellen und ohne deren systemtechnischen Nachteile wie höheres Gewicht, größerer Bauraum und reduzierte Steifigkeit zu erreichen.

Heutige Entwicklungsprozesse sind noch überwiegend verrichtungsorientiert. Die für eine bestimmte neue Funktion erforderlichen Entwicklungsschritte sind typischerweise vielen unterschiedlichen Organisationseinheiten zugewiesen, was zu einer komplexen Projektbearbeitung mit reduzierter Gesamtsicht führen kann.

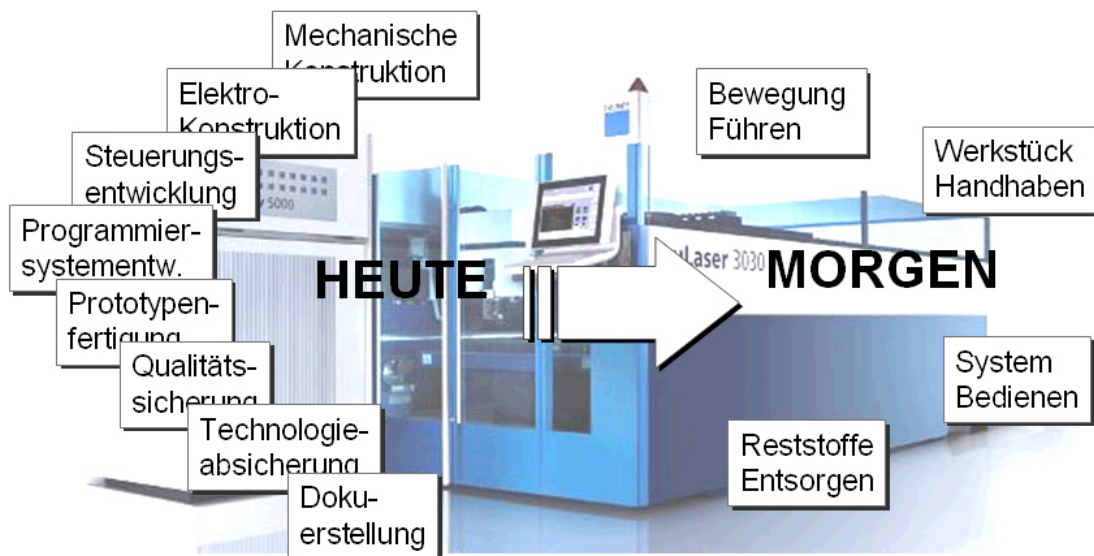


Abb. 8: Vom verrichtungsorientierten zum funktionsorientierten Entwicklungsprozess

Ein konsequentes funktionsorientiertes Entwickeln kann hier Abhilfe schaffen (Abb. 8). Die Prozesse und Tools hierfür, wie beispielsweise für durchgängig akzeptierte Funktionsbeschreibungen müssen erarbeitet werden.

3.2 Neue Qualität der Technologiebeherrschung

Ein hohes Maß an Technologiebeherrschung ist heute schon Kennzeichen moderner Fertigungssysteme. Ständige Optimierung und Weiterentwicklung der Technologien beruhen aber überwiegend auf Erfahrungswissen, auf einer immer aufwändigeren experimentellen

Absicherung der Technologie und hohen Aufwendungen, um die Maschinen in ihren prozessrelevanten Toleranzen fertigungsseitig einzugrenzen.

Eine Technologiebeherrschung, die auf fundiertem Prozessverständnis beruht, erschließt eine zielgerichtete Weiterentwicklung der Fertigungsprozesse hin zu

- höheren Qualitätsniveaus, die eine Substitution oder Verkürzung konventioneller Technologien und Prozessketten ermöglichen,
- einer an den physikalischen Grenzen orientierten Prozessführung bis hin zu selbst-optimierenden Prozessen und
- einer kostenoptimalen Systemauslegung ohne die Notwendigkeit teurer Sicherheitsreserven.

3.3 Frühzeitiger Einsatz neuester IT Trends

Es gibt keine Fertigungssysteme mehr, die nicht mit informationstechnischen Komponenten ausgestattet sind. Und zunehmend differenzieren sich die Wettbewerbsprodukte durch softwareseitig realisierte Leistungsmerkmale. Aber anders als im Consumerbereich finden die neuesten informationstechnischen Entwicklungen nur verzögert Eingang. Produktlebenszeiten von 10 Jahren sind nicht unüblich, und die sich daran anschließende Verpflichtung zur Lieferung kompatibler Ersatzteile bremsen die mögliche Innovationsdynamik aus.

Hier müssen neue Wege beschritten werden, um die immer dominanter werdenden Investitionen im Softwarebereich zu schützen und dennoch auf neueste Entwicklungen aus dem IT-Bereich nicht verzichten zu müssen:

- Portierung moderner Bedienkonzepte aus Consumerprodukten für eine zeitgemäße Gestaltung der Mensch-Maschine-Schnittstelle
- Nutzung der Virtualisierungstechnologien für leistungs- und kostenoptimale Steuerungssysteme
- Einsatz der Web-Technologien für neue Dienstleistungen im Betrieb und im Umfeld der Fertigungssysteme.

4 Ausblick

Das Wissen um das sich verändernde Markt-, Technologie- und Wettbewerbsumfeld und daraus abgeleitete Maßnahmen zur Beherrschung dieser Veränderungen ist unabdingbar, um langfristig eine führende Rolle als Produktionsausrüster einnehmen zu können.

Die heutige nationale und internationale Forschungsförderung ist geprägt durch zeitlich getaktete und thematisch fokussierte Ausschreibungen. In Ergänzung hierzu werden thematisch offene und zeitlich flexible Förderprogramme benötigt, um den unterschiedlichen Bedürfnissen der diversen Branchen zeitnah Rechnung tragen zu können. Insbesondere muss die Möglichkeit geschaffen werden, eine Förderung auch für kleine Konsortien bis hin zu Bilateralprojekten zwischen einem Unternehmen und einem Forschungsinstitut zu gewähren.

Die (geförderte) Produktionsforschung muss die Anstrengungen der Unternehmen in der nötigen Fokussierung aber auch mit den nötigen Freiräumen verstärken.

Elemente dynamischer Unternehmensstrukturen

Prof. Dr. Hartmut Hirsch-Kreinsen

TU Dortmund

Zusammenfassung

Der Beitrag befasst sich mit der Bedeutung der Faktoren Qualifikation, Wissen und Organisation für den Erfolg deutscher Industrieunternehmen im internationalen Wettbewerb. Ausgegangen wird davon, dass diese Faktoren angesichts der aktuellen Herausforderungen der Globalisierung sowie des demografischen und wirtschafts-strukturellen Wandels unverzichtbare Elemente zukünftiger dynamischer Unternehmensstrukturen sind. Basis der skizzierten Überlegungen sind Analysen über derzeitige Entwicklungstendenzen von Unternehmen, die im Kontext der vorbereitenden Arbeiten für ein kommendes produktionstechnologisches Forschungsprogramm standen. Im vorliegenden Beitrag werden ausgewählte Ergebnisse dieser Arbeiten skizziert. Diskutiert werden erstens die Erfordernisse einer strategischen Personalentwicklung und Weiterbildung. Angesprochen werden hier Elemente wie Konzepte für KMU-gerechte Personalplanung, betriebliche Weiterbildung und lebenslanges Lernen und Formen der Förderung innovativer Lernformen. Zweitens geht es um die Frage eines wissensintensiven Technologietransfers und der erfolgreichen Technologienutzung. Im Einzelnen werden hier die folgenden Aspekte wie Methoden des Wissens- und Technologietransfers, Ansatzpunkte zur Steigerung der Technologieadaptionsfähigkeit von Unternehmen und Fragen des Technologiemonitorings diskutiert. Drittens wird die Gestaltung der Unternehmensorganisation und Unternehmensvernetzung. Relevante Elemente sind in diesem Themenfeld Systematische Organisations- und Kooperationsgestaltung, Fragen des Netzwerkmanagements, Konzepte wandlungsfähiger Organisationsstrukturen und Möglichkeiten zur Steigerung der Innovationsfähigkeit von Unternehmen. Abschließend wird im Beitrag eine Vision dynamischer Unternehmensstrukturen 2020 skizziert.

1 Vorbemerkung

Qualifikation, Wissen und Organisation waren in der Vergangenheit zentrale Erfolgsfaktoren für die Wahrung und den Ausbau der Wettbewerbsfähigkeit der deutschen Industrieunternehmen und werden es auch in Zukunft sein [1]. Allein die Verbreitung der Begriffe „Wissensgesellschaft“ oder „Informationsgesellschaft“ in der Öffentlichkeit zeigt die Relevanz von Qualifikation und Wissen für die Produktion von morgen.

Angesichts der aktuellen Entwicklungstrends der Globalisierung sowie des demografischen und wirtschaftsstrukturellen Wandels ergeben sich neue und sehr dynamische Anforderungen an Qualifikation und Wissen in der Produktionsarbeit. Die fortschreitende Internationalisierung der Märkte und der weltweite Kampf um die Technologieführerschaft nationaler Industrien verändern Qualifikationsanforderungen und die Dynamik des Wissensumschlags. Die demografischen Umbrüche, die sich in einem zunehmenden Mangel an (jüngeren) Fachkräften und einer wachsenden Gruppe älterer Beschäftigter äußern, erfordern neue Formen des Wissens- und Erfahrungstransfers sowie differenzierte Arbeitssysteme. Zudem lassen die wachsende Durchdringung mit neuen Technologien sowie die Verkürzung der Produktlebenszyklen nicht nur neue Formen der internen und unternehmensübergreifenden Unternehmensorganisation, sondern auch neue Formen des Wissensmanagements notwendig werden; nur durch Vernetzung, Technologieadaptionsfähigkeit und eine entsprechende Wissensorganisation lassen sich diese Herausforderungen bewältigen.

Schon in dem laufenden BMBF-Rahmenprogramm „Forschung für die Produktion von morgen“ kamen den Themen Qualifikation und Wissen nicht nur im Handlungsfeld 4 „Der

Mensch und das wandlungsfähige Unternehmen“ eine große Bedeutung zu, sondern darüber hinaus spielten diese als Querschnittsthemen auch in den übrigen drei Handlungsfeldern eine wichtige Rolle. Die Bedeutung dieser Themen für die Produktionsforschung und die Unternehmensentwicklung bestätigte zudem der sog. Kleiner-Bericht aus dem Jahr 2007 [2]. Auch die Arbeiten zu einem neuen Rahmenprogramm Produktionsforschung 2020 schlossen daher die Thematik „Qualifikation und Wissen“ ein, in deren Kontext neuer Forschungs- und Handlungsbedarf herausgearbeitet wurde. Bearbeitet wurde diese Thematik von einer Arbeitsgruppe, die aus Wissenschaftlern des FhG IAO Stuttgart und des Lehrstuhls Wirtschafts- und Industriosozologie der TU Dortmund bestand. Die Ergebnisse der Analysen dieser Arbeitsgruppe lassen sich in einer Reihe von Themenfeldern bündeln, die die zentralen Gestaltungselemente dynamischer Unternehmensstrukturen, nämlich Personal, Qualifikation, Wissen und Innovativität umfassen [3]. Im Folgenden wird eine Auswahl dieser erarbeiteten Themenfelder skizziert. Dabei stehen insbesondere KMU im Zentrum der Überlegungen, da diese auf Grund ihrer knappen Ressourcen mit besonderen Problemen bei der Realisierung dynamischer Strukturen konfrontiert sind.

2 Elemente dynamischer Unternehmensstrukturen

2.1 Strategische Personalentwicklung und Weiterbildung

Ein erstes Themenfeld umfasst Fragen der Personalentwicklung und Weiterbildung, das sich in drei Elemente untergliedern lässt:

Strategische Personalplanung

- Konzepte zur vorausschauenden Personalplanung (zukünftige Qualifikationen, Rekrutierung von „Engpasspersonal“ etc.)
- Auf- und Ausbau einer Lernkultur
- Instrumente zur Erfassung der Kompetenz(entwicklung)
- Ausrichtung auf das „Lernen im Lebenslauf“
- Vereinbarkeit von Beruf und Familie

Betriebliche Weiterbildung und lebenslanges Lernen

- zielgruppenspezifische Weiterbildungsangebote (insbesondere für Geringqualifizierte)
- KMU-Qualifizierungsnetzwerke
- Konzepte zur Stärkung der Weiterbildung in nicht-wissensintensiven und/oder kleinen Betrieben
- Kompetenzen für interdisziplinäre und internationale Zusammenarbeit
- Sensibilisierung für lebens-langes Lernen (Unternehmen, Führungskräfte, Beschäftigte)

Fördern innovativen Lernens

- Entwicklung bedarfsgerechter Konzepte des Blended Learning
- Verknüpfung von Lernformen, Inhalten und Zielgruppen
- Konzepte für betriebliche Umsetzung (Kommunikation, Beteiligung, Integration in den Arbeitsablauf der Beschäftigten etc.)
- Förderung selbstgesteuerter Lernaktivitäten
- didaktische Konzepte zur Organisation arbeitsintegrierten Lernens
- lernförderliche Gestaltung der Arbeit



Abb. 1: Elemente strategischer Personalentwicklung und Weiterbildung

a) Konzepte für KMU-gerechte Personalplanung

Unverzichtbar für zukünftige Unternehmensstrukturen ist die Entwicklung und Nutzung von Konzepten der strategischen Personalplanung; dies gilt insbesondere für KMU, um die restriktiven Strategiefähigkeiten von KMU zu verbessern. Zu denken ist dabei beispielsweise an Methoden zur Rekrutierung von (Engpass-)Personal, an Prognoseinstrumente zur Ermittlung zukünftig benötigter Qualifikationen und Kompetenzen, an Qualifikations- und Fähigkeitsmatrizen oder die Ausrichtung der Personalentwicklung am „Lernen im

Lebenslauf“. Damit verbunden ist der Auf- und Ausbau einer betrieblichen Lernkultur: Lernen darf von den betrieblichen Akteuren nicht als unnötiger, sich betriebswirtschaftlich nicht rechnender Zeit- und Kostenaufwand betrachtet werden, sondern muss in das strategische unternehmerische Handeln integriert werden.

b) Betriebliche Weiterbildung und lebenslanges Lernen

Damit eng verknüpft ist die Notwendigkeit der Intensivierung der betrieblichen Weiterbildung und des lebenslangen Lernens. Denn zu den fachlichen Qualifikationen gesellen sich zunehmende Anforderungen an die methodische und die sozial-kommunikative Kompetenz und die Reflexionsfähigkeit. Generell nimmt die Notwendigkeit des lebenslangen Lernens zu und es müssen entsprechende Konzepte, Methoden und Instrumente entwickelt bzw. weiterentwickelt werden. Zu denken ist hier u. a. an die Möglichkeiten, KMU-Qualifizierungsnetzwerke zu etablieren oder Konzepte zur Stärkung der Weiterbildung insbesondere in nicht-wissensintensiven bzw. Lowtech-Unternehmen zu entwickeln. Darüber hinaus müssen die betrieblichen Akteure mehr für die Notwendigkeit von Weiterbildung und lebenslangem Lernen sensibilisiert werden. Auch muss es um die Entwicklung zielgruppenorientierter Weiterbildungsangebote gehen. Hier sind neben Angeboten für ältere Beschäftigte vor allem Angebote für Geringqualifizierte erforderlich, die auf die Gegebenheiten von KMU angepasst sind. Angesichts des absehbaren Fachkräftemangels, aber auch vor dem Hintergrund des hohen Anteils gering qualifizierter Arbeitsloser existiert hier ein Arbeitskräftepotenzial, das es zu sichern gilt [4].

c) Formen der Förderung innovativer Lernformen

Internetgestütztes eLearning oder computergestütztes Lernen am Arbeitsplatz, Werkstatt- und Qualitätszirkel, Austauschprogramme mit anderen Unternehmen oder systematischer Arbeitsplatzwechsel sind Ansätze, für die es grundlegende Konzepte und Lösungen gibt, die aber auf die spezifischen Bedürfnisse insbesondere der kleinen und mittleren Unternehmen noch zugeschnitten werden müssen. Die Unsicherheit über die betriebliche Implementierung, die Erfolgsaussichten und die finanzielle Belastung solcher Konzepte sind in der Praxis bislang groß. Ein entscheidender Vorteil dieser neuen Lernformen ist die Chance, besser als bei formalisierten Weiterbildungsmaßnahmen auf neue Qualifikations- und Kompetenzanforderungen einzugehen, d.h., sowohl fachliche als auch überfachliche Kenntnisse wie sozial-kommunikative oder methodische Fähigkeiten vermitteln zu können. Hinzu kommen jedoch ungelöste Probleme der Anerkennung und Zertifizierung nonformalen Lernens.

Ein wichtiges Element ist in diesem Zusammenhang die lernförderliche Gestaltung der Arbeit. Dabei muss eine ganzheitliche Gestaltung der Arbeitsaufgaben mit Dispositions- und Autonomiespielräumen für die Beschäftigten existieren, die zudem in betriebliche Kooperations- und Entscheidungsprozesse eingebunden sein müssen. Insbesondere in Hinblick auf innovativen Lernformen sind noch weitere Entwicklungsmaßnahmen notwendig, es gilt, diese zu evaluieren und für KMU praxisperecht aufzubereiten.

2.2 Wissensintensiver Technologietransfer

Die Überwindung der Innovationslücke zwischen Technologieentwicklung und Transfer der Entwicklungsergebnisse in Produkte und Prozesse kann durch innovative Transferkonzepte, ein frühzeitiges Erkennen und Bewerten von Technologie- und Anwendungspotenzialen neuer Technologien und dem Einsatz von Methoden und Konzepten zur Steigerung der Technologieadaptionsfähigkeit erreicht werden. Im Einzelnen lassen sich diese Elemente eines Themenfeldes, das als „Wissensintensiver Technologietransfer“ gefasst werden kann, wie folgt präzisieren:

Konzepte des Wissens- und Technologietransfers

- transdisziplinärer Transfer (Translationsforschung)
- intra- und interorganisationale Diffusionsstrategien
- transferförderliche Organisationsstrukturen und Kulturen
- Forschungstransfer und Vernetzung Wissenschaft -Wirtschaft

Technologieadaptionsfähigkeit

- Modellierung von Technologieadaptionsprozessen
- Steigerung der Adaptionsfähigkeit
- Überwindung der Adaptionshürden
- Qualifikationsbedarfe
- KMU- und branchenspezifische Lösungsstrategien

Technologie- und Anwendungsmonitoring

- Technologiepotenzialbewertung
- Messung des Technologiereifegrades
- Applikations- und Anwendungspotenzialanalyse

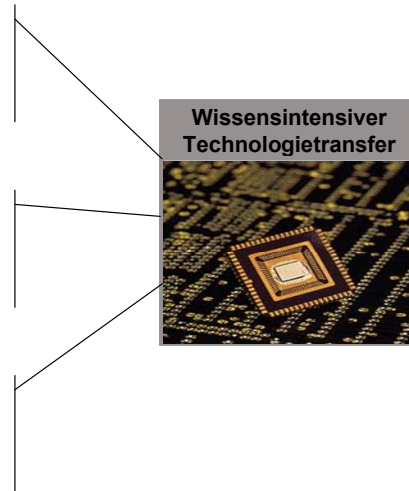


Abb. 2: Elemente wissensintensiven Technologietransfers

a) Methoden des Wissens- und Technologietransfers

Der Transfer zwischen verschiedenen technologischen Disziplinen, ist ein essentieller Weg, gezielt und systematisch an den Grenzflächen von Technologien nach Möglichkeiten des Zusammenwachsens dieser Technologien zu suchen. Ein zentraler Ansatzpunkt besteht hierbei darin, die Mechanismen und Einflussfaktoren dieses Zusammenwachsens zu verstehen und sowohl technologische als auch organisatorische und qualifikatorische Ansätze zur Initiierung und Förderung eines transdisziplinären Transfers zu nutzen. Innovative intra- und interorganisationale Diffusionsstrategien zum Transfer und zur Verbreitung von Wissen und Technologien beinhalten nicht nur neue Verfahren und Mechanismen des Transfers, sondern auch neue innovative Kooperationsansätze. Entsprechend müssen Konzepte zur Gestaltung und zur Förderung der intra- und interorganisationalen Diffusion erarbeitet und vermehrt erprobt werden. Ein besonderes Augenmerk liegt dabei auf der Implementierung transferförderlicher Organisationsstrukturen und Kulturen. Dies beinhaltet insbesondere auch die Schnittstelle zwischen Wissenschaft und Wirtschaft.

b) Steigerung der Technologieadaptionsfähigkeit

Unter dem Begriff Technologieadaptionsfähigkeit werden Gestaltungselemente zusammengefasst, die am Ende des Transfers, bei der Integration neuer Technologien und deren Nutzung ansetzen. Zur nachhaltigen Steigerung der Technologieadaptionsfähigkeit eines Unternehmens bedarf es des Einsatzes und ggf. der Entwicklung von Konzepten und Methoden zur Modellierung der Technologieadaptionsprozesse sowie von Vorgehensweisen zur Identifikation und Überwindung von Adaptionshemmnissen und -barrieren. Diese Aspekte bezeichnen in hohem Maße noch Forschungsbedarf. Sie wurden bisher nur vereinzelt diskutiert und bedürfen systematischer wissenschaftlicher Untersuchungen (Analyse von Einfluss- und Erfolgsfaktoren, Methoden und Instrumente zur Überwindung der Adaptionshürden etc.). Aspekte der Personal- und Organisationsentwicklung (Fragen der Technikakzeptanz, Anreizmodelle etc.) spielen in diesem Zusammenhang eine besondere Rolle und müssen gesondert betrachtet werden; so sind beispielsweise Konzepte zur hierarchie- und funktionsübergreifenden Gestaltung der Technologieadaptation sowie flexible Qualifikations- und Lernkonzepte zu erarbeiten und bereitzustellen. Insbesondere sind KMU-spezifische und branchenspezifische Belange zu berücksichtigen.

c) Technologiemonitoring

Eine wesentliche Voraussetzung zur Technologieadaptation ist die Fähigkeit, die für das eigene Unternehmen relevanten technologischen Möglichkeiten zu erkennen, zu verstehen und zu beherrschen. Eine Bedingung dafür ist der Zugang zu entsprechenden Informationen. Die hierfür notwendigen Fähigkeiten werden unter dem Stichwort Technology Intelligence

zusammengefasst. Im Wesentlichen geht es darum, eine intelligente (auch kooperative) Technologiefrüherkennung mit intelligenten Ansätzen der Technologiebewertung zu kombinieren. Von hoher Relevanz sind hier besonders Methoden der Technologiepotenzialbewertung insbesondere in frühen Phasen der Technologieentwicklung, der Messung des Technologiereifegrades und der Analyse der Applikations- und Anwendungspotenziale. Innovative Bewertungsansätze müssen über die eher kurzfristige Perspektive klassischer Bewertungsverfahren wie Shareholder-Value oder Kapitalwertmethode, die im Rahmen der Investitionsrechnung eher den Wert, die Bedeutung und die Erfolgswahrscheinlichkeit von Innovationen und neuen Technologien verzerren, deutlich hinaus gehen.

2.3 Gestaltungselemente der Unternehmensorganisation und -vernetzung

Das Themenfeld Unternehmensorganisation und -vernetzung kann in Hinblick auf die Bewältigung der skizzierten Herausforderungen und die Realisierung dynamischer Unternehmensstrukturen bis heute als zentral angesehen werden. Eine zunehmende Dynamik in den unternehmensübergreifenden Geschäftsprozessen macht diese Formen der Organisation insbesondere für KMU erforderlich. Zahlreiche empirische Studien belegen die wachsende Bedeutung von Netzwerken seit Beginn der neunziger Jahre. Zum einen sind diese vor allem in neuen Hightech-Branchen von besonderer Bedeutung, wo Unternehmen schnell auf neues Wissen und neue Technologien zugreifen müssen. Zum anderen ist ihre Bedeutung aber auch in traditionellen Industrien wie etwa dem Maschinenbau, der Automobil- oder der Elektroindustrie aufgrund wachsenden Innovationsdrucks unübersehbar. Aus einer umfangreichen Analyse des Standes der Forschung und Anwendung anhand von Projekten der jüngeren Vergangenheit wurden im Bereich Unternehmensorganisation und -vernetzung vier zentrale Gestaltungselemente identifiziert:

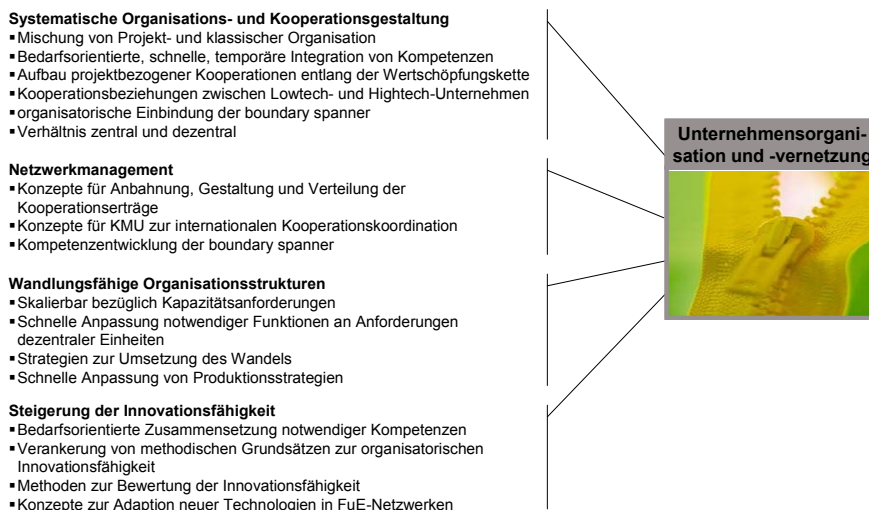


Abb. 3: Elemente der Unternehmensorganisation und -vernetzung

a) Systematische Organisations- und Kooperationsgestaltung

KMU mit ihren begrenzten Kompetenzen haben stets Schwierigkeiten, die gegensätzlichen Anforderungen, die sich aus neuen Formen der Projektorganisation und denen einer traditionellen Organisation ergeben, in Einklang zu bringen; dies betrifft z. B. Fragen der Kapazitätseinteilungen oder Weisungsbefugnisse. Erforderliche Elemente sind hier Unterstützungs- und Bewertungsinstrumente, die den Anforderungen einer Mischung von Projekt- und klassischer Organisation in KMU gerecht werden und sowohl Mitarbeiter als auch Führungskräfte im Tagesgeschäft unterstützen. Projekte stehen in jedem Unternehmen typischerweise unter Zeitdruck, so dass vor allem die schnelle Einbindung der benötigten

Kompetenzen wichtig ist. Hierzu sind ressourcenorientierte Hilfsmittel nur ein Teil der Betrachtungen. Ebenso müssen die notwendigen formalen und informellen Randbedingungen wie etwa die erforderlichen Kommunikationskanäle in Organisationsgrundsätzen abgebildet werden, so dass tatsächlich eine zwar temporäre aber bedarfsorientierte und schnell realisierte Integration von Kompetenzen erreicht wird.

b) Netzwerkmanagement

Angesichts der bestehenden Herausforderungen werden insbesondere für KMU Kooperationen und Netzwerke immer bedeutsamer zur Aufrechterhaltung ihrer Wettbewerbsfähigkeit, sei es bei Innovationsprojekten, Lieferbeziehungen oder Aus- und Weiterbildungsnetzwerken. Um von den Vorteilen von Kooperationen und Netzwerken zu profitieren, sind Formen des Netzwerkmanagements vonnöten, die die Komplexität der Netzwerksteuerung beherrschen können. Ein adäquates Netzwerkmanagement zu installieren, überfordert oftmals kleine und mittlere Unternehmen mit ihren geringen Ressourcen. Dies betrifft zunächst die Konzepte zur Initiierung (z. B. Suche geeigneter Partner) und Gestaltung der Kooperations- und Netzwerkbeziehungen, aber auch die Verteilung der Kooperationserträge. In diesem Kontext ist die wachsende Bedeutung von Grenzgängern oder sog. boundary spannern für ein funktionierendes Netzwerkmanagement zu betonen. Diese Mitarbeitergruppe muss über spezifische Kompetenzen wie kommunikative Fähigkeiten, Konfliktlösungsfähigkeit, Verlässlichkeit, die Fähigkeit, Vertrauen aufzubauen, große Entscheidungsspielräume und eine entsprechende Legitimation verfügen. Hierfür sind in Zukunft spezifische Kompetenzprofile und Qualifizierungsmaßnahmen zu entwickeln.

b) Wandlungsfähige Organisationsstrukturen

Hervorzuheben ist weiterhin die Notwendigkeit, die Wandlungsfähigkeit der Unternehmensstrukturen weiterzuentwickeln. Es gilt, Konzepte und Methoden zu entwickeln und zu nutzen, die es über die klassischen Instrumente wie Arbeitszeitflexibilisierung oder Leiharbeit hinaus erlauben, schnell und wirtschaftlich auf Auftragsveränderungen zu reagieren; hierzu zählen u. a. Instrumente für die operative Feinplanung (Maschinenbelegung, bereichsübergreifende Abstimmung etc.). Darüber hinaus ist das Verhältnis von zentralen und dezentralen Organisationseinheiten ein häufig ungeklärtes Problem. Zu dessen Lösung müssen Konzepte und Instrumente Verwendung finden, die die Bestimmung des Autonomiegrades dezentraler Einheiten unterstützen. Schließlich sind Antworten auf die Fragen zu finden, ob der Wandel der dezentralen Einheiten von ihnen selbst initiiert oder zentral angestoßen werden soll oder ob es standardisierte oder situative, problembezogene Vorgehensweisen geben soll.

c) Steigerung der Innovationsfähigkeit

Die Steigerung der Innovationsfähigkeit von Unternehmen hat einen inhaltlichen – die Erzeugung der Innovation – und einen zeitlichen Aspekt. Denn der Innovationserfolg steht in engem Zusammenhang mit der Geschwindigkeit und dem Ergebnis. Beide Aspekte können durch eine dynamische, bedarfsorientierte Zusammensetzung der jeweils für die anstehenden Aufgaben notwendigen Kompetenzen unterstützt werden. Für die Unternehmen bedeutet dies eine Verankerung der Innovationsfähigkeit in der Organisation, die in der Lage sein muss, bei sich ändernden Anforderungen an die Zusammensetzung von Kompetenzen – sowohl intern als auch extern – methodisch und zielorientiert zu reagieren. Typische Probleme hierbei sind z. B., dass Innovationen heute in der Verantwortung der Entwicklungsbereiche liegen und weitere Kompetenzen zur Innovationsfähigkeit kaum genutzt werden, die im Unternehmen oft vorhanden sind und in entsprechende Prozesse eingebunden werden müssen. So bleiben oftmals die Innovationspotentiale der qualifizierten Beschäftigten auf dem Shop-Floor in Hinblick auf laufende inkrementelle Prozess- oder auch Produktinnovationen ungenutzt.

Diese Ansätze gelten für interne und externe Beteiligte und Organisationen. Innovationen werden heute oft in Netzwerken mit mehreren Beteiligten und Organisationen und über Standorte hinweg erzeugt. Dies erfordert grundlegende Konzepte und Vorgehensweisen, wie

Know-how über spezifische Technologien und Vorgehensweisen in diesen FuE-Netzwerken an die Beteiligten vermittelt wird.

3 Vision dynamischer Unternehmensstrukturen

Die skizzierten Forschungsergebnisse lassen sich zu einer Vision dynamischer Unternehmensstrukturen zusammenfassen: Danach wird ein Unternehmen des Jahres 2020 durch eine professionalisierte, strategische Personalentwicklung, eine hoch qualifizierte, lebenslang lernende Belegschaft, eine auf den demografischen Wandel ausgerichtete Personalpolitik sowie Arbeitsorganisations- und Arbeitsplatzgestaltung, flexible und wandlungsfähige Unternehmensstrukturen, eine fachübergreifende Produkt- und Prozessentwicklung sowie eine ausgeprägte Unternehmensvernetzung charakterisiert sein. Im Einzelnen lassen sich hier folgende Elemente hervorheben:

- Eine betriebliche Lernkultur und vom Ausbildungsniveau und Alter unabhängiges, lebenslanges Lernen wird zum Standard.
- Neue Formen des Lernens und eine lernförderliche Arbeitsorganisation werden sich auch in KMU verbreiten. Die Arbeits- und Beschäftigungsfähigkeit älterer Beschäftigter wird steigen.
- Wissen ist in formellen und informellen Netzen kurzfristig verfügbar – auch für KMU.
- Unternehmen, auch KMU, erkennen frühzeitig die für sie relevanten neuen Technologien und adaptieren diese in eigene Produkte und Prozesse
- Wandlungsfähigkeit wird neue Anforderungen an Mitarbeiter stellen: Regionale Mobilität, Bereitschaft für Auslandsengagement und schnelles Lernen von komplexen, interdisziplinären Sachverhalten werden zukünftig besonders gefragt sein.
- Netzwerke und Kooperationen werden für KMU zu einem wesentlichen Bestandteil der Aufrechterhaltung von Wettbewerbsfähigkeit werden.

Es muss betont werden, dass diese Vision unabhängig von Branchen oder Losgrößen Gültigkeit beansprucht. Sie gilt gleichermaßen für alle produzierenden Unternehmen, da damit generell eine Steigerung der Wettbewerbsfähigkeit erreicht wird und Arbeitsplätze gesichert werden. Abschließend lassen sich die Entwicklungsperspektiven der Unternehmensorganisation wie folgt zusammenfassen:

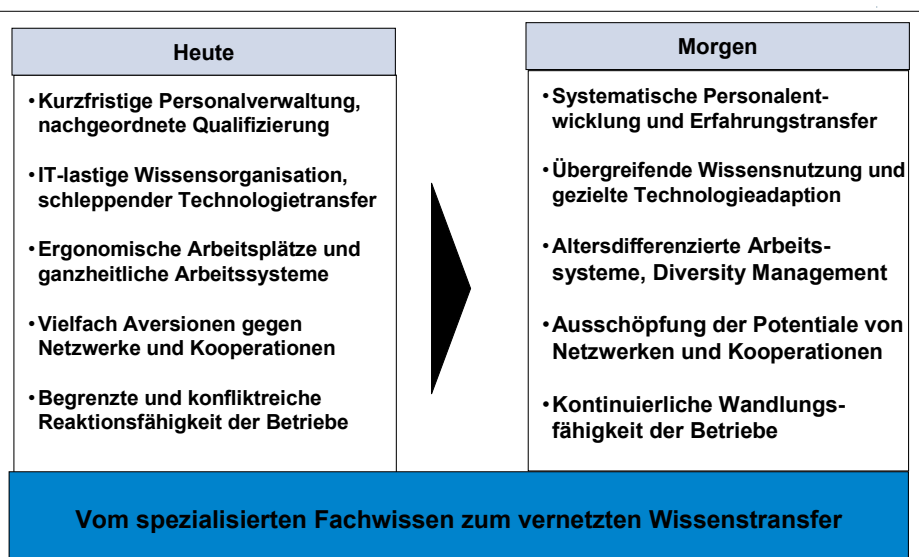


Abb. 4: Vision zukünftiger Unternehmensstrukturen

Literatur:

- [1] PTW; McKinsey (Hrsg.): Made in Germany – Zukunftsperspektiven für die Produktion in Deutschland; Düsseldorf: McKinsey & Company; 2009
- [2] Kleiner, M. (Hrsg.): Untersuchung zur Aktualisierung der Forschungsfelder für das Rahmenkonzept „Forschung für die Produktion von morgen“; Dortmund: TU Dortmund; 2007; (Abschlussbericht)
- [3] Spath, D.; Hirsch-Kreinsen, H. (Hrsg.): Produktionsforschung 2020 – Untersuchungsergebnisse der Arbeitsgruppe 6: Qualifikation und Wissen; Stuttgart/Dortmund: Fraunhofer IAO/TU Dortmund; 2009
- [4] Abel, J.; Hirsch-Kreinsen, H.; Ittermann, P.: Made simple in Germany? Entwicklungsverläufe industrieller Einfacharbeit; WSI-Mitteilungen; 11/2009; S. 579-58

Erfolgreiche Wandlungsfähigkeit eines kleinen und mittleren Unternehmens

Stefan Kaiser

Geschäftsführer, Friedr. Freek GmbH, Menden

Zusammenfassung

In einem turbulenten Umfeld, das bestimmt ist durch weltweite Vernetzung, marktübergreifende Integration, Produktindividualisierung und hohe Innovationsdynamik, beweist ein familiengeführtes Zulieferunternehmen aus dem sauerländischen Menden eindrucksvoll, wie wichtig strategische Unternehmensentwicklung und eine ausgeprägte Wandlungsfähigkeit für nachhaltigen Unternehmenserfolg sind.

Wegbereitender Entwicklungsschritt war Mitte der 90er Jahre die Gründung des Innovationsnetzwerkes EUCOPET¹. Im Zuge der Anbahnung und Ausgestaltung dieser Kooperation gleich gesinnter Wettbewerber aus Deutschland und Europa haben die Brüder Wolfgang und Stefan Kaiser die Unternehmensorganisation in eine Kooperationsorganisation umgewandelt und ihre Mitarbeiter zu einem Spitzenteam geformt [1]. Im Ergebnis wurde eine neue Eigenfertigung hoch innovativer Düsenheizelemente aufgebaut, die Kunststoffindustrie als neuer Absatzmarkt erschlossen und über die Kooperationspartner Zugang zu globalen Märkten gefunden [5].

Im Fahrwasser von EUCOPET erlebten dann zu Beginn des Jahrtausends die einfachen Standardheizelemente ihre Renaissance. So wurde im Forschungsprojekt LEAN Implementation² für das traditionelle Lowtech-Segment im Unternehmen ein Geschäftsmodell verwirklicht, in dem marktorientierte Flexibilisierung und kostenminimierende Standardisierung kein Widerspruch sind. Der darüber erzielte Erfolg der einfachen Standardheizelemente bescherte dem Unternehmen nach EUCOPET einen zweiten, lang anhaltenden Wachstumszyklus [2].

Das Krisenjahr 2009 hat das Unternehmen respektabel bewältigt und zu intensiver Projektarbeit genutzt. So wurden vielversprechende Produktentwicklungen voran gebracht und vor allem das LEAN-Geschäftsmodell innerhalb des neuen Forschungsprojektes Low2High³ strategisch weiter entwickelt. Ziel ist dabei, die stetig wachsende Klientel anspruchsvoller Hightech-Kunden zukünftig noch besser erschließen zu können.

¹ Das mit dem EUREKA-Status versehene europäische Verbundprojekt „European R&D co-operation among small and medium sized competitors (EUCOPET)“ wurde vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) im Rahmenkonzept „Produktion 2000“ gefördert und vom Projektträger Forschungszentrum Karlsruhe (PTKA) betreut (www.eucopet-heaters.com).

² Das Verbundprojekt „Lean Implementation – Pragmatische Einführung ganzheitlicher Geschäftsmodelle in Unternehmen der einfachen Standardfertigung (LEAN)“ wurde vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) im Rahmenkonzept „Forschung für die Produktion von morgen“ gefördert und vom Projektträger Forschungszentrum Karlsruhe (PTKA) betreut (www.lean-implementation.de).

³ Das Verbundprojekt „Innovationsmanagement für Lowtech-Hightech-Kooperationen (Low2High)“ wird aus Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF) und aus dem Europäischen Sozialfonds (ESF) der Europäischen Union im BMBF-Forschungs- und Entwicklungsprogramm „Arbeiten – Lernen – Kompetenzen entwickeln – Innovationsfähigkeit in einer modernen Arbeitswelt“ gefördert und vom Projektträger im Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt (PT-DLR) betreut (www.low-2-high.de).

1 Die Friedr. Freek GmbH

Die Friedrich Freek GmbH wurde 1950 von ihrem Namensgeber gegründet. Seither ist das Kerngeschäft des ca. 55 Mitarbeiter zählenden Unternehmens die Produktion elektrischer Heizelemente. Der derzeitige Umsatz von 5-6 Mio Euro ist auf ca. 700 Kunden aus unterschiedlichen Branchen und Ländern verteilt und wird zu 35 Prozent im Ausland erzielt.

Neben der Kunststoffindustrie als größtem Absatzmarkt finden Freek-Heizelemente Verwendung in der Großküchentechnik, der Medizin- und Labortechnik, Luft- und Raumfahrttechnik, nach wie vor aber auch in zahlreichen einfachen Haushaltsgeräten.

Heute ist Freek ein typisches mittelständisches Familienunternehmen, geführt in zweiter Generation durch die Brüder Wolfgang und Stefan Kaiser. 95 Prozent der Firmenanteile befinden sich in Familienbesitz.

Nach 20 Jahren der alleinigen Führung durch den Vater leitete Wolfgang Kaiser 1990 als Diplomkaufmann den Generationswechsel ein. 10 Jahre später war es dann Bruder Stefan Kaiser, der ihn vollendete. Ausgebildet zum Diplomingenieur löste er, anlässlich des 50-jährigen Firmenbestehens im Jahr 2000, den Vater an der Unternehmensspitze ab.

Von dem Generationswechsel aus ging ein permanenter Wandel, der das Unternehmen bis heute bestimmt und sehr erfolgreich macht. Meilensteine des Wandels waren die Gründung des Kooperationsnetzwerks EUCOPET sowie die Implementierung des LEAN-Geschäftsmodells zur Stärkung der Marktstellung als Produzent einfacher Standardheizelemente am Hightech-Standort Deutschland.

10. Karlsruher Arbeitsgespräche Produktionsforschung 2010, 9.-10. März 2010

**Familien-
unternehmen**

10.03.10 Stefan Kaiser, Friedr. Freek GmbH 3

Abb. 1: Teamfoto und Luftaufnahme zum Freek-Familientag im August 2008

2 Das EUCOPET-Kooperationsmodell

Angesichts der Vielzahl an Einsatzfeldern und Kundenzielgruppen besitzen bei Freek Innovationsmanagement und Marketing einen ebenso hohen Stellenwert wie die Produktion selbst. So ist das Unternehmen bereits seit 15 Jahren Partner im internationalen Kooperationsnetzwerk EUCOPET, welches von Freek 1995 gegründet und bis heute federführend koordiniert wird. Das Hauptziel dieses Zusammenschlusses unabhängiger Unternehmen aus Deutschland, Italien, Irland, England und den USA ist die gemeinschaftliche Entwicklung neuer bzw. verbesserter elektrischer Heizelemente und deren weltweiter Vertrieb [5].

Bis Mitte der 90er Jahre war Freek ein typisches Zulieferunternehmen seiner Zeit: vom Pioniergeist des Senior-Chefs getrieben, von motivierten Mitarbeitern getragen, wenig formalisiert, dafür um so mehr auf Nischen spezialisiert. So entfielen damals noch 100% des Umsatzes auf einfache Heizelemente für die Haushaltsgeräteindustrie, insbesondere Heizregister für Wäschetrockner. Entsprechend hoch war die Abhängigkeit von wenigen Großkunden der Branche. Als diese dann im Zuge der einsetzenden Globalisierung und Computerisierung mit Forderungen an ein erweitertes Lieferspektrum, verschärften Qualitätsnormen, neuen Technologien und Preissenkungsprogrammen an das Unternehmen heran traten, wurde endgültig klar, dass Freek mit den althergebrachten Strukturen, Methoden und Instrumenten nicht länger würde bestehen können.

Die Antwort lautete: Diversifikation und Kooperation – zwei strategische Ziele mit weitreichenden Auswirkungen für das Unternehmen. Innerhalb von nur fünf Jahren hat Freek seinen Kundenstamm mehr als verzehnfacht, eine komplett neue Eigenfertigung für Düsenheizelemente aufgebaut (Abb. 2) und das europaweite Kooperationsnetzwerk EUCOPET initiiert.



Abb. 2: Diversifikation des Produktspektrums

Für Freek bedeutet EUCOPET kontrolliertes Wachstum durch kooperative Produkt- und Prozessinnovationen, ein vollständiges Produktsortiment (Abb. 2) und Zugang zu globalen Märkten. Durch hinzu gewonnene Partner aus England, Italien und den USA (Abb. 3) sowie die Ausweitung der Kooperation auf Materialeinkauf, Produktion und Marketing hat das Netzwerk auch heute nach 15 Jahren nichts von seinem Reiz und Mehrwert für die beteiligten Unternehmen verloren.

Der mit EUCOPET vollzogene Wandel war nicht einfach und nur mit der Begeisterung aller Mitarbeiter für die neu definierten Unternehmensziele Diversifikation und Kooperation zu erreichen. Mitarbeiterorientierte Arbeitsprozesse genießen daher neben einer Vielzahl weiterer qualifikations- und motivationsfördernder Gestaltungselemente wie regelmäßige interne Schulungen, kreativitätsfördernde Teamarbeit, durchgängige Datentransparenz und eine gemeinsame EDV- und Kommunikationsplattform höchste Priorität bei Freek, damals wie heute.

Wie richtig der mit EUCOPET vollzogene Wandel war, belegt ein Blick auf die Umsatzentwicklung. So schaffte Freek nicht nur den Turnaround, sondern leitete zudem auch einen bis zum Jahr 2002 anhaltenden Wachstumszyklus ein (Abb. 3). Für das für kleine und mittlere Unternehmen zukunftsweisende Kooperationsmodell und dessen überzeugendes Ergebnis wurde Freek mit vielen Auszeichnungen dekoriert, darunter das TOP100-Gütesiegel [6] oder der Milestones 2002 [4]. In den Jahren 2002 und 2003 war Freek zudem Jurymitglied beim Wettbewerb „Die beste Kooperation“ [3] (Abb. 3).



Abb. 3: Turnaround und erster Wachstumszyklus mit EUCOPET

3 Das LEAN-Geschäftsmodell

Innerhalb des im Jahr 2008 abgeschlossenen Forschungsprojektes LEAN Implementation hat Freek nachgewiesen, dass auch die Herstellung von einfachen Standard-Heizelementen am Hightech-Standort Deutschland erfolgreich sein kann [2]. Dabei lag die besondere Herausforderung in der gleichzeitigen Optimierung zweier an sich gegensätzlicher Ziele: einer kostenminimierenden Standardisierung und einer marktorientierten Flexibilisierung. Die erarbeiteten Lösungen fanden Eingang in ein ganzheitliches Geschäftsmodell, dessen Implementierung und Anwendung Freek einen zweiten lang anhaltenden Wachstumszyklus beschert haben (Abb. 5).

Zur LEAN-Idee kam es, als zu Beginn des Jahrtausends, da der Networking-Gedanke inzwischen in weiten Teilen der Industrie angekommen war, die Pioniergewinne des überbetrieblichen Kooperierens schwanden. In dieser Zeit waren es vor allem die großen OEM-Kunden im Bereich Handelsware, die Freek den Rücken kehrten. Sie hatten sich selber weiter entwickelt und Global Sourcing-Kompetenzen aufgebaut, weshalb sie nicht länger einen Vorteil darin sahen, ihre großen Bedarfe über einen Distributor zu decken. Gleichzeitig förderte die durch die Terroranschläge vom 11. September 2001 ausgelöste Wirtschaftskrise und der dadurch entstandene Kostendruck die Abwanderungsbereitschaft hin zu den Herstellerfirmen.

Neben diesen marktgegebenen Einflüssen gab es auch hausgemachte Probleme, die Freek zu einer Konsolidierung und Neuorientierung zwangen. So hatte die Verdreifachung des Umsatzes bei einer Potenzierung von Kunden, Aufträgen und Artikeln innerhalb von nur 5 Jahren das Unternehmen über die Schwelle vom kleinen zum mittleren Unternehmen geführt, verbunden mit einem enormen Reorganisationsbedarf. Durch die gewachsenen organisatorischen Anforderungen des Marktes und die EUCOPET-Kooperation sowie das hinzu gekommene Handelsgeschäft hatte sich die Beschäftigtenzahl in den indirekten Funktionsbereichen allein bis zur Jahrtausendwende innerhalb von nur 4 Jahren auf 15 Mitarbeiter verdoppelt, weshalb u.a. auch die Verwaltung baulich erweitert werden musste. Dies alles erklärt, warum im Jahr 2002 nicht nur der bis dahin höchste Umsatz, sondern auch die höchste Reklamationsquote der Firmengeschichte erzielt wurde und eine Zeit der Konsolidierung durchaus willkommen war.

Im Rahmen einer Potentialfaktoranalyse fiel auf, dass sich im Fahrwasser der Kooperations- und Innovationsstrategie EUCOPET die traditionellen Standardheizelemente entgegen aller Erwartung gegen ihre Konkurrenz aus Billiglohnländern hatten behaupten können. Auch wenn ihr relativer Umsatzanteil kontinuierlich sank und damals nur noch rund 25% betrug, konnten die absoluten Beträge auf dem Niveau von 1995 gehalten werden, als noch 100% der Umsätze mit Standardheizelementen erzielt wurden.

Bei genauerer Betrachtung dieses Phänomens war aufgefallen, dass Freek einerseits in der Lage war, Einsparungspotentiale zu erschließen und so dem Preisdruck der Märkte nachzugeben. Andererseits war es gelungen, trotz höherer Preise, Kunden zu binden. Eine genauere Untersuchung zeigte, dass die treuesten Kunden für einfache Standardheizelemente vor allem solche waren, denen in Notlagen geholfen werden konnte, für die Sonderwünsche realisiert wurden oder die aufgrund der eigenen Geschäftscharakteristik großen Wert auf kurze Reaktionszeiten und guten Service legen. Es konnte sogar Neugeschäft generiert werden. Erfolgreich waren hier in der Regel auf Kundenwunsch variierte Standardheizelemente z.B. für Nischenanwendungen, Kleinserien oder auch Haushaltsgeräte im Hochpreissegment.

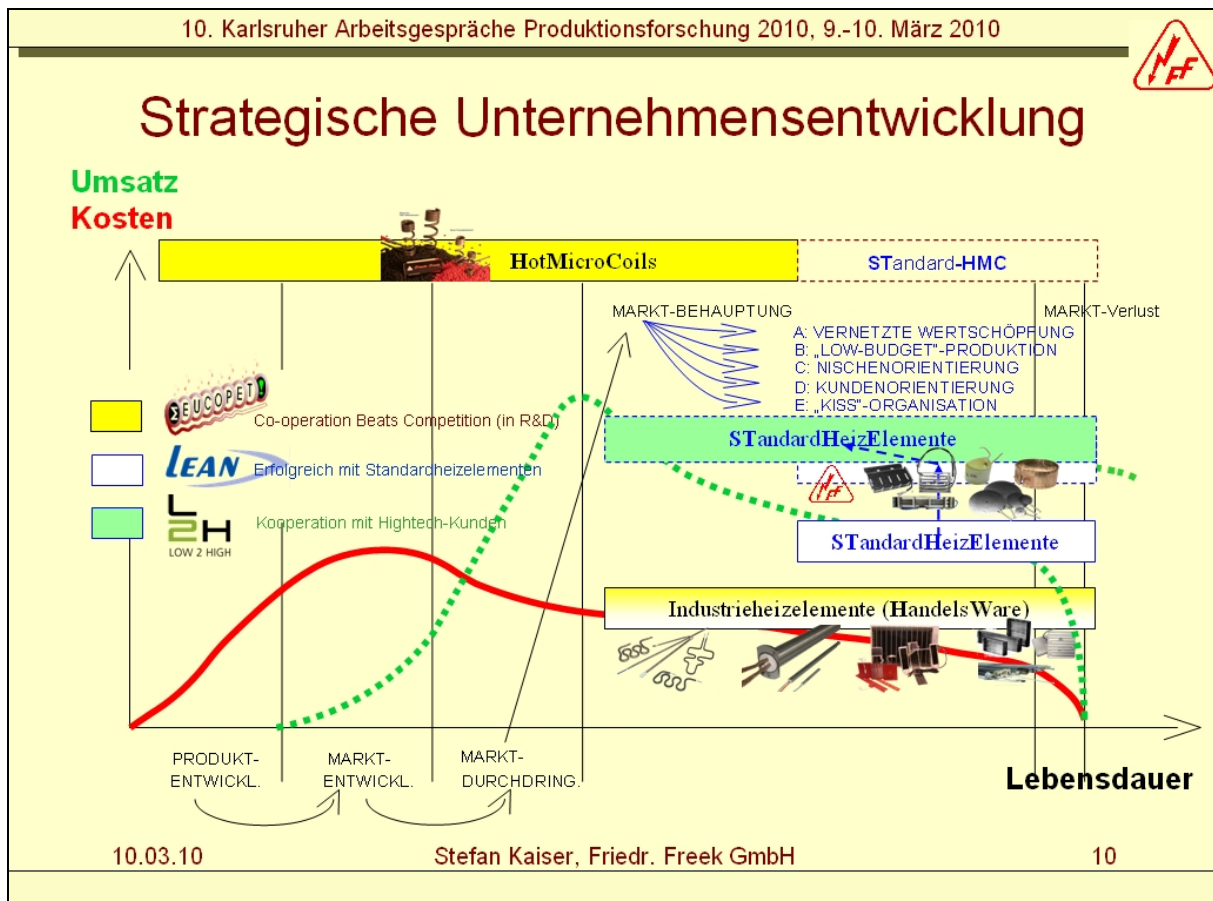


Abb. 4: Marktbehauptung für einfache Standardheizelemente

Anhand der ermittelten Ursachen für die überraschende Entwicklung der einfachen Standardheizelemente wurden schließlich gezielt Maßnahmenbündel geschnürt und fünf unterschiedenen Marktbehauptungsstrategien zugeordnet (Abb. 4). Dabei verfolgt die Strategie „Vernetzte Wertschöpfung“ das Ziel, den über- und innerbetrieblichen Wertschöpfungsprozess kostenoptimal und mit Flexibilitätsgewinn auf mehrere Unternehmen zu verteilen und dabei, ohne selber darin investieren zu müssen, auch an innovativen Hochtechnologien zu partizipieren. Eine „Low-Budget“-Produktion hilft, Kapital und Ressourcen zu schonen und setzt auf das Entwicklungs- und Leistungspotential der Mitarbeiter in einem auf sie zugeschnittenen Produktionssystem. Ausbildung und innerbetriebliche Qualifizierung spielen dabei eine herausragende Rolle. Mit „Nischenorientierung“ lässt sich die Erfolgsquote von Neukundenakquisitionen und Anfrage- und Entwicklungsvorgängen erhöhen, und mit „Kundenorientierung“ gelingt es, Kunden trotz höherer Preise dauerhaft zu binden. Sowohl Nischen- als auch Kundenorientierung sind Markenzeichen, deren Ausprägung wesentlich von Mitarbeitern, Strukturen und Abläufen und nicht zuletzt einer geeigneten EDV-Unterstützung im Unternehmen abhängt. Schließlich war das Bestreben, Freek und seine Geschäftsprozesse so einfach wie möglich zu gestalten und zu betreiben. Die zu diesem Zweck angestrebte „KISS“-Organisation (KISS = Keep It Simple Stupid) ist frei von überflüssiger Komplexität und Verschwendung. Im Ergebnis werden Leistungen schneller und kostengünstiger erbracht (Abb. 5).



Abb. 5: Konsolidierung und zweiter Wachstumszyklus mit LEAN

Im Unterschied zu EUCOPET war der mit LEAN vollzogene Wandel, der vor allem der inner- und überbetrieblichen Zusammenarbeit und der Einbindung der Mitarbeiter bedurfte, leichter zu erreichen. So wurde bei Freek bereits Ende der 90er Jahre im Zuge der Anbahnung und Ausgestaltung der EUCOPET-Kooperation damit begonnen, die Unternehmensorganisation in eine Kooperationsorganisation zu verwandeln. Gleichzeitig haben sich die Mitarbeiter über die vielen Jahre des inner- und überbetrieblichen Kooperierens von einer Gruppe ausgezeichneter Individualisten zu einem Spitzenteam entwickelt, dessen soziale, vor allem Kooperationskompetenz den eigentlichen nicht kopierbaren Wettbewerbsvorteil von Freek ausmacht [1].

4 Weitere Entwicklungsperspektive

Mit gut 20 Prozent Umsatzrückgang und ohne Entlassungen ist Freek respektabel durch das Krisenjahr 2009 gekommen. Dabei weist die Entwicklung inzwischen wieder eindeutig nach oben. Nachdem schon das zweite Halbjahr 2009 auf ein Ende der Krise hindeutete und der Dezemberumsatz erstmals wieder über Vorjahr lag, tragen aktuell vor allem neue Kennzahlen zur positiven Stimmung im Unternehmen bei. So ist es gegen den Trend gelungen, die Anzahl aktiver Kunden gegenüber 2008 um 6 Prozent zu steigern. Damit ist das Unternehmen, das mit seinen Top10-Kunden lediglich 50 Prozent des Umsatzes erzielt, für die Zukunft noch robuster aufgestellt.

Auch die regelmäßig ermittelten Qualitäts- und Servicekennzahlen bewegen sich weiter in den angestrebten Zielkorridoren. Erfreulich ist auch festzuhalten, dass das durchschnittliche Preisniveau, insbesondere für die innovativen HotMicroCoil-Heizelemente, verteidigt werden konnte. Dies ist Ausdruck der hohen Wertschätzung von Freek-Heizelementen, nicht zuletzt bedingt durch eine kontinuierliche Innovationstätigkeit, die sich in konkretem Kundenzusatznutzen niederschlägt.

Im Krisenjahr 2009 hat Freek zusammen mit seinen Kooperationspartnern besonders viel Zeit in die Entwicklung neuer und weiter verbesserter Produkte investiert. Hierdurch ergeben sich vor allem im Bereich der innovativen HotMicroCoil-Heizelemente viele neue Marktchancen. Aber auch für die einfachen Standard-Heizelemente stehen die Zeichen auf Erholung. Hier entwickelt Freek das in LEAN gestaltete Lowtech-Geschäftsmodell in dem noch bis Mitte 2011 laufenden Forschungsprojekt Low2High strategisch weiter (Abb. 4). Treibende Kraft ist dabei die in LEAN gewonnene Erkenntnis, dass es vor allem anspruchsvolle Hersteller von Hightech-Anwendungen sind, die die unvermeidlichen Verluste in Lowtech-Märkten wie der Haushaltsgeräteindustrie kompensieren helfen. Die in LEAN entdeckten Nischenanwendungen für Lowtech-Standardheizelemente zeigen, dass hier ein großes Potential verborgen liegt. So sind Hightech-Hersteller durchaus sehr interessiert daran, durch die Verwendung einfacher Standardkomponenten ihre eigenen Hightech-Produkte wirtschaftlicher herzustellen.

Um als Lowtech-Zulieferer für Hightech-Kunden attraktiv zu sein, muss die eigene Organisation zu der von Hightech-Unternehmen passen. Dabei gilt es, Schnittstellen zu gestalten, Geschäftsprozesse zu modellieren und Mitarbeiter zu qualifizieren. Dadurch, dass Lowtech-Produkte zukünftig mit hightech-tauglicher Organisation und von hightech-verständigen Mitarbeitern angeboten werden können, richtet sich Freek auch für seine einfachen Standardheizelemente auf einen nächsten Wachstumszyklus ein.

Mit Mitarbeitern, die wie eigene Unternehmer im Unternehmen arbeiten [1] und Geschäftsführern, die Zeit haben für strategische Unternehmensentwicklung, Organisations- und Personalentwicklung sowie operative Projektarbeit und, last but not least, mit gerade eben fertig gestellter Expansionsfläche freut sich Freek auf die Zukunft und den Wandel, den sie bringen mag.

Literatur:

- [1] Kaiser, S: Mitarbeiter, die wie eigene Unternehmer im Unternehmen arbeiten. In: Deutsches IE-Jahrbuch 2008: Wandlungsfähige Produktionssysteme – Best-Practice-Unternehmen haben das Wort; REFA Bundesverband e.V.; Darmstadt; 2008
- [2] Abel J.; Kaiser, S.: Erfolg mit einfachen Standardprodukten. In: VDI-Z, Jg. 149 (3) 2007, S.76-78
- [3] Katzensteiner, T.: Die beste Kooperation 2003 – Größere Projekte, neue Produkte, mehr Gewinn: Wie Mittelständler mit Kooperationen erfolgreich der Krise trotzen. In: Wirtschaftswoche, Nr. 44, 23.10.2003, S. 92-95
- [4] Reich, I.: Milestones - Preisträger Turnaround Mittelstand: Friedr. Freek, Menden. In: Handelsblatt, Montag, 25.02.2002, S. T11
- [5] Kaiser, S; Kaiser, W. (Hrsg.): Chance Kooperation: ein Leitfaden für kleine und mittlere Unternehmen; LOG_X Verlag; Stuttgart; 2000
- [6] Bantle, F; Pröbstl, B.; Schuble, J. (Hrsg.): TOP 100 – Hundert innovative Unternehmen schaffen Perspektiven für Nordrhein-Westfalen; Schlaumeier Medien GmbH; Stuttgart; 1999, S. 62-63

Marktorientierte Unternehmensentwicklung

Frank Ziegler

NEUGART GmbH, Kippenheim

Zusammenfassung

Mit dem Vortrag „Marktorientierte Unternehmensentwicklung“ soll die konsequente Umstrukturierung eines mittelständischen Familienunternehmens vom klassischen Industriebetrieb hin zu einer „schlanken Fabrik“ dargestellt werden.

Dabei wird sowohl die Phase der strategischen Vorbereitung als auch die operative Umsetzung berücksichtigt. Radikale Veränderungen, insbesondere im direkten Arbeitsumfeld der Mitarbeiter, bedürfen einer sehr sensiblen Vorgehensweise hinsichtlich ihrer Implementierung. Dennoch können Modifikationen des ursprünglich geplanten Konzeptes nur bedingt zugelassen werden, um die gewünschte Zielerreichung nicht in Frage zu stellen.

Gleichermaßen sollen Prozessstabilität, Innovationsgeschwindigkeit und Leistungsfähigkeit des Unternehmens zu keinem Zeitpunkt durch die Umstrukturierung beeinträchtigt werden. Eine anspruchsvolle Aufgabenstellung, welche eine Kombination von internen Spezialisten mit externen Betreuern als äußerst sinnvoll erscheinen lässt.

In der Kürze der zur Verfügung stehenden Zeit möchte dieser Vortrag einen Einblick in die gewählte Vorgehensweise und die dabei gemachten Erfahrungen geben.

1. Vorstellung des Unternehmens

Die NEUGART GmbH ist ein, in der dritten Generation befindliches, Familienunternehmen gegründet 1928 in Furtwangen, Schwarzwald. Im Zuge der Unternehmensverlagerung nach Kippenheim ergab sich aufgrund der räumlichen Nähe zu einem namhaften Hersteller von Schritt- und Servomotoren schon sehr früh ein gemeinsames Betätigungsfeld in der Entwicklung, Fertigung und Montage von Planetengetrieben.

Nach jahrzehntelanger erfolgreicher Unternehmensaktivitäten als klassischer Hersteller kundenspezifischer Verzahnungen, erfolgte 1989 die Markteinführung einer eigenen Planetengetriebeserie, die durchaus als Initialzündung für eine erfolgreiche Weiterentwicklung des Unternehmens bezeichnet werden darf. Neben dem Aufbau eigener Ressourcen im Bereich Forschung und Entwicklung, Vertrieb und Service sowie der Verstärkung der weltweiten Präsenz, hat das Unternehmen stets den Charakter einer familien- und inhabergeführten Firma bewahrt, was sich in einer sehr nachhaltigen und verantwortungsvollen Unternehmenspolitik und auch der Kultur des Zusammenarbeitens widerspiegelt.

Mittlerweile genießt NEUGART internationales Ansehen und hat sich einen Namen als innovativer, zuverlässiger und leistungsstarker Partner im Bereich der Antriebstechnik erarbeitet.



Abb. 1: Firmensitz in Kippenheim (Quelle: NEUGART GmbH)

2. Schritte der Unternehmensentwicklung

2.1 Die Ausgangssituation

Geprägt von einem permanent steigenden Wachstum in Verbindung mit dem konsequenten Ausbau der Standardgetriebeserien hat sich einerseits eine sprunghaft ansteigende Anzahl an Varianten ergeben und andererseits, der Gesetzmäßigkeit steigender Verbräuche folgend, eine stetige Erhöhung der Fertigungslosgrößen eingestellt.

Der Versuch dieser Entwicklung mit klassischen Dispositionsverfahren und traditioneller Ablauforganisation gerecht zu werden, ergibt zwangsläufig hohe Umlauf- und Lagerbestände sowie lange Durchlaufzeiten in der Produktion.

Gepaart mit einem komplexen Steuerungsaufwand und wechselnden Kapazitätsengpässen führt dieser Zustand folgerichtig zu einer unbefriedigenden Liefertreue und damit zur Nichterfüllung der Marktanforderungen.



Abb. 2: Bestände vor der Umstrukturierung (Quelle: NEUGART GmbH)

2.2 Strategische Ausrichtung

Die Erfüllung von Kundenanforderungen ist hingegen elementarer Bestandteil der Daseinsberechtigung eines wirtschaftlich agierenden Unternehmens. Die gemeinsame Erarbeitung einer Unternehmensvision mit konsequenter Festlegung der Meilensteine zur Erreichung dieser Vision erscheint daher äußerst sinnvoll.

Bei NEUGART hat dies zu der klaren Entscheidung geführt, die zwei strategischen Geschäftsbereiche des Unternehmens unter jeweils sehr spezifisch definierten Rahmenbedingungen zu entwickeln.

Die Effizienz und Leistungsfähigkeit der entsprechend autonomen Werke konnten hierdurch entscheidend gesteigert werden, während sich die durchaus unterschiedlichen Entwicklungsmöglichkeiten der jeweiligen Einheiten sehr eng an den Bedürfnissen des jeweiligen Zielmarktes orientieren.

2.3 Wahl des richtigen Partners

Werden gewachsene Strukturen und fest etablierte Prozesse aufgebrochen, neu geordnet und kontinuierlich optimiert, so beinhaltet ein derartig revolutionärer Schritt stets Chance und Risiko zugleich. Ein Unternehmen tut gut daran, die Chancen dieser Veränderung möglichst zu maximieren und die entsprechenden Risiken zu minimieren. Eine wertvolle Hilfe kann dabei die Begleitung durch ein professionelles Expertenteam sein, das reiche Erfahrungen in derartigen Umgestaltungen mit sich bringt. Dabei muss klar definiert sein, wie stark der aktive Anteil des externen Partners gewichtet werden soll. Dies richtet sich in aller Regel auch nach den internen Ressourcen und dem Grad der Identifikation mit der geplanten Veränderung. Die jeweiligen Elemente des entsprechenden Zielsystems sind jedoch stets unternehmens- und produktspezifisch zu definieren und daher kaum delegierbar.

2.4 Vorbereitung der Mitarbeiter

Eine Vielzahl von Menschen tritt Veränderungen prinzipiell distanziert gegenüber. Diese Erkenntnis trifft durchaus auch auf ein Industrieunternehmen zu. Werden hierbei gar Ängste und Vorbehalte erzeugt, so besteht latent die Gefahr Identifikation, Motivation und Leistung der Mitarbeiter(innen) negativ zu beeinflussen. Es können verschiedenste Wege zur Vermeidung dieser Gefahr beschritten werden, wobei die psychologische Komponente in keinem Falle unterschätzt werden darf.



Abb. 3: Vorbereitung durch Planspiel (Quelle: NEUGART GmbH)

2.5 Operative Planung und Umsetzung

Hierbei handelt es sich zweifelsohne um den spannendsten, arbeitsintensivsten, sichtbarsten und folgenschwersten Schritt der Unternehmensentwicklung. Dementsprechend fundiert und detailliert sollten die einzelnen Maßnahmen vorbereitet sowie konsequent implementiert werden.

Als sehr probates Werkzeug hat sich hierbei das Wertstromdesign erwiesen. Von der Analyse des „Ist-Zustandes“ gelangt man dabei zu der idealen Form des zukünftig angestrebten Zustandes. Der prinzipielle Materialfluss, das Fertigungslayout, Art und Umfang der Läger lassen sich daraus ableiten.

Die Reorganisation und Verlagerung von Betriebsmitteln in großem Umfang und während des laufenden Betriebes stellen eine Herausforderung der besonderen Art dar. Zur größtmöglichen Minimierung von Produktionsausfällen und der Vermeidung kostspieliger Korrekturmaßnahmen ist der Einsatz eines bewährten Projektmanagements unerlässlich.

Weitaus weniger planbar und vielmehr Anspruch an die Führung ist hingegen die Einbindung der Mitarbeiter(innen) und die Implementierung neuer Prozessabläufe. Das Prinzip der Tayloristischen Arbeitsteilung ist kontraproduktiv in einem System, welches gestalterische Eigeninitiative der Prozessbeteiligten und kundenorientierte Abläufe anstrebt.

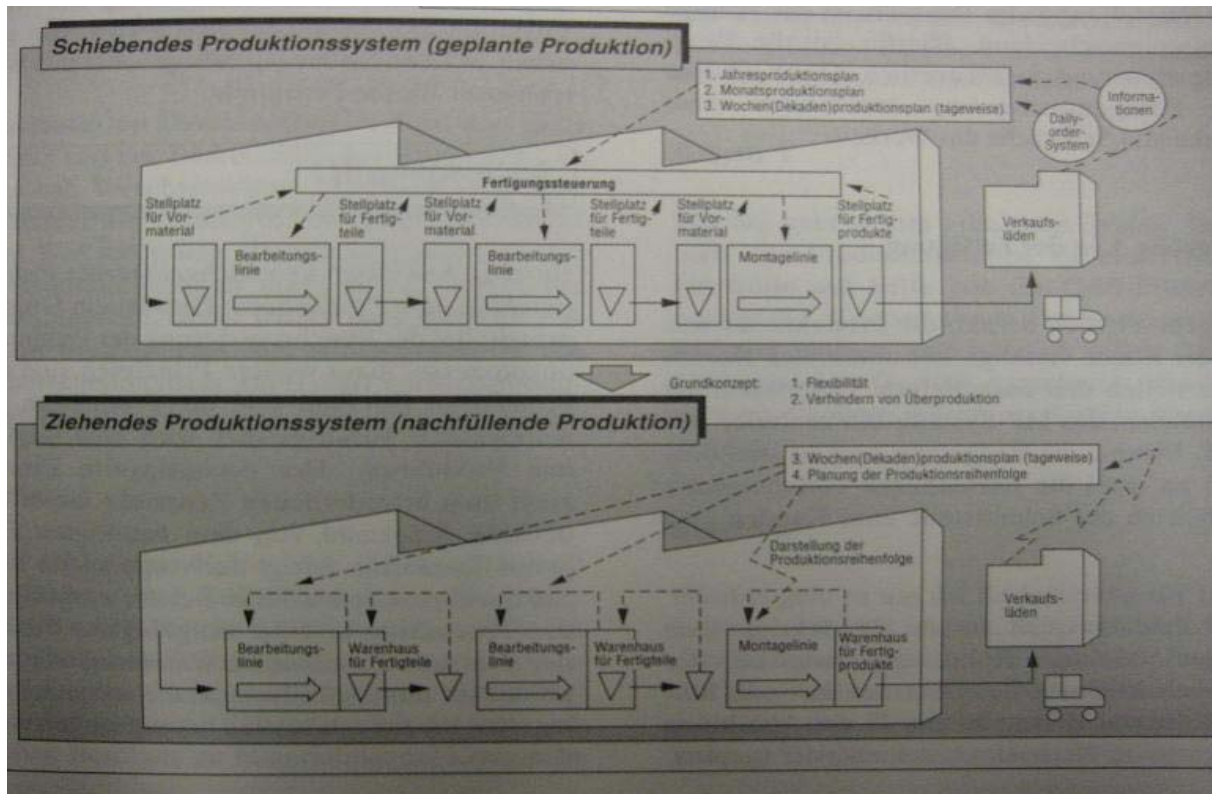


Abb. 4: Schematische Darstellung „Push – Pull“ (Quelle: Takeda – Das synchrone Produktionssystem)

2.6 Sicherung des Standards und ständige Optimierung

Einen sehr effektiven und vielfach bewährten Prozessablauf zu definieren und ihn durch Dokumentation und Publikation zum Standard zu erheben, erscheint relativ einfach. Diesen Standard hingegen in der täglichen Praxis des Industriebetriebes aufrechtzuerhalten, bedarf der ständigen Anstrengung und gestaltet sich zuweilen sehr schwierig. Die Erfahrung zeigt, dass zumindest in der Phase der Konsolidierung des soeben erreichten Neuzustandes eine permanente Absicherung unerlässlich ist. Als sinnvoll haben sich hierbei eine hohe Transparenz der standardisierten Prozesse, große Identifikationsfähigkeit der Prozessbeteiligten sowie ein etabliertes System der gegenseitigen Selbstkontrolle erwiesen. In Verbindung mit einem flächendeckenden Schulungs- und Weiterbildungssystem wird so die Grundlage für eine kontinuierliche und anhaltende Verbesserung aller betrieblichen Prozesse gebildet.



Abb. 5: „Vor-Ort-Schulung“ der Prozessabläufe (Quelle: NEUGART GmbH)

3. Fazit

Der von NEUGART beschrittene Weg der Unternehmensentwicklung ist sicherlich keine einzigartige „Erfolgsstory“, sondern darf vielmehr als eine fast schon evolutionär verlaufende Anpassung an die veränderten Erfordernisse eines hart umkämpften Marktes bezeichnet werden. Was einst als Vision in kleinem Kreise geboren wurde, hat innerhalb kurzer Zeit nicht nur konkrete Gestalt in Form eines neuen Werkes mit sehr schlanken und effizienten Prozessen sowie marktgerechten Lieferzeiten angenommen. Ein äußerst wertvoller Aspekt ist darüber hinaus auch das hierbei entstandene Selbstverständnis der Menschen, die diese neuen Prozesse leben und gestalten. Dieses Selbstverständnis und der Stolz über das gemeinsam Geleistete verleiht uns ein Gefühl der Zusammengehörigkeit und der Stärke und gibt uns Zuversicht für die bevorstehenden Aufgaben.

Ressourcen, Innovation, Zukunft: ein doppelter Faktor 10 als Schlüssel

Prof. Dr. Dr. F. J. Radermacher

Forschungsinstitut für anwendungsorientierte Wissensverarbeitung/n (FAW/n),
Universität Ulm

Spätestens seit der Konferenz für Umwelt und Entwicklung 1992 in Rio ist es allgemeiner Konsens, dass nachhaltige Entwicklung eine globale Herausforderung ist und ein Abkommen zwischen Nord und Süd erfordert. Die Durchsetzung strikter Regeln zum Schutz der Umwelt und Vereinbarungen über weltweite Entwicklungsprozesse, Überwindung von Armut und Herbeiführung weltweiter Gerechtigkeitsanliegen sollen hierbei miteinander verbunden werden. Von diesen Zielen sind wir im Rahmen der aktuellen Globalisierungsprozesse eher weiter entfernt als damals. Die positiven Aspekte der heutigen Globalisierungsprozesse sind zu teuer erkaufte worden, nämlich sowohl mit einer zunehmenden sozialen Spaltung in Nord und Süd als auch mit einem drohenden weltweiten ökologischen Desaster. Hinzu kommt die aktuelle Weltfinanz- und Weltwirtschaftskrise.

Im Rahmen eines alternativen Ansatzes wird aufgezeigt, dass in Form eines 10:4:34-Konzepts (Zukunftsformel) der technische Fortschritt (doppelter Faktor 10) in Verbindung mit geeigneten, Markt-basierenden, asymmetrischen Wachstumsprozessen in Nord und Süd (4:34-Konzept) eine neue Perspektive für Zukunftsfähigkeit eröffnet. Dabei liefern Überlegungen zum sozialen Ausgleich, aufbauend auf einer neuen mathematischen Equity-Theorie, den Schlüssel zu einem besseren weltweiten ökonomischen Design. Hierfür stellen die Erweiterungsprozesse der EU wesentliche Orientierungspunkte dar.

Referenten und Moderatoren

Prof. Dr. Eberhard Abele, Institut für Produktionsmanagement, Technologie und Werkzeugmaschinen (PTW), TU Darmstadt
Plenarvortrag

Prof. Dr. Michael Abramovici, Institut für Maschinenbauinformatik, Ruhr-Universität Bochum
Forum IV: Entwicklungstrends in der Produktentstehung

Prof. Dr. Albert Albers, IPEK - Institut für Produktentwicklung, Karlsruher Institut für Technologie (KIT)
Forum IV: Entwicklungstrends in der Produktentstehung

Dr. Klaus Baier, Kugler GmbH
Forum III: Der innovative Mittelstand – Problemlöser im globalen Umfeld, Sitzung 1: KMU-innovativ – Produktionsforschung in kleinen und mittleren Unternehmen

Andreas Bauer, Scansonic MI GmbH
Forum III: Der innovative Mittelstand – Problemlöser im globalen Umfeld, Sitzung 1: KMU-innovativ – Produktionsforschung in kleinen und mittleren Unternehmen

Dr. Heinz Böhler, AGCO GmbH
Forum I: Produkte von morgen entwickeln, Sitzung 1: Produktentwicklung – Engineeringprozesse gestalten

Prof. Dr. Christian Brecher, Werkzeugmaschinenlabor der RWTH Aachen
Forum V: Produktionstechnik und -ausrüstung der Zukunft

Tobias Brosze, FIR – Forschungsinstitut für Rationalisierung e.V. an der RWTH Aachen
Forum III: Der innovative Mittelstand – Problemlöser im globalen Umfeld, Sitzung 2: Zukunftsweisende internationale Kooperationen

Prof. Dr. Hans-Jörg Bullinger, Fraunhofer-Gesellschaft
Plenarveranstaltung: Festvortrag

Michael Dahme, Hirschvogel Automotive Group
Forum V: Produktionstechnik und -ausrüstung der Zukunft

Prof. Dr. Jochen Deuse, Lehrstuhl für Arbeits- und Produktionssysteme, TU Dortmund
Forum I: Produkte von morgen entwickeln, Sitzung 1: Produktentwicklung – Engineeringprozesse gestalten

Ulrich Doll, Homag Holzbearbeitungssysteme AG
Forum I: Produkte von morgen entwickeln, Sitzung 2: Innovationen gegen Produktpiraterie – entwickeln, sichern und schützen

Dr. André Flöter, GFD Gesellschaft für Diamantprodukte mbH
Forum III: Der innovative Mittelstand – Problemlöser im globalen Umfeld, Sitzung 1: KMU-innovativ – Produktionsforschung in kleinen und mittleren Unternehmen

Prof. Dr. Hans-Joachim Franke, Institut für Konstruktionstechnik, TU Braunschweig
Forum I: Produkte von morgen entwickeln, Sitzung 1: Produktentwicklung – Engineeringprozesse gestalten

Sabine Gaschütz, freie Journalistin
Plenarveranstaltung

Rainer Glatz, VDMA - Verband Deutscher Maschinen- und Anlagenbau e. V.

Forum I: Produkte von morgen entwickeln, Sitzung 2: Innovationen gegen Produktpiraterie – entwickeln, sichern und schützen

Thomas Günther, Robert Seuffer GmbH & Co. KG

Forum I: Produkte von morgen entwickeln, Sitzung 1: Produktentwicklung – Engineeringprozesse gestalten

Dr. Gunther Grein, INTENSIO Software und Consulting GmbH

Forum I: Produkte von morgen entwickeln, Sitzung 1: Produktentwicklung – Engineeringprozesse gestalten

Ralf Greiner-Jacob, Siemens AG

Forum III: Der innovative Mittelstand – Problemlöser im globalen Umfeld, Sitzung 2: Zukunftsweisende internationale Kooperationen

Prof. Dr. Peter Groche, Institut für Produktionstechnik und Umformmaschinen – PTU, TU Darmstadt

Forum V: Produktionstechnik und -ausrüstung der Zukunft

Dr. Gerhard Hammann, TRUMPF Werkzeugmaschinen GmbH & Co. KG

Forum V: Produktionstechnik und -ausrüstung der Zukunft

Dr. Christoph Herrmann, Institut für Werkzeugmaschinen und Fertigungstechnik, TU Braunschweig

Forum II: Ressourceneffiziente Produktion wird Realität, Sitzung 1: Ressourceneffizienz durch innovative Technologien und Anlagen

Prof. Dr. Hartmut Hirsch-Kreinsen, Lehrstuhl für Wirtschafts- und Industriesoziologie, TU Dortmund

Forum VI: Unternehmensentwicklung – zukünftige organisatorische und personelle Herausforderungen

Dr. Claus-Rupert Hohenthanner, Li-Tec Battery GmbH

Forum II: Ressourceneffiziente Produktion wird Realität, Sitzung 1: Ressourceneffizienz durch innovative Technologien und Anlagen

Dr. Günter Jordan, A.T. Kearney GmbH

Plenarveranstaltung: Impulsvortrag

Stefan Kaiser, Friedrich Freck GmbH

Forum VI: Unternehmensentwicklung – zukünftige organisatorische und personelle Herausforderungen

Sébastien Kicin, CAS Software AG

Forum III: Der innovative Mittelstand – Problemlöser im globalen Umfeld, Sitzung 2: Zukunftsweisende internationale Kooperationen

Prof. Dr. Herbert Kohler, Daimler AG

Plenarveranstaltung: Festvortrag

Dr. Patrick Kölzer, AFPT GmbH

Forum III – Der innovative Mittelstand – Problemlöser im globalen Umfeld, Sitzung 1 – KMU-innovativ – Produktionsforschung in kleinen und mittleren Unternehmen

Oliver Köster, Heinz Nixdorf Institut, Universität Paderborn

Forum I: Produkte von morgen entwickeln, Sitzung 2: Innovationen gegen Produktpiraterie – entwickeln, sichern und schützen

Philipp Kühbauch, Küma Werkzeugmaschinen GmbH

Forum III: Der innovative Mittelstand – Problemlöser im globalen Umfeld, Sitzung 1: KMU-innovativ – Produktionsforschung in kleinen und mittleren Unternehmen

Dirk Kunert, novero GmbH

Forum I: Produkte von morgen entwickeln, Sitzung 2: Innovationen gegen Produktpiraterie – entwickeln, sichern und schützen

Dr. Bastian Maier, Grindaix GmbH

Forum II: Ressourceneffiziente Produktion wird Realität, Sitzung 2: Gezielte Erzeugung von Produkteigenschaften mit effizienten Technologien

Dr. André Mecklenburg, Evonik Litarion GmbH

Forum II: Ressourceneffiziente Produktion wird Realität, Sitzung 1: Ressourceneffizienz durch innovative Technologien und Anlagen

Klaus Meissner, Terex Demag GmbH

Forum I: Produkte von morgen entwickeln, Sitzung 2: Innovationen gegen Produktpiraterie – entwickeln, sichern und schützen

Dr. Volker H. Meywald, Dr.-Ing. Meywald GmbH & Co. KG

Forum II: Ressourceneffiziente Produktion wird Realität, Sitzung 2: Gezielte Erzeugung von Produkteigenschaften mit effizienten Technologien

Prof. Dr. Reimund Neugebauer, Fraunhofer-Institut für Werkzeugmaschinen und Umformtechnik IWU

Forum II: Ressourceneffiziente Produktion wird Realität, Sitzung 1: Ressourceneffizienz durch innovative Technologien und Anlagen

Jürgen Niehues, KS Kolbenschmidt GmbH

Forum II: Ressourceneffiziente Produktion wird Realität, Sitzung 2: Gezielte Erzeugung von Produkteigenschaften mit effizienten Technologien

Prof. Dr. Vasily Ploshikhin, Neue Materialien Bayreuth GmbH

Forum II: Ressourceneffiziente Produktion wird Realität, Sitzung 2: Gezielte Erzeugung von Produkteigenschaften mit effizienten Technologien

Prof. Dr. Franz-Josef Radermacher, Forschungsinstitut für anwendungsorientierte Wissensverarbeitung/n (FAW/n), Universität Ulm

Abschlussplenum: Impulsvortrag

Dr. Claudia Rainfurth, VDMA-FKM e.V.

Forum II: Ressourceneffiziente Produktion wird Realität, Sitzung 1: Ressourceneffizienz durch innovative Technologien und Anlagen

Dr. Eberhard Rauschnabel, IFUTEK Ingenieurbüro für Umformtechnik GmbH

Forum III: Der innovative Mittelstand – Problemlöser im globalen Umfeld, Sitzung 1: KMU-innovativ – Produktionsforschung in kleinen und mittleren Unternehmen

MinR Hermann Riehl, Bundesministerium für Bildung und Forschung

Abschlussplenum: Schlusswort

Dr. Uwe Rondé, Franz Kessler GmbH

Forum II: Ressourceneffiziente Produktion wird Realität, Sitzung 1: Ressourceneffizienz durch innovative Technologien und Anlagen

Bernd Schmittgall, Sauter Elektrotechnik GmbH & Co. KG

Forum III: Der innovative Mittelstand – Problemlöser im globalen Umfeld, Sitzung 1: KMU-innovativ – Produktionsforschung in kleinen und mittleren Unternehmen

Dr. Joachim Schulz, Aesculap AG

Plenarvortrag

Dr. Georg Schütte, Bundesministerium für Bildung und Forschung

Plenarveranstaltung: Eröffnung

Prof. Dr. Dieter Spath, Fraunhofer-Institut für Arbeitswirtschaft und Organisation IAO, Institut für Arbeitswissenschaft und Technologiemanagement IAT, Universität Stuttgart

Forum VI: Unternehmensentwicklung – zukünftige organisatorische und personelle Herausforderungen

Dirk Spindler, Schaeffler Technologies GmbH & Co. KG
Forum IV: Entwicklungstrends in der Produktentstehung

Jan Stahl, Gigatronik München GmbH
Forum I: Produkte von morgen entwickeln, Sitzung 1: Produktentwicklung – Engineeringprozesse gestalten

Dr. Frank Thielemann, Smart Mechatronics GmbH
Forum IV: Entwicklungstrends in der Produktentstehung

Prof. Dr. Thomas Ummenhofer, Versuchsanstalt für Stahl, Holz und Steine, Karlsruher Institut für Technologie (KIT)
Forum III: Der innovative Mittelstand – Problemlöser im globalen Umfeld, Sitzung 2: Zukunftsweisende internationale Kooperationen

Prof. Dr. Joachim Warschat, Fraunhofer-Institut für Arbeitswirtschaft und Organisation IAO
Forum III: Der innovative Mittelstand – Problemlöser im globalen Umfeld, Sitzung 2: Zukunftsweisende internationale Kooperationen

Prof. Dr. Gerd Witt, IPE Institut für Produkt Engineering, Universität Duisburg-Essen
Forum II: Ressourceneffiziente Produktion wird Realität, Sitzung 2: Gezielte Erzeugung von Produkteigenschaften mit effizienten Technologien

Dr. Manfred Wittenstein, VDMA – Verband Deutscher Maschinen- und Anlagenbau e.V.
Plenarveranstaltung: Eröffnung

Frank Ziegler, Neugart GmbH
Forum VI: Unternehmensentwicklung – zukünftige organisatorische und personelle Herausforderungen



Bundesministerium
für Bildung
und Forschung

KIT-PTKA-PFT 1
ISSN 1869-9006