PTK 2010

XIII. INTERNATIONALES PRODUKTIONSTECHNISCHES KOLLOQUIUM

Produktionstechnik • Motor aus der Krise

Berlin, 4.–5. Oktober 2010

Vorträge *Proceedings*



Eine Veranstaltung des

Fraunhofer IPK

INSTITUT
PRODUKTIONSANLAGEN UND
KONSTRUKTIONSTECHNIK

in Kooperation mit

INSTITUT
WERKZEUGMASCHINEN UND FABRIKBETRIEB
TECHNISCHE UNIVERSITÄT BERLIN

e.V.

FREUNDE DES
INSTITUTS FÜR WERKZEUGMASCHINEN
UND FABRIKBETRIEB

VDI Bezirksverein
Berlin-Brandenburg e.V.

TSB INNOVATIONSAGENTUR BERLIN

gesponsert von

CONTACT Software GmbH

SIEMENS

VOLKSWAGEN
AKTIENGESELLSCHAFT

DASSAULT SYSTEMES

EXAPT

inpro

Jonas & Redmann
The Automation Company

PTK 2010

XIII. INTERNATIONALES PRODUKTIONSTECHNISCHES KOLLOQUIUM

Produktionstechnik • Motor aus der Krise

Vorträge *Proceedings*

Berlin, 4.–5. Oktober 2010

Vorwort

Als rohstoffarme Region mit hoher technologischer Kompetenz bieten sich für Europa, Deutschland und Berlin-Brandenburg besondere Chancen, eigene Kompetenzen in innovativen Produkten und Produktionsprozessen zu erschließen. Das Produktionstechnische Kolloquium (PTK 2010) versteht sich als Treffpunkt von Akteuren mit regionalen, europaweiten und globalen Verbindungen, die die Chancen innovativer Technologien in der globalisierten Welt im intelligenten Wechselspiel der Märkte wahrnehmen wollen.

Das PTK 2010 hat sich zum Ziel gesetzt, als kompetentes Forum die Chancen innovativer Technologien zu identifizieren und unternehmerische Handlungsperspektiven zu erschließen. Dabei sollen die Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten von IWF der TU Berlin und Fraunhofer IPK im Produktionstechnischen Zentrum in ihrer Nutzbarkeit für unterschiedliche Branchen als Katalysatoren dienen, um neue Geschäftsfelder und Arbeitsplätze entstehen zu lassen.

Wir freuen uns darauf, mit Ihnen zu diskutieren, wie Prozess- und Technologieinnovationen zur Sicherung von Wettbewerbsvorteilen auf den wiedererstarkenden Weltmärkten beitragen können.

Prof. Marion Esch
Prof. Roland Jochem
Prof. Erwin Keeve
Prof. Jörg Krüger
Prof. Kai Mertins
Prof. Michael Rethmeier
Prof. Martina Schraudner
Prof. Günther Seliger
Prof. Rainer Stark
Prof. Heinz Sturm
Prof. Eckart Uhlmann
Prof. Johannes Wilden

Inhalt

Plenarveranstaltung »Produktionstechnik: Motor aus der Krise«

Senator Harald Wolf
Bürgermeister und Senator für Wirtschaft, Technologie und Frauen, Senat von Berlin
Wissensbasierte Reindustrialisierung – das Beispiel Berlin **13**

Prof. Siegfried Russwurm
Mitglied des Vorstands der Siemens AG und CEO Industry Sector, Siemens AG
Nachhaltig Wert und Wachstum schaffen – Globale Trends der Elektroindustrie **17**

Heribert Wille
Senior Vice President, Heidelberger Druckmaschinen AG
Innovationsmanagement in der Produktion – ein wesentlicher Faktor zur Generierung von Wettbewerbsvorteilen **33**

Prof. Werner Neubauer
Markenvorstand Geschäftsbereich Komponente, Volkswagen AG
Trends in der Automobilindustrie **53**

Prof. Eckart Uhlmann
Fraunhofer IPK, IWF TU Berlin
Schrittmachertechnologien für eine nachhaltige Produktion **63**

Seminar I – Vernetzte Fabrik zwischen Vision und Realität

Prof. Rainer Stark, Marcus Kim, Uwe Rothenburg
Fraunhofer IPK, IWF TU Berlin
Vom virtuellen Produkt zur digitalen Fabrik: Potentiale und Herausforderungen **87**

Dr. Ulrich Roßgoderer
Direktor Produktmanagement – Manufacturing Planning Solutions, Siemens Industry Sector
Globaler Produktivitätsgewinn in Planung und Ausführung mit der Digitalen Fabrik **99**

Dr. Thomas Bär, Karl-Josef Wack
Group Research & Advanced Engineering, Daimler AG
Möglichkeiten und Grenzen einer digitalen Absicherung des Produktionsanlaufs in der Automobilindustrie – Mit weniger Prototypen zum marktfähigen Produkt **113**

Dr. Christoph Zschocke
Geschäftsführer, Ökotec Management GmbH

Martin Hahm
Leiter Facility Management, Werke Leipzig, BMW AG

Verbindung von Energieeffizenz und Energiebezug in produzierenden Unternehmen **121**

Prof. Jörg Krüger, Gerhard Schreck
Geschäftsfeld Automatisierungstechnik, Fraunhofer IPK
Energieeffizienzcontrolling in vernetzten Fabriken 139

Jörg Lüdorf
Geschäftsführer B2B Vertrieb, EnBw Vertriebs- und Servicegesellschaft mbH
Zukunft der elektrischen Energieversorgung für die vernetzte Produktion 151

Seminar II – Technologieorientierte Fabrikgestaltung

Gerhard Edinger
Leiter Fertigung, Converteam GmbH
Kundenorientierte Investitionsgüterfabrik mit Fließfertigung 163

Harald Kujat
General. a. D., Generalinspekteur der Bundeswehr a.D.
Die Lageberichtserstattung als Vorbild für ein Managementcockpit 173

Dr. Stephan Rehbehn
Leiter Projektmanagement, Jonas & Redmann GmbH
Sondermaschinenbau »Made in Berlin« – innovative Automatisierungsanlagen der Jonas & Redmann Group 181

Dr. Hansjörg Maier
Projektleiter Reengineering, Dr. Ing. h.c. F. Porsche. AG, Weissach
Optimierung der Kostenentstehung und Kostenfestlegung in der frühen Phase des Produktlebenszyklus 183

Prof. Roland Jochem
IWF TU Berlin, Fraunhofer IPK

Michael Giebel
Universität Kassel, Fachgebiet Qualitätsmanagement
Qualitätsmanagement als Wachstumsmotor – Wertschöpfung durch Qualitätsmanagement 191

Seminar III – Schrittmacher-Technologien in der Fertigung

Martin Kapp
Geschäftsführender Gesellschafter der Kapp-Gruppe und Vorsitzender des VDW e.V.
Hartfeinbearbeitete Antriebskomponenten zur Steigerung der Energieeffizienz in Antrieben 213

Thomas Beck, Andreas Fischer-Ludwig
Siemens Energy, Fossil Power Generation, Gasturbinenwerk Berlin
Innovative Produktionsstrategien in der Turbinenfertigung 229

Dr. Udo E. Wunsch
Head of International Production,Voith Hydro Holding GmbH & Co. KG
Intelligente Prozeßketten für die qualitätssichere Fertigung komplexer Hydroturbinenkomponenten 237

Klaus Löffler
Leitung Branchenmanagement, TRUMPF Laser- und Systemtechnik GmbH
Entwicklungstrends der Laser- und Systemtechnik **251**

Prof. Johannes Wilden
IWF TU Berlin
Synergie von Werkstoff- und Prozesstechnik als Schlüssel für neue Produktionstechnologien **267**

Dr. Dr. Klaus-Rainer Schulze
Projektleitung und Vertrieb, Schulze-Consulting – Elektronenstrahl-Beratung für Anwender
Elektronenstrahltechnik zum Schweißen, Härten, Bohren –
Innovationen in der Produktion heute und morgen **291**

Markus Röhner
Fraunhofer IPK
Innovative Fertigungstechnologien für den MRO-Prozess **331**

Prof. Gerd Witt, Dr. Jan T. Sehrt, Andreas Wegner
Lehrstuhl für Fertigungstechnik, Universität Duisburg-Essen
Rapid Technologien – auf dem Weg zur Serienfertigung? **349**

Seminar IV – Intellektuelles Kapital als Innovationstreiber

Jan Mach
Geschäftsführender Gesellschafter, Schotte Automotive GmbH & Co.KG
Die Wissensbilanz, strategische Unternehmensentwicklung im Mittelstand **365**

Friedhelm Holzapfel
Personalleiter, EnBW Regional AG
Intellektuelles Kapital als Innovationstreiber – Wissensbilanz bei der EnBW **379**

Wolfgang Beyers
Geschäftsführer Helmut Beyers GmbH
Auf Dauer besser! – Wissensbilanz als Chance für den Mittelstand **393**

Kai-Uwe Weil
Geschäftsführer ConVoi GmbH
Wissensbilanz im Rating- und Finanzierungsprozess bei Banken **401**

Prof. Kai Mertins
Fraunhofer IPK
Innovationsimpulse durch Nutzung des Intellektuellen Kapitals **411**

Prof. Martina Schraudner, Anna Froese
IWF TU Berlin
Impulsvortrag für das Knowledge Café »Innovationsimpulse durch Genderpolitik und
Wissensmanagement: immaterielles Vermögen richtig einsetzen« **429**

Plenarveranstaltung

»Produktionstechnik: Motor aus der Krise«

Senator Harald Wolf
Bürgermeister und Senator für Wirtschaft, Technologie und Frauen, Senat von Berlin

Wissensbasierte Reindustrialisierung – das Beispiel Berlin

Wenn man über Reindustrialisierung in Berlin sprechen möchte, geht das nur mit dem Wissen über die Wirtschaftsstrukturen in der geteilten Stadt sowie den wirtschaftspolitischen Entscheidungen, die gleich nach dem Mauerfall und der Wiedervereinigung der beiden deutschen Staaten getroffen wurden.

Flossen unmittelbar nach Mauerfall noch insgesamt rund 10 Milliarden € als Hilfen aus den Haushalten von Bund und EU in die Stadt, wurden 1995, nachdem der Solidarpakt I beschlossen und Berlin in den Länderfinanzausgleich integriert worden war, nur noch rund 5,5 Milliarden € an den Landeshaushalt überwiesen.

War vor 1989 die West-Berliner Wirtschaft nur mit Hilfe umfangreicher Wirtschaftsförderung überlebensfähig, wurde diese Förderung danach spürbar verringert, und viele Arbeitsplätze an so genannten »verlängerten Werkbänken« gingen verloren.

Im Ostteil der Stadt kollabierte die Wirtschaft, da sie unter den neu geschaffenen Marktbedingungen wie der Aufwertung der Währung um 400 % und dem daraus resultierenden Wegbrechen der Märkte in Mittel- und Osteuropa nicht wettbewerbsfähig war.

Die Erosion der Wirtschaftskraft wurde zunächst durch den Vereinigungsboom und die Hoffnungen auf schon bald »blühende Landschaften« überdeckt. Nach dem Abklingen dieses Booms geriet die Berliner Wirtschaft jedoch in den Sog der trägen gesamtwirtschaftlichen Entwicklung: Während der Anteil der Industrie an der Bruttowertschöpfung 1991 im Bundesdurchschnitt bei 28 % lag, betrug er in Berlin nur 19 % und fiel rasch weiter ab. Die Talsohle wurde im Jahr 2002 mit 11 % durchschritten. Hiermit einher ging der Abbau von rd. 180.000 Industriearbeitsplätzen; und Berlin belegte in Bezug auf die Industriedichte im Bundesländervergleich hinter dem ländlich strukturierten Mecklenburg-Vorpommern den letzten Rang.

Die zentrale Frage war: Wie schafft man aus solch einer Situation heraus eine Wende? Ist ein Reindustrialisierungsprozess überhaupt möglich? Und wenn ja, wie startet man diesen? Und wohin soll er führen?

Die aus meiner Sicht wichtigste wirtschaftspolitische Entscheidung damals war, sich gezielt und mit Nachdruck auf die berlinspezifischen endogenen Potenziale zu besinnen – d.h. wir wollten nicht länger auf einen »weißen Ritter« warten, der von außen kommt und die Strukturprobleme löst, sondern wir machten uns selbst daran, vorhandene Stärken auszubauen.

Diese Erkenntnis war und ist maßgebliches Gestaltungsfeld der Wirtschafts- und Wissenschaftspolitik – zwei Politikfelder, die es hieß, miteinander zu verflechten. Das ist leichter gesagt als getan, denn schon hier zeigten sich die ersten Herausforderungen der wissensbasierten Reindustrialisierung.

Am Anfang stand die Bestandsaufnahme: Auf der einen Seite weist Berlin eine einzigartige Dichte an Wissenschafts- und Forschungseinrichtungen auf. In Berlin sind an 20 Hochschulen mehr als 135.000 Studierende eingeschrieben. Mehr als 50 % davon sind den wirtschaftsrelevanten Bereichen der Ingenieur- und Naturwissenschaften, Mathematik und Informatik, Wirtschafts- und Rechtswissenschaften zuzuordnen. Darüber hinaus gibt es allein in Berlin mehr als 70 außeruniversitäre Forschungseinrichtungen, neben anderen die Max-Planck- und die Fraunhofer-Gesellschaft sowie die Leibniz-Gemeinschaft.

Auf der anderen Seite stand eine Industrie, die sich nach Jahren des heftigen Strukturwandels und einem Abbau von mehr als der Hälfte der industriellen Arbeitsplätze anschickte, wieder Fuß zu fassen. Einige Hidden-Champions hatten sich Marktnischen gesucht und sich in diesen ausgebreitet zu modernen, innovativen und wettbewerbsfähigen Unternehmen. Aber nicht nur Newcomer, auch so genannte Traditionsbranchen wie

die Elektroindustrie, die Fahrzeugtechnik, der Maschinenbau, die Steuerungstechnik, und nicht zuletzt auch die chemisch-pharmazeutische Industrie machten wieder auf sich aufmerksam.

Zwei Politikfelder – zwei unterschiedliche Welten? Wie interagieren diese beiden Bereiche? Sind sie in der Lage, ihre zweifellos vorhandenen Potenziale bestmöglich auszuschöpfen? Welche Möglichkeiten bestehen, Brücken zwischen Forschung und Industrie zu bauen im Sinne eines belastbaren, aber gleichzeitig auch flexiblen Transmissionsriemens der innovativen Entwicklung?

Fakt ist, dass allein die Anzahl und die Größe von Hochschulen und Forschungseinrichtungen noch keine Garantie für den Erfolg einer Kooperation von Wissenschaft und Wirtschaft sein kann. Genauso Fakt ist, dass allein das Vorhandensein einer kritischen Masse an Industrieunternehmen einer bestimmten Ausrichtung die regionale Wirtschaft nicht beflügeln wird.

Es geht hier also um mehr als singuläre Einzelstärken. Es geht um Kooperationen, es geht um Netzwerke, und es geht – insbesondere beim Thema Industrie – um regionale Wertschöpfungsketten. Letztere sind für den Wirtschaftsstandort von zentraler Bedeutung. Eine Stärkung dieser Ketten muss darauf abzielen, durch Arbeitsteilung und Zusammenarbeit die einzelnen Arbeitsschritte bei der Erstellung eines Produktes komplett in der Region zu verankern. Hier liegt eine der wichtigen Schnittstellen zwischen Industrie und Forschung bzw. industrienahen Dienstleistungen.

Wissenschaft und Kreativität sind die zentralen Voraussetzungen für die Schaffung einer innovativen und gleichzeitig nachhaltigen Industrielandschaft. Der Bereich der produktionsnahen Dienstleistungen verzeichnet seit Jahren ein Beschäftigungswachstum. Jedes zweite Dienstleistungsunternehmen arbeitet auch für die Industrie, und gleichermaßen profitiert die Industrie von einem guten Angebot an hochwertigen Dienstleistern. Diese Verflechtungsstruktur ist ein wesentlicher Standortfaktor für Berlin. Industrie und Dienstleistungen sind keine sich ausschließenden Alternativen, sondern bedingen sich wechselseitig.

Die Profilierung der Stadt als Industriestandort, die gezielte Vernetzung von Wissenschaft und Industrie sowie die Verknüpfung von Industrie und Dienstleistungen sind damit zentrale Ziele der Wirtschafts- und Industriepolitik.

Was das konkret bedeutet, möchte ich an drei Punkten verdeutlichen:

1. Vernetztes, kooperatives Handeln prägt in Berlin die kohärente Innovationsstrategie. Politik, Wirtschaft, Verbände und Gewerkschaften vereint hier das gemeinsame Ziel, durch die Verbesserung der Innovationstätigkeit in der Region ein größeres Wirtschaftswachstum zu erreichen. Ausgangspunkt der Kompetenzfeldstrategie ist die Idee, die Stärken der Berliner Wirtschaft weiter zu entwickeln. Drei Cluster bilden den Fokus dieses Ansatzes: »Gesundheitswirtschaft«, »Kommunikation, Medien und Kulturwirtschaft« sowie »Verkehr und Mobilität«. Diese Cluster erhalten ihr technisches und Wissenschafts-Know-how aus den fünf Berliner Kompetenzfeldern Biotechnologie, Medizintechnik, Verkehrssystemtechnik, Informations- und Kommunikationstechnologie/Medien und Optische Technologien.

   Seit drei Jahren liegen dafür Masterpläne vor, in denen konkrete Handlungsrahmen und Aktivitätsfelder abgebildet und klare Umsetzungszeiträume festgelegt werden. Beispiele für die gelungene Verknüpfung von Wissenschaft und Wirtschaft finden wir in Berlin zuhauf: da ist der Wissenschafts- und Technologiepark Adlershof oder der biomedizinische Campus Buch. Hervorzuheben sind die enge Kooperation von Forschung und technologieorientierten Unternehmen auf dem Campus der Freien Universität und in ihrer Nähe die auf Technologietransfer ausgerichteten Aktivitäten der Technischen Universität; nicht zu vergessen der Innovationspark Wuhlheide oder auch neue Initiativen wie das Projekt Innovation Habitat an der Universität der Künste.

2. In Ergänzung der Innovationsstrategie ist der Masterplan Industriestadt Berlin 2010-2020 eine wesentliche Basis für eine wissensbasierte Reindustrialisierung in der Stadt. Der Masterplan Industrie wurde von dem

Berliner Netzwerk Industriepolitik – ein Verbund aus Politik, Gewerkschaften, Unternehmen, Kammern und Verbänden – gemeinsam entwickelt. Er ist sowohl ein gemeinsames Bekenntnis zur Industriestadt Berlin als auch ein konkretes Arbeitsprogramm, um das gemeinsame Ziel, industrielles Wachstum zu fördern, zu erreichen: Die zentralen Felder darin sind die Themen Rahmenbedingungen (Verwaltung, Flächen, Finanzierung), Innovationen (Wissenstransfer), Fachkräfte (Schule-Hochschule-Betrieb) und Standortkommunikation. Nun steht die Umsetzung der vereinbarten Maßnahmen und Projekte im Vordergrund, einige Projekte sind bereits angelaufen, wie z.B. die Industriekampagne »Ich bin ein Berliner«, die Konzeptentwicklung für die Nachnutzung von Tegel oder die Positionierung Berlins zum Thema E-Mobilität. Nur mit konkreten Ergebnissen können wir diesen aktuell positiven Prozess dauerhaft unterlegen.

3. Last but not least galt es – auch vor dem Hintergrund einer angespannten Haushaltslage – dass Fördermittel effizienter eingesetzt werden. Hierzu haben wir eine Förderstrategie entwickelt, die die Fokussierung auf die definierten Kompetenzfelder sowie den Einsatz der Landesmittel nach dem Subsidiaritätsprinzip im Rahmen eines angemessenen Fördermix vorsieht. Dabei sollen mehr als 70 % der Mittel in die technologischen Schwerpunktfelder – häufig Unternehmen des verarbeitenden Gewerbes und die restlichen Mittel in die anderen Schwerpunkte, insbesondere die produktionsnahen Dienstleister fließen. Unabhängig von der technologischen Schwerpunktsetzung kommt damit der betrieblichen Wettbewerbsfähigkeit und der Beschäftigung in der Industrie eine hohe Bedeutung zu.

Dieser Dreiklang für die Verflechtung von Industrie und Forschung ist Basis für eine moderne, auf Innovationen ausgerichtete Wirtschaftspolitik. Das kooperierende Agieren und Anstreben gemeinsamer Ziele ist wesentlicher Bestandteil einer erfolgreichen Standortpolitik, das sich zu einem bedeutenden Alleinstellungsmerkmal einer Wirtschaftsregion entwickeln kann.

Prof. Siegfried Russwurm
Mitglied des Vorstands der Siemens AG und CEO Industry Sector, Siemens AG

Nachhaltig Wert und Wachstum schaffen – Globale Trends der Elektroindustrie

Basierend auf den globalen Megatrends wird die Produktionstechnik in der Zukunft von zwei entscheidenden Trends geprägt werden, die nur auf den ersten Blick in Widerspruch zu stehen scheinen: Dem Streben nach gesteigerter Produktivität bei gleichzeitig verbesserter Energieeffizienz. Die Brücke zwischen diesen beiden Herausforderungen und damit der Schlüssel zu nachhaltigem Wachstum sind Innovationen. Um die Produktivität bei immer kürzeren Entwicklungs- und Markteinführungszeiten weiter steigern zu können, werden neue Technologien entwickelt, durch die Produkt- und Produktionsplanung künftig parallel verlaufen.

Integrierte Entwicklung von Produkt und Produktionsautomatisierung

Die integrierte Entwicklung von Produkt und Produktionsautomatisierung wird durch das Zusammenwachsen von Product Lifecycle Management (PLM)-Systemen mit der Automatisierungstechnik erst möglich. Dies geschieht durch den Einsatz von Industrie-Software, die eine ganzheitliche Entwicklungsumgebung in allen Stufen der Wertschöpfung zur Verfügung stellt. Als maßgeblicher Baustein in der Produktionstechnik findet zunehmend auch die Integration der Steuerungssysteme in die PLM-Welt statt. Werkstücke werden digital entwickelt und simuliert. Fertigungszeiten können so präzise vorherbestimmt und damit belastbar in den logistischen Produktionsablauf integriert werden. Einfahrzeiten bei der Umstellung auf neue Werkstücke verkürzen sich deutlich.

Konfliktfreie Steigerung von Produktivität und Energieeffizienz

Die Verbesserung der Energieeffizienz in der Produktionstechnik senkt die Kosten im Betrieb, was bei gleicher Produktion zu einer höheren Produktivität führt. Gleichzeitig sorgt die Reduzierung des CO_2-Ausstoßes für eine Schonung der Umwelt. Alleine bei Elektromotoren, die für rund 65% des Energieverbrauchs in der Industrie verantwortlich sind, können durch den Einsatz moderner Antriebssysteme im Vergleich zu konventionellen Systemen Einsparungen von 60 bis 70 Prozent erzielt werden. Die EU hat das erkannt und deshalb für Juni 2011 eine Richtlinie für hocheffiziente Motoren der Norm IE2 in Kraft gesetzt.

Noch mehr kann man in Betrieben erreichen, wenn man auf ein ganzheitliches Energiemanagementsystem setzt, bei dem konsequent und systematisch Energieströme beobachtet, bewertet und optimiert werden, z.B. durch das Abschalten von Anlagen oder Anlagenteilen in unproduktiven Zeiten wie Nachts, am Wochenende oder in Pausen.

Am Wachstum der »Emerging Markets« teilhaben

Abgesehen von den technologischen Trends in der Elektroindustrie hat auch die Verschiebung der Wirtschaftskraft in Richtung der sog. »Emerging Markets« massive Auswirkungen auf die Produktionsindustrie. Nach Schätzung von Experten werden allein die vier BRIC-Staaten und die Länder im Mittleren Osten bis 2015 rund 40 Prozent des weltweiten Wirtschaftswachstums auf sich vereinen.

Wenn Industrieunternehmen weiterhin Wachstum und Wohlstand in Europa und Deutschland sichern wollen, müssen sie am Wachstum in diesen Ländern teilhaben. Sie müssen vor Ort präsent sein und dort eigene Wertschöpfungsketten aufbauen, um den lokalen Markt zu bedienen, aber auch, um aufstrebende Wettbewerber aus diesen Ländern in ihren Heimatländern anzugreifen. Sonst droht die globale Wettbewerbsfähigkeit verloren zu

gehen. Dazu bedarf es genau auf den Markt zugeschnittener Produkte, die durch lokales Produktmanagement und lokale Forschung und Entwicklung spezifiziert und entwickelt werden. Die Aktivitäten in Emerging Markets und das Engagement in Deutschland schließen sich dabei nicht aus wie das Beispiel Siemens mit rund 128.000 Mitarbeitern an über 130 Standorten in Deutschland zeigt.

Fazit

Das Fazit lautet: Die Produktionstechnik kann für Europa, für Deutschland und auch für die Region Berlin/Brandenburg ein »Motor aus der Krise« sein, wenn sie auf die richtigen technologischen Trends setzt und wenn sie sich global so aufstellt, dass sie am Wachstum in den dynamischen Regionen der Welt partizipiert.



SIEMENS

Agenda

1. Umfassendes Verständnis von Innovation als Schlüssel für nachhaltiges Wirtschaften
2. „Schneller, besser, günstiger“: Integrierte Entwicklung von Produkt und Produktionsautomatisierung
3. Das Ende des Dilemmas: Konfliktfreie Steigerung von Produktivität und Energieeffizienz
4. „Emerging Markets“ vs. „Advanced Economies“: Chancen nutzen, ohne die Risiken zu negieren

 © Siemens AG 2010. Alle Rechte vorbehalten

SIEMENS

Agenda

1. Umfassendes Verständnis von Innovation als Schlüssel für nachhaltiges Wirtschaften
2. „Schneller, besser, günstiger“: Integrierte Entwicklung von Produkt und Produktionsautomatisierung
3. Das Ende des Dilemmas: Konfliktfreie Steigerung von Produktivität und Energieeffizienz
4. „Emerging Markets“ vs. „Advanced Economies“: Chancen nutzen, ohne die Risiken zu negieren

© Siemens AG 2010. Alle Rechte vorbehalten

SIEMENS

Megatrends bestimmen die Zukunft



Megatrends

Klimawandel
- Höchste CO2-Konzentration in der Erdatmosphäre seit 350.000 Jahren



Urbanisierung
- 23 Megacities im Jahre 2015
- 2030: 60% der Menschen leben in Städten



Demographischer Wandel
- Bevölkerungswachstum steigt von mehr als 6 Milliarden auf 8 Milliarden bis 2025



Globalisierung
- 1950 bis 2007: Zunahme des globalen Handelsvolumens um das 29,2-fache

Globale Herausforderungen

- Nachhaltige private und öffentliche Infrastrukturen
- Effektives, bezahlbares Gesundheitswesen
- Effiziente Produktionsprozesse

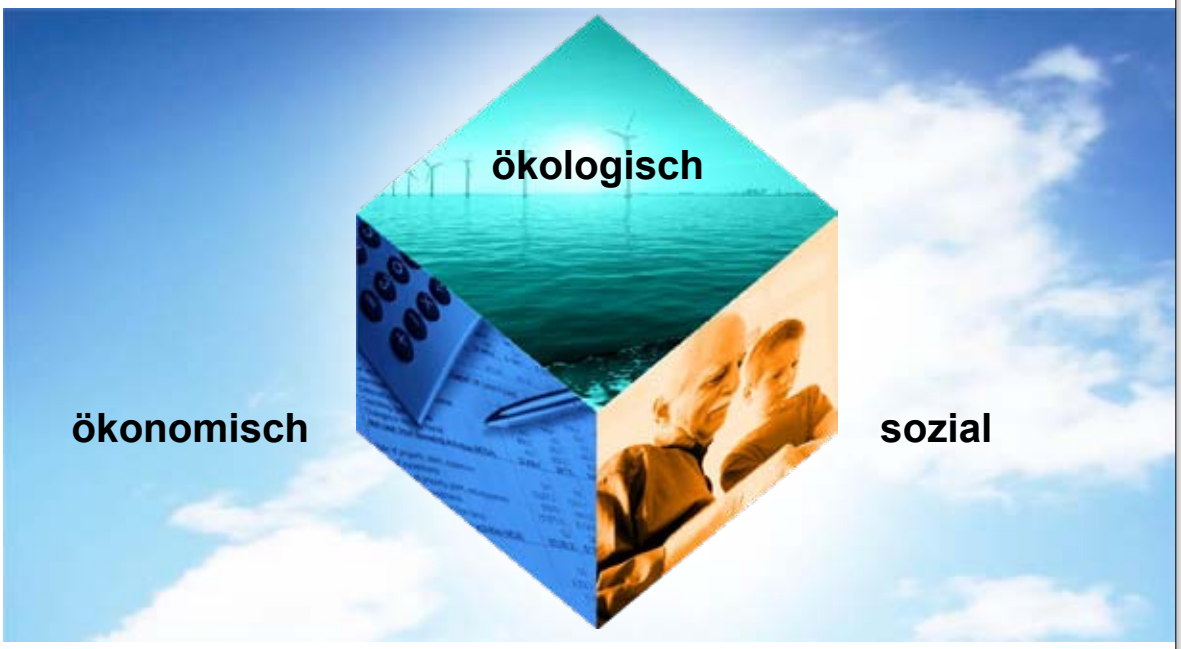
Ziel: Wachstum mit nachhaltigem Wirtschaften verbinden

Quelle: UN, Population Reference Bureau, World Population Data Sheet; WTO, International Trade Statistics; bpb

© Siemens AG 2010. Alle Rechte vorbehalten

Nachhaltigkeit umfasst drei Dimensionen: Wirtschaft, Umwelt und Gesellschaft

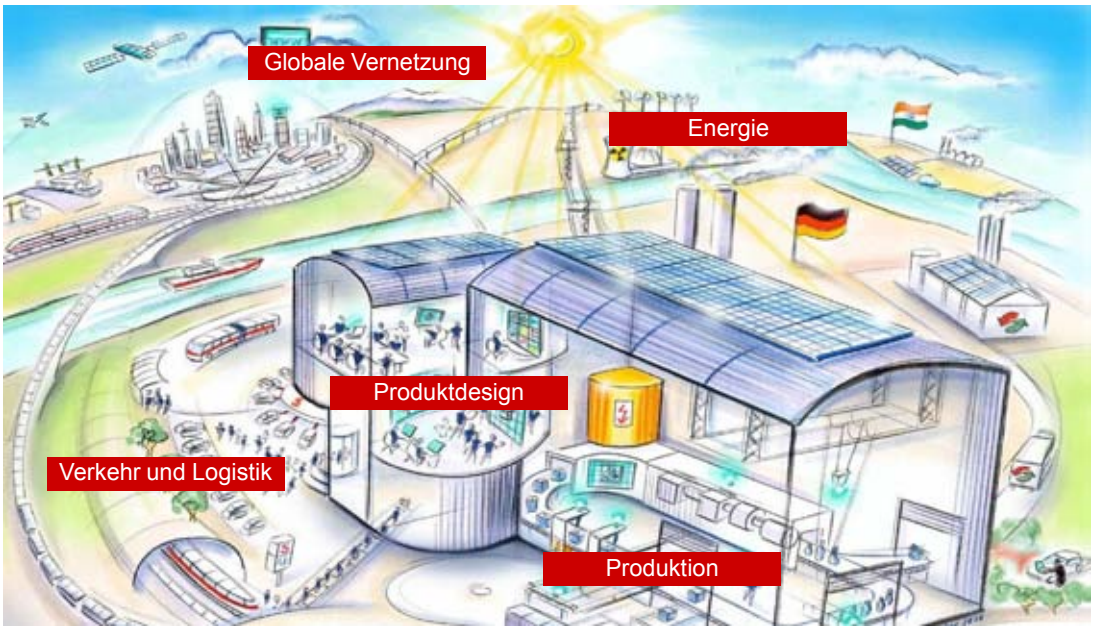
SIEMENS



 © Siemens AG 2010. Alle Rechte vorbehalten

Innovationen sind der Schlüssel für nachhaltiges Wachstum

SIEMENS



 © Siemens AG 2010. Alle Rechte vorbehalten

SIEMENS

Agenda

1. Umfassendes Verständnis von Innovation als Schlüssel für nachhaltiges Wirtschaften
2. **„Schneller, besser, günstiger“: Integrierte Entwicklung von Produkt und Produktionsautomatisierung**
3. Das Ende des Dilemmas: Konfliktfreie Steigerung von Produktivität und Energieeffizienz
4. „Emerging Markets“ vs. „Advanced Economies“: Chancen nutzen, ohne die Risiken zu negieren

 © Siemens AG 2010. Alle Rechte vorbehalten

SIEMENS

Produktentwicklung und Produktionsplanung werden künftig parallel ablaufen



	Gestern	Heute	Morgen
Prozess	seriell	seriell, durch Tools verkürzt	parallel
Ebene			
Produkt			
Verfahren			
Mechanik			
Elektrik			
Automati-sierung			
	Zeit	Zeit	Zeit
	Produktionsplanung auf Basis kompletter Produktspezifikation	Selektive Optimierung durch individuelle Werkzeuge weitgehend ausgeschöpft	Echtes „Concurrent Engineering“ auf gemeinsamer Datenbasis

 © Siemens AG 2010. Alle Rechte vorbehalten

Product Lifecycle Management-Software und Automatisierungstechnik wachsen zusammen

SIEMENS



PLM Software am Beispiel des Siemens-Portfolios

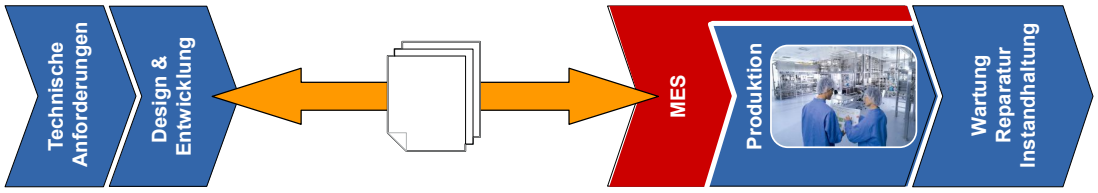
- **NX** – Computer Aided Design / Engineering / Manufacturing (CAx): Digitale Entwicklung von Produkten
- **Teamcenter** – Collaborative Product Data Management (cPDM): Globale Zusammenarbeit entlang der gesamten Wertschöpfungskette
- **Tecnomatix** – Digital Manufacturing (DM): Simulation von Produktionsprozessen

 © Siemens AG 2010. Alle Rechte vorbehalten

Lückenloser Datenfluss zwischen virtueller PLM-Welt und realer Fabrik ist Basis für Digitales Engineering

SIEMENS

Gestern / Heute



Heute / Morgen

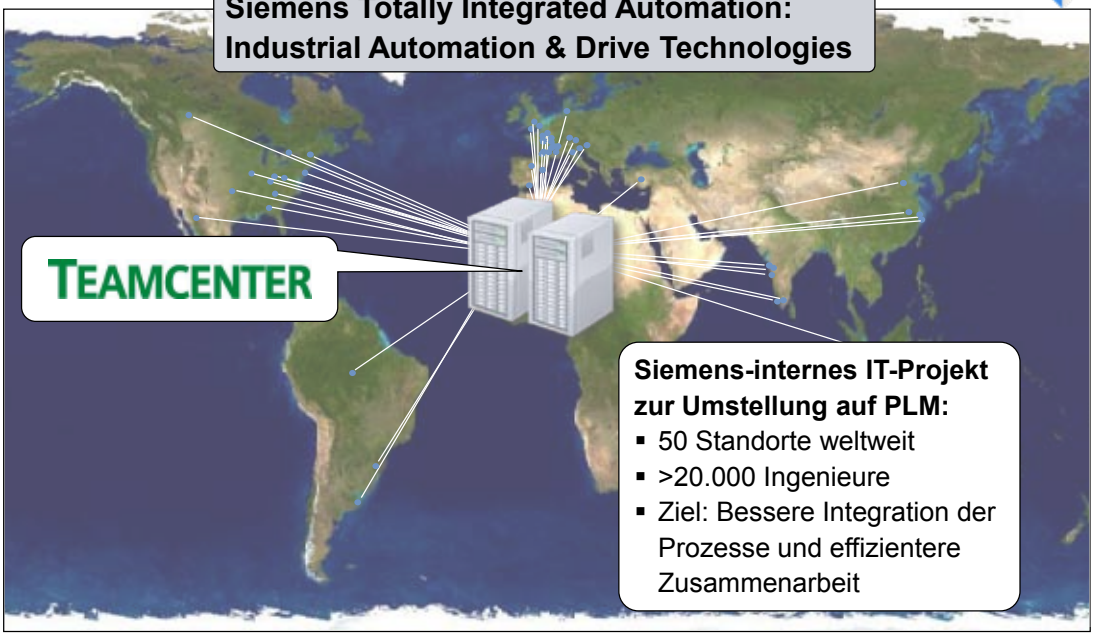


Bis zu 50% schnellere Markteinführungszeiten durch die Integration von Produkten und Prozessen

 © Siemens AG 2010. Alle Rechte vorbehalten

Globale Vernetzung der Entwicklungsressourcen über den Produktlebenszyklus eines komplexen Produktportfolios

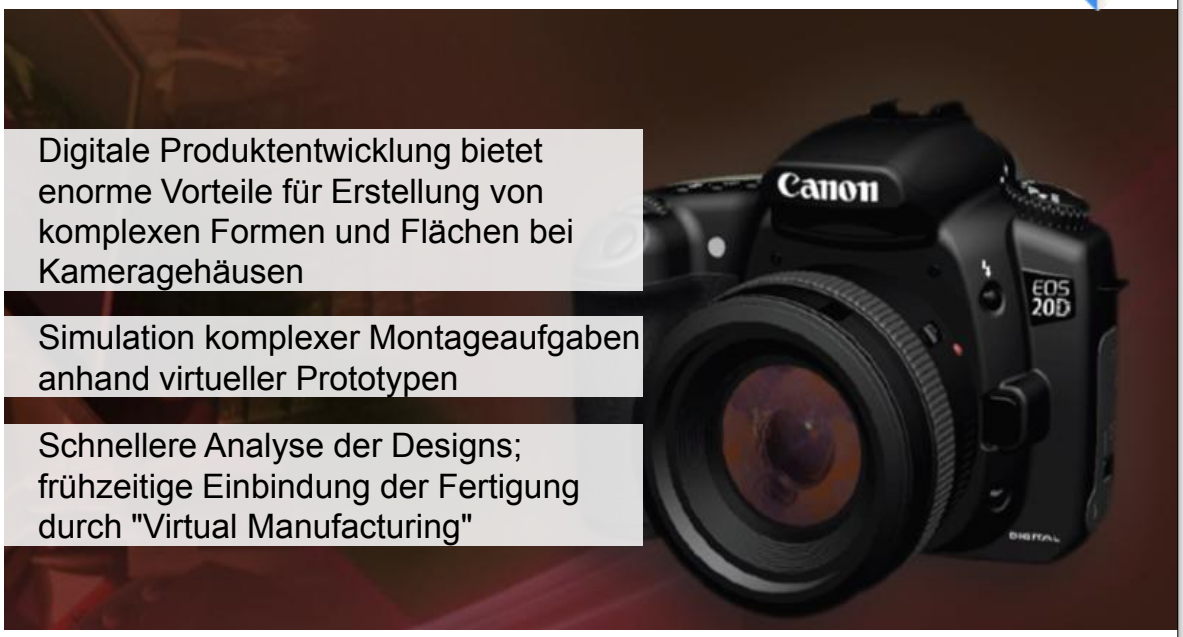
SIEMENS



 © Siemens AG 2010. Alle Rechte vorbehalten

Beispiel Canon: Entwicklungszeit um bis zu 50 Prozent verkürzt

SIEMENS



 © Siemens AG 2010. Alle Rechte vorbehalten

Beispiel Sukhoi CAC: Rekordzeit zur Einführung eines neuen Regionalflugzeugs

SIEMENS



- Neueste Konstruktions- und Fertigungstechnologien
- Konsequent digitale Produkt- und Prozessentwicklung
- Globale Allianz mit Branchen-führern in Europa und den USA
- Entwicklungsstart bis Erstflug auf 3,3 Jahre verkürzt

 © Siemens AG 2010. Alle Rechte vorbehalten

Virtuelle Werkzeugmaschinen steigern Produktivität und Qualität in der Fertigung

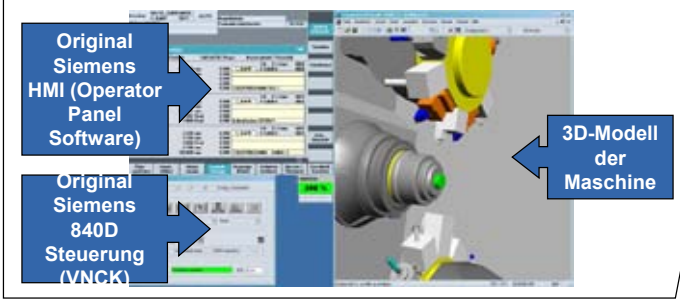
SIEMENS

Anforderung

- Zunehmend komplexe Maschinen zur Fertigung immer komplexerer Werkstücke
- Stetig steigende Produktivitäts- und Qualitätsanforderungen

Lösung

- Entwicklungsbegleitende Maschinensimulation am PC mit Hilfe der Virtuellen Maschine mit virtuellem NC-Kern (VNCK)



Vorteile auf einen Blick

- Optimierung von Programmen/Programm-abläufen ohne Störung der laufenden Produktion
- Minimierung von Maschinenkosten und der Gefahr von Maschinenschäden durch Kollision
- Evaluierung von Produktionszeiten
- Verkürzung von Einlaufzeiten

 © Siemens AG 2010. Alle Rechte vorbehalten

Beispiel für Einsatz virtueller Werkzeugmaschinen – Zerspanung von Aluminium in der Luftfahrtindustrie

SIEMENS





Traditionelle Vorgehensweise:
Einfahren der Maschine durch Testfälle, z.B. 3t Aluminium (Kosten 15 T€)
werden zu 98% in 20 Maschinenstunden (Kosten 6 T€) zerspant (Kosten > 21 T€)

"Virtual Production" bedeutet konsequente Simulation bis hin zur erreichbaren Oberflächenqualität statt "Try & Error"

Quelle: EADS Deutschland GmbH

© Siemens AG 2010. Alle Rechte vorbehalten

Agenda

SIEMENS

1. Umfassendes Verständnis von Innovation als Schlüssel für nachhaltiges Wirtschaften
2. „Schneller, besser, günstiger“: Integrierte Entwicklung von Produkt und Produktionsautomatisierung
3. **Das Ende des Dilemmas: Konfliktfreie Steigerung von Produktivität und Energieeffizienz**
4. „Emerging Markets“ vs. „Advanced Economies“: Chancen nutzen, ohne die Risiken zu negieren

© Siemens AG 2010. Alle Rechte vorbehalten

Gesteigerte Produktivität und verbesserte Energieeffizienz sind kein Widerspruch

SIEMENS

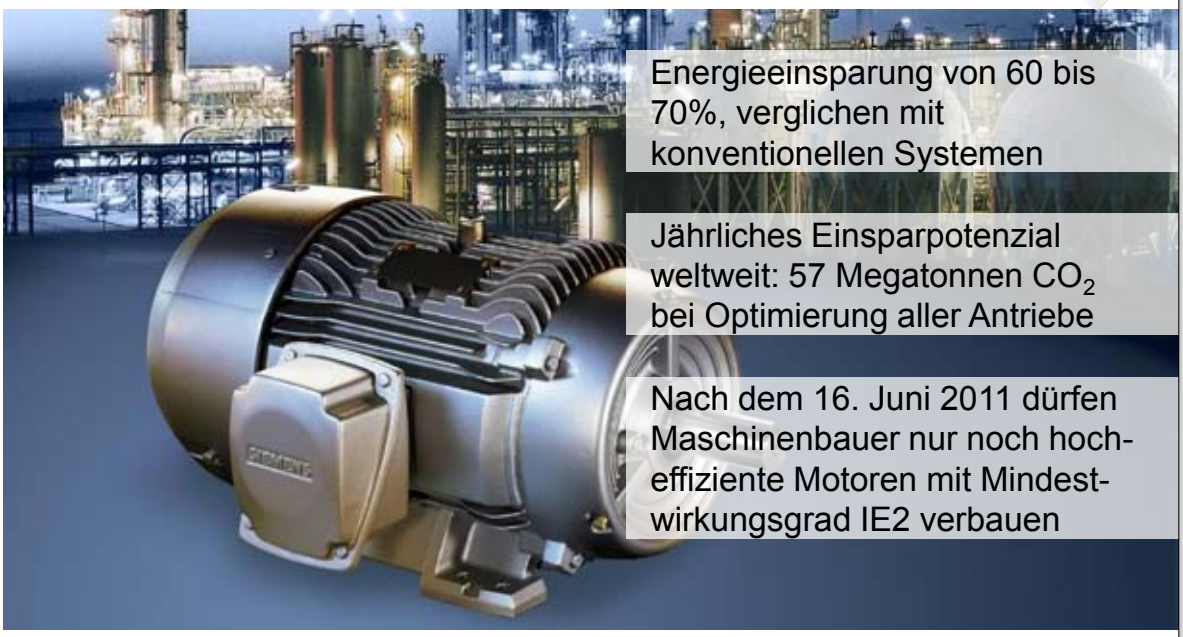


...schlagen die Brücke zwischen Produktivität und Energieeffizienz

 © Siemens AG 2010. Alle Rechte vorbehalten

Neue Generation von Elektromotoren verbessert die Energieeffizienz

SIEMENS



Energieeinsparung von 60 bis 70%, verglichen mit konventionellen Systemen

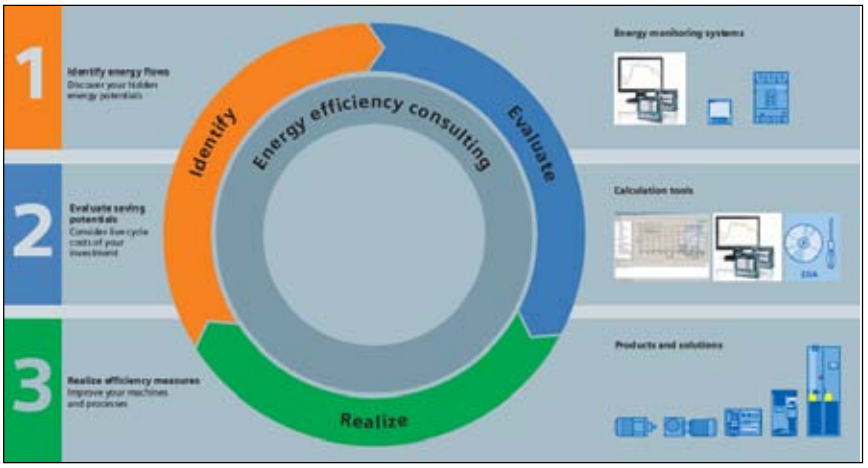
Jährliches Einsparpotenzial weltweit: 57 Megatonnen CO_2 bei Optimierung aller Antriebe

Nach dem 16. Juni 2011 dürfen Maschinenbauer nur noch hoch-effiziente Motoren mit Mindest-wirkungsgrad IE2 verbauen

 © Siemens AG 2010. Alle Rechte vorbehalten

Energiemanagement bietet strukturierten Prozess für mehr Energieeffizienz

SIEMENS



- Energie-management ist kein Produkt, sondern ein Prozess
- Prozess dient kontinuierlicher Steigerung der Produktivität der eingesetz-ten Energie
- Wiederholend zur ständigen Verbesserung der Effizienz

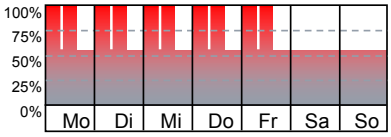
Energieeffizienz beim Kunden durch erfolgreiches Energiemanagement (Niedrigere Energiekosten bei gleicher Produktion = höhere Produktivität)

© Siemens AG 2010. Alle Rechte vorbehalten

Energiemanagement am Beispiel einer Automobilproduktionsanlage

SIEMENS

Heute



Pause: standby (55%)
Nacht: standby (55%)
Wochenende: standby (55%)

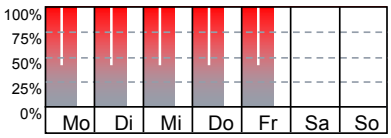


Energieverbrauch in produktionsfreier Zeit: fast 60% des Verbrauchs im Produktionsbetrieb

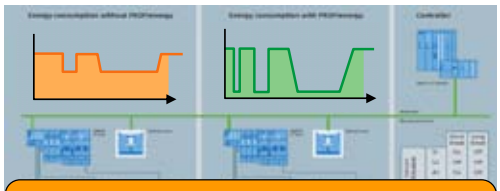
Lösung: Abschalten während Wochenende/Nacht/Pausen

- Zwei-Schichtbetrieb (keine Nachtarbeit)
- Arbeitsfreie Wochenenden
- 1 Stunde Mittagspause

Morgen



Pause: ON (44%)
Nacht: OFF (3%)
Wochenende: OFF (3%)



Ergebnis: 32% weniger Energieverbrauch

© Siemens AG 2010. Alle Rechte vorbehalten

SIEMENS

Agenda

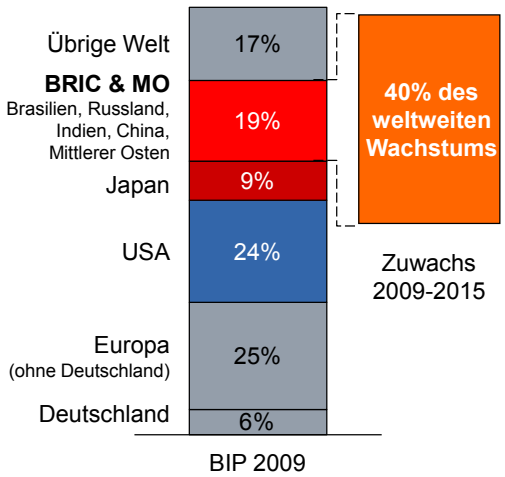
1. Umfassendes Verständnis von Innovation als Schlüssel für nachhaltiges Wirtschaften
2. „Schneller, besser, günstiger“: Integrierte Entwicklung von Produkt und Produktionsautomatisierung
3. Das Ende des Dilemmas: Konfliktfreie Steigerung von Produktivität und Energieeffizienz
4. „Emerging Markets“ vs. „Advanced Economies“: Chancen nutzen, ohne die Risiken zu negieren

 © Siemens AG 2010. Alle Rechte vorbehalten

SIEMENS

40% des zukünftigen weltweiten BIP-Wachstums findet in den BRIC-Ländern und im Mittleren Osten statt

Weltweites BIP und Zuwachs-prognosen bis 2015



Strategische Konsequenzen

- **Ausbau des Geschäftes in den zukünftigen Wachstumsmärkten**
- **Entwicklung SMARTer Produkte** (Simple, Maintainance-friendly, Affordable, Reliable, Timly to market)
- **Weiterer Ausbau der lokalen Kompetenz und Wertschöpfung**

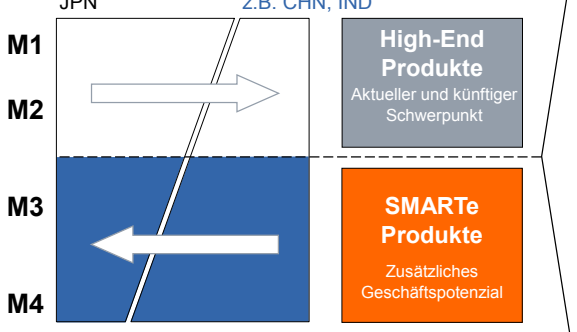
Engagement in den Wachstumsregionen sichert die globale Wettbewerbsfähigkeit des Unternehmens

 © Siemens AG 2010. Alle Rechte vorbehalten

SIEMENS

SMARTe Produkte eröffnen neue Geschäftschancen

SMARTe Produkte für mid- und low-end markets



Beispiele:
- CT Somatom Spirit
- Osram Halogenlampen
- Mittelspannungs-Schaltanlagen

Anforderungen



Produkteignung
- Erforderliche Produktmerkmale
- Keine überentwickelten Produkte



Hohe Qualität & Zuverlässigkeit
- Robustheit
- Einfache Bedienung



Segmentspez. Vertriebskonzept
- Zugang zum gesamten Markt
- Geeignete Vertriebskanäle



Wertschöpfung vor Ort
- 40% weniger Kosten durch lokale Fertigung / Einkauf



Optimierte Logistik
- Kürzere Lieferzeit durch Fertigung nahe am Zielmarkt

© Siemens AG 2010. Alle Rechte vorbehalten

SIEMENS

Sinumerik 802D sl und Simatic S7-200 CN sind Erfolgsbeispiele für SMARTe Produkte

Sinumerik 802D sl

Volldigitale Steuerung für klassische Dreh- und Fräsanwendungen:
- Produktentwicklung in China, basierend auf NC-Kern-Entwicklung aus Deutschland
- Produktmanagement in China mit Unterstützung aus Deutschland
- Beschaffung und Produktion in China
- 2010 gingen 50% der in China gefertigten 802D sl-Steuerungen in den Weltmarkt



Simatic S7-200 CN

Kostenoptimierter Mikrocontroller für „Emerging Markets“:
- Entwicklung in USA und China
- Produktmanagement in China
- Produktion in China
- Rund 200.000 Stück in 2009 verkauft
- Seit Ende 2009 neben China auch in Taiwan, Korea und Indien erfolgreich

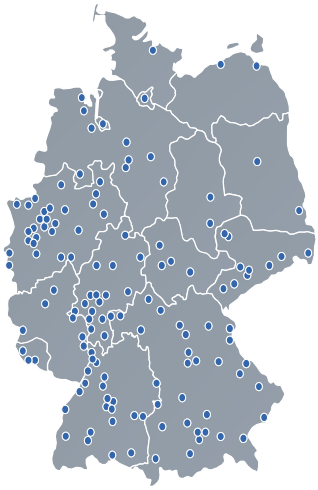


© Siemens AG 2010. Alle Rechte vorbehalten

Aktivitäten in Emerging Markets und Engagement in Deutschland schließen sich nicht aus

SIEMENS

>130 Standorte in Deutschland[1)]



Wir stellen uns unserer Verantwortung in Deutschland

- **128.000 Mitarbeiter** in Deutschland
- **10.000 Auszubildende** in zukunftsträchtigen Berufen
- **250 zusätzliche Ausbildungsplätze** für benachteiligte Jugendliche
- Im Geschäftsjahr 2009 **6.200 neue Beschäftigungsverhältnisse** in Deutschland, davon **1.400 übernommene Auszubildende**
- **Unbefristeter Beschäftigungspakt**

1) Siemens-Standorte mit mehr als 10 Mitarbeitern

© Siemens AG 2010. Alle Rechte vorbehalten

Produktion in Emerging Markets sichert Arbeitsplätze in Deutschland – Beispiel Joint Venture mit Sinara

SIEMENS



Auftrag über 221 Lokomotiven für Russische Eisenbahn (RZD)

Joint Venture von Siemens und Sinara zur Fertigung & Lieferung moderner E-Loks in Russland – Engineering in Erlangen

- **Jekaterinburg** (Lokfertigung)
- **St. Petersburg** (Bahnantriebe und Bahnumrichter)
- **Moskau** (Projektabwicklung)
- **Erlangen** (System-Engineering, Software, Auslegung Antriebssystem)
- **Nürnberg** (Konstruktion, Bahnantriebe, Bahnumrichter, Netzfilter)

© Siemens AG 2010. Alle Rechte vorbehalten

SIEMENS

Zusammenfassung

1. Umfassendes Verständnis von Innovation ist der Schlüssel für nachhaltiges Wirtschaften
2. Integrierte Entwicklung von Produkt und Produktionsautomatisierung schafft erhebliche Produktivitätspotenziale
3. Konfliktfreie Steigerung von Produktivität und Energieeffizienz ist heute möglich
4. Wir müssen die Chancen in den „Emerging Markets“ nutzen, ohne die Risiken zu negieren

© Siemens AG 2010. Alle Rechte vorbehalten



Heribert Wille
Senior Vice President, Heidelberger Druckmaschinen AG

Innovationsmanagement in der Produktion – ein wesentlicher Faktor zur Generierung von Wettbewerbsvorteilen



Innovationsmanagement in der Produktion

HEIDELBERG

Agenda

- Heidelberger Druckmaschinen AG
- Heidelberg System Manufacturing
- Heidelberger Produktionssystem HPS
- Innovationsmanagement in der Produktion
- Fazit

© Heidelberger Druckmaschinen AG

HEIDELBERG

Innovationsmanagement in der Produktion

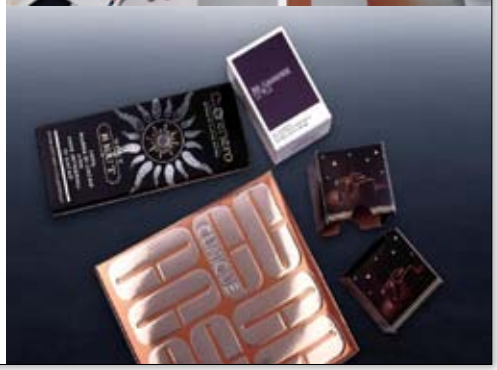
HEIDELBERG

Heidelberger Druckmaschinen AG | Übersicht

Der Markt- und Technologieführer im Bogenoffset

- Weltweit größter und technologisch führender Anbieter von Bogenoffset-Drucklösungen
- Einziger Anbieter durchgängig vernetzter Lösungen von der Druckvorstufe bis zur Weiterverarbeitung
- Durch ausgeprägte Kunden- und Marktnähe sowie eine starke Serviceorientierung klare Differenzierung vom Wettbewerb
- Rund 200.000 Heidelberg Kunden weltweit, 400.000 installierte Heidelberg Druckmaschinen
- 250 Niederlassungen in mehr als 170 Ländern





HEIDELBERG

Innovationsmanagement in der Produktion

HEIDELBERG

Heidelberger Druckmaschinen AG | Übersicht

Produkte

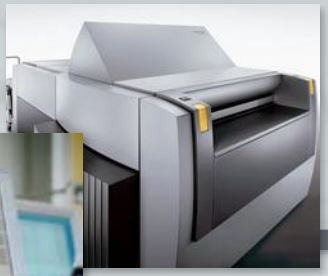
Der Markt- und Technologieführer im Bogenoffset

Layout



Vorstufe





Druck





4

Innovationsmanagement in der Produktion

HEIDELBERG

Heidelberger Druckmaschinen AG | Übersicht

Produkte

Der Markt- und Technologieführer im Bogenoffset

Druck





Weiterverarbeitung





Auslieferung



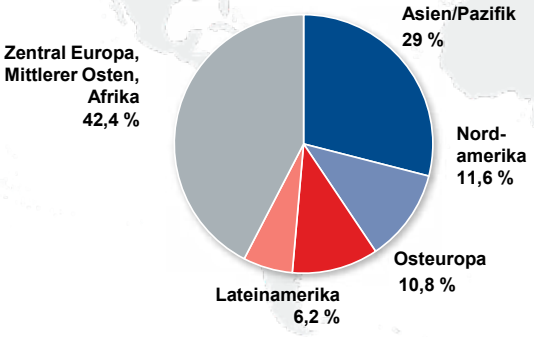
© Heidelberger Druckmaschinen AG

5

Heidelberg Gruppe | Zahlen und Fakten

Umsatz

- 2,306 Mrd. Euro
- ~ 42 % Schwellenländer (in GJ 09)
- über 80 % Auslandsumsatz



Mitarbeiter

- 16.496 Heidelberg Mitarbeiter weltweit (inkl. Auszubildende)

davon ca.

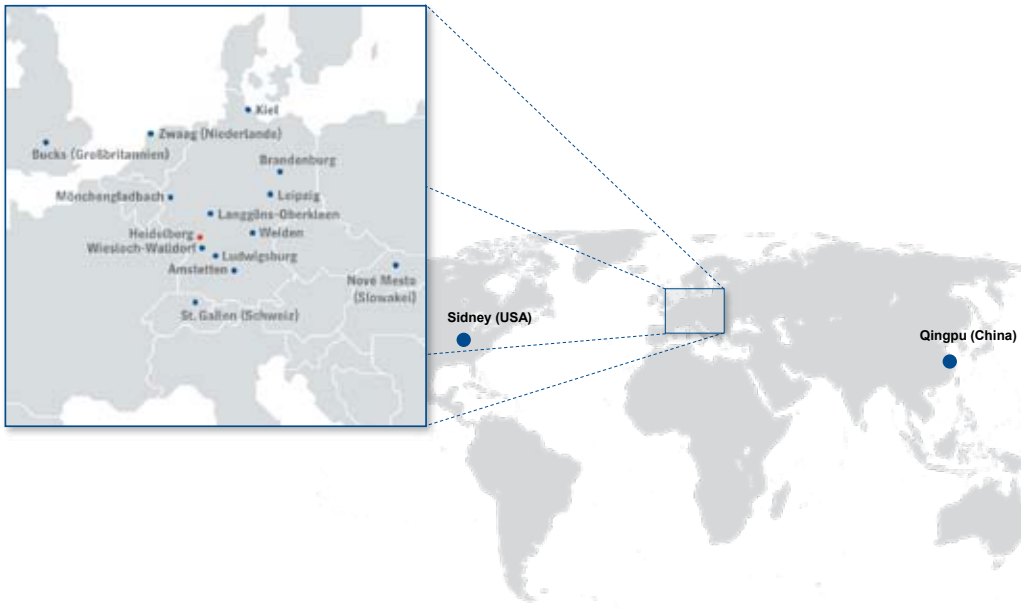
- 1.250: Forschung & Entwicklung
- 3.500: System Manufacturing
- 2.600: Montage
- 3.400: Service
- 1.400: Vertrieb
- 2.200: Verwaltung
- rund ein Drittel der Mitarbeiter arbeitet außerhalb Deutschlands

Stand: 31.03.2010

© Heidelberger Druckmaschinen AG

Heidelberger Druckmaschinen AG | Präsenz

Heidelberg hat 16 Produktions- und Entwicklungsstandorte



© Heidelberger Druckmaschinen AG

Innovationsmanagement in der Produktion

Agenda

- Heidelberger Druckmaschinen AG
- Heidelberg System Manufacturing
- Heidelberger Produktionssystem HPS
- Innovationsmanagement in der Produktion
- Fazit

© Heidelberger Druckmaschinen AG

8

Innovationsmanagement in der Produktion

Unser Anspruch| Gemeinsam mit Ihnen

Für Ihre High-End-Produkte entwickelt und produziert HEIDELBERG System Manufacturing



- Prototypen sowie
- Komponenten & Serienteile
- mechatronische Systeme & Baugrupper

Unser Ziel ist es unseren Kunden stets Wettbewerbsvorteile zu verschaffen

© Heidelberger Druckmaschinen AG

9

Innovationsmanagement in der Produktion

HEIDELBERG

Agenda

- Heidelberger Druckmaschinen AG
- Heidelberg System Manufacturing
- Heidelberger Produktionssystem HPS
- Innovationsmanagement in der Produktion
- Fazit

© Heidelberger Druckmaschinen AG

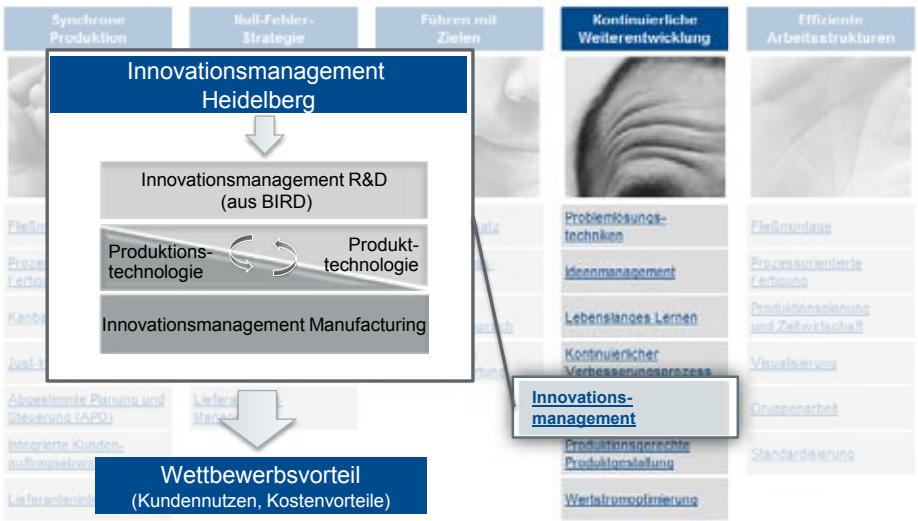
10

HEIDELBERG

Innovationsmanagement in der Produktion

HEIDELBERG

Heidelberger-Produktions-System (HPS)



Das Innovationsmanagement von System Manufacturing ist ein wichtiger HPS-Baustein

© Heidelberger Druckmaschinen AG

11

HEIDELBERG

Innovationsmanagement in der Produktion

HEIDELBERG

Agenda

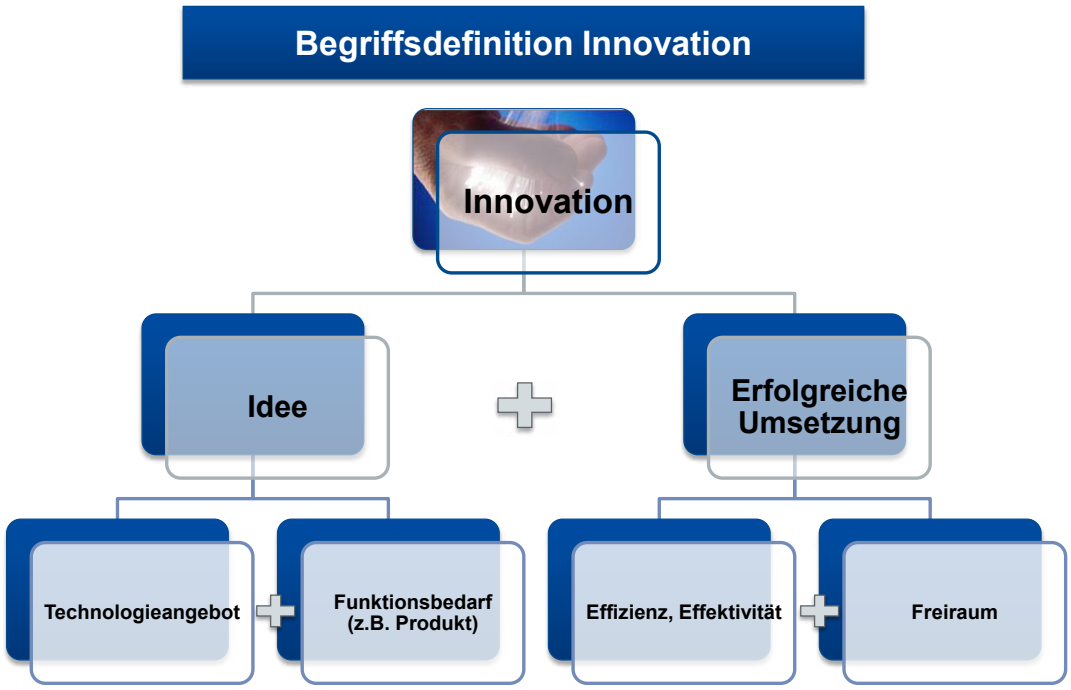
- Heidelberger Druckmaschinen AG
- Heidelberg System Manufacturing
- Heidelberger Produktionssystem HPS
- Innovationsmanagement in der Produktion
- Fazit

© Heidelberger Druckmaschinen AG

Innovationsmanagement in der Produktion

HEIDELBERG

Innovation ist die erfolgreiche Realisierung einer Idee



© Heidelberger Druckmaschinen AG

Innovationsmanagement in der Produktion

HEIDELBERG

Implementierung des Innovationsmanagements



Ziel des Innovationsmanagements

- Signifikante Kosteneinsparungen erzeugen
- Quantensprünge in den Qualitätssicherungsprozessen
- Produktions-USP s (Alleinstellungsmerkmale) generieren
- Produkt-USP s produktionstechnisch ermöglichen



Prozess zur Einführung

- Überzeugung der Führungskräfte zur Notwendigkeit der Einführung des neuen Innovationsmanagements und Festlegung von Zielen
- Systematischer Start von 3 zusätzlichen Innovationsmodulen
- Einführung einer Projektorganisation (Steuerkreis alle 6 Monate, …)
- Einführung einer zyklischen Bewertung der Innovationen



© Heidelberger Druckmaschinen AG

Innovationsmanagement in der Produktion

HEIDELBERG

Implementierung des Innovationsmanagements

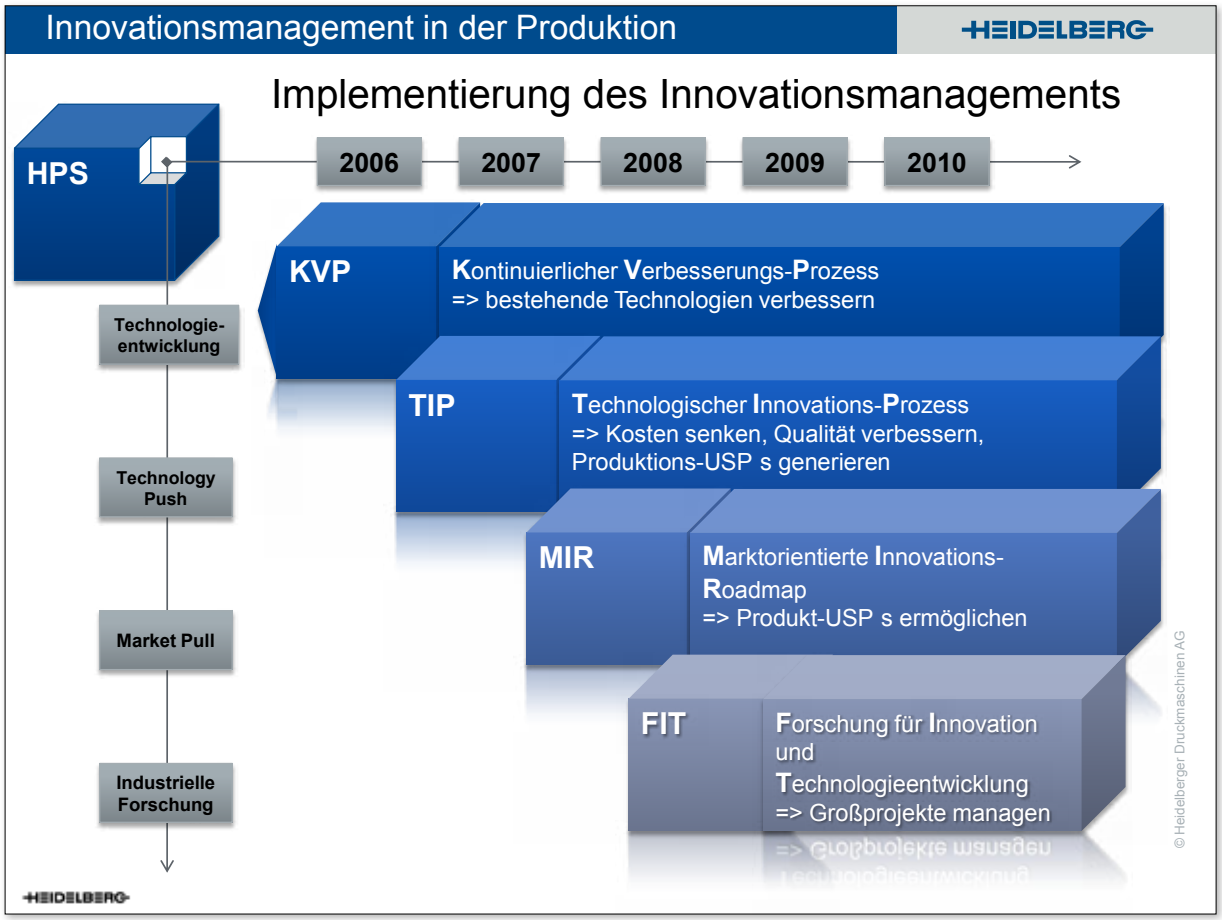


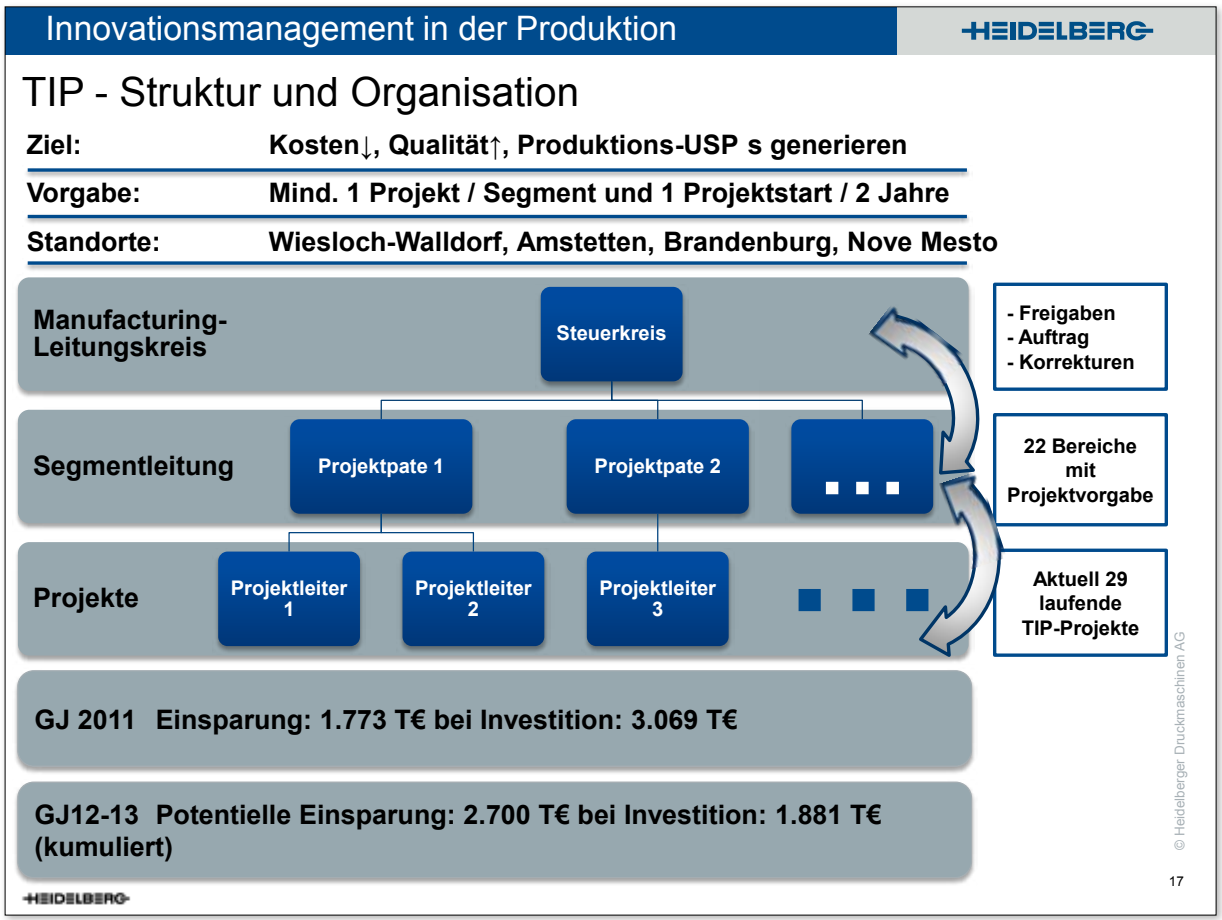


Anforderung an den neuen Prozess

- Effizientes und effektives Einsetzen der kreativen Mitarbeiter zur Generierung von Innovationen
- Gestaltung der Kommunikation zwischen Produktion, Entwicklung und weiteren Partnern
- Bereitstellung innovativer Technologien zur Produktion innovativer Produkte
- Freiräume für Innovationsaktivitäten schaffen

© Heidelberger Druckmaschinen AG


Innovationsmanagement in der Produktion
HEIDELBERG
Implementierung des Innovationsmanagements
HPS
2006
2007
2008
2009
2010
KVP
Kontinuierlicher Verbesserungs-Prozess
=> bestehende Technologien verbessern
TIP
Technologischer Innovations-Prozess
=> Kosten senken, Qualität verbessern,
Produktions-USP s generieren
MIR
Marktorientierte Innovations-
Roadmap
=> Produkt-USP s ermöglichen
FIT
Forschung für Innovation
und
Technologieentwicklung
=> Großprojekte managen
Technologie-
entwicklung
Technology
Push
Market Pull
Industrielle
Forschung
© Heidelberger Druckmaschinen AG

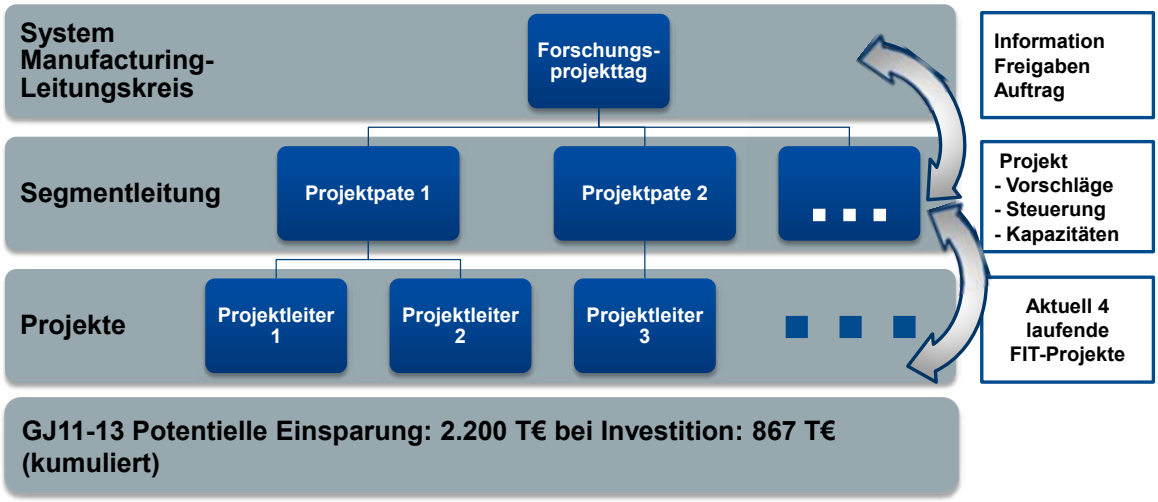

Innovationsmanagement in der Produktion
HEIDELBERG
TIP - Struktur und Organisation
Ziel: Kosten↓, Qualität↑, Produktions-USP s generieren
Vorgabe: Mind. 1 Projekt / Segment und 1 Projektstart / 2 Jahre
Standorte: Wiesloch-Walldorf, Amstetten, Brandenburg, Nove Mesto
Manufacturing-
Leitungskreis
Steuerkreis
- Freigaben
- Auftrag
- Korrekturen
Segmentleitung
Projektpate 1
Projektpate 2
22 Bereiche
mit
Projektvorgabe
Projekte
Projektleiter
1
Projektleiter
2
Projektleiter
3
Aktuell 29
laufende
TIP-Projekte
GJ 2011 Einsparung: 1.773 T€ bei Investition: 3.069 T€
GJ12-13 Potentielle Einsparung: 2.700 T€ bei Investition: 1.881 T€
(kumuliert)
© Heidelberger Druckmaschinen AG
17

Innovationsmanagement in der Produktion

HEIDELBERG

FIT - Struktur und Organisation

Ziel:	**Förderung von innovativen Großprojekten**
Standorte:	**Wiesloch-Walldorf, Amstetten, Brandenburg, Nove Mesto**



GJ11-13 Potentielle Einsparung: 2.200 T€ bei Investition: 867 T€ (kumuliert)

© Heidelberger Druckmaschinen AG

18

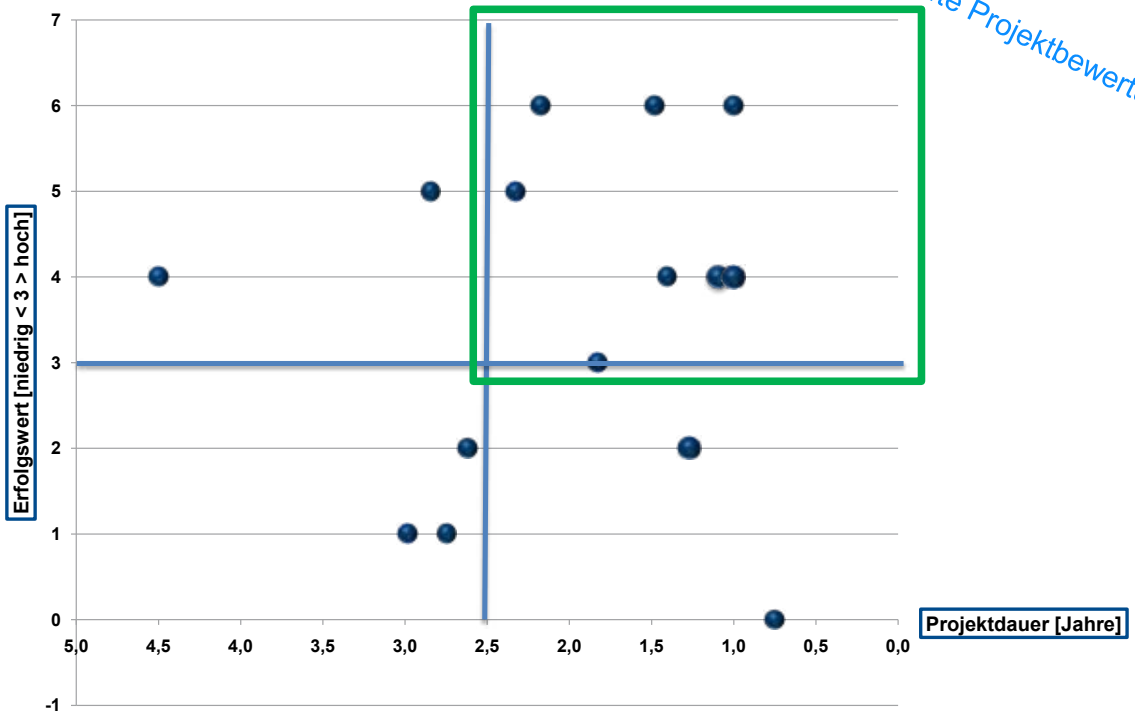
HEIDELBERG

Innovationsmanagement in der Produktion

HEIDELBERG

Potentialanalyse – Erfolgschance/ Dauer

Beispielhafte Projektbewertung



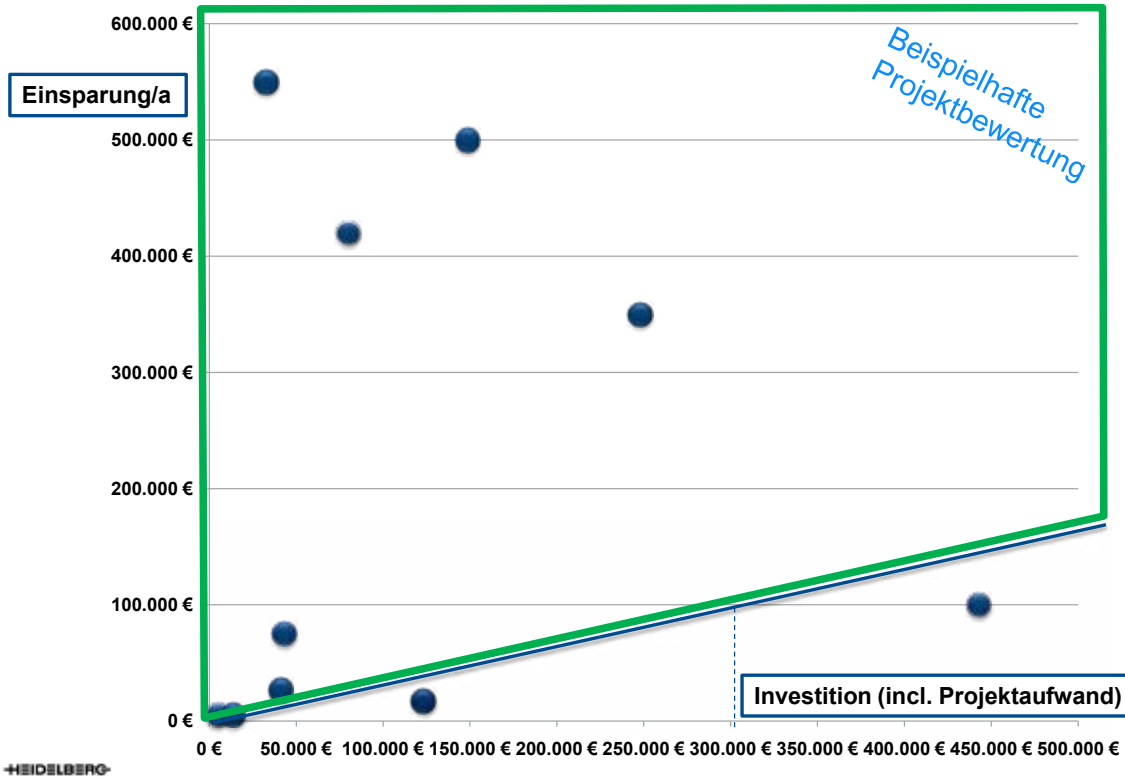
© Heidelberger Druckmaschinen AG

HEIDELBERG

Innovationsmanagement in der Produktion

HEIDELBERG

Potentialanalyse – Statische Amortisation



© Heidelberger Druckmaschinen AG

HEIDELBERG

Innovationsmanagement in der Produktion

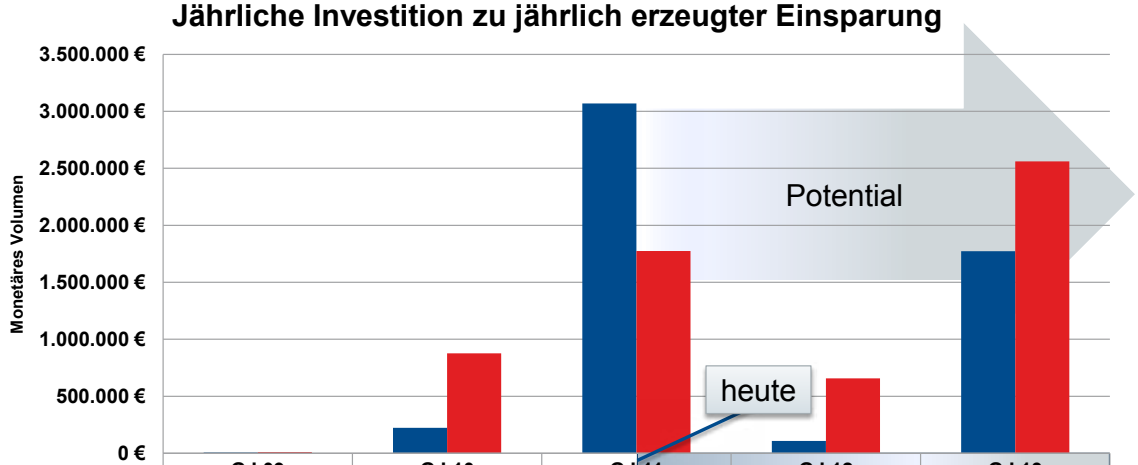
HEIDELBERG

Implementierung des Innovationsmanagements



Wirtschaftlichkeitsbetrachtung

Jährliche Investition zu jährlich erzeugter Einsparung



	GJ 09	GJ 10	GJ 11	GJ 12	GJ 13
Invest	7.700 €	224.100 €	3.069.270 €	107.934 €	1.773.497 €
Ersparnis/a	11.000 €	876.727 €	1.773.820 €	657.986 €	2.560.284 €

© Heidelberger Druckmaschinen AG

HEIDELBERG

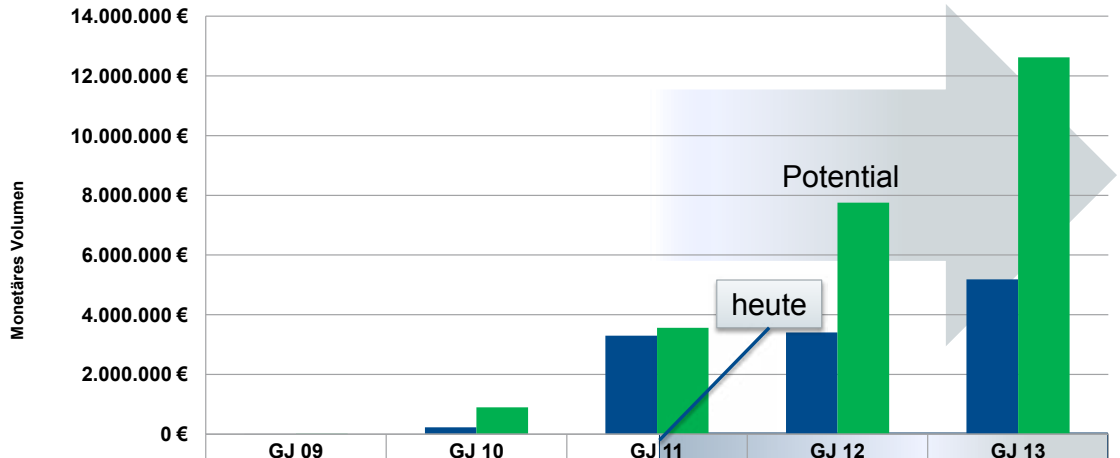
Innovationsmanagement in der Produktion

Implementierung des Innovationsmanagements



Wirtschaftlichkeitsbetrachtung

Kumulierte Investitionen zu kumulierten Einsparungen



	GJ 09	GJ 10	GJ 11	GJ 12	GJ 13
Invest kumuliert	7.700 €	231.800 €	3.301.070 €	3.409.004 €	5.182.501 €
Einsparung kumuliert	11.000 €	898.727 €	3.560.274 €	7.756.534 €	12.619.624 €

© Heidelberger Druckmaschinen AG

22

Innovationsmanagement in der Produktion

INNOWENTO

Beispiel aus FIT

Projektorganisation

Eine Zusammenarbeit zwischen dem Institut für Produktionsanlagen und Konstruktionstechnik (IPK) des Fraunhofer-Institutes in Berlin und der Heidelberger Druckmaschinen AG



© Heidelberger Druckmaschinen AG

23

Innovationsmanagement in der Produktion

HEIDELBERG

INNOWENTO

Beispiel aus FIT

Ziele

- **Reduktion der Hauptzeiten und Nebenzeiten durch innovative Zerspantechnologien**
- **Entwicklung von Werkzeugen und Beschichtungen sowie Verringerung der Werkzeugvielfalt**
- **Neue Methoden/ Prozesse zur Werkzeugüberwachung**

© Heidelberger Druckmaschinen AG

Innovationsmanagement in der Produktion

HEIDELBERG

INNOWENTO

Beispiel aus FIT

Prozess zur Einführung

1. Reduktion der Haupt- und Nebenzeiten durch innovative Zerspantechnologien

- **Gesamtstunden BRB** (nach Plan GJ13) 560.000 h/a
- **davon: auf Bearbeitungszentren (APL B* und F*) 140.000 h/a**
  - Reduktion Hauptzeiten t_{uh} um 20% ➔ 14.000 h/a
  - Reduktion Nebenzeiten t_{un} um 10% ➔ 7.000 h/a
- **auf Drehmaschinen (APL D*) 160.000 h/a**
  - Reduktion Hauptzeiten t_{uh} um 20% ➔ 24.360 h/a
  - Reduktion Nebenzeiten t_{un} um 5% ➔ 2.030 h/a

Potenzial: 2.200 T€ p. a.

© Heidelberger Druckmaschinen AG

INNOWENTO

Beispiel aus FIT



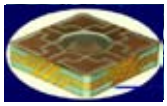
Prozess zur Einführung

- Die Entwicklung und den Einsatz von innovativen Universal- und Kombinationswerkzeugen
- Die Nutzung von Werkzeugen, die eine Mehrflächenbearbeitung technischer Elemente ermöglichen
- Die Implementierung und Standardisierung der neuen Werkzeuglösung
- Restriktion*:
  Die laufenden Werkzeugkosten dürfen sich um maximal 15% erhöhen (*Prozesssicherheit von C_p = 1,33!)

© Heidelberger Druckmaschinen AG

INNOWENTO

Beispiel aus FIT



Technische Innovationen

- Entwicklung und Verwendung neuer Werkzeugbeschichtungen und Geometrien
- Erhöhung des Zeitspanvolumens durch Anpassung von Schnittgeschwindigkeit, Vorschub und Schnitttiefe
- Substitution von Bearbeitungsverfahren
- Generierung von Schneidenmakro- und Mikrostrukturen durch innovative Verfahren

© Heidelberger Druckmaschinen AG

Innovationsmanagement in der Produktion

HEIDELBERG

Innovative Stähle für rotationssymmetrische Teile

Beispiel aus TIP



Einflussfaktor Zerspanbarkeit von Stahl



Quelle: www.econsteel.de

- Moderne Schmelz- und Feinlegierungstechnologie überführt schädliche Einschlüsse
- Es entstehen positive Effekte, ohne dass die Grundeigenschaften verändert werden

© Heidelberger Druckmaschinen AG

HEIDELBERG

Innovationsmanagement in der Produktion

HEIDELBERG

Innovative Stähle für rotationssymmetrische Teile

Beispiel aus TIP



Ziele

- Einsparung von Prozesszeit durch behandelten Stahl
- Erhöhung der Prozesssicherheit durch günstige Spanbildung
- Höhere Werkzeugstandzeiten durch bessere Zerspanbarkeit
- Bearbeitungsvorteile müssen den Materialmehrpreis deutlich kompensieren

© Heidelberger Druckmaschinen AG

HEIDELBERG

Innovationsmanagement in der Produktion HEIDELBERG

Innovative Stähle für rotationssymmetrische Teile

Beispiel aus TIP

econsteel Ca behandelter Stahl

Zerspanungsversuch

Referenzbauteil:

- Monatsbedarf : 48,9 Stk/Mon
- Teilegewicht: 0,5 kg
- Material alt: C45E+C+N Rd 88 h11 (2,3 kg)
- Material neu: EP 45, Rd 90, gewalzt (2,5 kg)
- mittelkomplexe Fertigungsgeometrie und hoher Zerspanungsanteil

Referenzmaschine:

- Futterdrehmaschine TND 400

(CNC Kurzdreher, Einspindler/ Einrevolver)



© Heidelberger Druckmaschinen AG

30

HEIDELBERG

Innovationsmanagement in der Produktion HEIDELBERG

Innovative Stähle für rotationssymmetrische Teile

Beispiel aus TIP

econsteel Ca behandelter Stahl

Zerspanungsversuch

Erste Ergebnisse:

- Zyklus-Zeit vor Optimierung: 7,15 min
- Zyklus-Zeit nach Optimierung: 3,05 min (ohne Veränderung der Schnittfolgen & Werkzeuge)
- Reduktion der Fertigungszeit: 57 % ➡ These min. 30 %
- Deutlich verbessertes Spanbild:



© Heidelberger Druckmaschinen AG

31

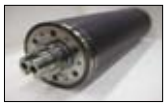
HEIDELBERG

Innovationsmanagement in der Produktion

HEIDELBERG

Interne Rasterwalzenproduktion

Beispiel aus TIP



Ausgangszustand

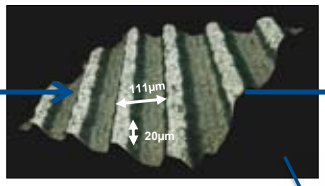
- Externer Bezug von Rasterwalzen
- Hohe Beschaffungskosten und lange Lieferzeiten
- Steigender Bedarf an Rasterwalzen



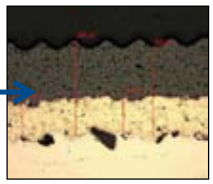
Anicolor-DW



Anicolor-Rasterwalze



Mikrostruktur der Rasterwalze



Laserstrukturierte Cr_2O_3-Beschichtung auf Stahl

- Lineatur: 90 Linien/cm
- Linienabstand: 111µm
- Strukturtiefe: 20µm

© Heidelberger Druckmaschinen AG

HEIDELBERG 32

Innovationsmanagement in der Produktion

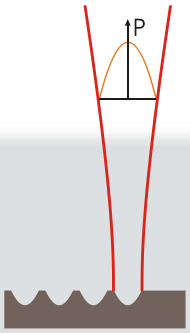
HEIDELBERG

Interne Rasterwalzenproduktion

Beispiel aus TIP



Ziele



- **Generierung signifikanter wirtschaftlicher Vorteile für die Rasterwalzenproduktion**
- **Alleinstellungsmerkmal in der Produktion**
  Erzeugung von funktionellen Oberflächenstrukturen mit extremer Feinheit, Genauigkeit und niedriger Herstellungszeit
- **Eröffnung weiterer Potentiale**
  Transfer des vorhandenen Laser-Know-Hows
  z. B. Laserhärten, Laserschweißen, Auftragsschweißen, Mikrobearbeitung, usw.

© Heidelberger Druckmaschinen AG

HEIDELBERG 33

Innovationsmanagement in der Produktion HEIDELBERG

Interne Rasterwalzenproduktion

Beispiel aus TIP



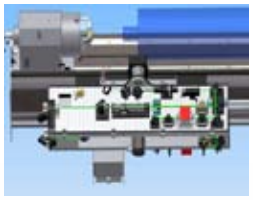
Prozess zur Einführung

Verbindung hochgenauer Handhabung mit modernster Lasertechnologie

- Kurze Pulslängen: 120ns (10^{-9}sec)
- Hohe Leistung: Spitzenl. bis 5kW (mittlere Leistung:150W)
- Hohe Pulsfrequenz: bis 500kHz
- Fokusdurchmesser: 10µm



Handhabungssystem +



Strahlführung +



Laserstrahlquelle

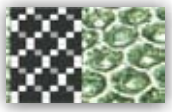
© Heidelberger Druckmaschinen AG

HEIDELBERG 34

Innovationsmanagement in der Produktion HEIDELBERG

Interne Rasterwalzenproduktion

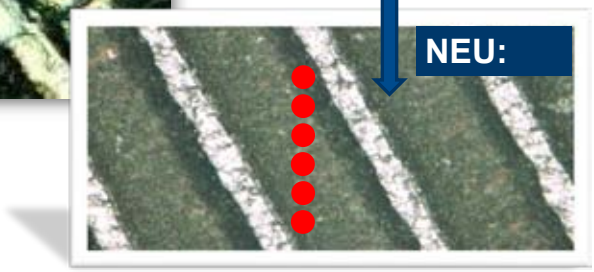
Beispiel aus TIP



Stand Laserprozess



- Nahezu schmelzfreier Abtrag
- Keine Rissbildung
- Keine Ausbrüche



- **Feine Struktur durch hochgenaue Mikrobearbeitung**
- **ca. 40 % Herstellkostenreduktion**
- **Patent der neuen Prozesskette veröffentlicht**

© Heidelberger Druckmaschinen AG

HEIDELBERG 35

Innovationsmanagement in der Produktion

HEIDELBERG

Agenda

- Heidelberger Druckmaschinen AG
- Heidelberg System Manufacturing
- Heidelberger Produktionssystem HPS
- Innovationsmanagement in der Produktion
- Fazit

© Heidelberger Druckmaschinen AG

Innovationsmanagement in der Produktion

HEIDELBERG

Implementierung des Innovationsmanagement

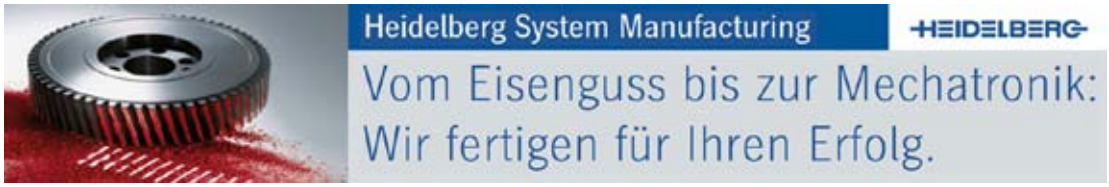


Fazit

- **Das TOP-Management muss das Thema Innovation fordern und fördern**
- **Innovationen in der Produktion generieren Wettbewerbsvorteile - Produktionsinnovation ist somit ein wesentlicher Baustein, um das „Überleben“ der Produktion eigenverantwortlich zu sichern**
- **Wesentliche Kosten- und Qualitätsverbesserungen sind umsetzbar**
- **Eine stufenweise Implementierung von Innovations-“Modulen“ ist sinnvoll**
- **Eine regelmäßige Bewertung und Verfolgung der Innovationen ist notwendig**

© Heidelberger Druckmaschinen AG

Vielen Dank



© Heidelberger Druckmaschinen AG

Prof. Werner Neubauer
Markenvorstand Geschäftsbereich Komponente, Volkswagen AG

Trends in der Automobilindustrie

Abstract | Veränderungen und Herausforderungen sind in der Entwicklung der Automobil-industrie bisher zumeist durch technische Innovationen ausgelöst worden. In den aktuellen Anforderungen sind jedoch vermehrt globale und gesellschaftliche Auslöser zu konstatieren. Die Globalität und die Schnelllebigkeit sorgen dabei für eine neue Qualität dieser Herausforderungen. Diese aktuellen Veränderungen führen derzeit dazu, dass von einer Revolution in der Automobilindustrie gesprochen wird [1]. Die Herausforderungen sind vornehmlich durch komplexe wirtschaftliche, politische und gesellschaftliche Themen geprägt. Dies sind beispielsweise die Entwicklung globaler Märkte und Wettbewerbsstrukturen und die Nachfrage nach innovativen und umweltfreundlichen Produkten. Insbesondere die Auswirkungen des demographischen Wandels sowie der gesamtgesellschaftliche Wertewandel sind deutliche Indikatoren eines Veränderungsbedarfs. Die angesprochenen Treiber des Wandels erzeugen einen Veränderungsbedarf, der wiederum neue Strategien und Trends in der Automobilindustrie fokussiert.

Keywords | *Automobilindustrie, Trends, Märkte, E-Traktion, Fertigung*

Märkte

Die globalen Märkte konnten vor der Finanzmarktkrise zweidimensional entsprechend ihres prognostizierten qualitativen und quantitativen Wachstums aufgeteilt werden. Mit relativ geringen Ausprägungen in beiden Betrachtungsebenen konnte der zentral-europäische und der süd-amerikanische Abnehmermarkt als eher stabiles Marktsegment angesehen werden. Unter Vernachlässigung der Einkommensstruktur (Gini-Koeffizient) wurde die Marktbearbeitung vorrangig von Automobilproduzenten durchgeführt, die auf relativ konstante Marktanteile aufbauen und durch eine hohe Sicherheit der Abnehmerverhältnisse geprägt waren. Das vergleichweise geringe qualitative Wachstum veranlasste zudem Automobilproduzenten mit Volumenstrategie zur Bildung derivater strategischer Geschäfts-einheiten, die ihren marktbezogenen Produktmix aus Ausläufermodellen in den Hauptmärkten generierten.

Demgegenüber ist der Markt in West-Europa durch die hohen Einkommensstrukturen insbesondere mit qualitativen Wachstumsraten geprägt. Die Käuferschichten sind hier vordergründig durch eine hohe Bedürfnisdiversifikation gekennzeichnet und bildeten die anspruchsvollste Abnehmerstruktur. Auf Seiten der Automobilproduzenten mussten diese Bedürfnisse durch überproportional steigende Variantenanzahlen und daraus abgeleiteten hohen Komplexitätskosten erkauft werden. Neuere Strategieinhalte definieren in Anlehnung dessen vordergründig den Ausbau des organisationalen Innovationsgrades und die Erhöhung der vom Markt verlangten Flexibilität. Die Produktentwicklung vollzieht immer wieder neue Qualitätssprünge gerade auch im mittleren Käufersegment, welche mit zeitlicher Verzögerung, jedoch in geringerem Maße, auch in die Produktderivate in den stabilen Märkten einziehen.

Zusammen mit Westeuropa ist auch auf dem nordamerikanischen Markt eine hohe qualitative Markenpräsenz zu verzeichnen. Der Anspruch des Vertriebs unterscheidet sich jedoch grundlegend. Die Abnehmerpyramide zeigt insbesondere in den USA eine Verbreitung, die zur Uniformität in den Fahrzeugbestellungen führt. Noch führen diese zu vergleichsweise einheitlichen Fahrzeugbestellungen in allen Geschäftssegmenten. Das Preisbewusstsein des amerikanischen Händlers verlangt auf diese Weise die Ausnutzung von Mengenrabatten, die direkt an die Abnehmer weitergereicht werden. Pauschale Ausstattungsvarianten liegen hier eher im oberen Segment. Das qualitative Wachstum auf diesen Märkten ist weit mehr als auf den Übrigen durch eine hohe Ökologisierung

gekennzeichnet. Alternative Antriebskonzepte werden hier weit offener nachgefragt und führten entgegen der bisherigen Entwicklung der Hochmotorisierung eher zu Entwicklungskonzepten auf Seiten der Automobilproduzenten, die von einem hohen Umweltbewusstsein geprägt sind.

Der japanische Markt wird im Hinblick auf das mittlere bis geringe qualitative und das mittlere Wachstum im Volumensegment ähnlich dem nordamerikanischen Markt eingeordnet. Die BRIC-Staaten (Brasilien), Russland, Indien und China bieten die Chance durch starke Geburtenraten in diesen Ländern, selbst bei Markteintritt oder auch sinkenden relativen Marktanteilen absolute Absatzsteigerungen verzeichnen zu können. Trotz der bislang noch schwierigen Einkommensverhältnisse der Bevölkerungsmehrheit wurden die BRIC-Staaten als Schlaraffenland für Volumenproduzenten tituliert. Insbesondere Indien spielt zunehmend eine globale Absatzrolle, die sich vornehmlich auf die Demographieentwicklung stützt, nach der Indien laut Prognosen binnen weniger Jahrzehnte China als bevölkerungsreichstes Land der Welt überholt [2].

Insgesamt stellt sich verstärkt sowohl demographisch als auch ökonomisch die Vorreiterrolle Indien und Chinas heraus. Im Vergleich zum eher stagnierenden Absatzmarkt in Deutschland seit dem Jahr 2000 ist in China ein stetes Nachfragewachstum zu verzeichnen, dass auch im Jahr der Finanz- und Wirtschaftskrise nicht abbricht. Der PKW-Absatz wird im Jahr 2014 prognostiziert das 4-fache des Deutschen Marktes betreffen. Besonders Fahrzeugkonzepte mit integrierter E-Traktion werden sich in China zunehmend durchsetzen, was u. a mit der hohen Verfügbarkeit von Ressourcen und Know-How begründet liegt. Um dieser Entwicklung Rechnung zu tragen ist der Volkswagen Konzern bereits heute mit fast 40 Fahrzeugmodellen in China vertreten, wovon ein Zehntel eine chinesische Eigenentwicklung darstellt.

Eine ähnliche Marktentwicklung ist in Indien zu verzeichnen. Auch hier sind die Auswirkungen des PKW-Absatzes insbesondere in den Mega Cities deutlich sichtbar. Dabei ist ein Trend weg von den nationaltypischen Motorrädern hin zu Kleinstwagen zu verzeichnen. Die meist Sonderfabrikate werden auf Basis von Standardprodukten marktindividuell angepasst, um so den Käuferanforderungen mit Hinblick auf Preis und Qualität zu genügen. Es zeigt sich auch hier, dass Indien auch nach der Krise auf robustem Wachstumspfad ist. Hierbei sind Vorteile in der Absatzstruktur für ausländische Hersteller zu erkennen, da diese Ihre relative Marktposition nicht zuletzt auch durch Unternehmens-Konglomerate stetig ausbauen.

E-Traktion

Die Produktentwicklung wird neben den gewohnten Innovationszyklen zur Verbesserung der Fahrzeugsicherheit, -qualität und des Fahrzeugkomforts um den Faktor Emissionsreduktion erweitert. Entwicklungsstrategien die ein solches »Ökologie-Upgrade« fördern liegen in der Steigerung der Effizienz fossiler Brennstoffe, der Etablierung erneuerbarer Kraftstoffe und der E-Traktion.

Im Vergleich zum konventionellen Antrieb mit fossilen Energieträgern lassen sich verschiedene Zwischenformen zum Elektrofahrzeug durchlaufen. Diese weisen steigende Energiespeicheranforderungen für Start-Stopp-Automatik und Energierückgewinnung (Micro Hybrid) zusätzlichem Boost (Mild Hybrid) und zusätzlichem E-Drive (Full bzw. Plug-In Hybrid) auf. Heutige Elektrofahrzeuge benötigen daher Kapazitäten von bis zu 25 kWh bei einer Leistung von bis zu 80 kW. Die ökonomische Zukunftsfähigkeit der E-Traktion ist dabei maßgeblich vom Leistungsspeicher Batterie abhängig. Die Kompetenz der Batterieherstellung wird im Hinblick auf die vorhergehenden Aussagen zu einer Kernkompetenz. Verschiedene Szenarien prognostizieren anhand der Entwicklung der letzten Jahre dabei rapide sinkende Preise in Euro je Kilowattstunde und bauen bis zum Jahr 2020 auf einen Technologiesprung. Heute kann noch von keinem idealen Fahrzeugkonzept gesprochen werden. Ganzheitlich-ökologische Fahrzeugkonzepte werden daher zukünftig alle Fahrzeugkomponenten (Heizung, Klima, etc.) integrieren und vollintegrierte Elektroantriebe aufweisen. Schlüsselfaktor bleibt dabei allerdings auch in absehbarer Zukunft das Energiespeicherkonzept und allem voran die Batterie selbst. Doch insbesondere auch durch staatliche Förderungen der E-Traktion wird diese Entwicklung evolutionär anhalten.

Insgesamt lässt sich prognostizieren, dass die globale Klimadebatte das Kaufverhalten und damit das Produktprogramm der Automobilproduzenten stark verändern

wird. In den USA lässt sich bereits heute feststellen, dass Hybrid-, Elektro- und Brennstofffahrzeuge als langfristiger Trend einzustufen sind. Dieser Trend wird zusätzlich durch die transkontinentalen und nationalen Gesetzgeber verstärkt. Das veränderte Käuferverhalten lässt sich weiterhin in einer geänderten sozialen Auffassung zu großvolumigen Motorisierungen erkennen. Für einen Automobilproduzenten liegt die Herausforderung in der ökologiegerechten Gestaltung seiner Produkte und in dem Handling der Segmentgrößenverlagerung durch das »Down-Sizing«.

Fertigung

Die Fertigung steht in enger Zusammenarbeit mit der Fahrzeugkonstruktion. Durch das Ansteigen des Komplexitätsgrades innerhalb der Fertigung, bedingt durch die über die Jahre ansteigenden Fahrzeugvarianten, mussten alternative Entwicklungskonzepte diskutiert und umgesetzt werden. Diese beinhalteten für die Automobilindustrie intraorganisational eine flächendeckende Produktstandardisierung. So wurde das sogenannte Plattformkonzept, welches eine interne Produktsegmentierung darstellt, entwickelt. Dieses Konzept erlaubte es, die vom Kunden als verschieden wahrgenommenen Fahrzeugmodelle auf einer einheitlichen Plattform, d. h. mit einem uniformen Fahrzeuggerüst, zu konstruieren und letztendlich zu fertigen. Am Beispiel von Volkswagen wurden aus dem Ein-Produkt-Unternehmen 1945 (VW Käfer) ein plattformmultiples Produktionsnetz. Bereits 1975 konnten so markenübergreifend Synergie- und Skaleneffekte erzielt werden. Als Beispiel soll die Volkswagen A-Klasse dienen, welche bis heute als Plattform für den VW Golf, den VW Golf Variant, den VW Bora, den VW Touran den Audi A3, den Skoda Octavia und den Séat Toledo dient.

Mit der einhergehenden Produktdifferenzierung mussten aber insbesondere seit der letzten Dekade zunehmend Modelle entwickelt werden, die als plattformübergreifend einzustufen sind. Die Verschmelzung der A0- und der A-Klasse beim VW Roomster oder auch VW Scirocco ist ein typischen Beispiel dafür. In Folge dessen wurden wissenschaftlich fundierte Ansätze entwickelt, die in Abkehr von der Plattform-Strategie eine Modulstrategie beinhalteten [3]. Letztere ist im Vergleich zur Plattform-Strategie durch eine noch höhere Produktstandardisierung gekennzeichnet. Zudem wird das moderne Fahrzeug nicht mehr nur durch ein einheitliches Gerüst, sondern durch einheitliche Baugruppen gekennzeichnet. Durch diese modell- und markenübergreifende Komponentenuniformität werden unter Beibehaltung einer hohen vom Kunden wahrgenommenen Varianz, Skaleneffekte weiter verstärkt. Diese Skaleneffekte liegen aber nicht allein in dem unternehmerischen Bemühen der Kostenreduktion begründet, sonder verstärkt auch im Schrumpfen der Marktvolumina. Um dem Trend der Erhöhung der Komplexitätskosten entgegen zu wirken, führt Volkswagen zurzeit sogenannte Modulbaukästen ein. Auf Grund der Unterschiedlichkeit musste jedoch auf einen Modularen Querbaukasten für Fahrzeuge mit Quermotor und auf einen Modularen Längsbaukasten für Fahrzeuge mit Längsmotor zurückgegriffen werden. Während der Modulare Längsbaukasten bereits im Konzern erfolgreich verankert wurde, ist dieser Integrationsprozess für den Modularen Querbaukasten derzeit in der Umsetzungsphase. Das Konzept gilt dabei am erfolgversprechendsten, um in den kommenden Jahren über 40 neue Modelle bei wettbewerbsfähigen Kosten zu entwickeln.

Großserienprodukten, wie der VW Golf, werden in der sogenannten Schalenbauweise gefertigt. Kleinstserien, wie z.B. Rennwagen werden wirtschaftlich auf Basis von Rahmenstrukturen gefertigt. Dieses Konzept ist aus der Plattform-Strategie abgeleitet. Dabei zeigt sich bereits im Vorfeld der Analysen, dass eine Modulstrategie auf Grund des extrem hohen Individualisierungsgrades in Verbindung mit einer sehr geringen Absatzmenge keine wirtschaftliche Alternative darstellt. Das Rahmenstruktur-Konzept zeigt im Produktaufbau einen stabilen Fahrzeugrahmen aus einer Rohrkonstruktion, die der Karosserieform des Fahrzeuges nachempfunden ist. Auf diesen recht einfachen Fahrzeugrahmen werden Beplankungsteile aufgebracht, die die eigentliche Kontur des Fahrzeuges bilden. Der Vorteil dieses Fertigungsvorgehens liegt auch in dem relativ einfachen späteren Austausch von Beplankungsteilen.
Eine Konzeptlücke erschließt sich für Automobilproduzenten im Mittelserienbereich zwischen Kleinst- (maximal fünf Fahrzeuge pro Tag) und Großserie (ab 100 Fahrzeuge pro tag). Dabei liegen die Skaleneffekte, die einen Einsatz der Modulstrategie rechtfertigen, noch zu tief.

Auf der anderen Seite zeigt sich schnell die mangelnde Wirtschaftlichkeit des Rahmenstruktur-Konzeptes mit steigenden Absatzzahlen, da Skaleneffekte durch hohe technische und technologische Anforderungen hier zu gering ausfallen. Gerade dieser Produktionsbereich der Mittelserie könnte zur Markterschließung von Elektro-Fahrzeugen interessant sein.

Kunden

Der Anteil der privaten Halter ist in den letzten 10 Jahren deutlich zu Gunsten von Gewerblichen / Leasing-Fahrzeugen zurückgegangen. Des weiteren ist der Anteil der Fahrzeughalter im Einzelhandel gestiegen. Daraus folgt für den Automobilhersteller ein gestiegener Anteil von finanzierten Fahrzeugen und mehr Leasing-Geschäft bzw. Fleet Owners.

Die Gesellschaftsstruktur hat sich ebenfalls deutlich verändert. War Ende 1990 die Familie mit einem oder zwei Kindern noch die zentrale Mitte, verliert sie sich heute in einer Patchwork-Gruppierung mit Hauhalten diverser Colour, wie z.B. Singles, Alleinerziehende, Kinderlose, etc.. Diese Veränderung und der demographische Wandel hat für die Automobilindustrie mehr Kundenanforderungen und neue Fahrzeugsegmente zur Folge.

Fazit

Das Absatzszenario für Automobilproduzenten lässt sich schwerer vorhersehen als je zuvor. Neben der Prognose der Ausgangsdaten ist zudem damit zu rechnen, dass sich der Wettbewerbsdruck nochmals deutlich erhöhen wird. Automobilproduzenten stehen zudem vor der Herausforderung deutlich leistungsfähiger in verschiedenen Bereichen zu werden. An nahezu allen Fronten wird gekämpft:

- um den Heimatmarkt und zugleich den neuen (vornehmlich asiatischen) Kunden,
- um die Angebotsspreizung bei steigendem Innovationsgehalt im Antriebskonzept und
- um die zukunftsträchtigsten Produktionsmethoden und besten Lieferanten.

Zumindest das Potential zum Wachstum ist bei heimischen Marken vorhanden. Ganz dem darwin'schen Grundsatz folgend kommt es dabei darauf an, wer der Schnellste und wer der Beste ist. Alle anderen OEM's werden in einem zunehmenden Verdrängungswettbewerb einer Marktbereinigung unterliegen. Bei Volkswagen zeigen die Absatzzahlen in den heimischen und in den neuen Märkten, dass die bisher verfolgte Strategie auch zukünftig die Überlebensfähigkeit des Unternehmens sichern kann und wird. Als Spitzenreiter mit derzeit ca. 18 Prozent Marktanteil in China ist Volkswagen Marktführer auf dem derzeit wichtigsten Wachstums- und Volumenmarkt. Die hohe Wandlungsgeschwindigkeit führt jedoch analog der sich halbierenden Produktlebenszyklen zu drastisch gekürzten Anforderungen an die organisationale Anpassungsfähigkeit. Zentrales Anliegen eines jeden Automobilproduzenten muss es demnach sein, den wichtigsten Marktteilnehmer überhaupt, den Kunden, in den Fokus der Bemühungen zu stellen.

Quellenverzeichnis

[1] Hüttenrauch, M./ Baum, M., [Vielfalt,2008]: Effiziente Vielfalt. Die dritte Revolution in der Automobilindustrie. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag, 2008

[2] Simon, Hermann: »Hidden Champions des 21. Jahrhunderts – Die Erfolgsstrategien unbekannter Weltmarktführer«, Campus Verlag, Frankfurt am Main, 2007

[3] Ebel, Bernhard; Hofer, Markus B.; Sl-Sibai, Jumana: »Automotive Management – Strategie und Marketing in der Automobilwirtschaft«, Springer Verlag, Berlin u. a. 2004.

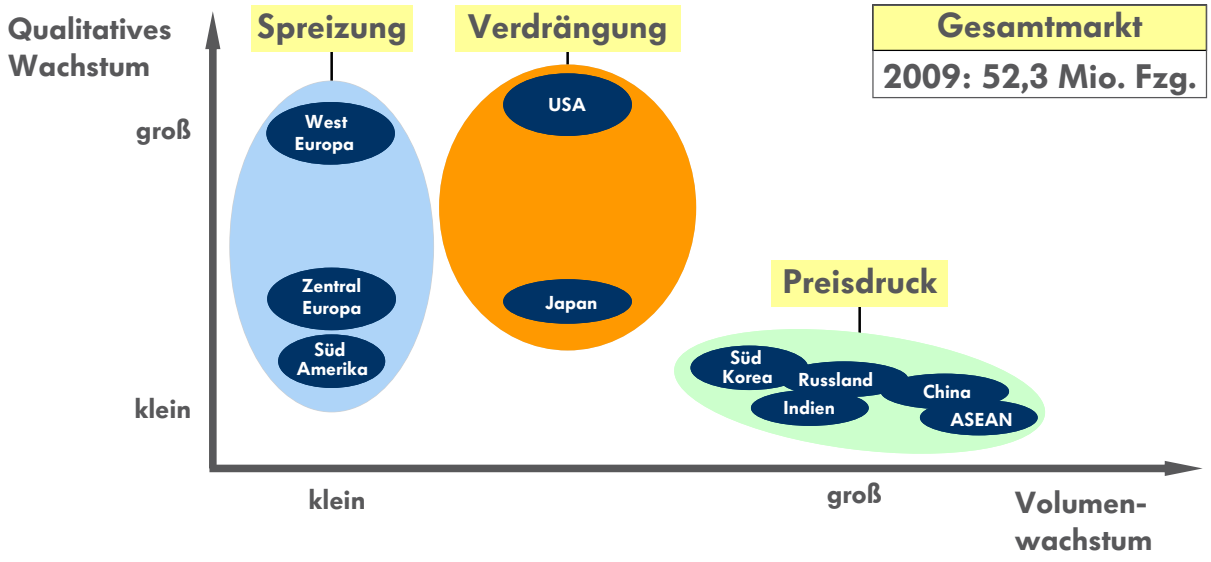


Trends in der Automobilindustrie

Prof. Dr. W. Neubauer

KOMPONENTE

1. Märkte Wachstum – Cluster



Gesamtmarkt
2009: 52,3 Mio. Fzg.

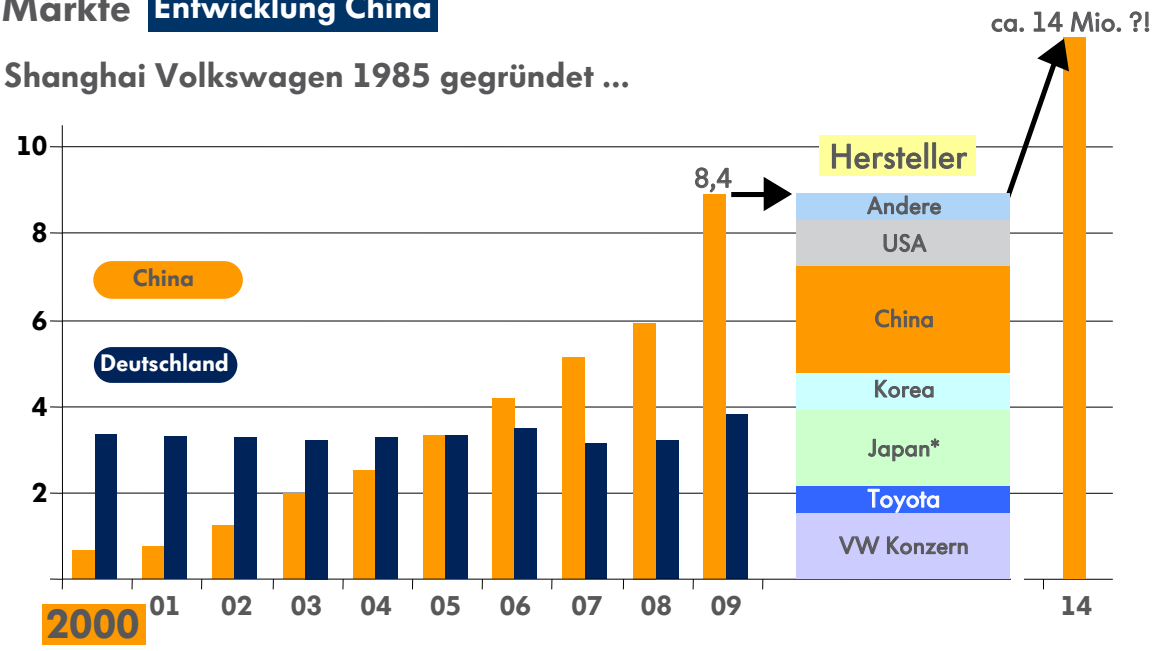
Wachstum nicht in der EU und kein Einheitsauto

KOMPONENTE

Stand: 16.09.10 – 2

1. Märkte Entwicklung China

Shanghai Volkswagen 1985 gegründet ...



Der Volkswagen Konzern hat einen Marktanteil von 18 %

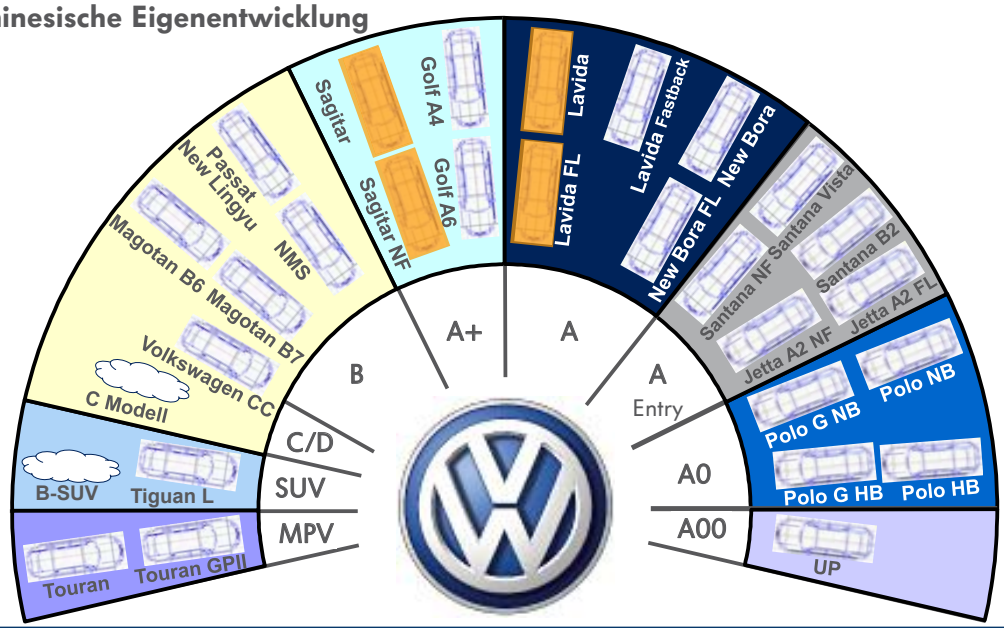
KOMPONENTE

*ohne Toyota

Stand: 16.09.10 – 3

1. Märkte Entwicklung China

Chinesische Eigenentwicklung



Volkswagen ist mit 27, Audi mit 5 und Skoda mit 7 Modellen vertreten

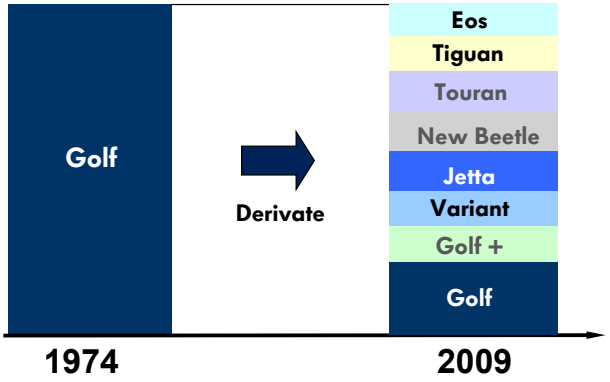
KOMPONENTE

Stand: 16.09.10 – 4

1. Märkte **Entwicklung Europa**

Traditionell gesättigte Märkte.

Kaufkraftverlust lässt kein Volumenwachstum erwarten.



Der Drang der Bevölkerung nach Individualisierung hat zu einer Segmentierung der Angebotspalette geführt.
Dies wird sich nun mit Hybrid und E-Fahrzeugen fortsetzen.

In Europa folgen die zusätzlichen Derivate der Gesellschaftsspreizung

KOMPONENTE

Stand: 16.09.10 – 5

2. E-Traktion **Ausprägungen der Elektrifizierung**

konventioneller Antrieb	Micro Hybrid	Mild Hybrid	Full Hybrid	Plug-In Hybrid	Elektro-Fahrzeug
• Starten	• Start-Stopp	• Start-Stopp	• Start-Stopp	• Start-Stopp	Fzg.-typen:
	• **Rekuperation***	• Rekuperation	• Rekuperation	• Rekuperation	- Stadtauto
		• **Boost**	• Boost	• Boost	- Stadttransporter
			• **E-Drive, 2 km**	• E-Drive	- Sportwagen
				• **bis 20 km**	• E-Drive
					• **bis 100 km**
E-Maschine elektr. Leistung kW	6	15	30	60	80
Batterie Energieinhalt kWh	1	2	10	20	25

Losfahren mit voll geladener Batterie entspricht Tankstellung „Reserve“ beim Golf

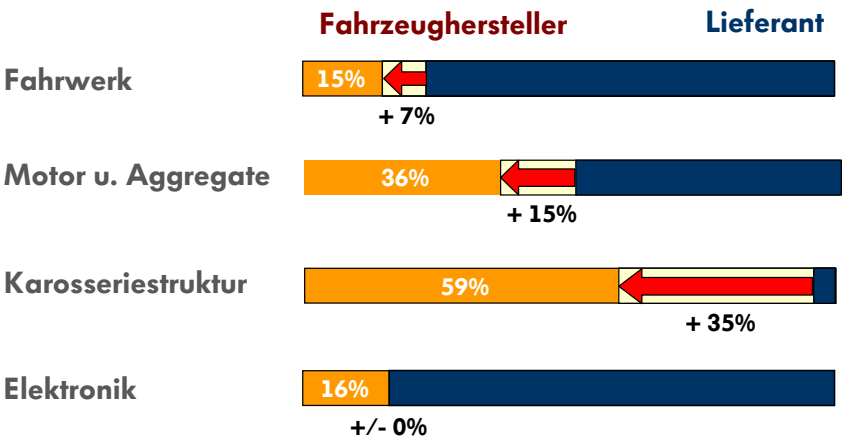
KOMPONENTE

* Rekuperation = Energierückgewinnung

Stand: 16.09.10 – 6

3. Fertigung Lieferanteneinbindung

... geschätzte Arbeitsteilung mit den Lieferanten in 2015

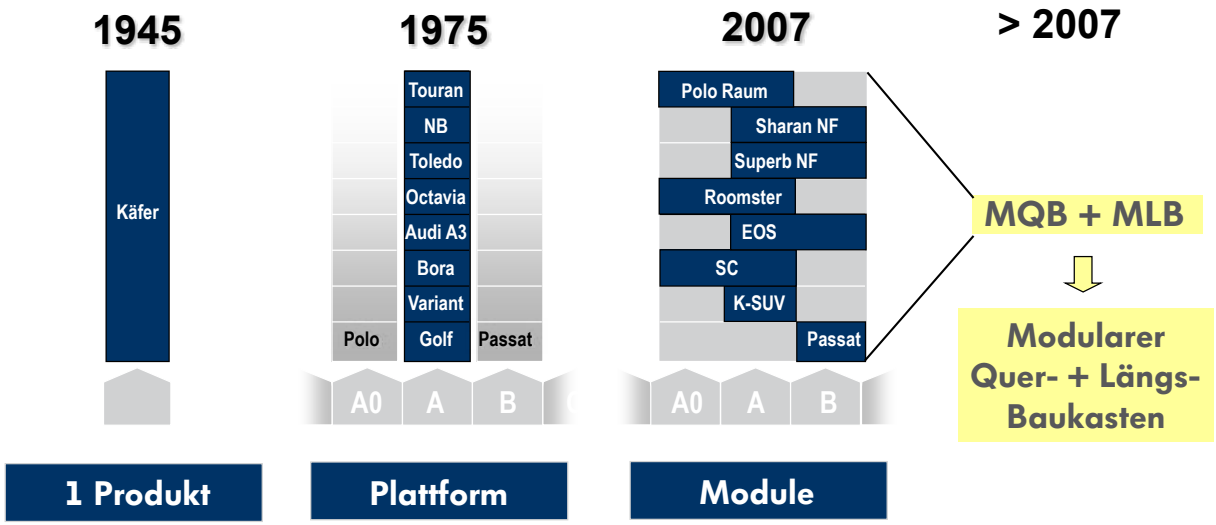


Immer mehr Derivate erfordern Arbeitsteilung mit Lieferanten

KOMPONENTE

Stand: 16.09.10 – 7

3. Fertigung Scale-Effekt



Der Weg des Scale Effektes – € / Fzg.

KOMPONENTE

Stand: 16.09.10 – 8

3. Fertigung E-Fahrzeug

Kleinstserie Rahmenstruktur

Rolling E-Chassis mit Beplankung



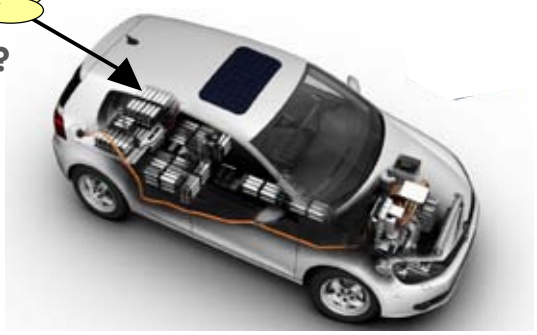
Doppelter Sandwich Boden

Batterie

Heizung?
Klima?

Großserie Schalenbau

MQB mit Elektroantrieb



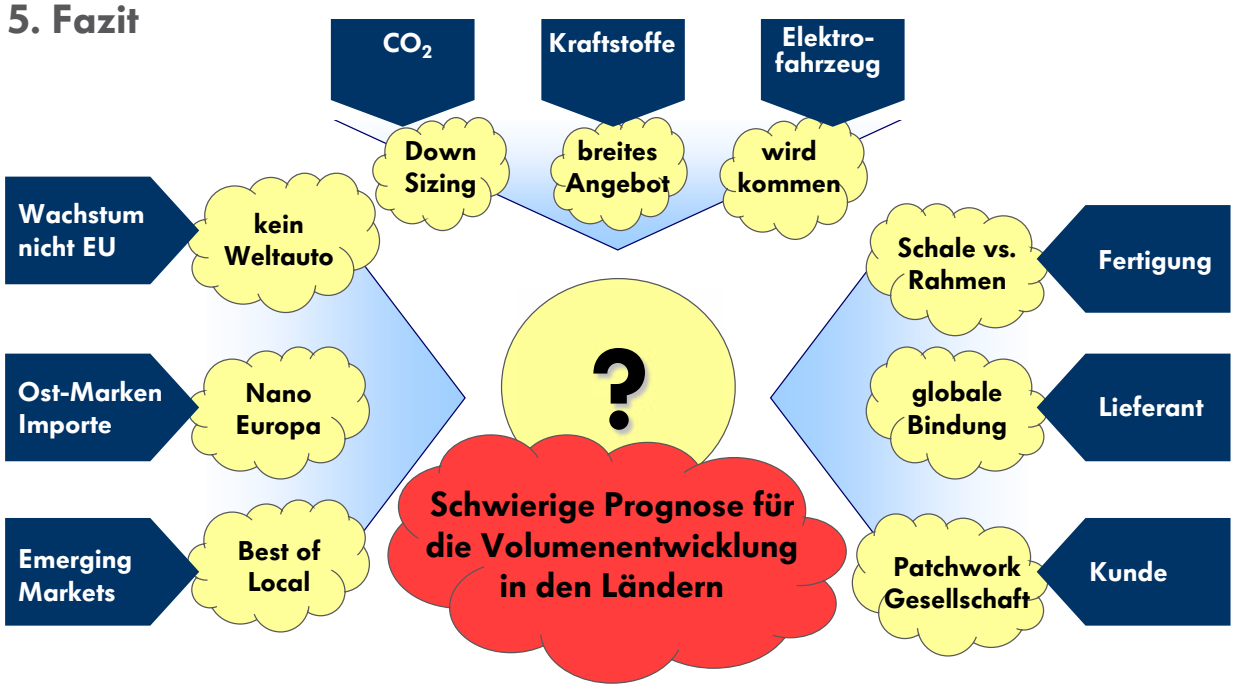
Angepasster Schalenboden

Anordnung der Batterie bestimmt die Karosserieform

KOMPONENTE

Stand: 16.09.10 – 9

5. Fazit



Sicher ist nur – der Kunde ist das Wichtigste...

KOMPONENTE

Stand: 16.09.10 – 10

... daher brauchen wir

emotionale und gute Produkte!



KOMPONENTE

Stand: 16.09.10 – 11

Prof. Eckart Uhlmann
Fraunhofer IPK, IWF TU Berlin

Schrittmachertechnologien für eine nachhaltige Produktion

Abstract | Der Weg zu einer Nachhaltigkeitsorientierung in der Produktion vollzog sich in den letzten mehr als hundert Jahren von einer reinen Produktorientierung zur Realisierung der Massenfertigung über Vermarktungsstrategien für Variantenprodukte sowie über eine durch zunehmend individualisierte Produkte ausgelöste Kundenorientierung. Die Dimensionen der Nachhaltigkeit umfassen neben ökonomischen und ökologischen auch soziale Aspekte. In aktuellen Bestrebungen ist die Steigerung der Ressourceneffizienz und Umweltverträglichkeit von energieintensiven Bereichen der Produktionstechnik in den Mittelpunkt gerückt. Nachhaltigkeitspotenziale in der Produktion können allerdings nur dann ausgeschöpft werden, wenn die gesamte Prozesskette von der Produktentstehung über den Produktgebrauch bis hin zu Recyclingfragen integriert und aufeinander abgestimmt in allen drei Nachhaltigkeitsaspekten betrachtet wird.

Keywords | *Produktionstechnik, Virtuelle Produktentstehung, Fertigungsprozesse, Werkzeugmaschine, Nachhaltigkeit, Schrittmachertechnologien*

1 Nachhaltigkeit in der Produktion

Die Nachhaltigkeit definiert sich durch die Erfüllung von ökonomie- und ökologieorientierten sowie sozialen Aspekten, die es in Einklang zu bringen gilt. Nach wie vor wird die Ökonomie eines Unternehmens von der Fähigkeit bestimmt Produktionskosten zu minimieren, die Wandelbarkeit und Flexibilität gleichzeitig zu steigern wie auch einen effizienten Mitarbeitereinsatz sicherzustellen. Teilweise widersprechen ökologische und umweltbezogene Lösungsansätze und Maßnahmen den Paradigmen der jeweiligen Zielkorridore. Andererseits wirkt sich zum Beispiel die Ressourcenproduktivität bezüglich der genutzten Werk-, Betriebs- und Hilfsstoffe sowie Energie gleichermaßen positiv auf ökologische und ökonomische Faktoren aus. Im Sinne der sozialen Nachhaltigkeit gilt es zukünftig neben der Förderung von Mitarbeiterzufriedenheit, Gesundheit, Sicherheit und Weiterbildung Ansätze von humanzentrierten Produktionskonzepten zu verfolgen, die die kognitiven und haptischen Fähigkeiten des Menschen besser nutzen.

Längst hat die Ressourcendiskussion die produzierenden Unternehmen erreicht. Neben dem effizienten Umgang mit Rohstoffen ist in den letzten beiden Jahren die Energieeffizienz mit in den Mittelpunkt gerückt. In Deutschland werden etwa 46 % des gesamten Strombedarfs durch die Industrie verbraucht [1]. Es wird davon ausgegangen, dass 10 % bis 15 % hiervon durch Werkzeugmaschinen der spanenden Fertigung verursacht werden [2]. Bestehende Modelle zur Bilanzierung der spanenden Fertigung eines Produktes vernachlässigen in der ganzheitlichen Lebenszyklusbetrachtung vom Rohstoff über den Gebrauch bis hin zum Recycling des Produktes vor allem produktentwicklungsbegleitende Bilanzen [3]. Zur ganzheitlichen Bilanzierung eines Produktes sind demnach nicht nur energie- und ressourcenintensive Prozesse, sondern auch die Gebrauchsdauer und das Gebrauchsverhalten zu berücksichtigen. Wesentliche Umweltbelastungen entstehen oftmals erst in der Nutzungsphase des Produktes durch falsche Handhabung [4]. Verglichen mit spanenden Fertigungsverfahren mit geometrisch bestimmter Schneide werden bei klassischen Feinbearbeitungsverfahren wie das Schleifen bezogen auf die abgetrennte Werkstoffmenge in der Regel mehr Energie und Ressourcen benötigt. Ein grundsätzlicher Zusammenhang besteht beispielsweise in der direkten Abhängigkeit der benötigten spezifischen Schleifenergie von der zu erreichenden Oberflächengüte [5]. Die Vermeidung von Kühlschmierstoffen erlangt sowohl unter ökologischen als auch ökonomischen Gesichtspunkten erneut an Bedeutung, wobei die Kühlschmierstofffreiheit

über Einzelprozesse hinaus auf die gesamte Produktion ausgeweitet werden muss.

2 Integrierte digitale und technologiegetriebene Fabrik-, Produktions- und Produktplanung

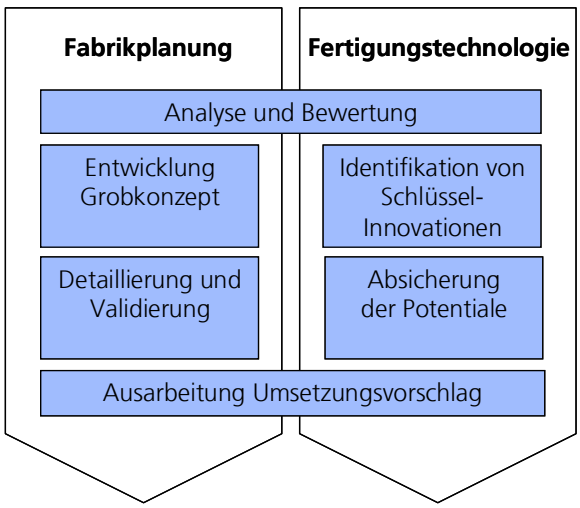
In einem turbulenten Marktumfeld stellt sich häufig die Aufgabe, die Fabrik an veränderte Produktportfolios anzupassen, einzelne Produktionsbereiche auszuweiten, zu verkleinern oder zu optimieren, neue Maschinen zu integrieren und den Materialfluss anzupassen.

Die Fabrikplanung und die Optimierung der Produktion hinsichtlich Kosten, Durchlaufzeit und Qualität vollziehen sich derzeit in der Regel durch die Anpassung von Fertigungsprozessketten und durch die Optimierung einzelner eingeführter Fertigungstechnologien. Die technologiegetriebene Fabrikplanung und -optimierung hingegen stellt parallel zur Grobplanung einer Produktion zunächst die bekannten Prozessketten mit ihren Fertigungsverfahren grundsätzlich in Frage, um neue Option zur Effizienzsteigerung der Fabrik über völlig neue Fertigungsfolgen und Fertigungstechnologien zu erschließen. Die konsequente Ausrichtung der Produktion auf Höchstleistungsfertigungsverfahren und -werkzeuge, Verfahrenssubstitutionen und angepasste Technologieparameter führen zu deutlich verkürzten Prozessketten. Die experimentelle Verifizierung neuer Fertigungstechnologien findet beispielsweise am IWF und IPK mit realen Kundenbauteilen statt, die die Serientauglichkeit und einen störungsfreien Produktionsanlauf sicherstellen. Die so vorqualifizierten Produktionstechnologien sind die Bausteine für die Feinplanung der Fabrik. Durchlaufzeitverkürzungen und Kosteneinsparungen im zweistelligen Prozentbereich sind so realisierbar (Bild 1).

2.1 Integrierte Modellierung des Fabrikbetriebs

Die Entwicklung nachhaltig wirtschaftender Unternehmen setzt konsequent auf szenarioartige Herangehensweisen zu deren Optimierung. Die Produkt- und Produktionsplanung basiert auf realitätsabbildenden Modellen, in denen bereits in sehr frühen Phasen der Planung das Verhalten des gesamten Unternehmens durch Simulation vorhersagbar wird. Es gilt die Modelle und Simulationen des Fabrikbetriebs mit seiner Vernetzung mit den Kunden, Lieferanten und Dienstleistern, der Produktentwicklung, der Eigenschaften und des Verhaltens der Produktionssysteme sowie der Fertigungsprozesse bis hin zur Model-

Projektbeispiel „INLINE“ Siemens E F, Berlin



2. Platz im Siemens „Team Award 2006“ in der Kategorie „3i Manufacturing Excellence„ (500 eingereichte Projekte)

Ziel

- Segmentierung der Gasturbinenschaufelfertigung



Gasturbinenschaufel

Ergebnisse

- Entwicklung und Umsetzung von Fertigungs-, Organisations-, IT- und Technologiekonzept
- Reduzierung der Fertigungskosten um 15 % und der Durchlaufzeiten bis zu 40 %
- Konzernweite Umsetzung der Technologie-Roadmap (Leadfactory Berlin)
- Initiierung einer F&E-Partnerschaft
- IPK als Nachwuchspool

Bild 1: Technologiegetriebene Fabrik- und Produktionsplanung

lierung der Spanbildungsvorgänge zur Bestimmung der gefertigten Bauteilqualität und des Werkzeugverschleißes zu integrieren. Nur so kann das virtuelle Unternehmen in beschleunigter Weise ganzheitlich weiterentwickelt und bereits im Planungsstadium durch erweiterten Variantenvergleich voroptimiert werden, bevor die physische Umsetzung erfolgt. Die erreichte Modellgüte determiniert hierbei den noch zu erbringenden Anpassungsaufwand während des Produktionsanlaufes.

Zweidimensionale Fabrikaufstellungs- und Flächenpläne (Layouts) werden durch dreidimensionale Darstellungen der neuen Fabrik ersetzt. Durch Digitalisierung kann eine leichte Bestandsaufnahme erfolgen. Neue Fertigungseinrichtungen werden in 3-D-Modelle eingefügt. Mit Hilfe der Simulation werden verschiedene Zukunftsszenarien mit echten Fabrikdaten durchgespielt und die jeweiligen Auswirkungen auf beispielsweise Auslastung, Lieferzeit und Kosten, abgeschätzt. Auf diese Weise wird die Zukunftssicherheit der einzelnen Planungsalternativen überprüft. In der Umsetzung kann ein Planungs- und Anlaufleitstand Abstimmungsfehler vermeiden, indem er Informationen verschiedener Planungsbeteiligter zusammenführt und transparent hält. Kostenverringerung und Umweltschonung stehen im Vordergrund des Konzepts »Energieeffiziente Fabrik«, das unter anderem einen Verbund der Prozesswärmetechnik und Prozesskühlung mit der übrigen Haustechnik herstellt. Kühlung aus Solarwärme und Pflanzenzonen zur Klimaregulierung in Fabrikhallen sind hier weitere innovative Ansätze.

In einer Zeit fortschreitender Individualisierung der Produkte und verkürzter Produktlebenszyklen können Skaleneffekte in der Produktion nicht mehr voll realisiert werden. Die Städte als Lebens- und Arbeitsraum wachsen weltweit. Diese Trends rücken die urbane Produktionswirtschaft in den Fokus der Produktionsforschung. Die nachhaltige Gestaltung der Ressourcenwirtschaft in geschlossenen innerstädtischen Produktions-Kreisläufen steht im Mittelpunkt dieser Forschungsarbeiten.

Die Fähigkeit der Unternehmen diesen Trend in ihrer Unternehmensstrategie rechtzeitig zu berücksichtigen wird zu einem entscheidenden Erfolgsfaktor für die Unternehmenssicherung. Die langfristige und nachhaltige strategische Unternehmensentwicklung wird jedoch auch durch andere Trends beeinflusst. So erschweren zusehends häufige Wechsel in der Unternehmensführung und eine höhere Komplexität unternehmerischer Entscheidungen den Strategiebildungsprozess. Der Wirtschaftlichkeitsnachweis unternehmerischer Entscheidungen lässt sich auf Grund fehlender Transparenz, Daten und fehlender Methoden im Nachhinein nur mit größtem Aufwand führen.

Der Lösungsansatz des Fraunhofer IPK begreift den Prozess der Strategiefindung und Durchsetzung als einen steuerbaren Kreislaufprozess mit einem standardisierten Workflow. Strategische Entwicklungsmaßnahmen werden in Form von internen Entwicklungsprojekten durchgeführt. Die Auswahl der Entwicklungsmaßnahmen erfolgt auf Basis ihres Beitrages zu den definierten Unternehmenszielen und ihrer Deckung mit der Unternehmensstrategie. Die Bewertung der Wirtschaftlichkeit jeder Maßnahme beruht auf einem vorgegebenen, einheitlichen, transparenten und Zahlen-, Daten- sowie Fakten-basierten Workflow. Im Lösungsansatz wird das Unternehmen in einer digitalen Stückliste abgebildet. Diese »Unternehmensstückliste« enthält aggregierte Marktstrukturdaten, Unternehmensstrukturdaten, Roadmaps sowie die Kernprozesse des Unternehmens verlinkt mit aggregierten Ressourcen- und Ablaufdaten wie Organisations-, Mitarbeiter- und Kostenstruktur, Produktionsprogramm, aggregierte Arbeitspläne, Technologien sowie Maschinengruppen (Bild 2). Der Business case eines Projektvorschlags sowie einer Maßnahmen zur Unternehmensentwicklung kann nur auf Basis der Elemente dieser Unternehmensstückliste gerechnet und eingereicht werden.

Die Steuerung der Werksentwicklungsprojekte erfolgt auf Basis der Einhaltung von Termin-, Kosten- und Leistungszielen, die in dem originären Business case benannt wurden. Die Abnahme der Projektergebnisse führt zur Aktualisierung des Unternehmensmodells entsprechend des hinterlegten Workflows. Die Weiterführung eines Projektes und damit die nachhaltige Verfolgung des Themas werden über hinterlegte Roadmaps verfolgt und automatisch angestoßen.

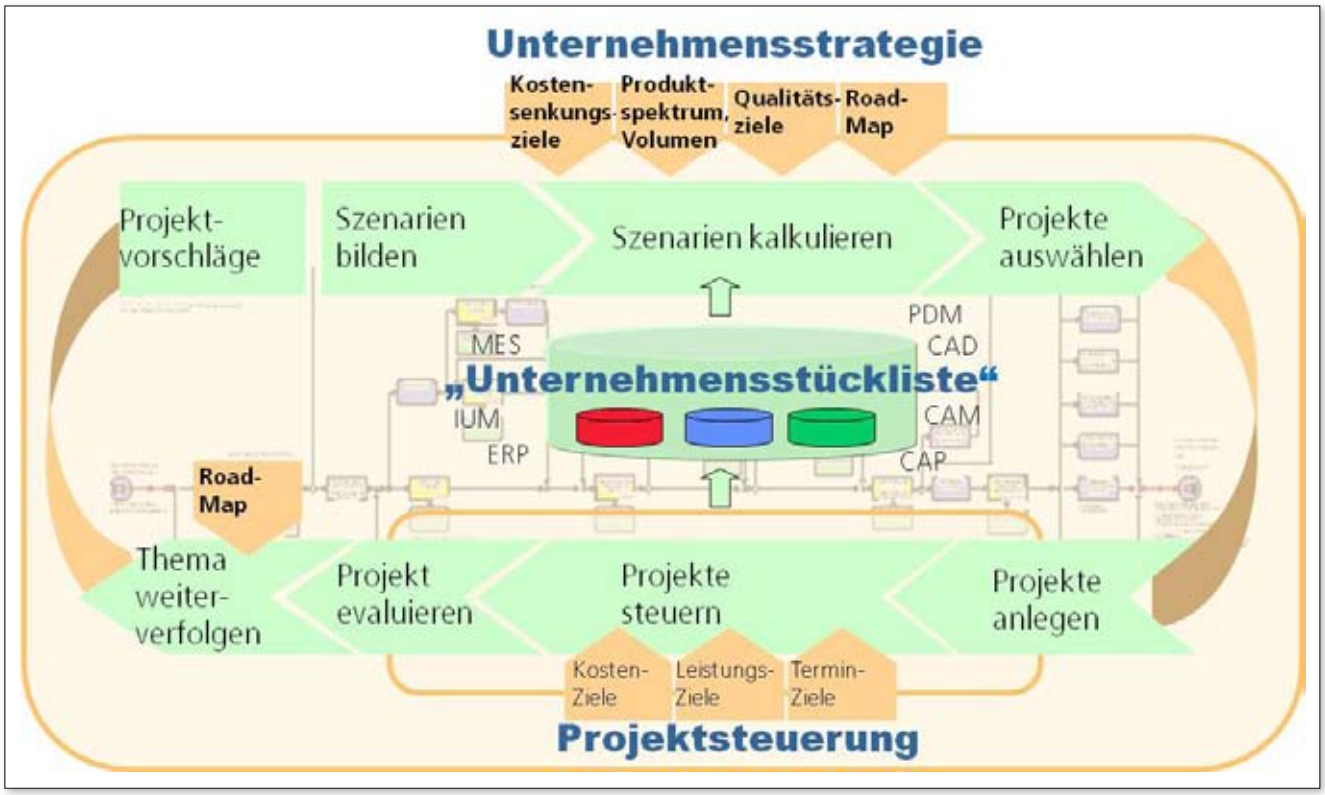


Bild 2: Integrierte technologiegetriebene Unternehmensplanung

2.2 Virtuelle Realität und Smart Hybrid Prototyping – Kerntechnologien der virtuellen Produktentwicklung

Ein vordringliches Ziel der Virtuellen Produktentwicklung ist die Erprobung und Absicherung von Produkteigenschaften in frühen Entwicklungsphasen. Durch den Einsatz adäquater Simulationsmodelle und -verfahren, die zu jedem Zeitpunkt des Gesamtprozesses zur Verfügung stehen, können Produkteigenschaften bereits am virtuellen statt am physischen Produktmodell erprobt werden. Als ein Bestandteil der digitalen Erprobung von Produkten werden Digital und Functional Mock-Ups (DMU, FMU) eingesetzt. Das DMU bildet durch ein virtuelles Modell Struktur und Geometrie eines Produktes ab und erlaubt es, virtuelle Ein- und Ausbauuntersuchungen, Ergonomieuntersuchungen oder Baubarkeitsprüfungen durchzuführen. Das FMU ermöglicht darüber hinaus, die Funktionalität eines Produktes digital zu simulieren und für den Anwender erlebbar zu gestalten (Bild 3).



Bild 3: Echtzeitsimulation des physischen Interaktionsverhaltens einer Heckklappe mittels eines Smart-Hybrid-Prototyping-Systems (Foto: Fraunhofer IPK, [6])

Hinsichtlich des Zeitverhaltens werden Simulationen unterschieden, die das Produktverhalten in Offline-Simulationen oder in interaktiven Echtzeitsimulationen darstellen. Die Prozesskette bei beiden Arten der Simulation unterscheidet sich nicht wesentlich voneinander, so ist der Modellaufbau in beiden Fällen gleich, lediglich die Randbedingungen unterscheiden sich, da in Echtzeitsimulationen der Benutzer interaktiv die Beanspruchungsarten auf das Modell appliziert. Echtzeitsimulationen sind insbesondere geeignet, dem Benutzer umfangreiche visuelle

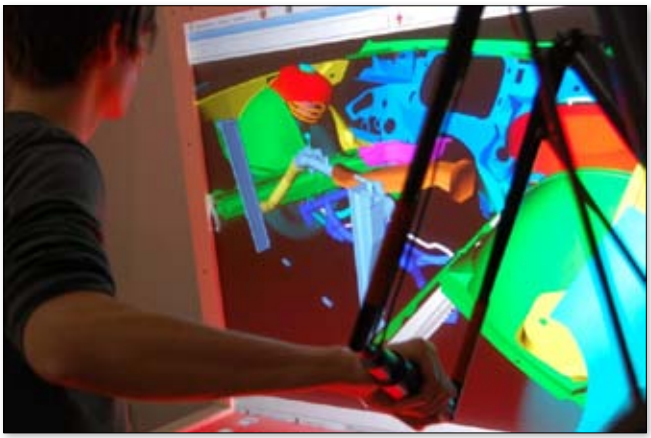


Bild 4: Echtzeitsimulation flexibler Teile in einer immersiven VR-Umgebung (Foto: Fraunhofer IPK, [10])

Eindrücke des Produkts beziehungsweise von Simulationsdaten zu präsentieren und eine intuitive Handhabung des virtuellen Prototypen zu ermöglichen [7]. Hervorzuheben sind immersive Virtual Reality Systeme, die die Darstellung des virtuellen Prototypens und die Interaktionstechniken stark an der menschlichen Wahrnehmung und Motorik ausrichten. So wird es möglich, virtuelle Prototypen dreidimensional im Maßstab eins-zu-eins in Relation zum eigenen Körper wahrzunehmen [8] und mit ihnen auf realistische und zum Teil intuitive Weise zu interagieren [9, 10]. Typische Funktionen industrieller VR-Systeme sind interaktive Design Reviews, dynamische Einbau- und Ausbauuntersuchungen, Montageuntersuchungen beispielsweise mit flexiblen Bauteilen [10], (Bild 4), Planung von Wartungsvorgängen, Ergonomieuntersuchungen beispielsweise anhand virtueller Menschmodelle oder fotorealistische Produktpräsentationen für Management und Vertrieb. Bei den auf dem Markt befindlichen VR-Systemen ist zu erkennen, dass sie jeweils besondere Stärken in einzelnen dieser Felder haben, zum Beispiel in der ästhetischen Produktpräsentation oder in umfangreichen Möglichkeiten zur Interaktion [11].

Die Integration von VR-Systemen in den digitalen Arbeitsablauf erfolgt idealerweise über eine direkte bidirektionale Schnittstelle an PDM/PLM-Systeme, die es quasi »auf Knopfdruck« ermöglicht, den im Repository vorgehaltenen aktuellen Entwicklungsstand interaktiv zu simulieren. In der industriellen Praxis müssen CAD-Modelle jedoch in der Regel manuell nachbearbeitet werden. Einige in CAD-Modellen ursprünglich vorhandene Informationen, wie beispielsweise kinematische Produkteigenschaften, können nur schwer beziehungsweise kaum automatisiert in VR-Simulationen übernommen werden. Der Rückfluss von in VR-Sitzungen gewonnen Informationen in PDM-Systeme muss ebenfalls noch ausgebaut werden [12].

Im Vergleich zur interaktiven Simulation in der VR-Umgebung erfolgt ein ungleich höherer Anteil von Berechnungen und Simulationen für verschiedenste Problemstellungen in der Produktentwicklung mittels Computer Aided Engineering-Systemen (CAE). Typische Problemstellungen sind Strömungsverhalten, Crash-Verhalten, Geräusch-, Vibrations- und Schwingungsverhalten sowie statische Analysen. Aufgrund der Komplexität der zu lösenden Problemstellungen werden bisher keine analytischen Lösungen gefunden, sondern nur Näherungslösungen.

2.3 Integrierte Struktur- und Prozesssimulation zur Stabilitätsprognose und Maschinenoptimierung

Die durchgängige Modellierung und Simulation von Fertigungsprozessen zur Vorhersage der Fertigungskosten, der Durchlaufzeiten, der Bauteilqualität sowie des Werkzeugverschleißes erfordern die integrierte digitale Abbildung des statischen, dynamischen und thermischen Genauigkeitsverhaltens von Maschinensystemen. Dazu sind die unter dem Einfluss der im Fertigungsprozess auftretenden inneren und äußeren Störeinflüsse sowie die sich ändernden Stellgrößen zu beachten, die zu variierten Prozessparametern wie Kräfte und Temperaturen führen. Die Simulation des Spanbildungsverhaltens wird mit dem Ziel geführt sowohl den Verschleiß der Werkzeuge als auch die Oberflächenqualität der Bauteile vorherbestimmen und damit optimieren zu können.

Durch die Rahmenbedingungen des globalen Wettbewerbs ist es für Unternehmen essentiell, eine hohe Produktivität bei gleichbleibend hoher Qualität zu gewährleisten. In der spanenden Fertigung und besonders im Bereich des Fräsens ist es daher zielführend, die Zerspanleistung in Hochleistungsprozessen signifikant zu erhöhen. Die Zerspanleistung wird in der Regel nicht durch die installierte Antriebsleistung von Haupt- und Vorschubantrieben begrenzt. Vielmehr führt die Anregung der Maschine aus dem Prozess zu Schwingungen und damit zu leistungsbegrenzenden Relativbewegungen

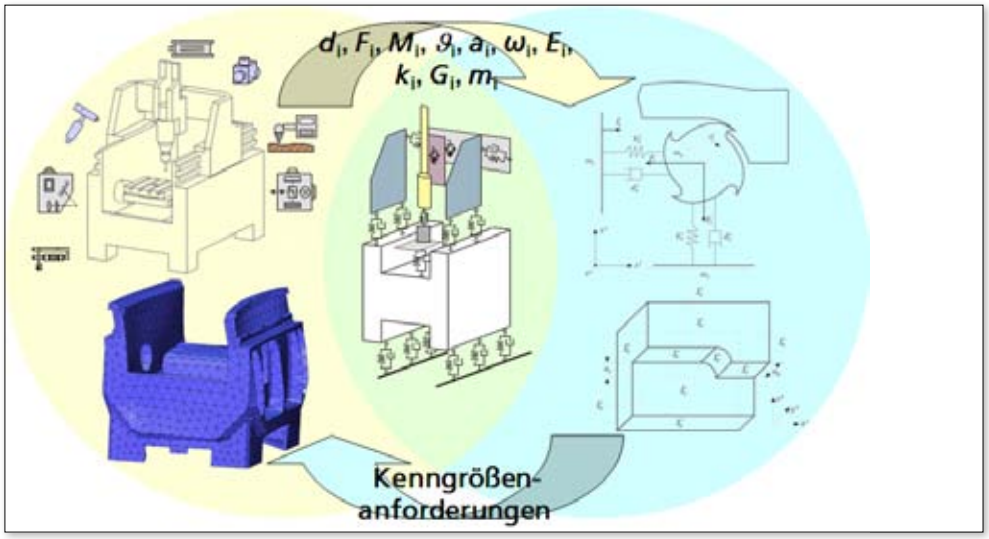


Bild 5: Integrierte Betrachtung von Struktur und Prozess zur Stabilitätsprognose und Maschinenoptimierung

zwischen Werkzeug und Werkstück. Das Auftreten derartiger Instabilitäten ist abhängig von den gewählten Stellgrößen. Durch die Wahl optimierter Stellgrößen bei bestehenden Werkzeugmaschinenstrukturen und durch Strukturoptimierungen zukünftiger Werkzeugmaschinen lassen sich stabil gesteigerte Zerspanleistungen erzielen.

Isolierte Prozess- und Maschinenuntersuchungen für die Produktivitäts- und Arbeitsgenauigkeitssteigerung können aufgrund der Wechselwirkung zwischen Maschine und Zerspanprozess nicht zielführend sein. Somit ist eine integrierte Modellierung und Simulation von Prozess und Produktionssystem unabdingbar, die alle Prozess-, Werkzeugmaschinen- und Werkstückeinflüsse und deren Wechselwirkungen berücksichtigen (Bild 5).
Die Entwicklung neuer, standardisierter Stabilitätsprognosemodelle ist hierbei ein Schwerpunkt der Forschungsaktivitäten des IWF. Dabei steht vor allem die realitätsnahe Implementierung der Modelle durch ausführliche Analyse aller relevanten Einflussgrößen auf den Prozess und deren Wechselwirkungen im Mittelpunkt. Darüber hinaus werden neue Werkzeugmaschinenstrukturen notwendig, um die Prozessstabilität auch bei höheren Zeitspanungsvolumina zu gewährleisten. Daher ist die Entwicklung einer allgemeingültigen Optimierungsstrategie, die alle durch die Fräsbearbeitung auftretenden Belastungen berücksichtigt und eine Maschinenstruktur liefert, die allen Anforderungen in optimierter Weise gerecht wird, ein weiteres Ziel der Forschungsaktivität.

Erste Ergebnisse der integrierten Simulation von Maschine und Prozess erlauben bereits heute eine gute qualitative Bestimmung der Stabilitätsgrenzen. Die noch bestehende quantitative Abweichung von Experiment und Simulation

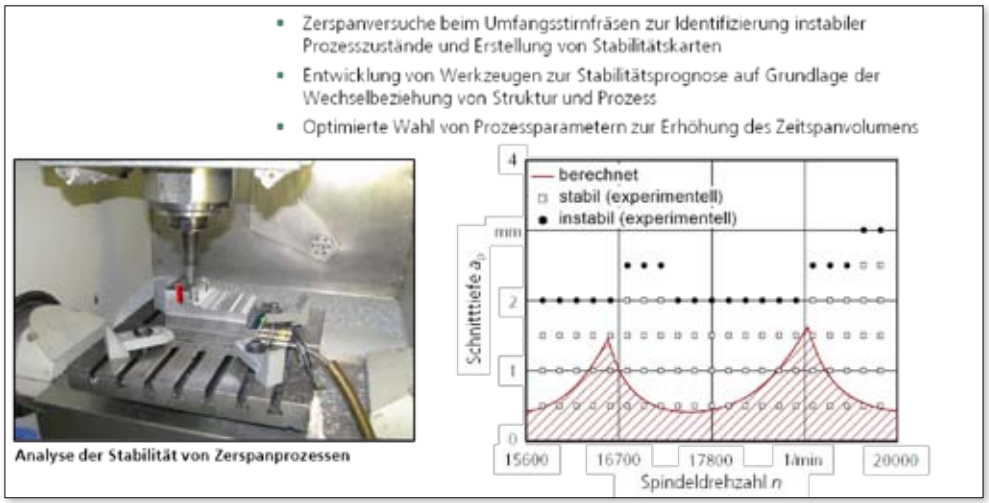


Bild 6: Simulative Stabilitätsanalyse zur Prozessoptimierung

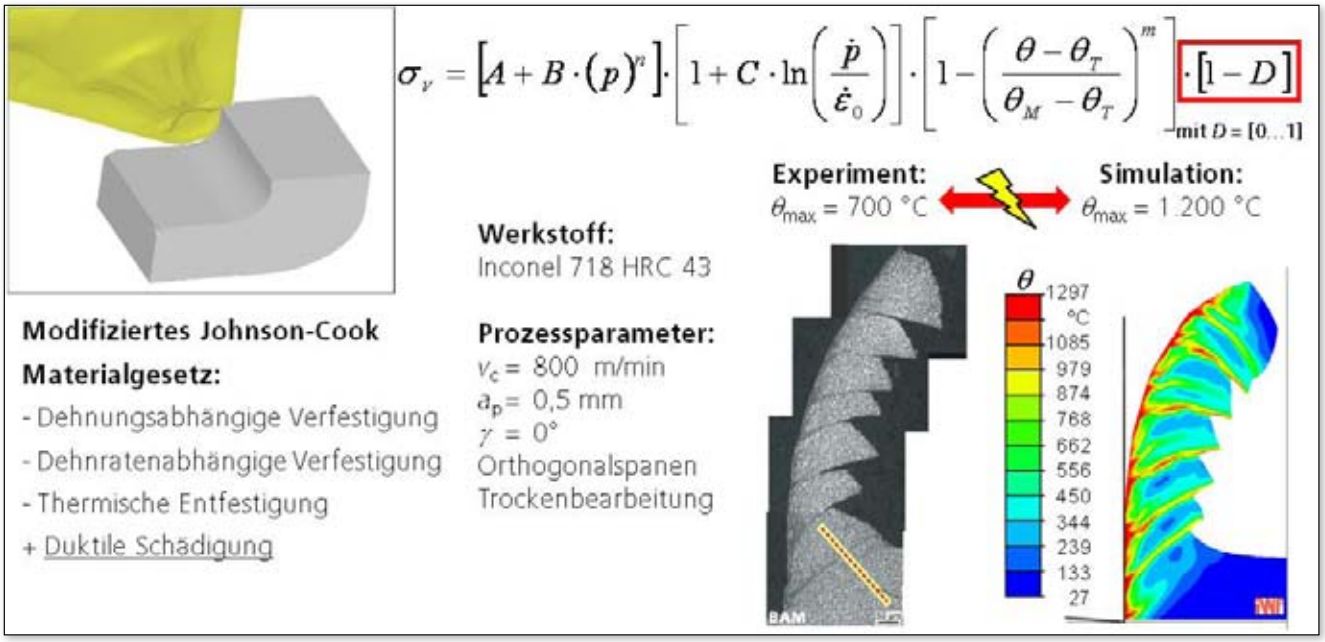


Bild 7: Spanbildungssimulation

resultiert aus den Prozess- und Maschinenmodellen. Insbesondere die dämpfende Wirkung von Schnittstellen zwischen den Maschinenkomponenten gilt es noch genauer zu untersuchen (Bild 6).

2.4 Modellierung und Simulation von Spanbildungsprozessen

Der Einfluss der Simulationsmodelle für die Spanbildung auf Basis von der 2-D- und 3-D-Finite-Elemente-Methode macht einmal mehr deutlich, dass die Modellierung des Werkstoffverhaltens überragenden Einfluss auf die Simulationsergebnisse nimmt. Bild 7 zeigt im unteren rechten Bildteil den Vergleich zwischen einem experimentell und einem durch Simulation erzeugten Span nach einem Drehprozess. Es wird deutlich, dass die geometrische Erscheinungsform eine sehr hohe Übereinstimmung von Realität und Simulation zeigt. Die hohe geometrische Übereinstimmung darf allerdings nicht darüber hinwegtäuschen, dass beispielsweise in der Simulation geschätzte Spantemperaturen verglichen mit den experimentell ermittelten Temperaturen am realen Span viel zu hoch sind und an die Schmelztemperatur des betrachteten Werkstoffes Inconel 718 heranreichen. Die Ursache liegt im verwendeten Materialmodell nach Johnson-Cook, das lediglich dehnungs- und dehnratenabhänge Verfestigungen und eine thermische Entfestigung abbildet. Nichtthermische Schädigungen des Werkstoffes bleiben unberücksichtigt. Erst mit der Erweiterung des Werkstoffmodelles um einen Term der duktilen Schädigung ließen sich realitätsnahe Spanbildungstemperaturen vorhersagen. Diese Ergebnisse machen einmal mehr deutlich, dass im Bereich der Simulation von Fertigungsprozessen eine interdisziplinäre Zusammenarbeit zwischen Fertigungstechnologen, Werkstoffwissenschaftlern und Mathematikern unabdingbar ist.

Die der Realität entsprechende Abbildung der Spanbildung bildet nunmehr die Basis, um die Feingestalt der Spanfläche bezüglich des Spanbildungsprozesses anzupassen (Bild 7, oben links).

3 Maschinen- und Technologien für eine nachhaltige Fertigung

Innovationsfelder der Fertigung im Sinne von Nachhaltigkeitskonzepten zielen auf die Steigerung der Leistungsfähigkeit von Maschinen und Anlagenkomponenten, Werkzeugen, Fertigungsverfahren, Werkstoffen oder ganzen Prozessketten. Zielstellung dabei ist die Fertigung von vorgegebenen Bauteilqualitäten und Stückzahlen unter Bedingungen, die zu minimierten Fertigungskosten, Durchlaufzeiten sowie Emissionen und reduziertem Ressourcenverbrauch führen. Bild 8 verdeutlicht die Spannweite möglicher Entwicklungsoptionen, deren geschlos-

sene Darstellung den Rahmen des Beitrages sprengen würde. Im Folgenden werden deshalb nur beispielhaft neuere Entwicklungen im Bereich von Maschinen und exemplarische Lösungen für Fertigungsprozesse adressiert, die insbesondere den Verbrauch der Ressourcen, Werk- und Hilfsstoffen sowie von Energie reduzieren.

3.1 CFK-Maschinenkomponenten zur adaptiven Kompensation thermisch bedingter Verlagerungen

Die Vermeidung von Ausschuss und Nacharbeit mit dem Ziel einer Null-Fehler-Produktion ist die Basis zur Reduzierung von Ressourcenverschwendung. Statische, dynamische und thermische Störgrößen sowie Verschleiß sind die Hauptursachen für Verlagerungen zwischen Werkzeug und Werkstück. In ihrer Folge kommt es zu Form-, Maß- und Lageabweichungen sowie zu Abweichungen der Oberflächenqualitäten an Bauteilen, die bei Toleranzüberschreitung zu Nacharbeit oder im ungünstigsten Falle zu Ausschuss führen.

Ein innovativer Ansatz, um den oben genannten Problemen zu begegnen, mit der zusätzlichen Option einer Steigerung der Produktivität des Maschinensystems besteht in der Integration von Komponenten aus Kohlefaser verstärkten Kunstoffen (CFK) zur Kompensation von thermisch bedingten Verlagerungen. Hierbei erfolgt eine gezielte Ausnutzung des negativen thermischen Ausdehnungskoeffizienten von Komponenten aus Hochleistungs-CFK. Die thermischen Eigenschaften gepaart mit den herausragenden Steifigkeitswerten dieser Fasern ermöglichen eine gezielte und einstellbare Herabsetzung von Bauteilverlagerungen insbesondere in qualitätsbeeinflussenden Bereichen von Werkzeugmaschinen (Bild 9). Eine besondere Herausforderung ist die Kompensation von Winkelverlagerung von Maschinenkomponenten, die in der Regel nicht durch Ausgleichsbewegungen der Achsen über die CNC-Steuerung ausgeglichen werden können.

Hierzu wurde am IWF ein adaptronisch geregeltes Spindelgehäuse für Fräsmaschinen entwickelt. Bei diesem Bauteil erfolgt eine Kompensation von Winkelverlagerungen über radial angebrachte und über Peltierelemente geregelt beheizbare CFK-Zugstäbe und passiv wirkende CFK-Bandagen. Im geregelten Betrieb wird mit der dargestellten und realisierten Lösung eine Kompensation der auftretenden Winkelverlagerungen an der Werkzeugspitze um 45 % bei gleichzeitiger Reduktion linearer Längenausdehnung um 30 % erreicht. Ausgestattet mit einer autarken Regelumgebung ist mit

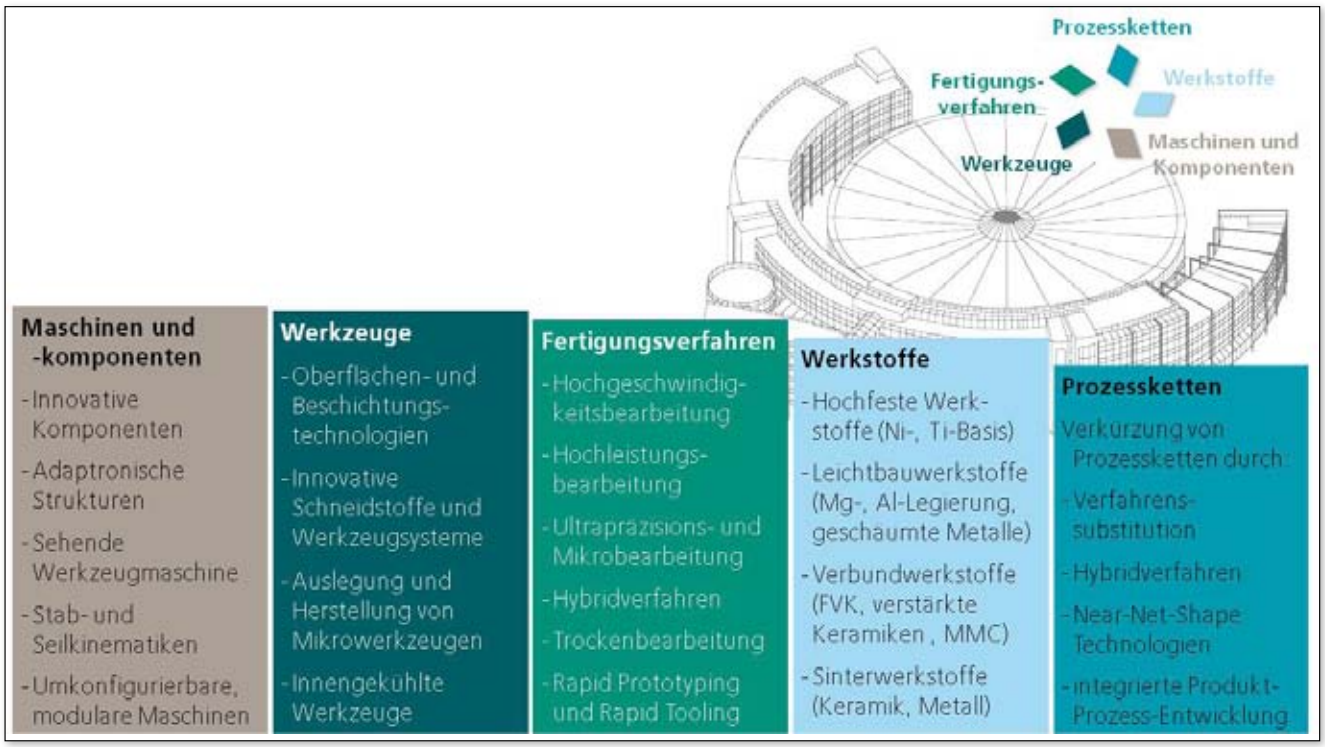


Bild 8: Innovationsfelder der nachhaltigen Produktion

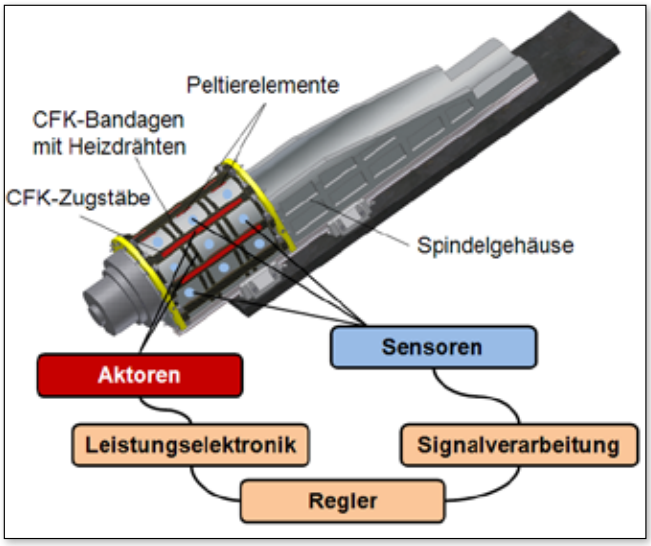


Bild 9: Konzept eines adaptronisch geregelten Spindelgehäuses

diesem Ansatz eine deutliche Qualitätssteigerung beziehungsweise eine Produktion bereits während thermisch instabiler Maschinenzustände in der Hochlaufphase möglich. Dies hat unmittelbare positive Einflüsse auf die Energieeffizienz von Werkzeugmaschinen. Ausgehend von dieser erfolgreichen Erprobung werden auf dem Gebiet der Kompensation thermischer Verlagerungen mittels CFK-Komponenten weitere Anwendungsmöglichkeiten am Institut für Werkzeugmaschinen und Fabrikbetrieb umgesetzt.

3.2 Energieeffizientes berührungsloses Hochgeschwindigkeitsumformen und -schweißen

Umformprozesse auf Pressen gehen einher mit hohen Anlagen- und Werkzeugkosten und einem hohen Material- und Energiebedarf für die Presse und den Pressenbetrieb. Optimierungspotenziale eröffnet das Impulsmagnetische Umformen von Blechbauteilen. Die Wirkungsweise impulsmagnetischer Verfahren beruht auf dem Prinzip der Gegeninduktion. Eine von einem Kurzstromimpuls durchflossene Spule induziert in einem elektrisch leitenden Bauteil einen Stromfluss. Da die Stromflüsse in der Spule und dem elektrisch leitenden Bauteil entgegen gerichtet sind, entstehen elektromagnetische Felder, die sich gegenseitig abstoßen und in Abhängigkeit der elektrischen Stellparameter derart hohe Kräfte erzeugen, dass das Bauteil umgeformt werden kann.

Entscheidend wird der Wirkungsgrad des Verfahrens durch die elektrische Leitfähigkeit des umzuformenden Werkstückwerkstoffes beeinflusst. Diese bestimmt durch die Höhe der induzierten Wirbelströme auch die resultierende Umformkraft. Hier wird das Anwendungspotenzial dieses Verfahrens zur Umformung von Aluminiumlegierungen deutlich, welche aufgrund ihrer hohen Leitfähigkeit im Vergleich zu Stahl und wegen der geringeren Festigkeit besonders für die impulsmagnetische Umformung geeignet sind. Die Vorteile des Verfahrens liegen in der guten Reproduzierbarkeit des Umformergebnisses durch die wiederholgenaue Einstellung der Verfahrensparameter und im Fehlen von Pressenstempeln und teilweise von Matrizen sowie von mechanischen Übertragungselementen, die energieaufwändig beschleunigt werden müssen. Durch die berührungslos angreifende Umformkraft beim Impulsmagnetischen Umformen treten keine mechanischen Beschädigungen an der Werkstückoberfläche auf. Auch das Umformen von Werkstoffen mit Beschichtungen ist möglich. Bei nicht elektrisch leitfähigen Schichten durchdringt das Magnetfeld diese ungehindert und induziert eine Spannung und damit eine Kraftwirkung im elektrisch leitfähigen Grundwerkstoff.

Unterschieden werden bei der impulsmagnetischen Umformung drei Verfahrensvarianten: Die Kompression und die Expansion, je nachdem, ob sich das Werkstück innerhalb oder außerhalb der Spule befindet, sowie die Flachumformung. Neben dem reinen Umformen und formschlüssigen Fügen ist auch das stoffschlüssige Verbinden von Werkstücken mittels Magnetimpuls möglich (Bild 10). Beim Magnetimpulsschweißen wird einer der Schweißpartner derart beschleunigt, dass bei der anschließenden Kollision beider Werkstücke das Material am fortschreitenden Kollisionspunkt druckinduziert in einen hochviskosen Zustand übergeht. Die Aufprallgeschwindigkeit liegt in Abhängigkeit vom zu schweißenden Werkstoff und vom Auftreffwinkel der beiden Oberflächen oberhalb von 100 m/s. Die Bindezone einer Schweißverbindung aus Al99,5 und AlMg3 weist die für das Schockschweißen typische Wellenstruktur auf. Möglich sind so auch Schweißverbindungen unterschiedlicher Werkstoffe untereinander, da das Verfahren nicht den Beschränkungen konventioneller thermisch aktivierter Schweißprozesse unterliegt.

Die impulsmagnetischen Verfahren erfüllen zahlreiche ökologische, ökonomische sowie soziale Kriterien und sind als besonders nachhaltig einzustufen. Im Gegensatz zu vielen anderen Umformverfahren sind keine Schmierstoffe oder Liquide zur Umformung notwendig. Ökonomischer Gesichtspunkt ist der geringere Wartungsaufwand in Verbindung mit reduzierten Werkzeugkosten. Eine erhöhte Arbeitssicherheit im Vergleich zu anderen Hochgeschwindigkeitsumformverfahren macht das Verfahren auch unter sozialen Aspekten nachhaltig. Bei den impulsmagnetischen Verfahren müssen keine Elektromotoren und hydraulischen Systeme betrieben werden. Für das impulsmagnetische Trennen ist kein verschleißanfälliges Schneidwerkzeug vonnöten. Daher entfällt auch das Heben und Senken eines in der Regel schweren Werkzeuges. Der geringe Energieverbrauch macht sich besonders beim Schweißen bemerkbar. Hier sind kein zusätzlicher Wärmeeintrag und kein Schweißgut notwendig. Die Verschweißung geschieht ohne die Freisetzung von Giftstoffen. Im Gegensatz zum Schockschweißen mittels Sprengstoff wird das Magnetimpulsschweißen im Fertigungs- und Laborumfeld betrieben und kann vollständig automatisiert werden. Die Energiekosten eines impulsmagnetisch umgeformten Werkstücks gegenüber denen eines durch Tiefziehen hergestellten Werkstücks sind um bis zu 76 % geringer. Die Ausbringungsmenge ist bei impulsmagnetischen Verfahren durch die extrem kurze Prozesszeit sogar höher als bei vergleichbaren Tiefziehprozessen.

3.3 Werkzeugtechnologien

Die Entwicklung ökoeffizienter Schneidstoff- und Werkzeugtechnologien beinhaltet deren Einbindung in industrielle Prozessketten. Bearbeitungsstrategien wie die Hochgeschwindigkeits-, Hochleistungs- und Trockenbearbeitung werden durch bauteilwerkstoffspezifische Verknüpfung von Werkzeug, Prozess und Prozessfolge ermöglicht. Das Ziel ist es, mit technologischem Wissen industrielle Anforderungen an Produktionsprozesse und Prozessketten nach technischen, wirtschaftlichen und nachhaltigen Gesichtspunkten zu optimieren. Das Spektrum der Themenstellungen reicht dabei von elementaren Fragestellungen der Wechselwirkungen zwischen Werkzeug und Werkstück bis hin zur Untersuchung ganzer Prozessketten bei der Fertigung industrieller Güter. Neben mechanischen und metallurgischen Analysen, Modell-Verschleißuntersuchungen und Standuntersuchungen an modernen Werkzeugmaschinen werden analytische sowie simulative Umgebungen zur Umsetzung optimierter Bearbeitungsstrategien und -parameter bereitgestellt.

3.3.1 Rotierende Schneiden für die Hochleistungsbearbeitung

Bei der Zerspanung mit rotierender Schneide wird eine runde Wendeschneidplatte drehbar gelagert (Bild 11). Bei sogenannten selbstgetriebenen rotierenden Werkzeugen wird die Schneidplatte ähnlich einem Reibradgetriebe durch den Kontakt mit dem Werkstück in Rotation versetzt. Während Werkzeuge mit feststehender Schneide

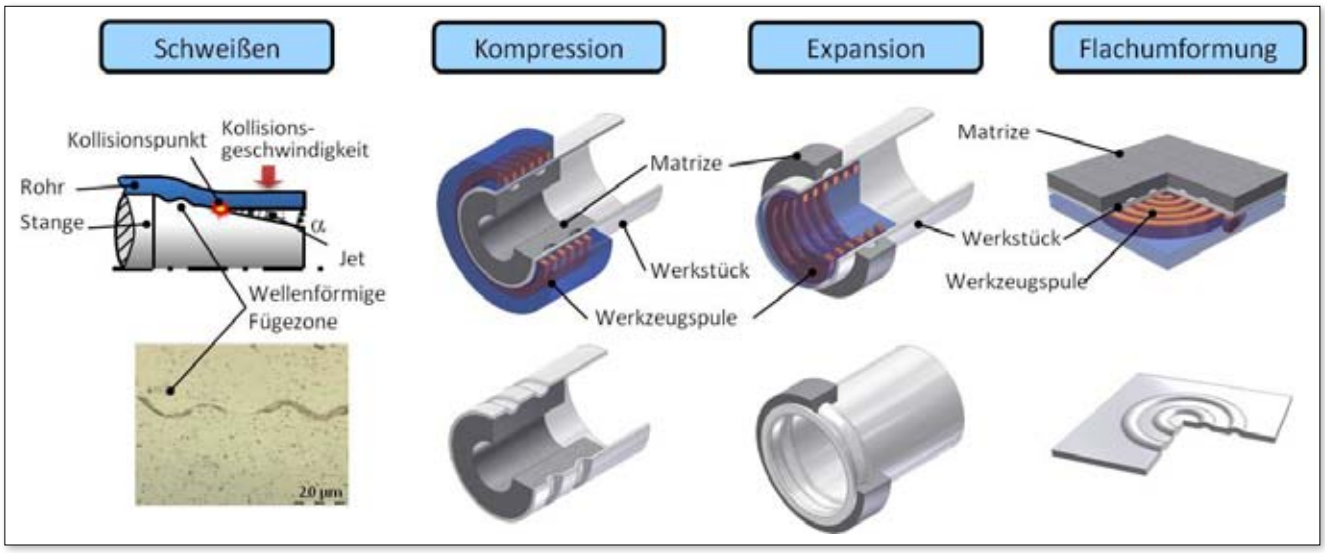


Bild 10: Verfahren der impulsmagnetischen Umformung und Schweißung

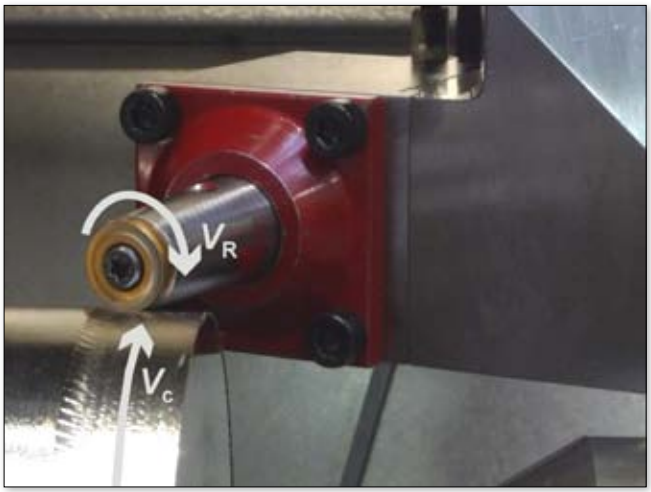


Bild 11: Zerspanung mit rotierender Wendeschneidplatte

nur an diskreten Schneidenabschnitten benutzt werden können, ermöglicht die rotierende Schneide die Ausnutzung des Verschleißpotenzials am gesamten Umfang der Wendeschneidplatte. Allein durch den Wegfall der unproduktiven Zeit für den Schneidenwechsel ergibt sich eine erheblich längere, ununterbrochene Einsatzzeit. Außerdem besteht durch das Herausdrehen der Schneidenabschnitte aus der Eingriffszone eine geringere thermische Belastung, das Werkzeug kann während der Drehung um die eigene Achse direkt gekühlt werden. So kann die Standzeit des rotierenden Werkzeugs das Zehnfache einer feststehenden Schneide eines herkömmlichen Werkzeugs erreichen. Selbst unter Benutzung von Wendeschneidplatten mit acht Schneidenabschnitten am feststehenden Werkzeug wird die Gesamtstandzeit der Schneidplatte noch überschritten, ohne die Schneide wechseln zu müssen.

Diese Vorteile sind gerade bei der Zerspanung von Titan- oder Nickelbasislegierungen sehr attraktiv. Die Bearbeitung von derartigen Hochleistungswerkstoffen stellt allerdings auch besonders hohe Anforderungen an die Steifigkeit des Werkzeugs und vor allem an die Lagerung der Drehachse. Ein eigens konstruiertes, selbstgetriebenes Werkzeug macht sich dafür die Konstruktionsprinzipien üblicher Spindellagerungen zu Nutze. Von besonders großem Interesse sind die Auswirkungen der besonderen Kinematik auf die Spanbildung sowie die Oberflächen- und Randzonenausbildung. Nach der Bearbeitung von intermetallischen Titanaluminiden hat sich gezeigt, dass die Randzonenaufhärtung im Vergleich zur konventionellen Bearbeitung eine erheblich größere Tiefe unter der Werkstückoberfläche erreicht. Somit kann durch Erhöhung der Standzeit des Werkzeugs, durch Minimierung der Nebenzeiten beim Schneidenwechsel und durch Verbesserung der Dauerfestigkeitseigenschaften des bearbeiteten Bauteils eine Nachhaltigkeitsoptimierung ganzheitlich umgesetzt werden.

3.3.2 Innengekühlte Werkzeuge

Die Kühlschmiertechnologie gehört zu den größten Kostenanteilen in der Fertigung. Dabei sind nicht nur die Investitions- und Betriebskosten ausschlaggebend, sondern auch die Aufbereitung und Entsorgung der verschmutzten Kühlschmierstoffe und die notwendige Reinigung von Teilen und Maschinen. Die Anwendung einer Innenkühlung ermöglicht den Einsatz eines geschlossenen Kühlkreislaufs. Dadurch wird die gegenseitige Verunreinigung ausgeschlossen und faktisch eine Trockenbearbeitung durchgeführt.

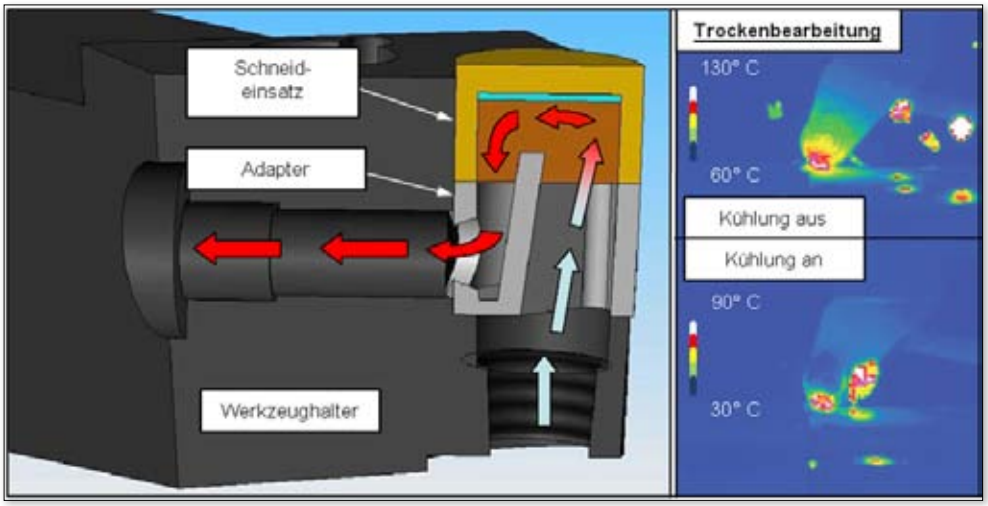


Bild 12: Drehwerkzeug mit geschlossener Innenkühlung (links), Thermografieaufnahmen mit und ohne Innenkühlung (rechts)

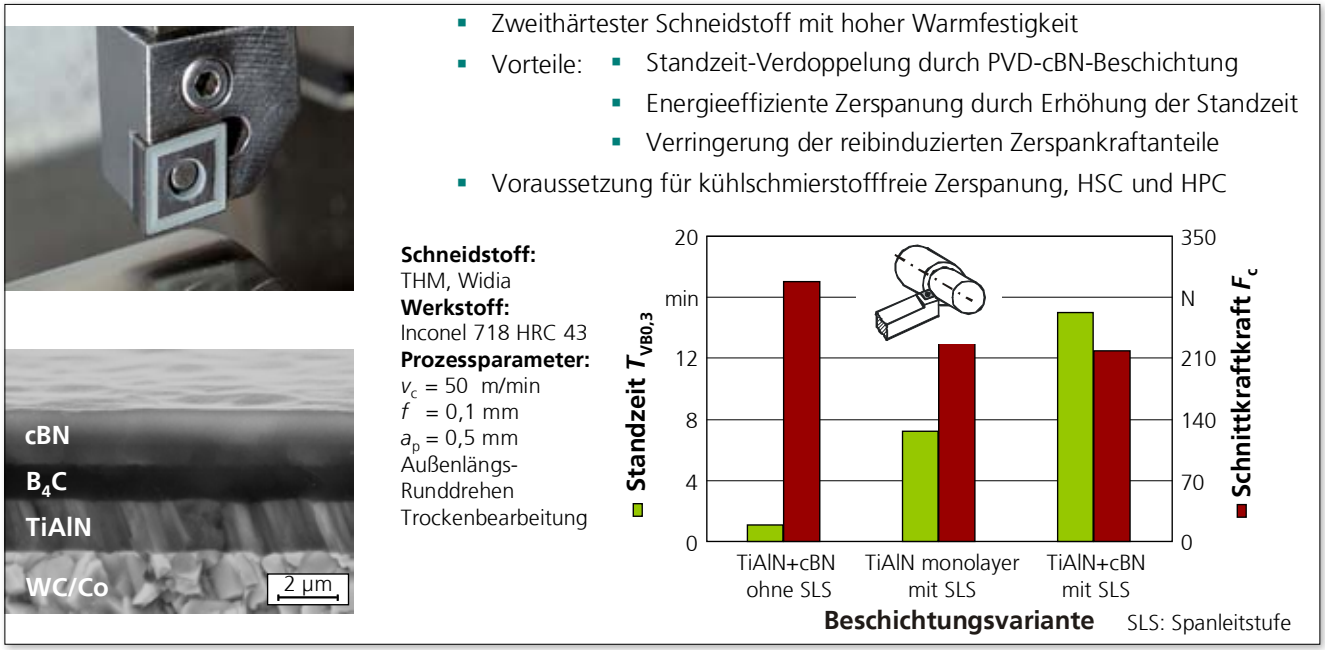


Bild 13: Trockenbearbeitung und Verringerung der Leistungsaufnahme durch Beschichtung von Zerspanwerkzeugen mit PVD-cBN-Dünnschichten

Da anstelle der intermittierenden Kühlung von außen ein stabiler Temperaturgradient der Schneide vorhanden ist, erhöht sich deren Standzeit. Zur aktiven Beeinflussung der Werkzeugtemperatur wurde ein innengekühltes Werkzeug gefertigt, welches die Werkzeugtemperatur durch Variation der kinematischen Prozessparameter und durch Veränderung der Kühlsituation auf einem gewünschten Niveau hält (Bild 12). Somit können temperaturbedingte Verschleißerscheinungen reduziert und eine zu hohe Wärmeentwicklung in der Wirkzone zwischen Werkzeug und Werkstück verhindert werden. Durch Verringerung der Kühlschmierstoffkosten bei Einsatz dieser Technologie kann der Aufwand an gesundheits- und umweltbelastendem Kühlschmierstoff auf ein Minimum von 0,4 Litern reduziert und eine Kostenersparnis von 30 % erzielt werden.

3.3.3 Angepasste Schneidstoffe für die energie- und ressourceneffiziente Fertigung

Im Zentrum der Schneidstoffentwicklung stehen hohe Härte und Zähigkeit zur Erzielung einer hohen Verschleißbeständigkeit. Die Entwicklung und Anwendung hochharter Beschichtungen auf der Basis von CVD-Diamant und PVD-abgeschiedenem kubischen Bornitrid (cBN), aber auch die Weiterentwicklung und Qualifizierung von Hartstoffbeschichtungen, insbesondere der titanbasierten Mehrlagenbeschichtungen und Nanocomposite-Beschichtungen, sind Untersuchungsgegenstand. Durch eine cBN-Beschichtung von Hartmetallwerkzeugen kann der Vorteil von superharter Oberfläche und komplexer Geometrie, zum Beispiel in Form einer Spanleitstufe, in einem Zerspanwerkzeug integriert werden. Die derzeitige Weiterentwicklung der Beschichtung von Wendeschneidplatten für das Drehen und Fräsen hin zu komplexen Schaftwerkzeugen, wie Bohrer, Gewindebohrer und Schaftfräser, beinhaltet die Entwicklung einer Anlagentechnologie für die 3-D-Beschichtung. Mittels Zerspanuntersuchungen wurden cBN-beschichtete Hartmetall-Wendeschneidplatten unter anderem mit einer Spanleitstufen-Geometrie für die Bearbeitung einer Nickelbasislegierung qualifiziert. Es ergab sich gegenüber TiAlN-beschichteten Wendeschneidplatten als Referenz bei einer Schnittgeschwindigkeit von vc = 50 m/min im Trockenschnitt eine Standzeiterhöhung um über 100 % (Bild 13).

3.3.4 Optimierung von Makro- und Mikrowerkzeuggeometrie

Werkzeuge für Hochleistungsanwendungen benötigen ein abgestimmtes Konzept aus Substrat, Makro- und Mikrogeometrie sowie der Hartstoffbeschichtung. Die Gestaltung der Mikrogeometrie der Schneide und der

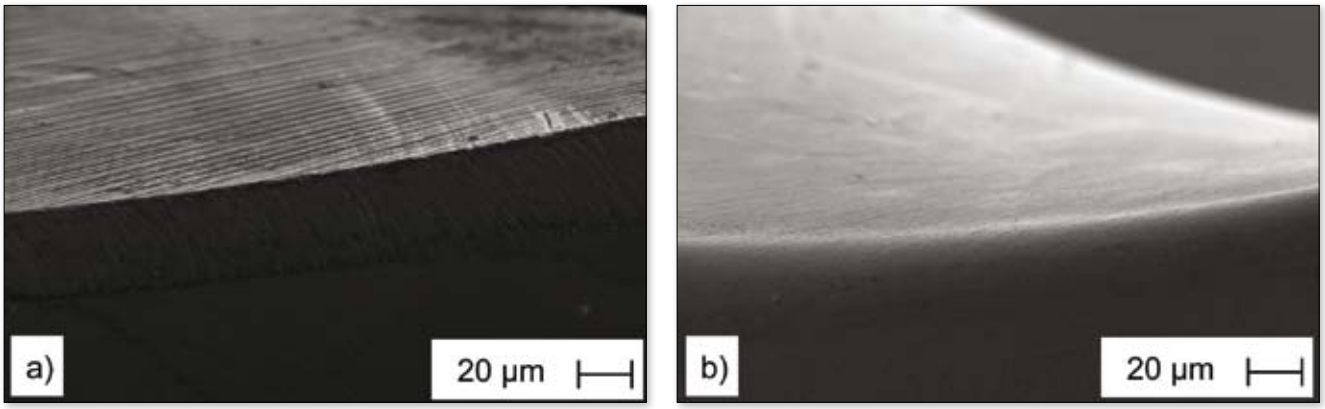


Bild 14: Bohrerschneide im Ausgangszustand (a) und nach Kantenpräparation (b)

Werkzeugrandzone mittels innovativer Oberflächenbehandlungsverfahren begünstigt einen geeigneten Spannungszustand der Randzone und eine gute Schichtanbindung. Darüber hinaus kann über die Steigerung der Oberflächengüte ein anwendungsgerechter Spanfluss herbeigeführt werden. Durch optimierte Schicht/Substrat-Übergänge wird eine verbesserte Ableitung der bei der Zerspanung auftretenden Kräfte gewährleistet und somit ein signifikanter Einfluss auf die Leistungsfähigkeit eines Werkzeuges ausgeübt.

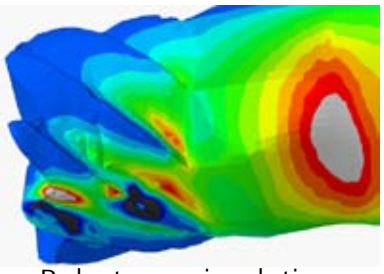
Ziel ist die Steigerung der Leistungsfähigkeit und der Prozesssicherheit beschichteter Schaftwerkzeuge durch die gezielte Beeinflussung der Mikrogeometrie und Oberflächenrandzone mittels ausgewählter Feinbearbeitungsverfahren. Hierzu werden auf den Anwendungsfall angepasste Schneidkantenrundungen angebracht, um eine Verstärkung der Kantenstabilität und eine Verringerung der Bildung von Aufbauschneiden im Zerspanprozess zu erwirken (Bild 14). Durch höhere Standzeiten sowie Verringerung von Ausschuss durch Verhinderung von Schneidenbruch können die Energie- und Ressourceneffizienz des Zerspanprozesses signifikant erhöht werden.

3.4 Energieeffizienz durch Hochleistungs- und Hochgeschwindigkeitszerspanung

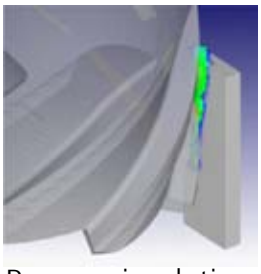
Die Grundstoffe keramischer Schneidstoffe gehören zu den drei häufigsten Elementen, die in der Erdkruste auftreten. Silizium steht mit 26 % nach Sauerstoff an zweiter Stelle, während Aluminium mit 7,5 % immerhin 1,5-mal so oft zu finden ist wie Eisen. Somit kann alleine durch die Veränderung der Schneidstoffwahl ein bedeutender Beitrag zur Ressourcenschonung geleistet werden. So beruht in der Substitution von Hartmetall, welches unter anderem aus den relativ selten vorkommenden und vor allem in China geförderten Rohstoffen Wolfram und Cobalt besteht, durch keramische Schneidstoffe ein ökoeffizienter Ansatz für die Zerspanung.

Der Schneidstoff Keramik birgt insbesondere bei schwer zerspanbaren Werkstoffen ungenutzte Potenziale. In Forschungsprojekten, aber auch in der industriellen Anwendung hat sich gezeigt, dass die Schnittgeschwindigkeiten bis zu einem Faktor 50 im Gegensatz zu Hartmetallwerkzeugen erhöht werden können. Unter Berücksichtigung aller Randbedingungen kann damit beispielsweise bei einer Zerspanoperation an einer Turbinenkomponente aus einer Nickelbasis-Superlegierung die Hauptzeit auf ein Achtel gesenkt werden. Die Bearbeitung und der Einsatz von Werkstoffen mit herausragenden mechanischen, thermischen und korrosiven Eigenschaften werden so wirtschaftlicher. Dies fördert die weitere Verbreitung dieser Werkstoffe. Die sich daraus ergebende Möglichkeit einer Steigerung der Prozesstemperaturen im Turbinenbau kann einen wesentlichen Beitrag zur Erhöhung des Wirkungsgrads von energietechnischen Anlagen leisten (Bild 15).

Hochtemperaturfestigkeitsoptimierte Werkstoffe und innovative Herstellungstechnologien tragen dazu bei, die Leistungsfähigkeit von technischen Produkten und Systemen des Flugzeugturbinenbaus zu steigern. Intermetallische Titanaluminide weisen eine hohe spezifische Festigkeit auf und können die bislang verwendeten Nickelbasis-Legierungen substituieren. Die spanende Fertigung der intermetallischen Titanaluminide ist industriell



Belastungssimulation



Prozesssimulation



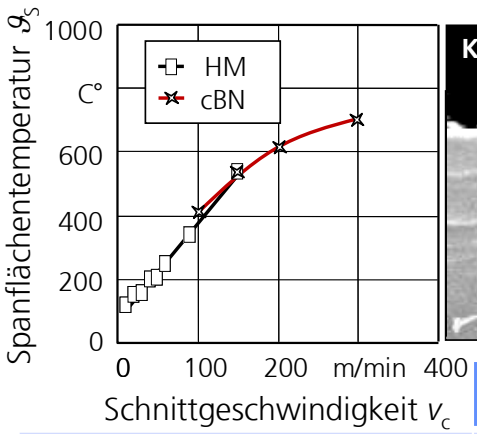
Schaftfräser aus Al_2O_3+SiCw

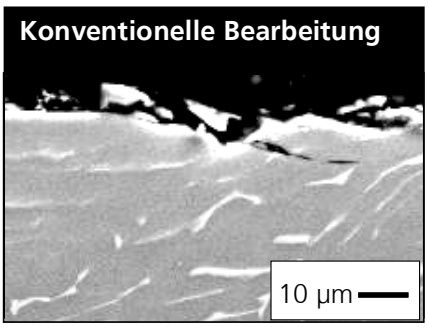


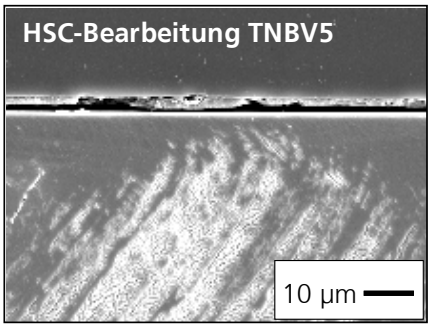
Schneidstoff	HM	SiAlON
D [mm]	4	
z [1]	4	
a_e [mm]	4	
a_p [mm]	1	0,2
v_c [m/min]	10	400
f_z [mm]	0,02	
v_f [mm/min]	63,7	2546
Q_w [mm³ /min]	254,8	2037

Bild 15: Hochleistungsfräsen mit vollkeramischen Schaftwerkzeugen

nahezu auf Verfahren mit geometrisch unbestimmter Schneide begrenzt. Die schädigungsarme Zerspanung dieser schwer bearbeitbaren Werkstoffe mit geometrisch definierter Schneide nimmt jedoch eine Schlüsselrolle bei der Umsetzung nachhaltiger Produktionskonzepte ein. Mit der Hochgeschwindigkeitszerspanung auf Basis von cBN-Schneidstoffen können rissfreie Oberflächen bei 20-fachem Zeitspanungsvolumen erzielt werden. Dadurch wird die Endbearbeitung mit geometrisch definierter Schneide bei geringen Durchlaufzeiten und hoher geometrischer Flexibilität möglich (Bild 16).







	v_c = 15 m/min Schneidstoff: HM	v_c = 300 m/min Schneidstoff: cBN
Temperaturstabilität der Schneide	gering	hoch
Zeitspanungsvolumen Q_w	100 %	2000 %
Schädigungstiefe der Randzone	100 µm	15 µm
Spanflächentemperaturen ϑ_s	gering	hoch
Spanbildungsmechanismus	spröde	duktil

Bild 16: Schädigungsminimierte Hochgeschwindigkeitszerspanung von intermetallischen Titanaluminiden

3.5 Steigerung der Energieeffizienz von Prozess und System beim Schleifen

Zur schädigungsarmen Schleifbearbeitung von Funktionsbauteilen werden meist große Mengen Kühlschmierstoff benötigt. Die benötigte Genauigkeit der eingesetzten Maschinensysteme wird bisher zumeist durch aufwändige Ausstattungsmerkmale der Werkzeugmaschine erreicht. Dazu zählen unter anderem Temperiereinrichtungen für Kühlschmierstoffe, Achsantriebe, Führungsbahnen und Maschinenbetten. Dies führt dazu, dass die Grundleistung der Werkzeugmaschine im Vergleich zur Zerspanleistung einen wesentlichen Beitrag zur Gesamtbilanz leistet. Hinzu kommt, abhängig von Stückzahlen, Werkstoff und Komplexität der Bearbeitung, dass nur etwa 15 % bis 38 % der Einschaltzeit der Werkzeugmaschine zur eigentlichen Bearbeitung genutzt werden [1]. Zur Einstellung konstanter Prozessbedingungen und der geforderten Genauigkeit kann in den meisten Fällen keine Abschaltung der Werkzeugmaschine oder von Zusatzaggregaten während der bearbeitungsfreien Zeiten erfolgen. Die Werkzeugmaschinen-Industrie versucht dieser Situation mit intelligenten Stand-by-Schaltungen für unterschiedliche Maschinenzustände zu begegnen. Die Fertigung befindet sich demnach in einem Spannungsfeld zwischen steigenden Anforderungen an die Bauteilqualität und Funktionalität sowie verringernder Grundlasten der Werkzeugmaschinen.

Neben der Optimierung von Fertigungsverfahren durch geeignete Prozessführung und Werkzeugentwicklung fokussiert ein weiterer Ansatz auf die Substitution von hochgenauen Bearbeitungszentren durch flexible Einfachmaschinen. Dieser Ansatz ist insbesondere dort sinnvoll, wo geringe Stückzahlen und eine große Varianz in der Fertigung auftreten, zum Beispiel bei der Wartung und Instandsetzung. Kostenintensive Nebenzeiten bei Bearbeitungszentren können oftmals in Kombination mit intelligenter Prozessführung bei Einfachmaschinen wie zum Beispiel bei Robotern eingespart werden. Ein wesentlicher Vorteil, der sich aus der Anwendung von Robotern neben den geringen Investitionskosten ergibt, ist eine flexible Integration verschiedener Prozessschritte. Neben messtechnischen Stationen können sowohl trennende als auch Fügeverfahren eingebunden und automatisiert werden.

So bietet zum Beispiel vor dem Hintergrund einer ressourceneffizienten Fertigung hochgenauer Bohrungen in keramischen Werkstoffen das ultraschallunterstützte Quer-Seiten-Schleifen hohe Potenziale zur Energieeinsparung. Insbesondere bei der Fertigung kleiner Bohrungsdurchmesser mit hohem Aspektverhältnis können sich die veränderten Eingriffsbedingungen durch Überlagerung der axialen Vorschubbewegung mit einer gleichge-

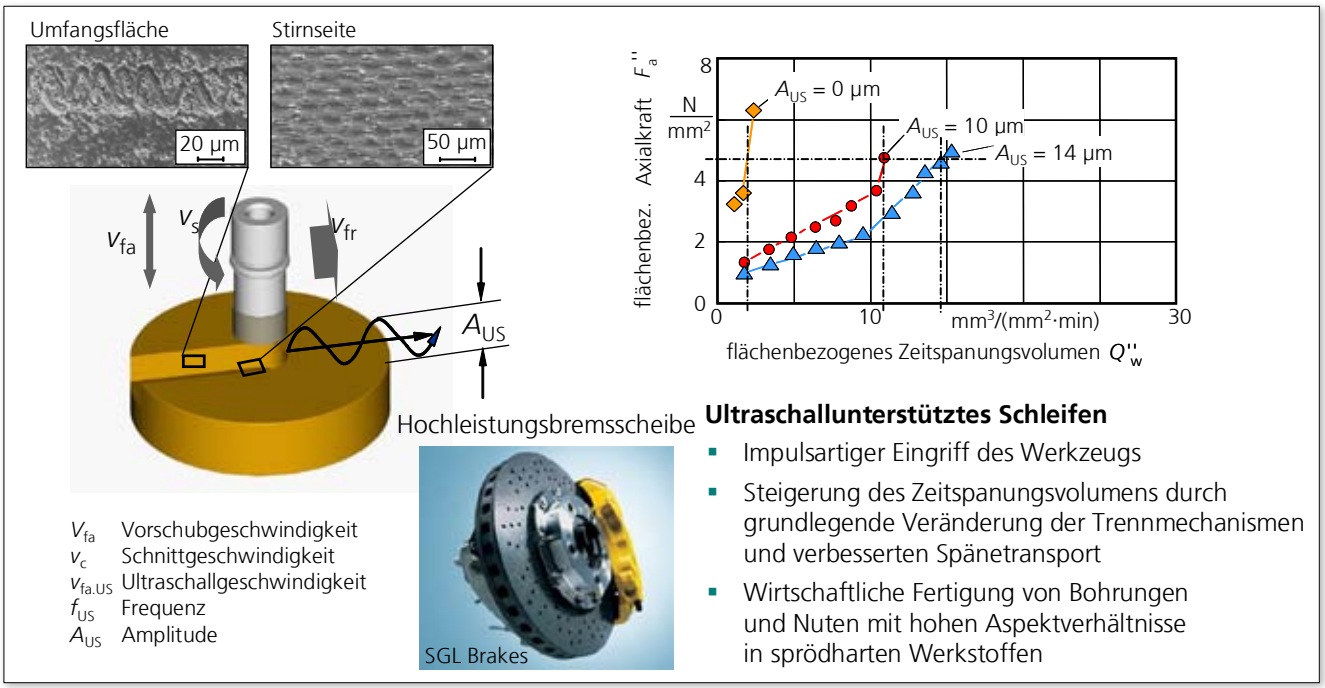


Bild 17: Ressourceneffizienz durch ultraschallunterstütztes Quer-Umfangsschleifen

richteten Schwingung im Ultraschallbereich vorteilhaft auf das Prozessverhalten auswirken. So kann bei einer Ultraschall-Amplitude von 14 µm ein sechsmal höheres Zeitspanunsgvolumen erzielt werden als ohne Ultraschall-Impuls (Bild 17). Ursachen des positiven Einflusses der Ultraschallschwingung auf das Prozessverhalten sind in der Kontaktunterbrechung zwischen Werkzeug und Werkstück und den daraus resultierenden veränderten Kühlschmierbedingungen und Spanungsgrößen zu finden. Voraussetzung für die Kontaktunterbrechung ist, dass die Amplitude dieser Ultraschallschwingung die kinematische maximale Spanungsgröße überschreitet, das Werkzeug also vom Werkstoff abhebt. Bedingt durch die rotierenden Massen und sensiblen elektrotechnischen Bauteile sind die einstellbaren Drehzahlen verglichen mit konventionellen hochdrehenden Spindeln um den Faktor fünf bis zehn geringer. Trotz zusätzlich installierter Ultraschallleistungen überwiegen die sich aus leistungsschwächeren Spindelantrieben ergebenden Energieeinsparungen.

3.6 Ressourceneffiziente abtragende sowie generative Verfahren

Reinigungsverfahren, insbesondere Strahlverfahren, nehmen eine wichtige Stellung hinsichtlich Bauteilqualität und Prozesssicherheit in der industriellen Fertigung ein. Neben dem Reinigen ist die gezielte Veränderung von Bauteileigenschaften wie Oberflächenrauheit oder Druckeigenspannungsverlauf eine weitere Einsatzmöglichkeit. Dabei kommen abhängig von der Anwendung verschiedenste Strahlmedien zum Einsatz. Durch den Einsatz alternativer Strahlmittel wie festes Kohlendioxid (CO_2) können umwelt- und gesundheitsschädliche Substanzen, die zum Beispiel bei der Vorbehandlung vor dem Lackieren, dem Kleben oder dem Galvanisieren eingesetzt werden, substituiert werden. Eine innovative Anwendungsmöglichkeit ist der Einsatz als Entgratverfahren. Dabei bietet es den Vorteil, dass die Aufbereitung und die Entsorgung des Strahlmittels entfallen. Auf diese Weise entstehen sowohl weniger Kosten als auch weniger, unter Umständen umweltgefährdende Rückstände. Durch eine Verfahrenskombination von Strahlen mit festem CO_2 mit Laserstrahlen kann die Effizienz gegenüber den Einzelverfahren deutlich erhöht werden. Ziel dabei ist es, dass sich die entscheidenden Charakteristika der einzelnen Verfahren durch eine hybride Anordnung bestmöglich ergänzen.

Generative Fertigungsverfahren haben sich als Rapid Prototyping-Verfahren seit Ende der achtziger Jahre für die Produktentwicklung in vielen unterschiedlichen Industriezweigen etabliert. Wurden zunächst nur reine Anschauungsmuster mit diesen Verfahren hergestellt, können heute flexibel Werkzeuge für ein immer breiter werdendes Anwendungsspektrum gefertigt werden. Die Palette der Werkstoffe, die mit RP-Verfahren bearbeitet werden, erweitert sich kontinuierlich und reicht von thermoplastischen und metallischen Werkstoffen bis hin zu Keramiken. Obwohl die generativen Fertigungstechnologien einen sehr wichtigen Beitrag zur Reduzierung von Entwicklungszeiten und Optimierung der Produktqualität leisten, bleibt ihr eigentliches Potenzial heute oftmals noch ungenutzt. Ein Beispiel hierfür ist das 3-D-Printing nach Sanders (Ballistic Particle Manufacturing), das mit einem sehr großen Potenzial verbunden ist. Hierbei wird der gesamte Werkstoff tröpfchenweise mittels Piezodruckdüsen aufgebracht, sodass ein homogenes Gefüge entsteht. Dieses Verfahren bietet die Möglichkeit, Strukturen entsprechend der Auflösung eines Tropfendurchmessers abzubilden und Bauteile mit sehr hoher Genauigkeit herzustellen. Auch hier ist das Werkstoffspektrum derzeit noch sehr begrenzt. Dafür werden neue Werkstoffsysteme entwickelt sowie neuartige Baustrategien konzipiert und erprobt, um so die Herstellung von individuellen Bauteilen mit Eigenschaftsgradienten zu ermöglichen.

Schadstoff- und Staubbelastungen, aber auch zyklische Vorgänge lösen Materialermüdung, Verschleiß und Korrosion aus und führen zu Rissen und Ausbrüchen, die zu einer zunehmenden Zerstörung der Schaufelgeometrie bei stationären Gasturbinen und Flugtriebwerken führen. Durch diese Veränderung der ursprünglichen Geometrie sinkt der Turbinenwirkungsgrad kontinuierlich. Treten Beschädigungen auf, werden diese mittels Auftragsschweißen oder Austausch beschädigter Komponententeile repariert. Komplexe Geometrien sind mit diesen Verfahren jedoch nicht herstellbar. Überschreitet die Beschädigung ein definiertes Maximalmaß, sind die beschriebenen Reparaturmethoden ausgeschlossen und das Bauteil muss vollständig ersetzt werden. Um zukünftig den lebenszyklusorientierten Wirkungsgrad investitionsintensiver Güter steigern zu können, ist die Entwicklung innovativer Reparaturverfahren von hoher Bedeutung.

Das Selektive Laserschmelzen (SLM) bietet ein enormes Potenzial für die Fertigung dreidimensionaler Strukturen und entwickelt sich in vielen Anwendungsbereichen zu einer echten Alternative zu den konventionellen Fertigungsverfahren. Dieser Trend wird gerade durch die Verarbeitung von serienidentischen, einkomponentigen Pulvern zur Herstellung metallischer Bauteile verstärkt, wodurch sich wiederum neue Entwicklungs- und Einsatzpotenziale ergeben. Als generatives Fertigungsverfahren bietet SLM die Möglichkeit, 3-D-Geometrien mit hoher Komplexität durch das schichtweise Aneinanderfügen von formlosem Ausgangsmaterial auf Basis eines digitalen 3-D-Modells herzustellen. Hiermit leisten sie einen wesentlichen Beitrag für die Entwicklung individueller, innovativer und technologisch anspruchsvoller Produkte. Werden mit SLM generierte Bauteile mit einer belastungsangepassten Gitter-Innengeometrie ausgestattet, kann ihre Fertigungszeit bei gleicher Stabilität und geringerer Masse um bis zu 60 % gesenkt werden.

4 Dynamische Wechselwirkungen von Sach- und Dienstleistungen in der Produktion

Aus dem hohen Komplexitätsgrad moderner Werkzeugmaschinen als Beispiel für Hochtechnologieerzeugnisse leitet sich die Forderung nach einem umfassenden Dienstleistungsangebot ab, das nur erfolgreich erbracht werden kann, wenn integrierte Angebote bereit stehen, die das physische Erzeugnis und die zugehörigen sachleistungsbegleitenden Dienstleistungen verbinden. Daher geht der logische Folgeschritt über das reine Bündeln der Sach- und Dienstleistungen hinaus und wird als hybrides Leistungsbündel (HLB) bezeichnet. Ein hybrides Leistungsbündel ist gekennzeichnet durch eine integrierte und sich gegenseitig determinierende Planung, Entwicklung, Erbringung und Nutzung von Sach- und Dienstleistungsanteilen einschließlich ihrer immanenten Softwarekomponenten [13].

HLB erfordern somit neue Strategien, Prozesse, Methoden und Werkzeuge für die Planungs-, Entwicklungs- und Erbringungsphasen. Das integrierte Angebot von Sach- und Dienstleistungen als Leistungsbündel führt zu neuen Konzepten und Nutzenmodellen. Um den Entwickler während der Planungs- und Entwicklungsphasen zu unterstützen, bedarf der integrierte Entwicklungsansatz neuartige Methoden und rechnerunterstützte Werkzeuge (Bild 18). Dabei müssen die zahlreichen Wechselwirkungen zwischen den Sach- und Dienstleistungen berücksichtigt werden.

Im Rahmen des DFG-Sonderforschungsbereiches TR 29 »Engineering hybrider Leistungsbündel« wird am Institut für Werkzeugmaschinen und Fabrikbetrieb (IWF) der TU Berlin ein IT-gestütztes Assistenzsystem als Unterstützungswerkzeug für die integrierte Planung und Entwicklung hybrider Leistungsbündel entwickelt und in einem prototypischen Softwaresystem umgesetzt [14]. Es führt den Entwickler durch alle Planungs- und Entwicklungsprozesse und unterstützt bei der Entwicklung der Produkte und zugehörigen Dienstleistungen. Dabei steht die frühzeitige und fortwährende Berücksichtigung der gegenseitigen Wechselwirkungen zwischen den Sach- und Dienstleistungen im Vordergrund. Um den Komplexitätsgrad dieser Entwicklungsaufgabe zu reduzieren, werden Modulbibliotheken und Technologiedatenbanken zur Verfügung gestellt, die eine Wiederverwendung entwickelter Komponenten ermöglichen. In ihnen werden das zusammengeführte Wissen über die Sach- und die zugehörigen Dienstleistungen sowie die vorentwickelten hybriden Leistungsmodule abgelegt und verwaltet.

5 Hochflexible Montagesysteme – Humanzentrierte Scheibenmontage mit kooperativen Robotern (KOBOTs)

5.1 Humanzentrierte Automatisierung

Wandelbarkeit und Adaptierbarkeit sind wesentliche Säulen einer wettbewerbsfähigen Produktion. Die Automatisierungstechnik hat sich zunehmend auf die Anforderungen der individualisierten Produktion einzustellen, also die schnelle Rekonfigurierung der automatisierten Produktionssysteme durch Wandlungs- und Adaptionsfähigkeit zu unterstützen. Adaptionsfähigkeit bestimmt damit neben der grundsätzlichen Leistung des Automatisierungssystems zunehmend den Produktionsdurchsatz und die Maschinenauslastung und damit letztendlich die Nutzenproduktivität der Produktionsressourcen.

Die anpassungsfähigste und immer noch mit Abstand die intelligenteste Ressource des Produktionsprozesses ist

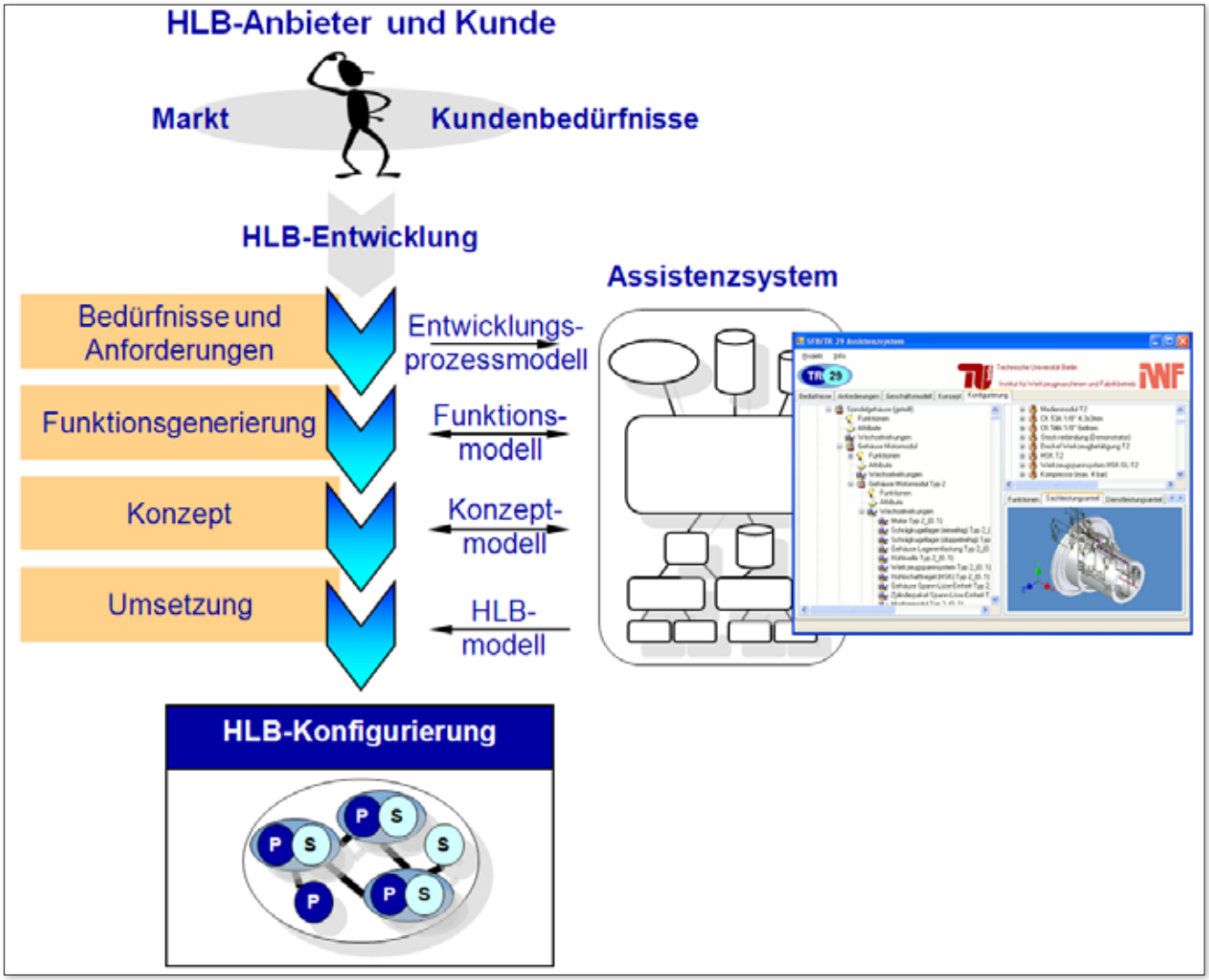


Bild 18: Entwicklungsphasen hybrider Leistungsbündel

nach wie vor der Mensch. Dies zeigt sich insbesondere bei komplexen Montageprozessen, in denen sich der Mensch mit seinen überragenden sensomotorischen Fähigkeiten und seiner schnellen Lernfähigkeit als unersetzbar erweist. Je kleiner die Losgrößen einer individualisierten Produktion sind, umso stärker kommen menschliche Fähigkeiten zum Tragen. Das Ziel der humanzentrierten Automatisierung ist nicht die Nachbildung, sondern die optimierte Unterstützung der menschlichen Fähigkeiten durch das Automatisierungssystem. Dies erfolgt vor allem in der Weise, dass die körperliche Leistungsfähigkeit des Menschen erhalten bzw. erweitert wird, beispielsweise durch Kraftunterstützung in der Bewegungsführung, mit der Ermüdung und belastungsbedingte Berufskrankheiten verhindert werden. Beispiele solcher humanorientierter Automatisierungsgeräte sind die sogenannten kooperativen Roboter, kurz KOBOTs, die dem Menschen bei körperlich belastenden Tätigkeiten helfen, ihm jedoch die volle Bewegungskontrolle überlassen und daher auch keiner Programmierung individueller Bewegungsvorgänge bedürfen. Der Mensch führt den komplexen Prozess und der Roboter entlastet ihn von schweren Aufgaben [15].

5.2 KOBOT als Montageassistent

Die gegenwärtigen Entwicklungen zur Mensch-Roboter-Kooperation haben zum Ziel die Lücke zwischen vollautomatischen Automatisierungslösungen (z.B. mittels Roboter) und manuellen Systemen (z.B. Manipulatoren) zu schließen. Die KOBOT Entwicklung setzt auf passiven Manipulatoren auf, die um Roboterfunktionen erweitert werden. Konventionelle Manipulatoren in Form von Hebesystemen bieten eine vertikale Gewichtsentlastung und ermöglichen somit die flexible manuelle Handhabung



Bild 19: Mensch-Roboter-Mensch Kooperation

auch von sehr schweren Bauteilen. Die für Montageaufgaben erforderlichen Prozessbewegungen, zum Beispiel horizontale Bewegungen und Orientierungsänderungen, sind jedoch vom Werker einzubringen, was sowohl zu hohen körperlichen Belastungen führt als auch die erzielbaren Taktzeiten limitiert. KOBOTs sind kraftverstärkende Manipulatoren, die ausgehend von einer Handkrafterkennung die Bewegungsführung durch Antriebe unterstützt. Hierdurch werden wesentlich leistungsfähigere und ergonomische Systemlösungen mit verbesserter Benutzerakzeptanz ermöglicht [16].

Der Einsatz eines Steuerungssystems zur Verarbeitung von Sensorsignalen (Handkräfte und Momente, Prozessgrößen) und Ansteuerung der Antriebe eröffnet neue Perspektiven für die Gestaltung von KOBOT Lösungen zu intelligenten Assistenzsystemen für Teilehandhabung und Montage. Beispielweise wird das Arbeiten im Team unterstützt (Bild 19) oder das Einsatzspektrum durch intelligente Zusatzfunktionen erweitert. Zu letzteren zählen Funktionen zur gezielten Bahnführung und Kollisionsvermeidung, dem synchronisierten Mitfahren am Band oder auch dem automatischen Anfahren einlernbarer Positionen.

5.3 Scheibenmontage mit KOBOTs

Im Rahmen des EU Vorhabens »Flexible Assembly Systems through Workplace-Sharing and Time-Sharing Human-Machine Cooperation (PISA)« wurden flexible Montagesysteme entwickelt, die auf einer Integration von Mensch und Automatisierungssystem basieren. Ziel ist es, den Werker mit intelligenten Assistenzsystemen zu unterstützen, anstatt ihn zu ersetzen. Im Projekt wurden innovative Technologien zur Mensch-Roboter-Kooperation entwickelt, in industrielle Prototypensysteme umgesetzt und erprobt [17]. In einem Anwendungsszenario aus der Automobilproduktion wurde die teilautomatisierte Scheibenmontage mit kooperativen Robotern (KOBOTs) evaluiert (Bild 20).

Gegenüber vollautomatisierten Systemen reduziert die KOBOT Anwendung die Komplexität, wodurch kostengünstige Gesamtsystemlösungen umsetzbar sind. Die hohe Flexibilität wird durch die direkte Interaktion mit dem Werker und Nutzung seiner menschlichen Fähigkeiten erzielt. Eine schnelle Einarbeitung wird durch die intuitive Bedienung durch Handkraftsteuerung ermöglicht. Die durch die Kraftverstärkung erzielte Reduktion der physischen Belastung verbessert die Arbeitsbedingungen und unterstützt den Einsatz von leistungsgeminderten Mitarbeitern. Im untersuchten Anwendungsfall hat sich insbesondere die Kombination von manueller Bedienung und einfachen Automatikfunktionen zur Zuführung der Scheiben als vorteilhaft erwiesen. Das KOBOT System wird somit zum intelligenten Assistenten, der automatisierte Bauteilzuführung und manuelle Montageprozesse integrativ unterstützt und somit die Produktivität erhöht.

5.4 KOBOT Technologie

KOBOT Kinematiken lassen sich auf Basis einfacher, modularer Achsmodule realisieren. Die zur Kraftmessung

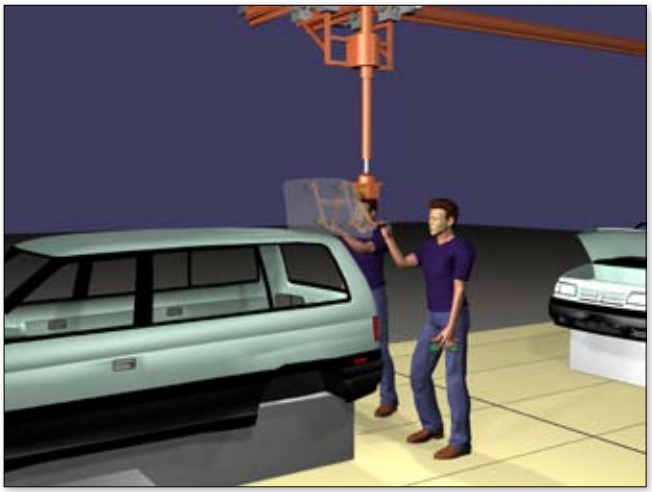


Bild 20: Teilautomatisierte Scheibenmontage in der Automobilindustrie

erforderlichen Sensoren werden in eine Führungseinheit am Endeffektor integriert. Dies erlaubt skalierbare, auf den Anwendungsfall zugeschnittene Lösungen. Eine wesentliche Herausforderung stellt die benötigte Steuerungstechnologie dar. Es werden robuste Regelungsverfahren für die kraftgekoppelte Mensch-Roboter-Kooperation im Zusammenwirken mit Kontaktaufgaben von Montageprozessen benötigt [18]. Weiterhin sind Funktionen zur Überwachung und Gewährleistung der Sicherheit erforderlich. Im Rahmen des PISA Vorhabens konnten hierzu am Fraunhofer IPK, basierend auf der langjährigen Erfahrung in der Kraft- und Nachgiebigkeitsregelung für Industrieroboter, grundlegende Strukturen einer fortschrittlichen KOBOT-Steuerung entwickelt werden [19]. Zur Erprobung mit Bedienern und Optimierung der Leistungsparameter wurde ein Demonstrations- und Testsystem zur Scheibenmontage aufgebaut (Bild 21).

6 Zusammenfassung

Im globalen Wettbewerb stehende Unternehmen fokussieren zunehmend auf Nachhaltigkeitsaspekte, die weit über Ansätze einer ressourceneffizienten Produktion hinausgehen. Neben ökonomischen und ökologischen Zielen rücken zudem soziale Anforderungen in das Blickfeld von Unternehmen, die es gleichermaßen zu erfüllen gilt.
Damit erhöht sich der Komplexitätsgrad der Firmen hinsichtlich der Planung, Entwicklung und Optimierung der Aufbau- und Ablauforganisation, der Produkte und Produktionsprozesse. Der Schlüssel zur Weiterentwicklung des Fabrikbetriebs liegt in einer integrierten technologiegetriebenen Modellierung und Simulation, die neben der Abbildung der Abläufe im Unternehmen auch die Produkt- und Produktionsentwicklung integriert und somit szenarioartige Vergleiche und Bewertungen von Lösungsvarianten zur Produktentstehung zulässt, bevor es zur physischen Umsetzung kommt.

Die von den Marktanforderungen abgeleitete Wandlungsfähigkeit der Produktion trägt der Individualisierung und diskontinuierlichen Auftragsabwicklung Rechnung. Intelligente Strukturen und Prozesse erhöhen die Transparenz und Skalierbarkeit der Produktion in allen Dimensionen. Dies ermöglicht die durchgängige Modellierung und Simulation des Produktionsprozesses. Neuartige Fertigungsmöglichkeiten können so bereits in den frühen Phasen der Produktentstehung hinsichtlich ihrer Wirkung auf die ökonomischen, ökologischen und sozialen Zielgrößen des Unternehmens geprüft werden.

Innovative Produktionsprozesse sind durch permanente Differenzierung und Integration bestimmt. Insbesondere die Fertigung als Kern industrieller Wertschöpfungsprozesse fungiert durch Identifizierung und Nutzung von Zeit- und Kostenpotenzialen als hochkomplexer Innovationstreiber. Die Leistungspotenziale, die in neuen Technologien stecken sind bei weitem noch nicht ausgeschöpft.

Die Entwicklung von kundengetriebenen Lösungsansätzen in nutzenorientierten Geschäftsmodellen gewinnt



Bild 21: KOBOT Demonstrator am Fraunhofer IPK

daher in Zeiten der Überwindung herkömmlicher Marktkonstellationen eine neue Bedeutung. Hybride Leistungsbündel, in denen die Sach- und Dienstleistungen sich gegenseitig determinierend verschmelzen, sind der Schlüssel zur spezifischen Realisierung von funktions-, verfügbarkeits- und ergebnisorientierten Geschäftsmodellen sowie Fertigungsstrategien.

7 Literatur

[1] Umweltbundesamt (Hrsg.): Stromsparen: weniger Kosten, weniger Kraftwerke, weniger CO_2. Zugriff am 26.11.2007 unter: http://www.umweltdaten.de/publikationen/fpdf-l/3191.pdf

[2] Kuttkat, B.: »Energiesparfüchse sind am Werk«, Sonderausgabe Maschinenmarkt METAV Journal 2010, S. 24-26, Verlag Vogel.

[3] Schiefer, E.: Ökologische Bilanzierung von Bauteilen für die Entwicklung umweltgerechter Produkte am Beispiel spanender Fertigungsverfahren. Dissertation TU Darmstadt, 2001.

[4] Dannheim, F.: Die Entwicklung umweltgerechter Produkte im Spannungsfeld von Ökologie und Ökonomie – Eine Analyse unter besonderer Berücksichtigung der Nutzungsphase, Dissertation TU Darmstadt 1999.

[5] Marinescu, I. D. et al.: Handbook of Machining with Grinding Wheels. CRC Press, 2007.

[6] Stark, R.; Beckmann-Dobrev, B.; Schulze, E.-E.; Adenauer, J.; Israel, J.H.: Smart Hybrid Prototyping zur multimodalen Erlebbarkeit virtueller Prototypen innerhalb der Produktentstehung. In Proc. 8. Berliner Werkstatt Mensch-Maschine-Systeme BWMMS'09: Der Mensch im Mittelpunkt technischer Systeme, (2009), S. 437-443.

[7] Mohs, C.; Israel, J.H.; Kindsmüller, M.C.; Naumann, A.; Hußlein, S.: IUUI-Research-Group, Intuitive Benutzung als Ziel in der Produktentwicklung. In Proc. Usability Professionals 2007, (2007), S. 165-168.

[8] Dourish, P.: Where the Action Is: The Foundations of Embodied Interaction. MIT Press, Cambridge, 2001.

[9] Israel, J.H.; Wiese, E.; Mateescu, M.; Stark, R.: Investigating three-dimensional sketching for early conceptual design. Results from expert discussions and user studies. Computers & Graphics, 33 (4), 2009, S. 462-473.

[10] Völlinger, U.; Beckmann-Dobrev, B.; Schäfer, J.; Israel, J.H.; Stark, R.: Intuitive Haptische Interfaces für die Deformationssimulation. In Proc. 8. Paderborner Workshop Augmented & Virtual Reality in der Produktentstehung, (2009), S. 189-203.

[11] Rothenburg, U.; Völlinger, U.; Beckmann-Dobrev, B.; Figge, A.; Goebbels, G.: Validation of accuracy simulation flexible, one-dimensional objects. In Proc. Virtual Reality International Conference VRIC 2010, (2010).

[12] Stark, R.; Israel, J.H.; Wöhler, T.: Towards hybrid modelling environments. Merging desktop-CAD and virtual reality-technologies. CIRP Annals Manufacturing Technology 2010 (59), 2010, S. 179-182.

[13] Meier, H.; Uhlmann, E.; Kortmann, D.: Hybride Leistungsbündel – Nutzenorientiertes Produktverständnis durch interferierende Sach- und Dienstleistungen. In: wt Werkstattstechnik online H. 7/8. Düsseldorf: Springer VDI Verlag, 2005, S. 528-532.

[14] Uhlmann, E.; Bochnig, H.: IT-Unterstützung für die Entwicklung hybrider Leistungsbündel. In: Hybride Technologien in der Produktion, Fortschritt-Berichte VDI Reihe 2 Fertigungstechnik Nr. 675. Düsseldorf : VDI Verlag, 2010, S. 22-33.

[15] Krüger, J. Nachhaltige Produktion durch flexible Automatisierung, In: ZWF 102 (2007) 6, Carl Hanser Verlag, S. 332-334.

[16] Schmidt, U.; Konzack, R.: KOBOT – Cooperative Robot System for a Versatile Production, In Proceedings of the 2008 IEEE SMC International Conference on Distributed Human-Machine Systems, Athens, Greece, March 9-12, 2008, S. 503-507.

[17] Krüger, J.; Katschinski, V.; Surdilovic, D.; Schreck, G.: PISA: Next Generation of Flexible Assembly Systems. From Initial Ideas to Industrial Prototypes, In Proceeding of ISR/Robotik 2010 Conference, Munich, June 7-9, 2010, S. 84-89.

[18] Krüger, J.; Surdilovic, D.: Robust control of force-coupled human-robot-interaction in assembly processes, CIRP Annals – Manufacturing Technology 57 (2008), S. 41-44.

[19] Surdilovic, D.; Schreck, G.; Schmidt, U.: Development of Collaborative Robots (COBOTS) for Flexible Human-Integrated Assembly Automation, In Proceeding of ISR/Robotik 2010 Conference, Munich, June 7-9, 2010, pp. 90-97.

Seminar I

Vernetzte Fabrik zwischen Vision und Realität

Prof. Rainer Stark, Marcus Kim, Uwe Rothenburg
Fraunhofer IPK, IWF TU Berlin

Vom virtuellen Produkt zur digitalen Fabrik: Potentiale und Herausforderungen

Abstract | Im letzten Jahrzehnt haben sich die Methoden zur Unterstützung einer durchgängigen digitalen Entwicklung neuer Produkte und der Produktionsplanung in vielfältiger Weise wesentlich weiterentwickelt. Aufgrund der bestehenden Randbedingungen werden die produzierenden Unternehmen jedoch zur weiteren Optimierung der Produktentwicklung und auch der Planungsprozesse mit digitalen Hilfsmitteln gezwungen. Als ein Kernaspekt hat sich dabei die weitere organisatorische, methodische und informationstechnische Verzahnung beider Bereiche herausgestellt. In den ersten Kapiteln des Artikels werden etablierte Abläufe in der Produktentwicklung und Produktionsplanung beleuchtet, auf aktuelle Fragestellungen eingegangen um anschließend die Handlungsfelder und damit verbundenen Enabler der Verknüpfung zwischen Produktentwicklung und Produktionsplanung zu erläutern. Abschließend werden zukünftige Lösungen, die sich derzeit in der Erforschung befinden, dargestellt.

Keywords | *Virtuelle Produktentwicklung, Digitale Fabrik, Produktionsplanung*

1 Einleitung

Als wesentliche Vorgehensweise in industriellen Produktentstehungsprozessen hat sich das Simultaneous Engineering etabliert. Es ist gekennzeichnet durch die zielgerichtete, interdisziplinäre Zusammen- und Parallelarbeit von Produkt-, Produktions- und Vertriebsentwicklung mit Hilfe eines straffen Projektmanagements, wobei der gesamte Produktlebenslauf betrachtet wird [EHR07]. Die umfassende Virtualisierung der Produktentstehung trägt dabei entscheidend zur Kostenreduktion, zur Verkürzung der Produktentstehungszeiten sowie zur Steigerung der Produktqualität bei. Es folgt ein kurzer Überblick über die IT-Lösungen in der Virtuellen Produktentstehung (Abbildung 1).

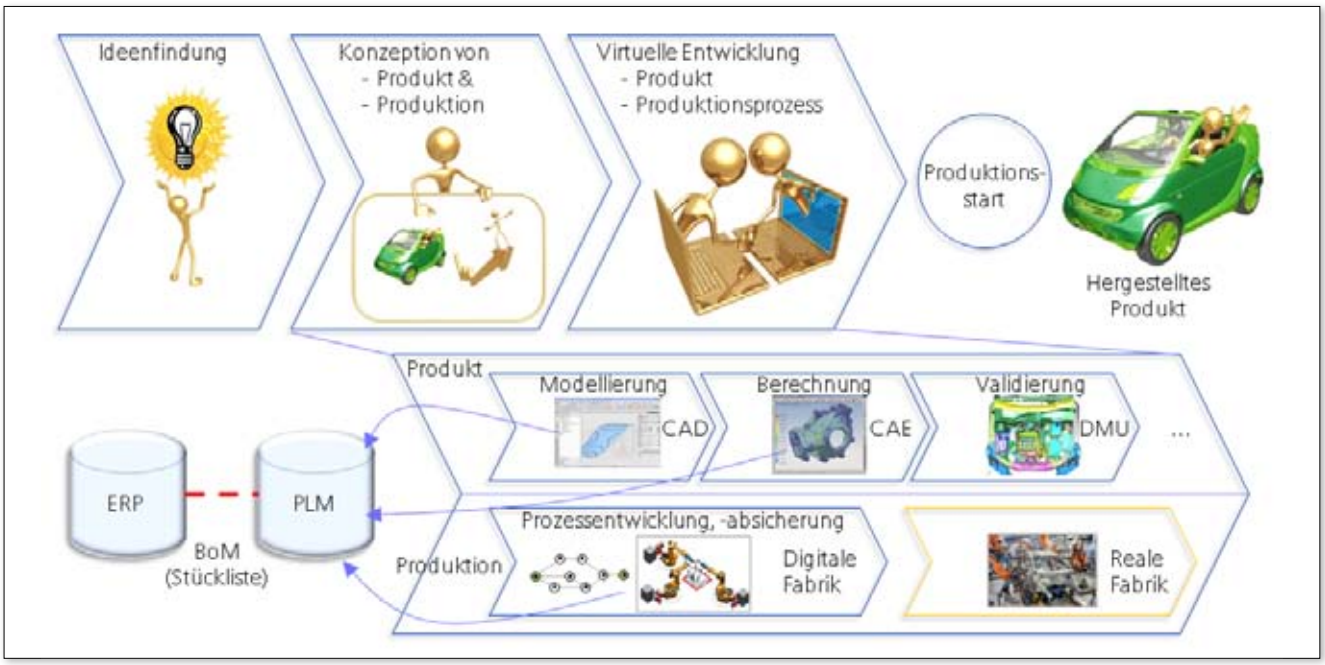


Abbildung 1: Überblick über die IT-Lösungen in der Virtuellen Produktentstehung

CAD

Ein zentrales Werkzeug in der Konstruktion sind Computer Aided Design-Systeme (CAD). Neben der Produktgestalt werden zusätzlich Material sowie Bemaßungen und Toleranzen für die Fertigung definiert. Die wesentlichen Techniken zur Beschleunigung der Modellierung innerhalb des CAD-Systems sind parametrische Modellierung, Feature-Technologie, Knowledge Based Engineering (KBE) und Templates [SG08].

PLM

Für die Verwaltung der Produktdaten werden Produktdatenmanagement (PDM)-Systeme eingesetzt. PDM-Systeme dienen u. a. dem Varianten- und Versionsmanagement, der Klassifizierung und Sachmerkmalsverwaltung sowie der Benutzerverwaltung. Zusätzlich übernehmen PDM-Systeme die Aufgaben eines Workflow-Management-Systems [SPK97], [EIS09]. Der Begriff Product Lifecycle Management (PLM) bezeichnet die ganzheitliche Verwaltung aller Daten, die im Produktlebenszyklus neuer Produkte anfallen, bearbeitet und weitergeleitet werden müssen. Viele PLM-Systeme stellen systemspezifische Schnittstellen zu CAD-Systemen sowie anderen Anwendungssystemen bereit. Ziel des Einsatzes von PLM-Systemen ist die Realisierung eines unternehmensweit durchgängigen Informationsflusses. Die Schnittstelle zu ERP-Systemen wird jedoch lediglich über die Stückliste (Bill of Material – BoM) hergestellt.

CAE

Ein vordergründiges Ziel der Virtuellen Produktentstehung ist die digitale Erprobung und Absicherung von Produkteigenschaften anhand von Berechnungsmethoden und Simulationsverfahren in frühen Entwicklungsphasen (Frontloading). Dadurch können Produkteigenschaften bereits am virtuellen statt am physischen Produktmodell erprobt werden [SPK97], [SG08].

DMU

Als ein Bestandteil der digitalen Erprobung von Produkten werden Digital Mock-Ups (DMU) eingesetzt. DMUs bilden durch ein virtuelles Modell die Struktur und Geometrie eines Produktes ab und erlauben es, virtuelle Ein- und Ausbauuntersuchungen, Ergonomieuntersuchungen oder Baubarkeitsprüfungen durchzuführen. Im Gegensatz zu CAD-Modellen werden beim DMU schlanke Datenformate (sog. lightweight Formate) gewählt, um auch sehr große Baugruppen handhaben zu können [KFG07].

Digitale Fabrik

Verkürzte Produktlebenszyklen zwingen nicht nur eine beschleunigte Produktentwicklung, sondern auch eine Beschleunigung der Planungsprozesse. Die digitale Planung und Absicherung der Produktionsprozesse erfolgt zeitlich überlappend zur Produktentwicklung mit den Werkzeugen der Digitalen Fabrik. Diese ist definiert als ein »*…umfassendes Netzwerk von digitalen Modellen, Methoden und Werkzeugen – u. a. der Simulation und 3-D-Visualisierung –, die durch ein durchgängiges Datenmanagement integriert werden. Ihr Ziel ist die ganzheitliche Planung, Evaluierung und laufende Verbesserung aller wesentlichen Strukturen, Prozesse und Ressourcen der realen Fabrik in Verbindung mit dem Produkt.*« [VDI4499].

2 Abläufe in der Produktentwicklung und Produktionsplanung

Prinzipiell sind die Vorgehensmodelle der Bereiche Produktentwicklung und Produktionsplanung Bereiche phasenorientiert. Bekannte Vorgehensmodelle in der Produktentwicklung sind die Vorgehensmodelle nach VDI 2221 und VDI 2206. Zusätzlich sind unternehmensspezifische Vorgehensmodelle weit verbreitet.

In der Produktionsplanung sind als Planungssystematiken die Planungspyramide nach [AGG81] oder die Planungssystematik nach [REFA87] bekannt. Weiterhin wird mit der VDI 5200 (Entwurf 2009) ein weiteres phasenorientiertes Vorgehensmodell vorgestellt. Allen gemein sind die Phasen der Zielplanung, Grobplanung, Feinplanung, Realisierung und Inbetriebnahme. Ebenso hat sich die systemtechnische ganzheitliche Betrachtung durchgesetzt. So werden einerseits die Betrachtungs-ebenen eines Produktionssystems aufgeführt sowie auch die aus vielfältigen – z. T. wechselseitigen – Abhängigkeiten und hoher Dynamik resultierende Komplexität.

Um die Schnittstellenproblematiken zwischen Produktentwicklungsprozessen und Produktionsplanungsprozessen einordnen zu können, werden beide Prozesse zunächst grob umrissen, um anschließend auf die Schnittstellen der digitalen Werkzeuge einzugehen (Abbildung 2).

In der Konzeptphase des Produktentstehungsprozesses werden mehrere Produktkonzepte hinsichtlich der Wirtschaftlichkeit und technischen Machbarkeit analysiert [WEB09]. Unter Berücksichtigung der Produktstrategie, Absatzmärkte, prognostizierten Stückzahlen, Produktionsstätten, Personal etc. werden Logistik-, Montage- und Fertigungskonzepte für jedes Produktkonzept erstellt. Dabei müssen u. a. Entscheidungen hinsichtlich Standort, Fertigungstechnologie, Fertigungstiefe, Lieferantennetz, Wiederverwendungsgrad und Variantenvielfalt getroffen werden. Daraus lassen sich erste Abschätzungen hinsichtlich des benötigten Investitionsbedarfs und damit Aussagen hinsichtlich der Wirtschaftlichkeit ableiten [VDI3637], [ABE06], [VDI5200]. Aufgrund des hohen Unsicherheitsgrads können innerhalb der Produktionsplanungsdisziplinen weitere Planungsszenarien und Planungsalternativen erstellt werden, welche über den Planungsprozess ausdetailliert werden.

Während der Entwicklungsphase erfolgt die Ausdetaillierung des Produkt- und des Produktionskonzepts. In dieser Phase wird das Produkt seitens der Produktentwicklung hinsichtlich des Verhaltens digital abgesichert. Die Aufgaben der Produktionsplanung in der Grobplanung umfassen u. a.:

- Beratung für eine fertigungsgerechte Konstruktion, u. a. um kontinuierlich die technische Machbarkeit des Produkts zu gewährleisten, oder um vorhandene Betriebsmittel wiederzuverwenden und das Produkt aus Sicht der Produktionsplanung zu optimieren.
- Festlegung von Produktionsabläufen anhand von Referenzteilen,
- Erstellung von Anlagenplan und des Grob-Layouts,
- Entwicklung des Materialflusssystems (inkl. Fördersysteme, Handhabungsgeräten, Lager und Puffer),
- Projektierung und Realisierung der jeweiligen Produktionssysteme

Während der Feinplanungsphase ist die Produktgestalt fast vollständig definiert. Dennoch können Tests an Prototypen noch zu sogenannten späten Produktänderungen führen. In der Produktionsplanung wird auf der Ebene von Operationen geplant. Die Steuerungsprogramme der Anlagen werden erstellt. Änderungen an Prozessen oder Betriebsmitteln, die sich während des Baus der Prototypen ergeben haben, müssen in die Produktionsplanung einfließen. Wenige Monate vor dem Start der Produktion (SoP – Start of Production) betreut die Produktionsplanung den Serienanlauf bis zum Erreichen der Kammlinie [SSS08].

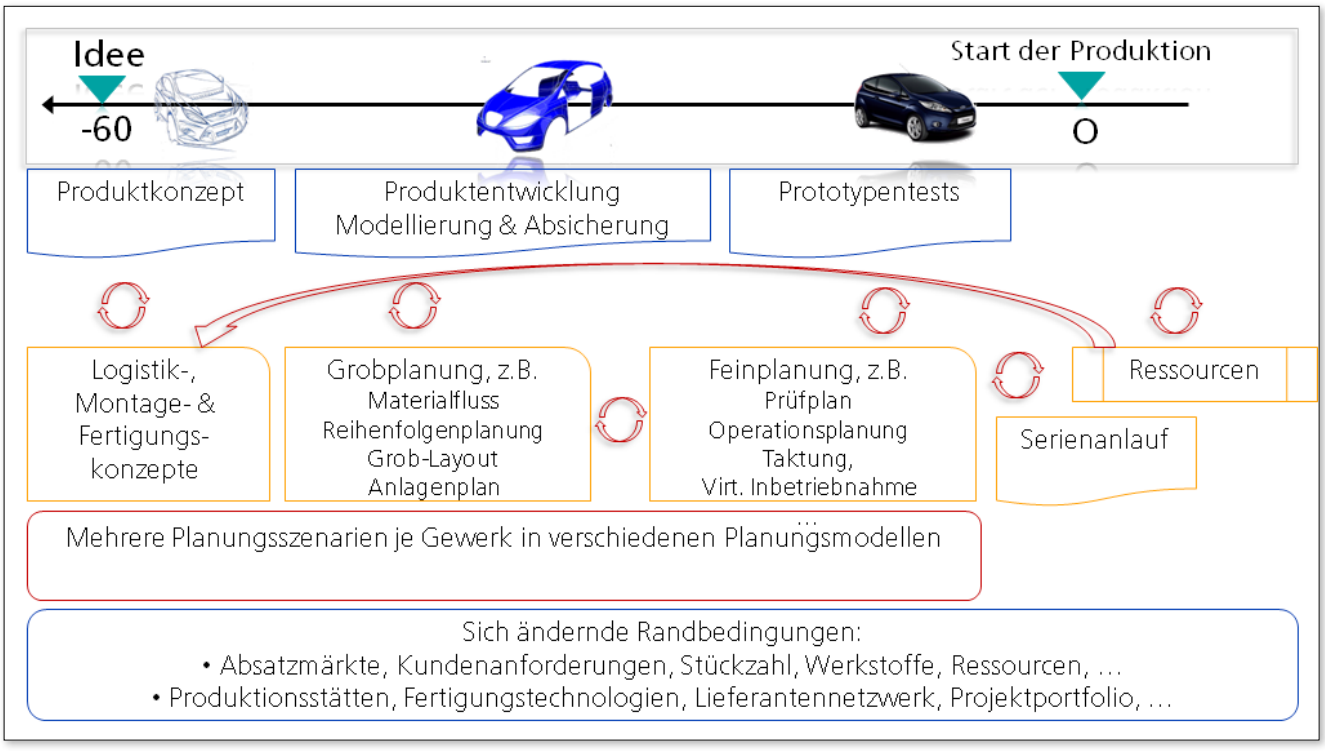


Abbildung 2: Wechselspiel zwischen Produktentwicklung und Produktionsplanung

Die Komplexität, die im Produktentstehungsprozess anzutreffen ist, wird durch starke Unsicherheiten, Dynamik (Produktänderungen), Variantenvielfalt, Planungsdisziplinen und Vielzahl der Abhängigkeiten begründet [AGG81].

Eine Gegenüberstellung der digitalen Absicherungswerkzeuge der Produktentwicklung und Produktionsplanung enthält Abbildung 3. Im linken Teil der Abbildung wird die Sicht der Produktentwicklung und deren Werkzeuge dargestellt, der rechte Teil enthält die Sicht der Produktionsplanung.

In der Produktentwicklung werden für ein mechatronisches Produkt die Produktdomänen Mechanik, Elektrik/Elektronik und Software unterschieden. Typische Autorensysteme sind entsprechend MCAD (Mechanical CAD), ECAD (Electrical CAD) und IDE (Integrated Development Environment) für CASE (Computer Aided Software Engineering).

In der Produktionsplanung werden zur Produktionsprozessentwicklung und -absicherung CAPP-Systeme (Computer Aided Process Planning, zunächst CAP [WEP06]) eingesetzt, wobei Produkt, (Produktions-)Prozess und Ressource betrachtet werden.

Während das Produktverhalten seitens der Produktentwicklung berechnet und simuliert wird, werden mittels der Werkzeuge der Digitalen Fabrik die Produktionsprozesse analysiert und optimiert. Vergleichbar wie die Berechnungs- und Simulationswerkzeuge der Produktmodelle so wird auch unter dem Begriff der Digitalen Fabrik ein breites Spektrum an Berechnungs- und Simulationswerkzeugen subsummiert werden.

An dieser Stelle soll auf drei Aspekte hingewiesen werden:

- In der Regel hat die Produktionsplanung keine Änderungsberechtigung an den Produktdaten
- Berechnungsmethoden und Simulationsverfahren aus beiden Bereichen basieren auf ähnlichen Methoden (FEM, MKS, CFD, …).
- Die Entwicklung eines Produktionssystems entspricht der Entwicklung eines (mechatronischen) Produkts

Während die Tests mit Prototypen relevante Daten für die Produktentwicklung liefern, ist es für die Produktionsplanung der Prototypenbau [WEB09].

Wesentliche Vorteile der Digitalen Fabrik ergeben sich aus der frühzeitigen Entwicklung, Simulation und Absicherung der Produktionsprozesse anhand des virtuellen Produktmodells. Dies ermöglicht es, das Produkt zu einem

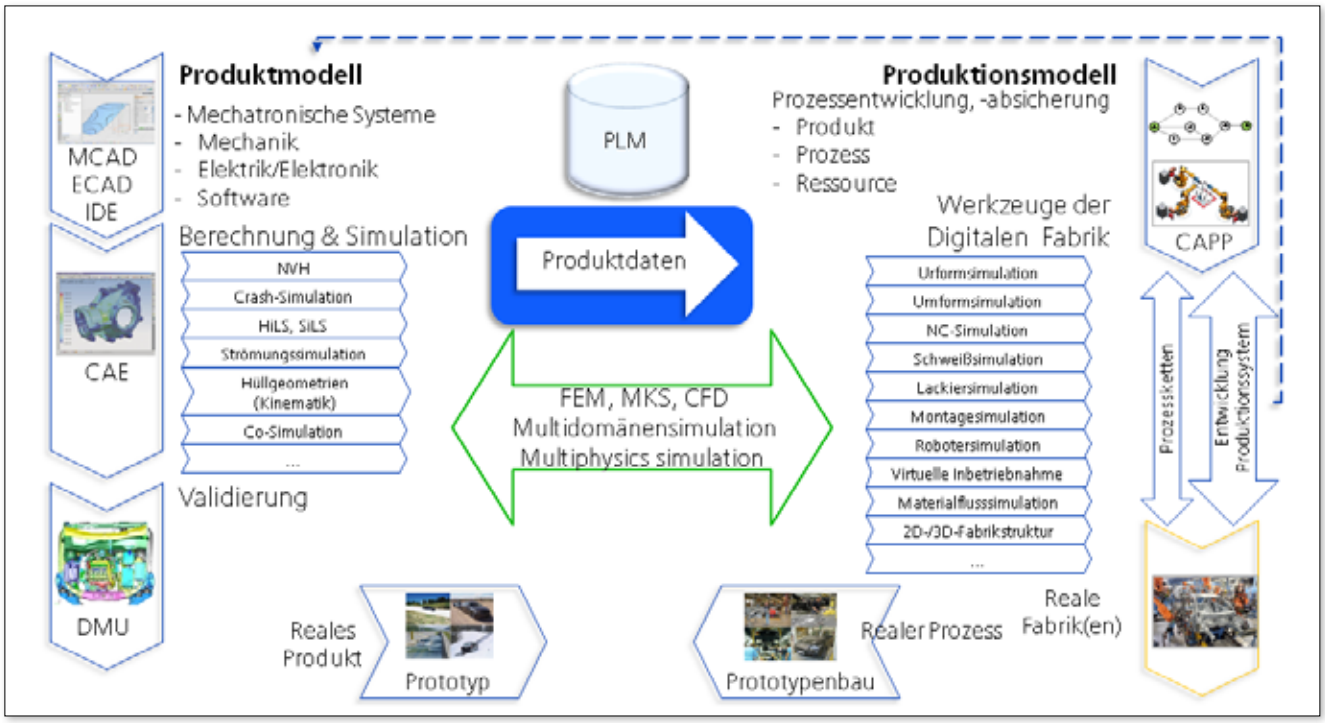


Abbildung 3: Digitale Absicherungswerkzeuge der Produktentwicklung und Produktionsplanung

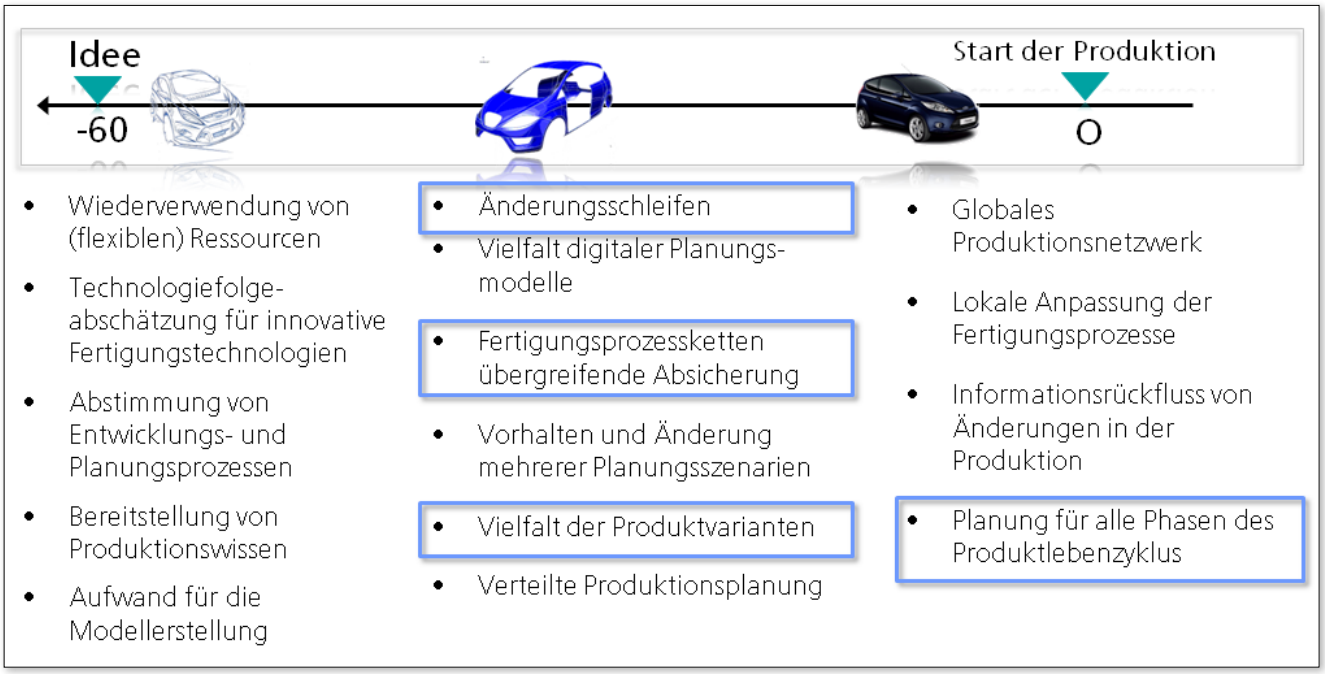


Abbildung 4: Überblick über Herausforderungen der Verknüpfung zwischen Produktentwicklung und Produktionsplanung

frühen Zeitpunkt aus zu bewerten und unter Gesichtspunkten der Prozessoptimierung zu beeinflussen. Die Digitale Fabrik umfasst ein breites Spektrum verschiedener Werkzeuge. Dazu zählen unter anderem [KUE06]:

- Layoutplanung und Materialflusssimulation
- Planung und Simulation der Montageprozesse
  - Planung und Simulation von manuellen Montageprozessen (Ergonomiesimulation)
  - Planung, Offline-Programmierung und Simulation automatisierter Roboterzellen
- Planung, Offline-Programmierung und Simulation der Teilefertigung
- Virtuelle Inbetriebnahme
- Wartung und Instandhaltung
- Simulation des operativen Produktionsprogramms
- Simulation von Lackierprozessen
- Simulation von Schweißprozessen
- Simulation von Umformprozessen

Das derzeitige Zusammenspiel zwischen Produktentwicklung und Produktionsplanung ist durch verschiedenste Hemmnisse gekennzeichnet. Die unzureichende Vernetzung durch Insellösungen, fehlende Datenintegration und individuell verlaufende Teilplanungsprozesse führen insgesamt zu ineffizienten Entwicklungs- und Planungsabläufen mit Medienbrüchen, Zeitverlusten und redundanten Tätigkeiten [PSI10]. Auf die bestehenden Herausforderungen wird im nächsten Abschnitt näher eingegangen.

3 Herausforderungen der Verknüpfung zwischen Produktentwicklung und Produktionsplanung

Aufgrund der Schnittstellen zwischen Produktentwicklung und Produktionsplanung ergeben sich vielfältige und mehrdimensionale Herausforderungen. Einige wesentliche Herausforderungen aus Abbildung 4 werden im Folgenden näher beschrieben.

3.1 Vielfalt der Produktvarianten

Eine Gegenüberstellung des Begriffs der Variantenzahl in der Produktionsplanung und der Variantenvielfalt Produktentwicklung (Abbildung 5) verdeutlicht die Komplexität bei der Verknüpfung beider Bereiche. In der Produktentwicklung kann sich der Begriff der Variantenvielfalt auf Produktvarianten oder Baugruppen- und Teilevarianten beziehen [EHR07], [EKL07], [LRZ06]. In der Produktionsplanung hingegen wird unter dem Begriff

Variantenzahl die Anzahl der möglichen, konkurrierenden (Planungs-)Lösungsvarianten verstanden [AGG81], [VDI5200]. Trotz digitaler Werkzeuge erfolgt nur für einige wenige (Planungs-) Lösungsvarianten eine Detailplanung. Zusätzlich werden in der Praxis aufgrund des zu hohen Aufwands nicht alle Produktvarianten abgesichert, sondern Referenzvarianten.

3.2 Fertigungsprozessketten übergreifende Absicherung

Während des Produktenstehungsprozesses werden Produktänderungen (ECR – Engineering Change Request) seitens der Produktentwicklung angestoßen. Jede Produktänderung hat zur Folge, dass die jeweils betroffenen Gewerke die Produktänderung isoliert voneinander bewerten. Zusätzlich zur Prozessabsicherung erfolgt eine Bewertung von Zwischenzuständen und Ressourcen zwischen den Gewerken (Abbildung 6 links), was zu einem hohen Aufwand allein für die Prüfung innerhalb einer Produktänderung führt.

Dennoch ist zu beachten, dass in der Regel nicht nur Produktänderungen zu berücksichtigen sind, sondern auch die Änderung von Planungsszenarien (Lohn- und Materialkosten, Stückzahlprognosen, neue Fertigungstechnologien, etc.).

Aus Sicht des Konstrukteurs stehen diesem jedoch nur unternehmensspezifische Gestaltungsrichtlinien, wie etwa in Abbildung 6 rechts dargestellt, oder allgemeingültige Gestaltungsrichtlinien zur Verfügung (vgl. [BRA96], [LOW06], [PBFG07]).

3.3 Hochfrequente Änderungsschleifen

Während früher die Produktionsplanung die Produktänderungen umzusetzen hatte (Abbildung 7 links), erlaubt die frühzeitige und kontinuierliche Absicherung der Herstellprozesse mittels der Werkzeuge der Digitalen Fabrik eine höhere und genauere Aussagefähigkeit anhand der digitalen Produktmodelle einerseits, sowie eine Produktbeeinflussung aus Sicht der Produktionsplanung andererseits. Dies jedoch hat in der Praxis dazu geführt, dass zwischen Produktentwicklung und Produktionsplanung hochfrequente, digitale workflow-basierte Iterationen – Digitales »Ping Pong« – stattfinden (Abbildung 7 rechts), da bisher die Möglichkeiten fehlen, der Produktentwicklung die Randbedingungen des Produktionsstandorts (oder mehrerer Produktionsstandorte bei Gleichteilen) effizient und transparent aufzeigen zu können.

3.4 Planung für alle Phasen des Produktlebenszyklus

Eine weitere Herausforderung stellt die Notwendigkeit der Ausweitung der digitalen Planungs- und Absiche-

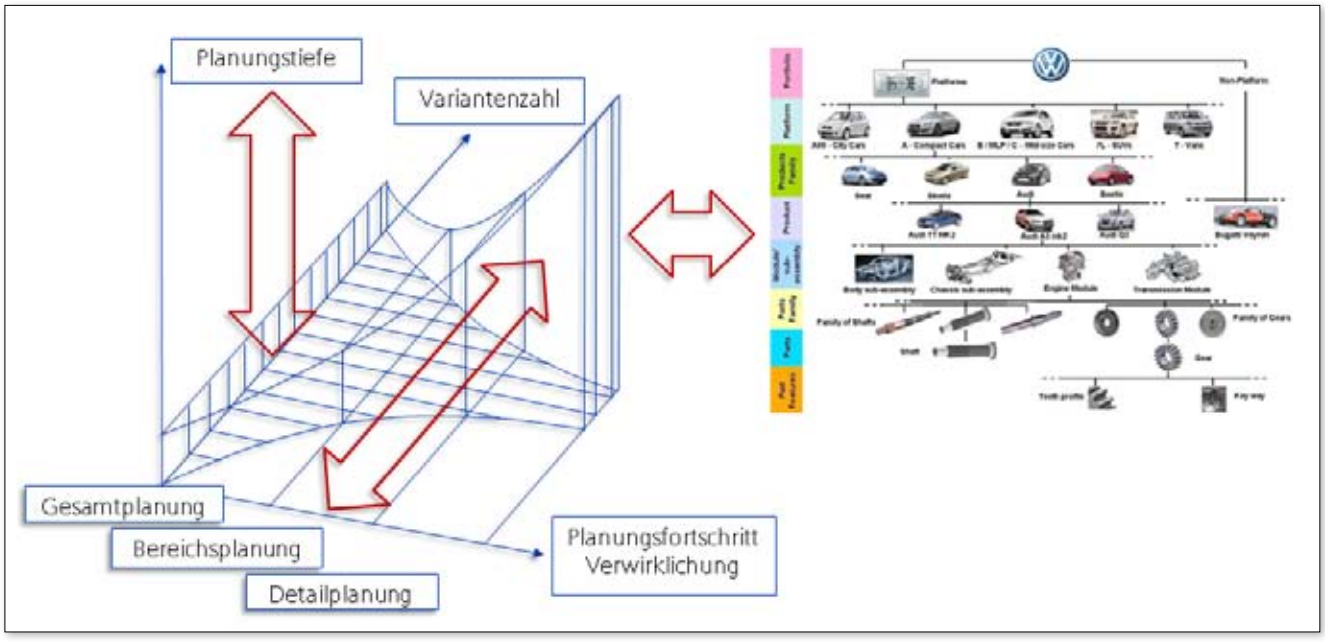


Abbildung 5: Variantenzahl in der Produktionsplanung und Variantenvielfalt in der Produktentwicklung [AGG81], [MAR09]

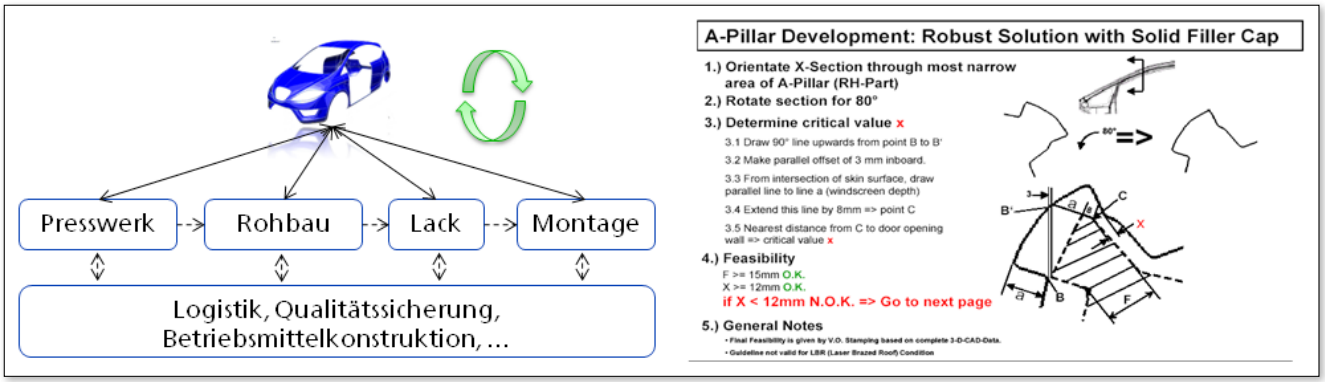


Abbildung 6: Auswirkung von konstruktiven Änderungen auf die Produktionsplanung

rungsmethoden auf die der Produktion nachgelagerten Phasen im Produktlebenszyklus dar. Derzeit verfügbare Werkzeuge unterstützen im Wesentlichen die Gestaltung von Montageprozessen und sind in der Regel nicht für die Untersuchung und Planung von Instandhaltung und Demontage konzipiert. Charakteristische Merkmale sind hohe Produkt- und prozessabhängige Unsicherheiten, wie unklare Ausgangszustände der Produkte (z.B. durch unterschiedliche Verschleißbedingungen), schwankende Produkt-Eingangsfrequenzen sowie das Auftreten ungeplanter Aufträge (z. B. Reparaturfälle). Zukünftige Lösungen müssen dies berücksichtigen, um eine gezielte Abschätzung, Bewertung und Planung unterstützen. Ebenso ist der Informationsrückfluss aus der Nutzungs- und Abwicklungsphase eines Produktes in die Produktentwicklung und Planung aufgrund inkonsistenter und verteilter Datenhaltung noch nicht durchgängig etabliert.

4 Potenziale und Handlungsansätze für eine engere Vernetzung und Integration

Als ebenso vielschichtig wie die im vorherigen Kapitel beschriebenen Herausforderungen stellen sich mögliche Handlungsansätze für eine engere Vernetzung von Produktentwicklung und Produktionsplanung dar. Dies liegt insbesondere daran, dass der Einsatz von neuen Unterstützungswerkzeugen auch immer eine stringente organisatorische, methodische und datentechnische Verankerung in den Unternehmensprozessen erfordert. Nachfolgend wird, entsprechend der beschriebenen Herausforderungen, auf ausgewählte Handlungsansätze eingegangen:

4.1 Handlungsansatz 1: Höhere Abdeckung der Variantenvielfalt durch digitale Methoden

Die Variantenvielfalt verursacht in der Produktionsplanung eine zusätzliche Komplexität. Zu jeder Produktvariante

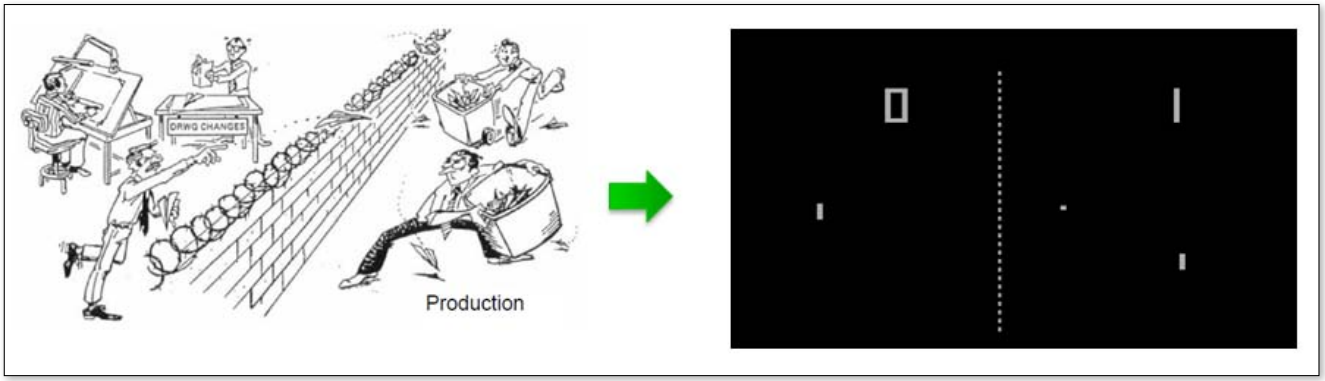


Abbildung 7: Hochfrequente digitale Iterationen – Digitales »Ping Pong«

sind Fertigungs- und Montageprozesse, Ressourcen und Zwischenzustände zu planen.

Der vorgestellte Handlungsansatz zielt auf eine effizientere und durchgängige Nutzung und Weiterverwendung von Produktparametern und Betriebsmittelparametern in der Produktionsplanung. Dies umfasst sowohl geometrische Parameter als auch nicht geometrische Parameter.

In Abhängigkeit des betrachteten Fertigungsprozesses sind die (Wirk-) Zusammenhänge zwischen Produkt- Prozess- und Ressourcenparametern zu formalisieren. Dies stellt die Grundvoraussetzung für eine Teil-/ Automatisierung in Form einer parametrischen Anpassungsplanung dar. Der Handlungsansatz ergänzt die gegenwärtige Konfiguration und Zusammenstellung von Bibliothekselementen (Produkt, Prozess und Ressource) in der Prozessplanung um eine kausale und parametrisierte Verknüpfung.

4.2 Handlungsansatz 2: Prozessübergreifende Bewertung der Auswirkungen von Produktänderungen

In der Produktionsplanung werden innerhalb der Planungsdisziplinen verschiedene, spezialisierte digitale Planungs- und Simulationsmodelle verwendet (s. Abbildung 3). Erfolgt eine Produktänderung, so wird diese von den einzelnen Planungsdisziplinen mittels der Partialmodelle isoliert bewertet, unabhängig von vor- oder nachgelagerten Prozessen. Ein durchgängiges digitales Produktionsplanungsmodell, wie das Produktmodell für die digitale Absicherung der Produkteigenschaften, welches die (Fertigungs-) Prozesseinflüsse erfasst, ist nicht existent.

Eine Einbettung der verschiedenen Partialplanungsmodelle in ein durchgängiges Produktionsplanungsmodell als Ausgangspunkt für alle Planungsdisziplinen kann dazu dienen, eine prozesskettenübergreifende Bewertung vornehmen zu können. Dazu ist es erforderlich, neben den Zwischenzuständen auch die prozessbedingten Einflüsse (z.B. mechanische Beanspruchung, thermische. Beeinflussung etc.) und deren Schwankungen (i.S.v. Prozessfähigkeit) zu erfassen und zu bewerten. Dadurch können basierend auf realen Zwischenzuständen innerhalb der Prozesskette geplant werden, anstatt auf idealen Zwischenzuständen. Die Prozessplaner erhalten dadurch zusätzlich eine Transparenz über den gesamten Herstellprozess und können eigene Entscheidungen hinsichtlich der Auswirkungen auf vor- und nachgelagerte Fertigungsprozesse im Kontext treffen und bewerten.
Dazu ist es erforderlich, eine Standardisierung der Planungssystematik und benötigten Planungsinformationen vorzunehmen sowie Schnittstellen innerhalb der Produktionsplanung und der Planungs- und Simulationswerkzeuge detailliert zu erfassen. Die Vielfalt der digitalen Planungs- und Simulationsmodelle sowie das zugehörige erforderliche Simulationsdatenmanagement erschwert eine flexible Abbildung von Fertigungsprozessketten. Mit Hilfe eines durchgängigen Produktionsplanungsmodells kann jedoch eine Integration der Planungsdisziplinen und –partialmodelle wesentlich dazu beitragen, eine Bewertung von Produktänderungen prozessübergreifend zu ermöglichen und zu beschleunigen. Das Produktionsplanungsmodell wiederum kann als Eingangsmodell zur Absicherung der Produkteigenschaften nach Durchlauf der Fertigungsprozesskette herangezogen werden.

4.3 Handlungsansatz 3: Vermeidung hochfrequenter digitaler Iterationen

Änderungsprozesse zeichnen sich aus durch einen hohen Detaillierungsgrad, hohen Grad der Arbeitsteilung sowie eine hohe Interprozessverflechtung. Dem Konstrukteur liegen Gestaltungsrichtlinien zur fertigungs- und montagerechten Konstruktion nur in Form von Positiv-/Negativ-Beispielen oder einfachen Checklisten vor. Zur Vermeidung der hochfrequenten Iterationen soll dem Konstrukteur im CAD-System veranschaulicht werden, was für das Unternehmen mit den geplanten oder gegebenen Ressourcen technisch und wirtschaftlich umsetzbar ist.

Dazu ist es erforderlich, eine phasenbezogene Abstufung vorzunehmen, da in Abhängigkeit des Projektfortschritts verschiedenste Randbedingungen seitens der Produktionsplanung (z.B. Standort, Fertigungstechnologie, Aufbau Roboterzelle, etc.) bereits festgelegt werden und den Freiheitsgrad einschränken. Zusätzlich zu den allgemeinen Gestaltungsrichtlinien, ist es erforderlich, die standortspezifischen Randbedingungen der Produktion transparent für die Produktentwicklung zu gestalten. Eine aktuelle Darstellung der standortspezifischen »Herstellbarkeitsgrenzen« erfordert ein aktuelles Abbild der Produktionsfähigkeiten des jeweiligen Produktionsstandorts. Dies erfordert eine Erweiterung der bisherigen

informationstechnischen Erfassung und Klassifizierung der Ressourcen und eine stärkere Berücksichtigung der (Produktions-) Zwischenzustände des Produkts, um die Auswirkungen von Produktänderungen auch an den Zwischenzuständen zu bewerten. Eine aktuelle Erfassung der stellt zusätzlich hohe Anforderungen an Informationsrückflüsse aus und Änderungsmanagement in den Produktionsstandorten.

4.4 Handlungsansatz 4: Digitale Auslegung und Planung von Instandhaltung und Demontage

Damit bereits in der Produktentwicklung hinsichtlich der Wartungs- und Demontagefähigkeit eines Produktes fundiert Aussagen und Entscheidungen getroffen werden können, sind geeignete Assistenzsysteme bereitzustellen, mit denen gezielt wichtige Informationen und Lösungsansätze für eine instandhaltungs- und demontagegerechte Konstruktion zur Verfügung gestellt werden.

Darüber hinaus sind Planungs- und Absicherungswerkzeuge dahingehend zu erweitern, sodass diese in der Lage sind, die durch Nutzung eines Produktes hervorgerufenen Abnutzungserscheinungen mittels simulationsbasierter Zustandsprognose oder aufbereitete Felddaten in die Gestaltung von Instandhaltungs- und Demontageprozessen einzubeziehen. Aufgrund der Vielfalt von Einflussfaktoren, ist eine explizite und manuelle Modellierung von Prozessen und Ressourcen nicht mehr praktikabel. Daher sind weitere Methoden zu integrieren, die eine automatisierte Planung von Reihenfolgen und Abläufen, eine Konfigurations- und zustandsorientierte Planung von Prozessen sowie im letzten Schritt eine adaptive Planung und Steuerung von Prozessen realisieren. Zwingende Voraussetzung für eine möglichst automatisierte Planung und Durchführung von Instandhaltung und Demontage sind digitale, miteinander gekoppelte und zustandsorientierte Produkt- und Fabrikmodelle sowie darauf aufbauend eine PLM-basierte Konfigurations- und Zustandserfassung.

5 Derzeitige Forschungs- und Entwicklungsarbeiten

Aufbauend auf den dargestellten Herausforderungen und Handlungsansätzen, werden nun anhand von drei Forschungs- und Entwicklungsarbeiten des Fraunhofer IPK und der TU Berlin konkrete Lösungsbeispiele aufgezeigt.

5.1 Technologische Fertigungsprozessoptimierung durch integrierte Berechnungsmodelle

Bei der Fräsbearbeitung von komplex geformten Bauteilen wirken auf das Fräswerkzeug zeitlich stark variierende, an kritischen Stellen der Werkzeugbahn sogar sehr hohe Belastungen ein, die zum Werkzeugbruch führen können. Deshalb ist die Wahl der richtigen Werkzeugbahnstrategie gerade für Endanwender der spanenden Fertigung, die hohe Zeitspanvolumina anstreben, von entscheidender Bedeutung.

Zu ihrer Unterstützung sind zwar bereits zahlreiche Softwareprodukte von der NC-Datenerstellung (CAD/CAM) bis zur Simulation der Werkzeugmaschine am Markt erhältlich. Die Einbeziehung fertigungstechnologischer Erkenntnisse erfolgt noch völlig unzureichend.

Zielsetzung war es, eine Softwarelösung zu entwickeln, welche eine Analyse der Zerspanprozesse und somit die Bewertung unterschiedlicher Bearbeitungsstrategien und -parameter ermöglicht. Mit dieser sollte mittels einer bis jetzt nicht erreichten Genauigkeit bei der Simulation eine deutlich sicherere Festlegung der richtigen Werkzeugbahnstrategie im Vorfeld am Rechner ermöglicht werden. Eine integrierte dynamische Optimierung des Vorschubs unter Berücksichtigung von Werkzeugvorverschleiß und thermischer sowie mechanischer Werkzeugbelastung eröffnet neue Möglichkeiten zur Effizienzsteigerung bei der spanenden Fertigung. Dabei wurden Berechnungsmodelle für die Berechnung der Zerspankräfte, der Spannungen am Werkzeugschaft und –schneide, der Schneidentemperatur und des adhäsiven Verschleiß (nach USUI) miteinander kombiniert. Weiterhin wurde ein Datenmodell entwickelt, welches die zur Berechnung notwendigen Daten enthielt.

5.2 Parametrische Produktionsplanung: Modellierung der Herstellbarkeit

Während des Produktentstehungsprozesses werden im Engineering Change Management (ECM) mehrere Strategien verfolgt. Zum einen gilt es, das Produkt frühzeitig aus Sicht der Produktionsplanung zu beeinflussen (Frontloading). Andererseits muss gewährleistet werden, dass z.B. aufgrund von geänderten Kundenanforderungen späte Produktänderungen schnell geplant und umgesetzt werden können. In dieser zeitkritischen Planungsphase,

zu der im Extremfall bereits Betriebsmittel aufgebaut sind, ist es wichtig, dem Konstrukteur den (kurzfristigen) Spielraum für die Umsetzung von Produktänderungen aufzuzeigen.

Bisher erfolgt keine geometrische Repräsentation der durch gegebene Ressourcen vorhandenen Grenzen der Herstellbarkeit. Bisherige Lösungen aus dem DFMA-Umfeld beziehen lediglich auf Analysefunktionen des aktuellen Produkts.

Es soll jedoch ein Hilfsmittel für den Konstrukteur entwickelt werden, welches unter Berücksichtigung der standortspezifischen Betriebsmittel die Grenzen der technischen Machbarkeit im CAD-System visualisiert. Es wird angestrebt dies unter Berücksichtigung mehrerer Planungsdisziplinen durchzuführen.

Dafür ist es notwendig, zunächst für die verschiedenen Planungsdisziplinen, Fertigungsverfahren sowie miteinander korrespondierende Bewertungskriterien des PPR-Komplexes (s. Abbildung 3) zu identifizieren, nötigenfalls zu erweitern, zu klassifizieren und miteinander in Relation zu setzen. Jedoch ist die Komplexität, welche in der Berechnung und Simulation der Produktionsprozesse zu bewältigen ist, eine unwesentlich höhere. So sind zusätzlich zu den Materialeigenschaften auch (dynamische) Prozesskräfte, -temperaturen, -reibungen, -verkettungen und –vernetzungen zu berücksichtigen. Weiterhin müssen die Zwischenzustände des Produkts innerhalb des Prozesses abgeleitet und z.B. mit verfügbaren Fördersystemen abgeglichen werden.

Durch die parametrische Kopplung der Berechnungsmodelle in der Produktionsplanung, welche die Parametrik des Produkts nutzen können, können dadurch mehr Planungsszenarien der verschiedenen Planungsdisziplinen teilautomatisiert erstellt und übergreifend bewertet werden.

Dem Konstrukteur wären nicht nur grobe Anhaltspunkte und Grenzen gegeben, sondern es würde ihm auch eine vergleichende Bewertung mit dem aktuellen Status ermöglichen.

5.3 Methoden der Demontagesimulation und -planung

Mit den derzeit verfügbaren digitalen Werkzeugen können zumeist nur rein geometrische Betrachtungen wie Kollisionen und Erreichbarkeit einzelner Verrichtungen untersucht sowie Abläufe manuell geplant werden. Dabei wird die Demontage von Produkten oftmals als Umkehrung der Montage verstanden, was zusätzlich zu einer hohen Unsicherheit hinsichtlich des Produktverhaltens während des Gebrauchs und somit der Gestaltung von Demontageprozessen führt. Demontagerelevante Veränderungen von Produkteigenschaften sind dabei sehr vielfältig und hängen von vielen Faktoren wie Standortbedingungen, der Intensität der Benutzung sowie der sachgerechten Bedienung ab. So kann beispielsweise der Produktgebrauch zu erheblichen Änderungen in der Gestalt, Bauteilverbindungen und Materialeigenschaften führen. Aber auch Verschmutzungen und Ablagerungen eines Produktes besitzen einen erheblichen Einfluss auf die Gestaltung von Demontageprozessen.

Mit der Entwicklung eines virtuellen Demontagesystems ist primär die Zielsetzung verknüpft, mögliche Auswirkungen zu ermitteln und damit Demontageverrichtungen zielgerichtet planend auszulegen zu können. Zentrales Element ist ein gekoppeltes Produkt- und hierarchisches Prozessmodell, welches zustandsorientierte Konfigurationen eines Produktes und der Demontageprozesse und -ressourcen ermöglicht. Basierend auf Nachbarschafts- und Verbindungsinformationen von Bauteilen die in dem Produktmodell abgebildet werden, können mittels Dekomposition automatisch alle topologisch möglichen Alternativen von Demontagereihenfolgen ermittelt werden. Diese werden in einer Prozessgraphstruktur zusammengefasst, welche für die weitere Auslegung der Demontageprozesse die Grundlage darstellt. Hierauf aufbauende Modellierungsmethoden ermöglichen unter anderem die direkte Zuordnung von prozessrelevanten Informationen wie Werkzeuge, Ausbaupfade und die Berücksichtigung von Umgebungsinformationen. Mit den entwickelten Verfahren können komplexe Produkte, unter der Berücksichtigung von Abnutzungserscheinungen, simuliert und hinsichtlich ihrer Demontagefähigkeit gezielt beurteilt werden [KRR06].

Die zukünftige Weiterentwicklung zielt insbesondere darauf, den hohen manuellen Aufwand in der erforderlichen Modellierung zu reduzieren und Interaktionsmethoden bereitzustellen, welche ein intuitives Arbeiten mit dem virtuellen Demontagesystem unterstützen. Hierzu zählen:

- Methoden zur automatisierten Vervollständigung und semantischen Anreicherung von der Produkt- und Prozessdaten
- Verfahren zur gezielten Einschränkung des Lösungsraums des Prozessgraphen
- Automatisierte und kontextorientierte Segmentierung von Reihenfolgen in hierarchischen Demontagebäumen
- Entwicklung von Simulationsverfahren zur multikriteriellen Optimierung von Prozessen

Darüber hinaus werden derzeit Ansätze verfolgt, die eine Integration der Modelle und Werkzeuge in PLM-Strukturen und Prozesse ermöglichen und somit deren durchgängige Nutzung im Produktentwicklungsprozess sicherstellen [WWR10].

6 Zusammenfassung und Ausblick

Als Ergebnis unserer Untersuchungen lässt sich festhalten, dass die Vernetzung zwischen Produktentwicklung und Produktionsplanung noch immer nicht zufriedenstellend gelöst ist. Die Ursachen hierfür liegen insbesondere darin begründet, dass gegenwärtige Planungssystematiken dem Anspruch der Digitalen Fabrik hinsichtlich des Vernetzungsgrades und der erschließbaren Potenziale nicht gerecht werden. Darüber hinaus ist das Fachwissen der Produktionsplanung stark durch implizites Wissen geprägt, was eine Transparenz gegenüber der Produktentwicklung erschwert. Weitere intensive Bemühungen sind notwendig, um die bestehenden Barrieren durch ganzheitliche Ansätze organisatorischer, prozesstechnischer und informationstechnischer zu überwinden.

Literatur

[ABE06] Abele, Eberhard (2006): Handbuch globale Produktion. Hanser Verlag, ISBN 3446406107, 2006, München.

[AGG81] Aggteleky, Béla (1981): Grundlagen – Zielplanung – Vorarbeiten. Unternehmerische und systemtechnische Aspekte. Neuausg. München: Hanser (Fabrikplanung, : Werksentwicklung und Betriebsrationalisierung / Béla Aggteleky; Bd. 1).

[BRA96] Bralla, James G (1996): Design for excellence. New York: McGraw-Hill.

[EHR07] Ehrlenspiel, K.; »Integrierte Produktentwicklung – Denkabläufe, Methodeneinsatz, Zusammenarbeit«; Carl Hanser Verlag; 3. Auflage, 2007; ISBN 9783446410725.

[EIS09] Eigner, Martin; Stelzer, Ralph (2009): Product Lifecycle Management. Ein Leitfaden für Product Development und Life Cycle Management. 2., neu bearbeitete Auflage. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag Berlin Heidelberg (Springer-11774 /Dig. Serial]).

[EKL07] Ehrlenspiel, Klaus; Kiewert, Alfons; Lindemann, Udo (2007): Kostengünstig Entwickeln und Konstruieren. Kostenmanagement bei der integrierten Produktentwicklung. 6., überarbeitete und korrigierte Auflage. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag Berlin Heidelberg (VDI-Buch).

[EVP06] Eversheim, Walter; Pfeifer, Tilo (2006): 100 Jahre Produktionstechnik. Werkzeugmaschinenlabor WZL der RWTH Aachen von 1906 bis 2006. Herausgegeben von Manfred Weck. Online verfügbar unter http://dx.doi.org/10.1007/3-540-33316-9.

[KFG07] Krause, F.-L.; Anderl, R.; Weber, C.; Rothenburg, U.; Wöhler, T.; Bierwerth, M.; Wanke, S.: CAD – DMU – FMU. In: Krause, F.-L.; Franke, H.-J.; Gausemeier, J. (Hrsg.): Innovationspotenziale in der Produktentwicklung. Carl Hanser Verlag, München, Wien, 2007. S. 117-128. ISBN 3-446-40667-0.

[KRR07] Krause, F.-L.; Romahn, A.; Rothenburg, U.: Simulation Tools for Disassembly Design. In: Seliger G. (Edt.): Sustainability in Manufacturing – Recovery of Resources in Product and Material Cycles. Springer, Berlin – Heidelberg – New York, 2007, pp. 170-182.

[KUE06] Kühn, Wolfgang (2006): Digitale Fabrik. Fabriksimulation für Produktionsplaner. [Elektronische Ressource]. München: Hanser.

[LOW06] Lotter, Bruno; Wiendahl, Hans-Peter (2006): Montage in der industriellen Produktion. Ein Handbuch für die Praxis. (VDI-Buch). Online verfügbar unter http://dx.doi.org/10.1007/3-540-36669-5.

[LRZ06] Lindemann, Udo; Reichwald, Ralf; Zäh, Michael F. (2006): Individualisierte Produkte – Komplexität beherrschen in Entwicklung und Produktion. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag Berlin Heidelberg (VDI-Buch).

[MAR09] ElMaraghy, Hoda A. (2009): Changeable and Reconfigurable Manufacturing Systems. (Springer Series in Advanced Manufacturing). Online verfügbar unter http://dx.doi.org/10.1007/978-1-84882-067-8.

[PBFG07] Pahl, Gerhard; Beitz, Wolfgang; Feldhusen, Jörg; Grote, Karl-Heinrich (2007): Konstruktionslehre. Grundlagen erfolgreicher Produktentwicklung ; Methoden und Anwendung. 7. Auflage. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag Berlin Heidelberg (Springer-11774 /Dig. Serial])

[PSI10] ProSTEP iViP White Paper: »Produktionsplanungsprozesse – Ein Referenzprozess verbindet Konstruktion und Produktion«. Juni 2010.

[REFA87] Methodenlehre der Betriebsorganisation – Planung und Gestaltung komplexer Produktionssysteme, REFA Verband für Arbeitsstudien und Betriebsorganisation e.V., Carl Hanser Verlag, 1987, München.

[SG08] Seiffert, Ulrich; Rainer, Gotthard (2008): Virtuelle Produktentstehung für Fahrzeug und Antrieb im Kfz. Prozesse, Komponenten, Beispiele aus der Praxis. Wiesbaden: Vieweg + Teubner Verlag / GWV Fachverlage GmbH Wiesbaden (Springer-11774 /Dig. Serial]).

[SPK97] Spur, Günter; Krause, Frank-Lothar (1997): Das virtuelle Produkt. Management der CAD-Technik. München: Hanser.

[SSS08] Schuh, Günther; Stölzle, Wolfgang; Straube, Frank (2008): Anlaufmanagement in der Automobilindustrie erfolgreich umsetzen. Ein Leitfaden für die Praxis. Berlin, Heidelberg: Springer (VDI-Buch).

[VDI3637] VDI-Richtlinie, 3637, 1996-09: Datenermittlung für langfristige Fabrikplanungen, Beuth Verlag GmbH, ICS 03.100.01, 1996, Berlin.

[VDI4499] Richtlinie, 4499 Blatt 1, 02-2008: Digitale Fabrik Grundlagen, Beuth Verlag GmbH, ICS 03.100.50, 35.240.50, 2008, Berlin.

[VDI5200] VDI-Richtlinie, 5200-1, Januar 2009: Fabrikplanung – Planungsvorgehen (Entwurf). Beuth Verlag GmbH, ICS 03.100.99, 2009, Berlin.

[WEB09] Weber, Julian (2009): Automotive Development Processes. Processes for Successful Customer Oriented Vehicle Development. (Springer-11647 /Dig. Serial]). Online verfügbar unter http://dx.doi.org/10.1007/978-3-642-01253-2.

[WWR10] Wöhler, Th.; Lars Wolter, L.; Rothenburg, U.; Strauchmann, M.; Mader, St.; Haupt, M.: Konzepte und Implikationen zur Integration von VR-, CAx- und PDM-Systemen für die funktionale Absicherung von Montage-/Demontageoperationen. In: Tagungsband 13. IFF-Wissenschaftstage, Tagung Digitales Engineering und virtuelle Techniken zum Planen, Testen und Betreiben technischer Systeme, Magdeburg, Fraunhofer IFF, 15.-17. Juni 2010, S.236-243.

Dr. Ulrich Roßgoderer
Direktor Produktmanagement – Manufacturing Planning Solutions, Siemens Industry Sector

Globaler Produktivitätsgewinn in Planung und Ausführung mit der Digitalen Fabrik

Abstract | Produzierende Unternehmen stehen vor vielfältigen Herausforderungen. Marktseitig werden kürzere Innovationszyklen und kürzere Produktrelease-Abstände gefordert. Die hohen Anforderungen an Produktfunktionalität und –qualität selbst bei Niedrigpreisprodukten erfordern zudem ein intelligentes Agieren im globalen Produktionsumfeld.

Um in diesem Umfeld eine die Fertigungsplanung zu beschleunigen und parallel zur Produktentstehung durchführen zu können werden Modelle der Fertigungsstätten und –prozesse erstellt und bzgl. der zu erreichenden Kenngrößen optimiert und validiert. Diese Digitale Fabrik erlaubt es dann in frühen Phasen des Produktentstehungsprozesses Fertigungsaspekte in die Produktentwicklung einfließen zu lassen. Dadurch kann sehr frühzeitig die Einhaltung von Kostenund Qualitätskriterien abgesichert werden.

In vielen Unternehmen sind Werkzeuge und Methoden der Digitalen Fabrik ein unverzichtbarer Bestandteil des Produktentstehungs- und des Fertigungsplanungsprozesses geworden. Bestimmte Produkte bzw. Fertigungsprozesse wären heute in der geforderten Produktinnovationsgeschwindigkeit und Variantenvielfalt ohne die Digitale Fabrik nicht mehr realisierbar.

Die nächsten Stufen in der Weiterentwicklung dieser Werkzeuge bestehen in einer kontinuierlichen Verbesserung der Produktivität der Werkzeuge selbst. Dies wird zum einen durch die Automatisierung von manuellen Software-Bedienschritten erreicht. Zum anderen aber auch durch eine durchgängige Unterstützung der Wiederverwendung von Projektdaten (z.B. aus Vorgängerprojekten oder über verschiedene Werke hinweg).

Ein weiter wichtiger Schritt zum Ausbau der Verwendung der Digitalen Fabrik ist die integrative Betrachtung der Fertigungsplanung und der tatsächlichen Produktion. In verschiedensten Bereichen werden Daten, die in der Fertigungsplanung entstanden sind, nahtlos an die Produktion übergeben. Durch die Verwendung entsprechender Datenmanagementmechanismen erfolgt dies auf kontrollierte Art und Weise, d.h. es können durchgängige Änderungsprozesse durchgeführt werden, die sich von der Änderung eines Bauteils durchziehen bis zur Veränderung eines SPS Programmes oder einer Arbeitsanweisung, welche dann im Einklang mit der spezifischen Produktversion in der Produktion zur Verfügung gestellt werden kann. Aber auch der Rückfluss von Produktionsdaten in die Fertigungsplanung ist von essentieller Bedeutung, um Produktionswissen in strukturierter Art und Weise in die Planung von neuen Produkten einzubeziehen und dadurch den kontinuierlichen Verbesserungsprozess über die Produktentstehung und die Produktion ganzheitlich fortzuschreiben.

Der Beitrag zeigt die konsequente Weiterentwicklung der Digitalen Fabrik am Beispiel der Siemens PLM Software. Durch die gezeigte softwaregestützte Integration der verschiedenen Disziplinen aus Konstruktion, Planung und Produktion kann eine durchgängige Produktivitätssteigerung in Planung und Produktion erreicht werden.



Customer Challenge
Meet consumer demand as fast as it arises

SIEMENS

Constantly Innovate to

Build the right product and Build the product right

+

Constantly reconfigure design and manufacturing supply chains to respond to global markets



© 2010. Siemens Product Lifecycle Management Software Inc. All rights reserved

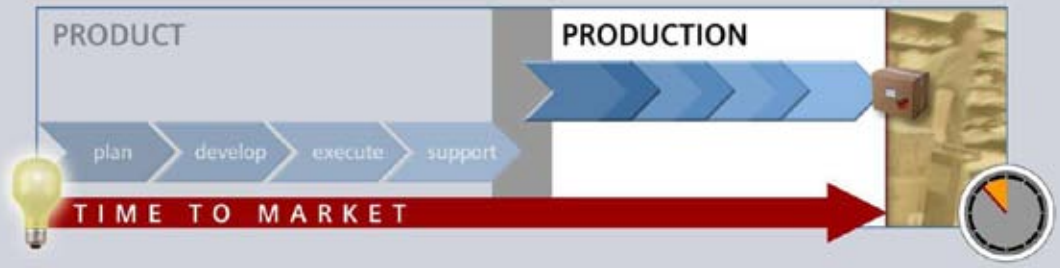
Siemens IA Vision
Accelerate Production Lifecycle

SIEMENS

Siemens helps customers achieve concurrent processes in the physical world:

- Production engineering
- Production automation
- Manufacturing execution





© 2010. Siemens Product Lifecycle Management Software Inc. All rights reserved

Siemens IA Vision
Accelerate Product Lifecycle

SIEMENS

Siemens PLM Software helps customers achieve concurrent processes in the virtual world:

- Product design
- Product validation
- Manufacturing planning





© 2010. Siemens Product Lifecycle Management Software Inc. All rights reserved

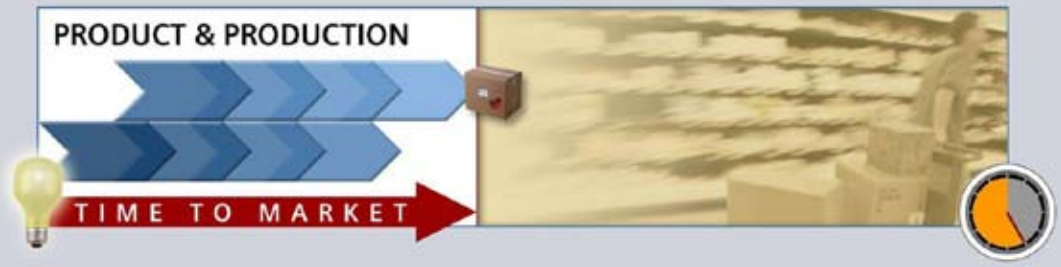
Siemens IA Vision
Unify Product & Production

SIEMENS

Siemens strategy:

Create intelligent product & production lifecycle
- Merge virtual with physical worlds
- Establish a digital platform for the unified lifecycles
- Share knowledge between unified lifecycles

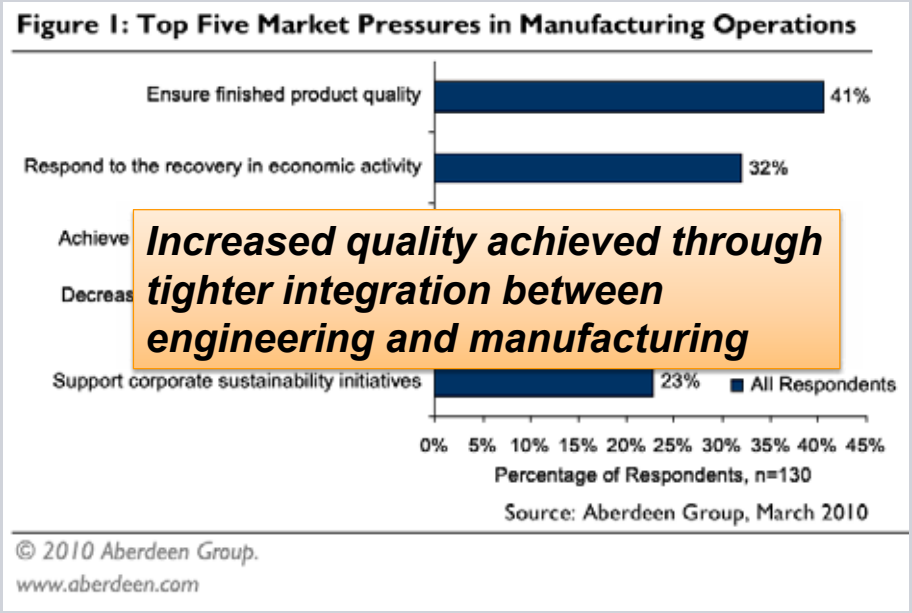




© 2010. Siemens Product Lifecycle Management Software Inc. All rights reserved

Manufacturing Challenges

SIEMENS



Increased quality achieved through tighter integration between engineering and manufacturing

© 2010. Siemens Product Lifecycle Management Software Inc. All rights reserved

Siemens PLM Software
Build the right product—and build the product right

SIEMENS



© 2010. Siemens Product Lifecycle Management Software Inc. All rights reserved

SIEMENS

Siemens PLM Software Product Portfolio



DIGITAL PRODUCT DEVELOPMENT
- Design & engineer better products faster...

NX



DIGITAL MANUFACTURING
- Build & support products more efficiently...

TECNOMATIX



DIGITAL LIFECYCLE MANAGEMENT
- Collaborate & innovate more intelligently...

TEAMCENTER



PLM FOR SMALL AND MID-SIZED BUSINESSES
- Get on the fast track to a PLM strategy...

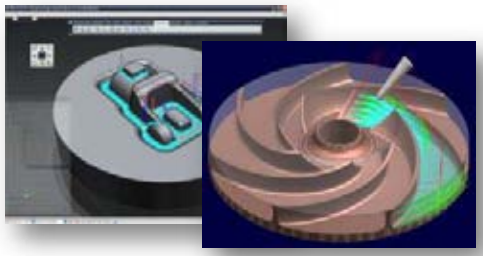
VELOCITY SERIES

© 2010. Siemens Product Lifecycle Management Software Inc. All rights reserved

SIEMENS

Digital Manufacturing Focus Areas

NX CAM & Part Planning



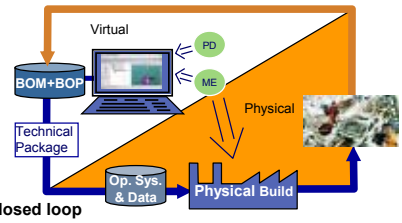
Assembly Planning & Validation



Robotics & Automation Planning



Integration with Shop floor systems



CAM-CNC
PLM-MES closed loop
Dimensional planning & validation

© 2010. Siemens Product Lifecycle Management Software Inc. All rights reserved

SIEMENS

Digital Manufacturing
Driving Productivity



Planning Productivity

- Integrated Platform for Manufacturing Planning
- Don't Lose, Re-Use
- Mastering Complexity
- Automate Planning Tasks
- Connect Planning to Production



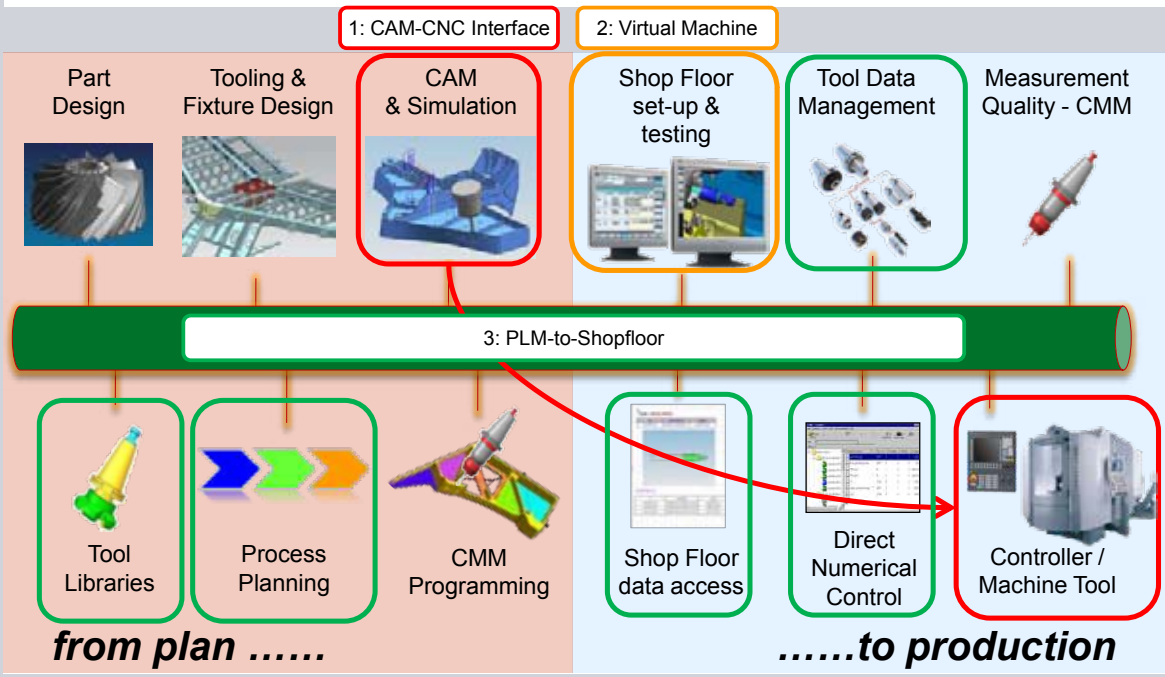
Manufacturing Productivity

- Program Automation Digitally
- Commission Manufacturing Lines Digitally
- Optimize Manual Work Processes
- Optimize Layout and Space Consumption
- Detect Bottlenecks and Optimize Material Flow

© 2010. Siemens Product Lifecycle Management Software Inc. All rights reserved

Part Manufacturing
CAM-CNC integration

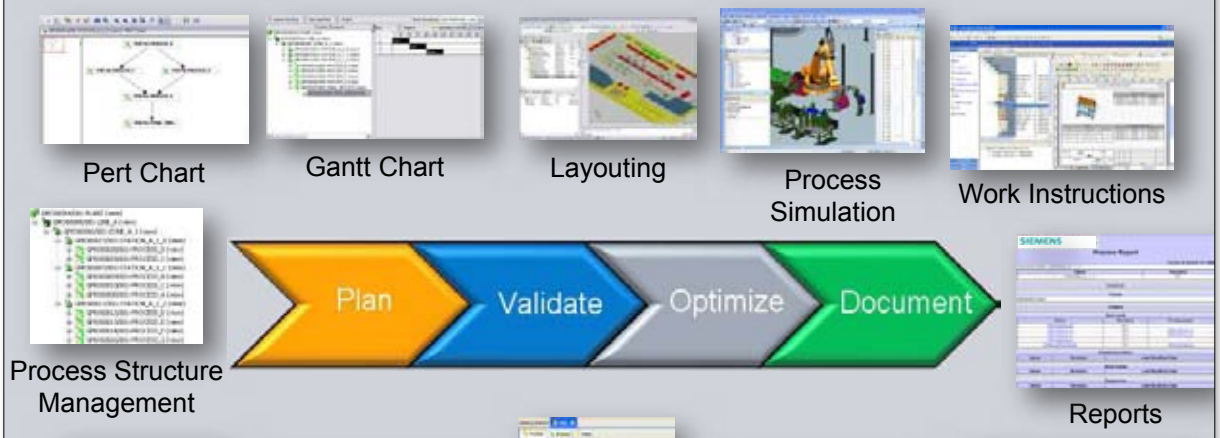
SIEMENS



© 2010. Siemens Product Lifecycle Management Software Inc. All rights reserved

Assembly Planning & Validation -
Toolset to support the full workflow

SIEMENS

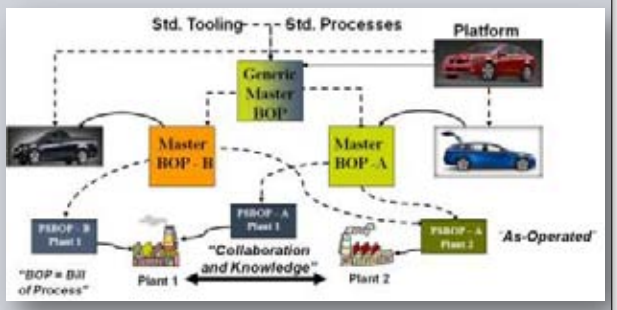


© 2010. Siemens Product Lifecycle Management Software Inc. All rights reserved

Assembly Planning & Validation Strategy
Connecting virtual plans and shop floor reality

SIEMENS

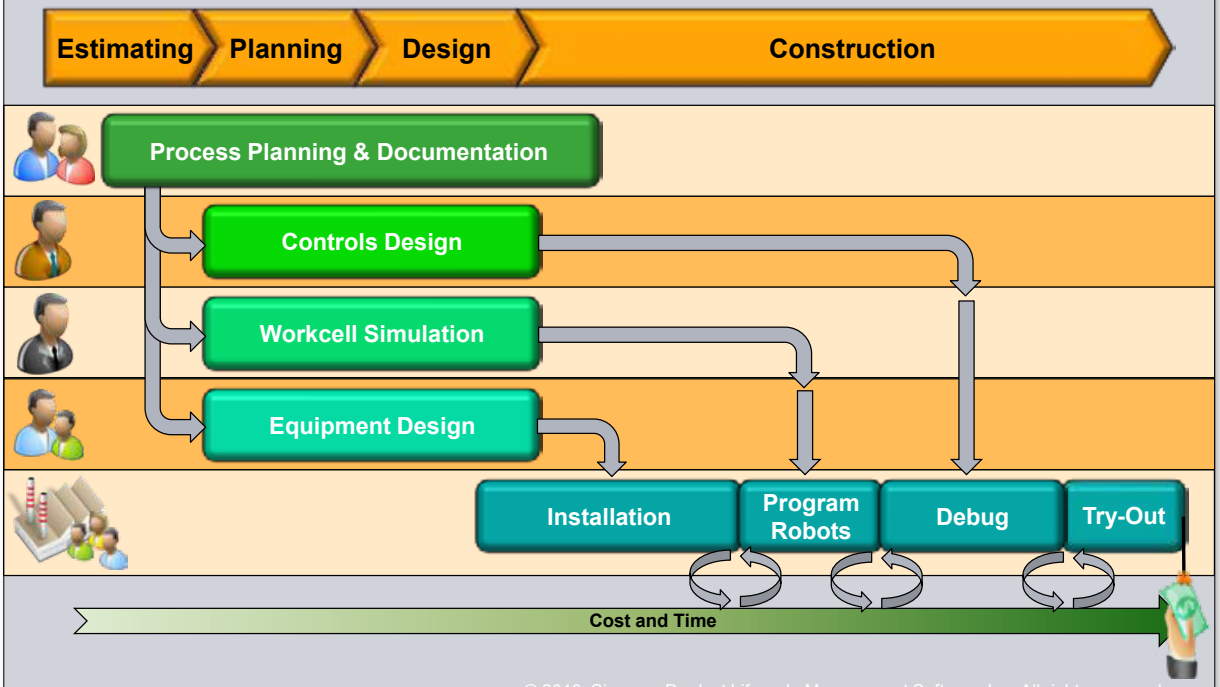
- Enabling
  - Capture continuous process improvements
  - Best-practice sharing across plants
- By
  - Sharing as-operated BOP across the enterprise
  - Compare operational plans with virtual plans
- Benefits
  - Higher planning accuracy leads to better decision making
  - Improved engineering productivity due to easy access to shop-floor knowledge
  - Increased level of process and plant standardization



© 2010. Siemens Product Lifecycle Management Software Inc. All rights reserved

Robotics & Automation Planning
Current Best Practice

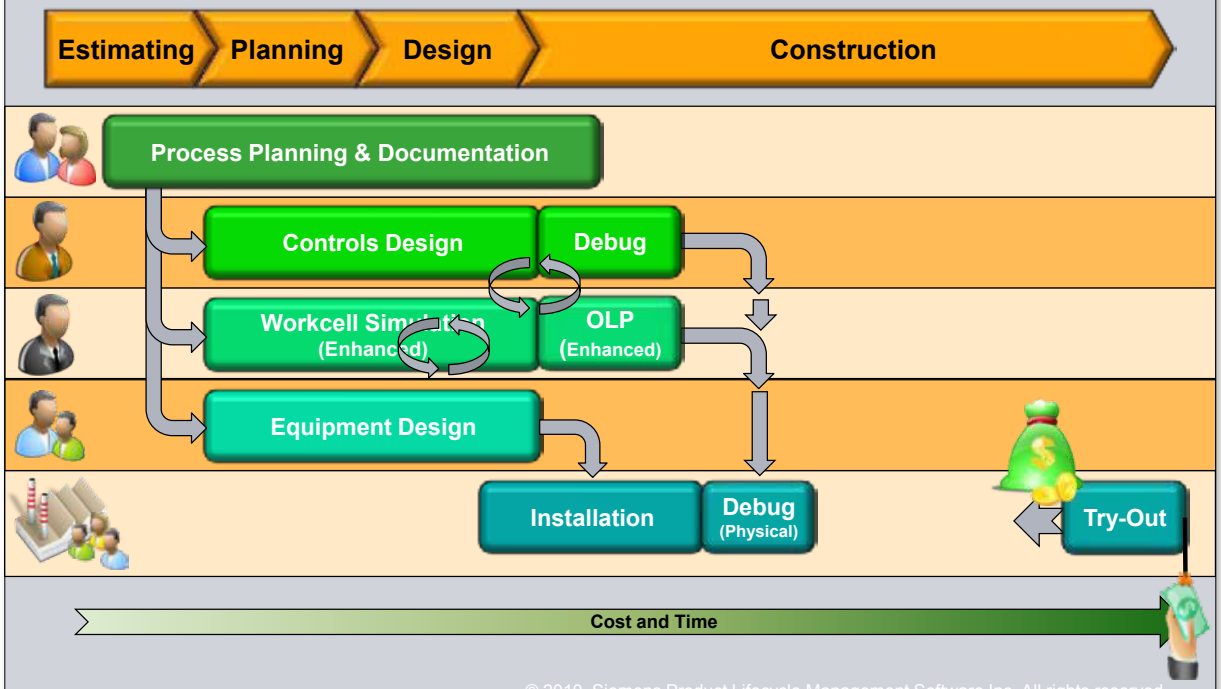
SIEMENS



© 2010. Siemens Product Lifecycle Management Software Inc. All rights reserved

Robotics & Automation Planning
Integrated Early Validation

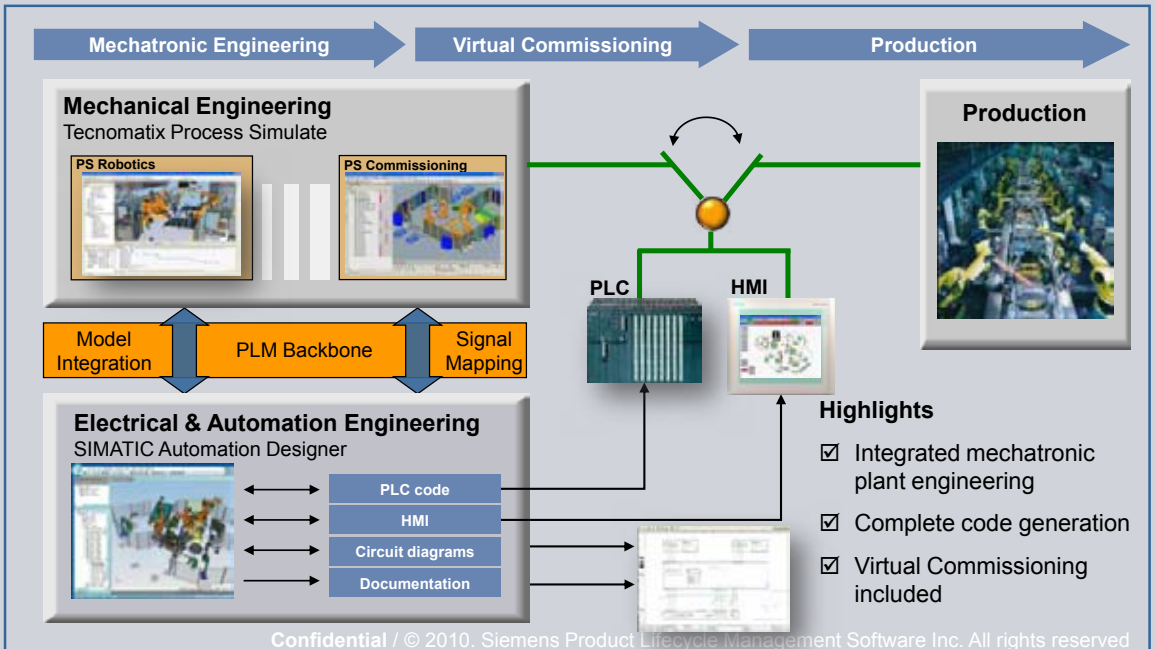
SIEMENS



© 2010. Siemens Product Lifecycle Management Software Inc. All rights reserved

Robotics & Automation Planning Strategy
A Complete Authoring and Validation Environment

SIEMENS



Confidential / © 2010. Siemens Product Lifecycle Management Software Inc. All rights reserved

Automotive

Integrated plant optimization delivers a significant edge

EBZ SysTec GmbH employs Tecnomatix as corporate standard for optimizing manufacturing facilities, realizing time and cost savings of up to 30 percent for real commissioning

EBZ SYSTEC GMBH



"Early collaboration between Engineering Design, Electronics and Robot Programming means time-critical conversion phases can be implemented on time," explains Schmeh. This gives us time benefits of up to 30 percent compared with the traditional process."



http://www.plm.automation.siemens.com/en_us/about_us/success/case_study.cfm?ComponentTemplate=1481&Component=83012

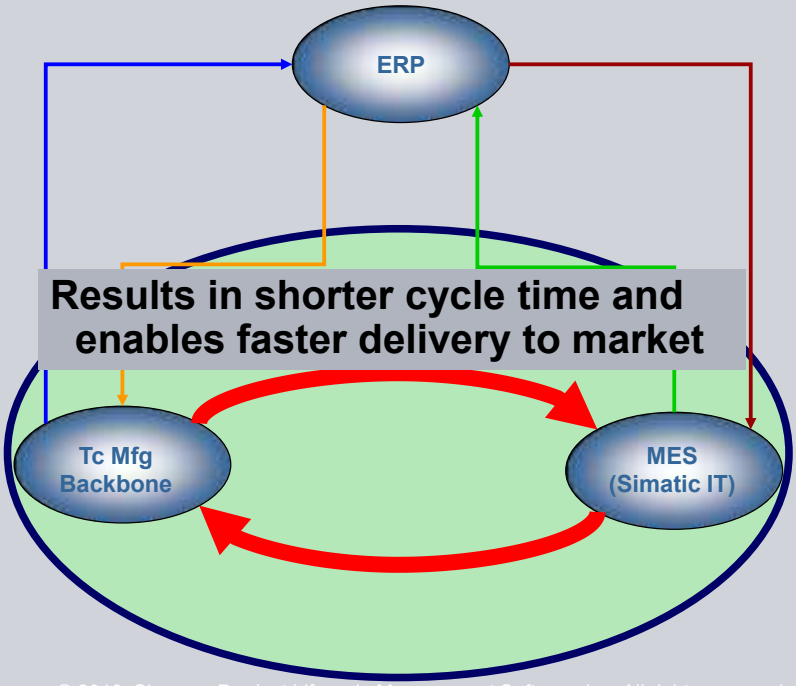
© 2010. Siemens Product Lifecycle Management Software Inc. All rights reserved

Shop Floor Integration –

PLM/MES Integration allowing closed loop of data

SIEMENS

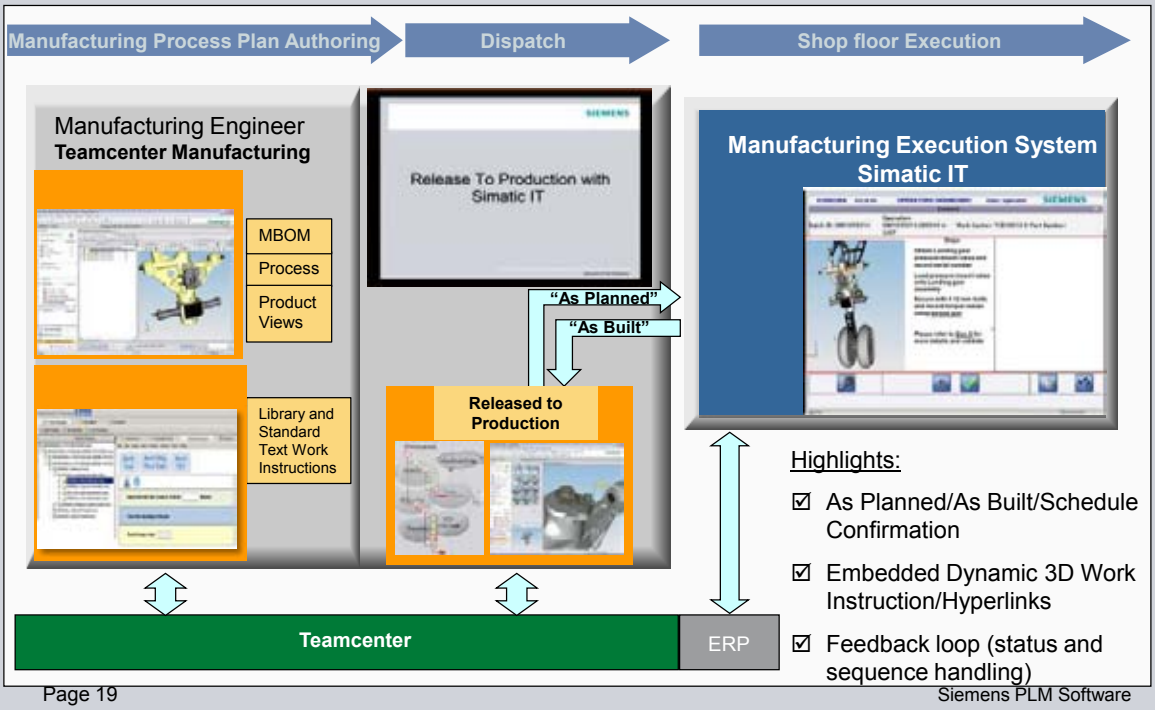
- An integrated manufacturing environment
- Workflow based on manufacturing orders
- Data integration between Mfg backbone and MES
- Ability to manage and reconcile non conformance during production
- Collect 'as built' information for a discrete serial



© 2010. Siemens Product Lifecycle Management Software Inc. All rights reserved

Connecting Holistic Digital Factory to Production Strategy - Delivery Plan, Knowledge Capture & Reuse

SIEMENS



Highlights:

- ☑ As Planned/As Built/Schedule Confirmation
- ☑ Embedded Dynamic 3D Work Instruction/Hyperlinks
- ☑ Feedback loop (status and sequence handling)

Page 19 Siemens PLM Software

Quality Management Integrating Design, Manufacturing and Production

SIEMENS



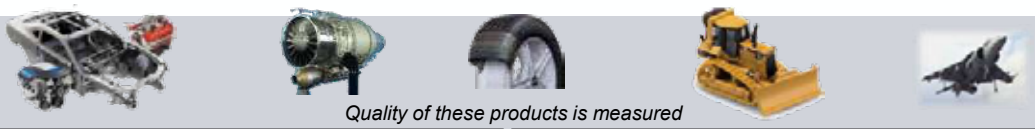
© 2010. Siemens Product Lifecycle Management Software Inc. All rights reserved

Page 20

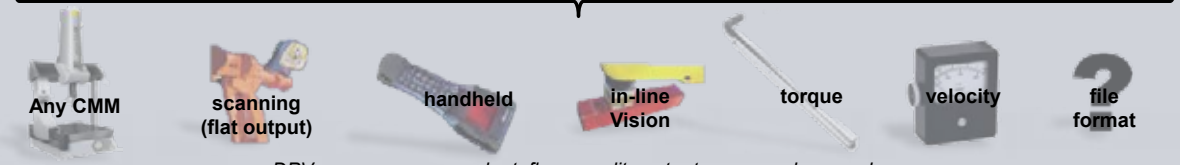
Dimensional Planning & Validation

SIEMENS

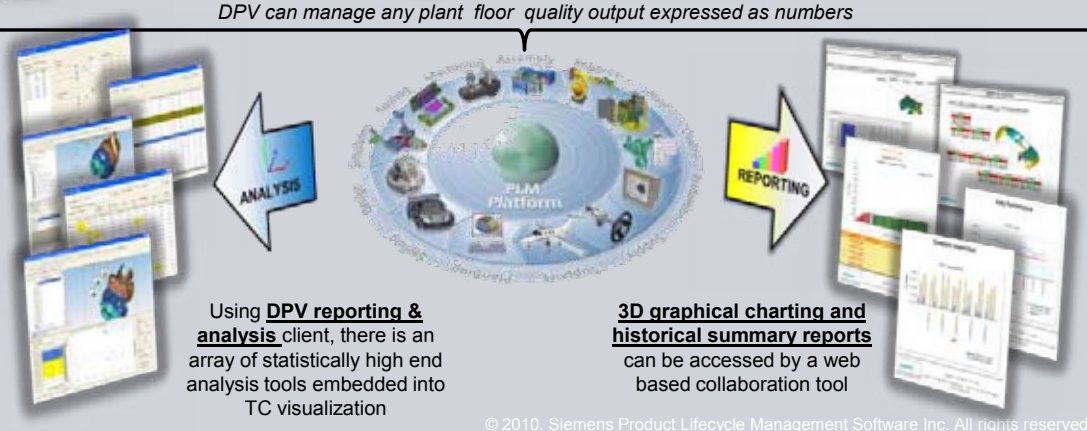
Access and leverage production data to improve product quality



Quality of these products is measured



DPV can manage any plant floor quality output expressed as numbers



Using **DPV reporting & analysis** client, there is an array of statistically high end analysis tools embedded into TC visualization

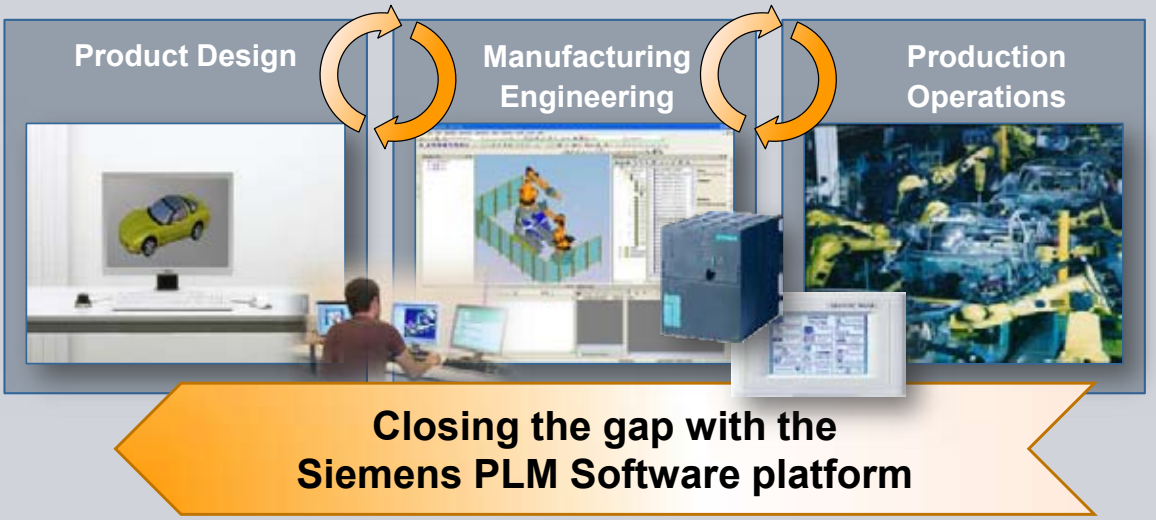
3D graphical charting and historical summary reports can be accessed by a web based collaboration tool

© 2010. Siemens Product Lifecycle Management Software Inc. All rights reserved

Integrated Product + Production Lifecycles

SIEMENS

Continuous improvement - product, process and plant



Closing the gap with the Siemens PLM Software platform

© 2010. Siemens Product Lifecycle Management Software Inc. All rights reserved


SIEMENS
Thank You
ulrich.rossgoderer@siemens.com

Dr. Thomas Bär, Karl-Josef Wack
Group Research & Advanced Engineering, Daimler AG

Möglichkeiten und Grenzen einer digitalen Absicherung des Produktionsanlaufs in der Automobilindustrie – Mit weniger Prototypen zum marktfähigen Produkt

1 Ausgangssituation

Kürzere Produktlebenzyklen und steigende Variantenzahlen, welche beispielsweise aus neuen Antriebskonzepten resultieren, führen neben kürzeren Innovationszyklen zu steigenden Produktionsanläufen in der Automobilindustrie. Die jährliche durchschnittliche Anzahl von Serienanläufen bei dem deutschen Automobilhersteller Mercedes-Benz Cars hat sich in den letzten 20 Jahren beispielsweise mehr als verdreifacht. Längere Produktionslebenszyklen durch den Re-Use von Produktionsanlagen sowie flexible und wandlungsfähige Produktionstechnologien führen dazu, dass die Anzahl der zu integrierenden Prozesse während der laufenden Produktion zunehmen (BÄR 2008). Effiziente Produktionsanläufe gewinnen daher zunehmend an Bedeutung und bieten für die Unternehmen hohes Einsparpotenzial (FLEISCHER u.a. 2005).

Die Absicherung des Produktionsanlaufs von manuellen Montageumfängen erfolgt bei Mercedes-Benz Cars in der so genannten Phase der Produktionsvorbereitung physisch, d.h. durch einen stationsweisen Aufbau von physischen Fahrzeugprototypen. Diese dienen neben der Verifikation des Produktes auch dazu, einen effizienten Produktionsanlauf sicherzustellen. Mit physischen Fahrzeugprototypen gehen jedoch sehr hohe Kosten-aufwände einher. Verschiedene Ansätze verfolgen daher das Ziel, die Anzahl der benötigten physischen Fahr-zeugprototypen möglichst zu reduzieren. Hierzu zählen unter anderem Methoden, welche zur Optimierung der Auslastung physischer Fahrzeugprototypen beitragen (CLAUSEN, WEBER 2006). Andere Methoden verfolgen den Ansatz einer Verlagerung von Absicherungsumfängen in eine frühere, digitale Phase des Produkt-entstehungsprozesses. Mit einer digitalen Absicherung werden so frühzeitig Fehler identifiziert und behoben, bevor erste Hardware gefertigt oder erste Produktionsanlagen beauftragt werden.

Seit mehreren Jahren wird die Vision einer Absicherung von Produkt und Produktion unter einem vollständigem Verzicht auf physische Fahrzeugprototypen verfolgt (vgl. FUSCH, KRESS 2001). Bis heute jedoch ist diese Version in der Praxis nur teilweise umgesetzt. Fortschritte bei Simulationsmethoden ermöglichen bei einem digitalen Fahrzeugprototyp zwar die Absicherung verschiedener Fahrzeugfunktionen, wie beispielsweise Betriebsfestigkeit, Crashverhalten oder auch der Aerodynamik (BREITLING u.a. 2009). Im Hinblick auf eine vollständig digitale Absicherung des Produktionsanlaufs, analog zur bisherigen physischen Absicherung im Rahmen der Produktionsvorbereitung, bieten aktuelle Simulationsmethoden jedoch nur teilweise Möglichkeiten für eine ganzheitliche Bewertung und Optimierung der Produktion. Die durchgängig digitale Sicherstellung eines effizienten Produktionsanlaufes ist somit bislang noch nicht möglich.

Der Beitrag zeigt Möglichkeiten und Grenzen digitaler Absicherungen und Simulationsmethoden bei einer Absicherung des Produktionsanlaufs, vor dem Hintergrund eines Verzichtes auf physische Fahrzeugprototypen, auf. Betrachten werden hierbei insbesondere manuelle Montagevorgänge.

2 Heutiger Prozess zur Absicherung des Produktionsanlaufs

Digitale Planungsmethoden werden heute in den Produktionsplanungsabteilungen der deutschen Automobilindustrie nahezu flächendeckend eingesetzt, d.h. die notwendigen Informationen für darauf basierende digitale Absicherungen sind weitestgehend vorhanden. Zu einem großen Teil sind auch die Absicherungen einzelner Planungsbereiche der Automobilindustrie bereits gut etabliert und werden frühzeitig angewandt. Oftmals kommen digitale Absicherungen durch unterschiedliche

Simulationsmethoden, wie beispielsweise Materialflusssimulation, Simulation von Ein- und Ausbaupfaden oder aber auch Ergonomiesimulation zum Einsatz. Die Bestätigung und finale Freigabe der Produktion findet aber heute noch auf Basis von physischen Absicherungen statt.

Im Rahmen so genannter Produktionsvorbereitungsworkshops werden sowohl die physische Baubarkeit als auch produktionsrelevante Kriterien real überprüft und gegebenenfalls optimiert. Der Aufbau von physischen Fahrzeugprototypen ist hierfür eine geläufige Methode. In interdisziplinären Workshops werden stationsweise mit Vertretern aus der Entwicklung und den einzelnen Bereichen der Produktionsplanung physische Fahrzeugprototypen nach entsprechenden Arbeitsvorgängen montiert, analysiert und bewertet (siehe Abbildung 1). Auch Logistikumfänge werden hierbei überprüft. Durch dieses interdisziplinäre Vorgehen erfolgt eine realitätsnahe Bewertung des zukünftigen Produktionsablaufs. Zudem wird durch dieses Vorgehen ein effizienter und weitestgehend problemloser Produktionsanlauf sichergestellt.

3 Kriterien zur Absicherung des Produktionsanlaufs

Für eine effiziente und erfolgreiche Produktionsvorbereitung gilt es grundsätzlich alle involvierten Entwicklungs- und Planungsbereiche zu integrieren. Absicherungskriterien der einzelnen Gewerke, wie beispielsweise von Logistik und von Montage müssen zusammen überprüft werden, um ein übergreifendes Optimum erreichen zu können.

In der Automobilindustrie werden im Rahmen der Produktionsvorbereitung insbesondere die Kennzahlen Engineering Hours Per Vehicle (EHPV) und Hour Per Vehicle (HPV) betrachtet (HARBOUR CONSULTING 2006), die als Maß für die produktionsgerechte Fahrzeuggestaltung bzw. die Produktivität verschiedener Auto-mobilwerke dienen. EHPV umfasst den konstruktivbedingten Arbeitsinhalt eines Fahrzeuges, wohingegen HPV eine Kennzahl für die Produktivität des Personals darstellt. HPV beschreibt somit alle Arbeitsstunden von direkten und indirekten Werkern bzw. Angestellten je Fahrzeug.
Im Rahmen der physischen Produktionsvorbereitung wird das Produkt und die Produktion typischer Weise in einem mehrstufigem Prozess abgesichert:

- **Produktionsbezogene Produktabsicherung**: Absicherung von Produktaspekten im Hinblick auf die Produktion, wie beispielsweise die Baubarkeit des Produktes.
- **Produktbezogene Prozessabsicherung**: Absicherung aller wertschöpfenden Prozesse, welche zur Montage des Produktes verwendet werden.

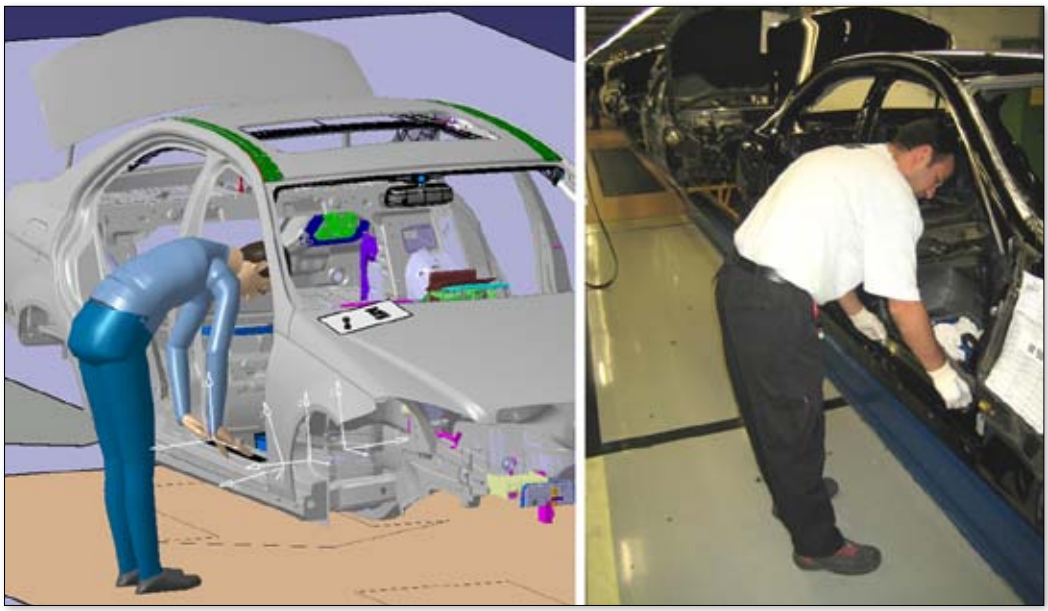


Abbildung 1: Physische und digitale Absicherung von Montageumfängen im Vergleich

Diese beiden ersten Blöcke haben Relevanz für die Kennzahl EHPV.

- **Produktionsbezogene Prozessabsicherung**: Absicherung aller Produktionsprozesse, auch nicht wertschöpfende Montageprozesse, wie beispielsweise Wege des Werkers am Band.
- **Ressourcenabsicherung**: Absicherung der verwendeten Ressourcen, wie beispielsweise Ladungsträger, Handlingsgeräte oder Montagewagen.

Alle wertschöpfenden und nicht wertschöpfenden Tätigkeiten zusammen bestimmen dann den Wert der Kenn-ziffer HPV.

Das Beispiel Arbeitsvorgang »Verschraubung eines Bauteils« verdeutlicht dies nachfolgend:

- Zunächst werden im Rahmen der produktionsbezogenen Produktabsicherung z.B. die *Montagereihenfolge* oder *Ein- und Ausbaupfade* überprüft.
- Zur Absicherung der produktbezogenen Prozesse zählen in diesem Fall die Überprüfung des Fügekonzepts inkl. Betrachtung von *Toleranzeinflüssen, die Zugänglichkeit von Verbindungselementen mit Standardwerkzeugen* der Serie (z.B. Schraubwerkzeug Winkelschrauber) sowie die *Zeitermittlung wertschöpfender Montagevorgänge*.
- Durch die produktionsbezogene Prozessabsicherung werden bei diesem Arbeitsvorgang die *Zeitermittlung für alle Montagevorgänge* geprüft und die *Ergonomie* bewertet.
- Im Rahmen der Ressourcenabsicherung werden letztlich die Ladungsträger und deren Bereitstellung in der *Materialzone* am Band abgesichert. Hierzu zählt auch die Überprüfung spezifischer Betriebsmittel, wie z.B. *Handlingsgeräte* oder *Hochzeitsstationen*.

Tabelle 1 verdeutlicht die für eine Absicherung des Produktionsanlaufs mit dem Schwerpunkt manuelle Montage in der Automobilindustrie typischen Absicherungskriterien der einzelnen Gewerke.

Gewerk	Kriterium	Beispiel
Montage	Zugänglichkeit von Ressourcen	Sicherstellung der Zugänglichkeit von Verbindungselementen durch entsprechende Serienwerkzeuge
	Identifikation Schrauber- und Schraubeneigenschaften (z.B. Drehmoment)	Korrekte Werkzeuge beim Montagevorgang sind zur Verfügung gestellt, insbesondere bei der Montage von Sicherheitsrelevanten Bauteilen
	Identifikation Sonderwerkzeuge	Zusätzlich zu Standardwerkzeugen der Serie benötigte Sonderwerkzeuge
	Optimierung Werkzeugauswahl	Reduktion von Sonderwerkzeugen
	Ergonomie	Bewertung von Zugänglichkeit, Körperhaltung und Belastung des Werkers, Ermittlung der Bearbeitungszeiten für manuelle Montageumfänge
	Montagereihenfolge	Überprüfung und Optimierung der geplanten Montagereihenfolge
Logistik	Materialbereitstellung	Reduktion bzw. Vermeidung langer Wege für den Werker
	Ladungsträger	Optimalen Ladungsträgerinhalt ermittelt
	Logistikkonzept	Bereitstellung am Band entsprechend sichergestellt und Logistikprozess (JIT, JIS, ...) abgesichert
Fabrik	Wege	Wege für die Montage und Belieferung geprüft und optimiert
	Flächenbedarf	Flächen für Bandabschnitte und Materialbereitstellung sowie Lagerorte sind ausreichend vorhanden

Tabelle 1: Kriterien zur Absicherung des Produktionsanlaufs

4 Möglichkeiten der digitalen Absicherung

Die digitale Absicherung des Produktionsanlaufs hat zum Ziel, die bislang physische Produktionsvorbereitung so weit möglich von der realen in die digitale Phase zu verlagern, um so wertvolle Zeit- und Kostenvorteile zu erzielen. Um diese Vision umsetzen und möglichst alle Absicherungsumfänge systematisch berücksichtigen zu können, wird ein vierstufiges Schalenmodell für digitale Absicherungen genutzt (vgl. Abb. 4).

In der Regel starten die digitalen Absicherungen im Kern und betrachten das Produkt zunächst aus dem Blickwinkel der Produktion (produktionsbezogenen Produktabsicherung). Fast gleichzeitig kann die Berücksichtigung der ersten Aspekte der Prozessabsicherung erfolgen, sofern sich diese unmittelbar auf das Produkt beziehen (Pro-duktbezogene Prozessabsicherung). Als Ergebnis dieser Absicherung muss sichergestellt sein, dass das Produkt **grundsätzlich produzierbar** ist.

Im nächsten Schritt folgt die Simulation aller Produktionsprozesse (produktionsbezogene Prozessabsicherung) und der dazugehörigen Ressourcen (Ressourcenabsicherung). Durch die Absicherungen der Aspekte der beiden außen liegenden Schalen muss sichergestellt sein, dass das Produkt auch wirtschaftlich produzierbar ist.

Durch diese Aufgliederung ist gewährleistet, dass alle Aspekte für eine kontinuierliche und systematische digitale Absicherung eines Produktionsanlaufs berücksichtigt werden können. Das nachfolgende Kapitel zeigt jedoch auf, dass bislang nicht alle Kriterien digital abgesichert werden können.

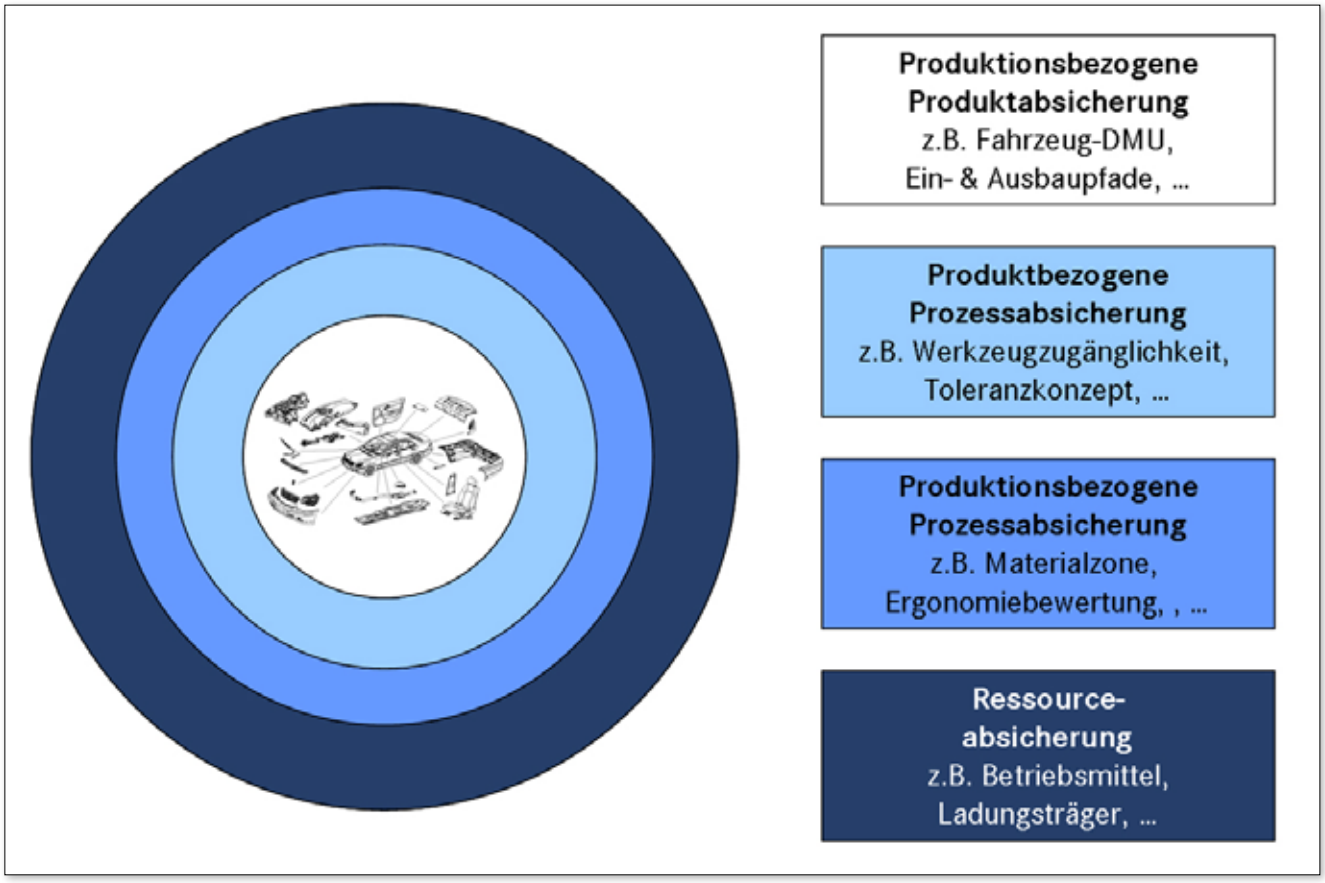


Abbildung 2: Schalenmodell für digitale Absicherungen

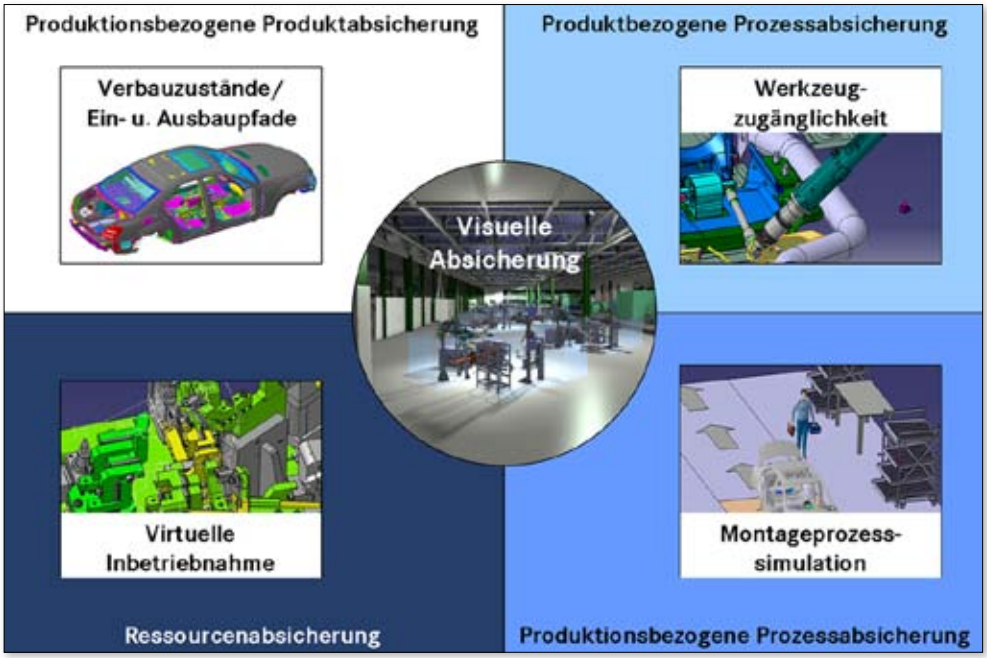


Abbildung 3: Möglichkeiten der digitalen Absicherung des Produktionsanlaufs

5 Grenzen digitaler Absicherungen

Obwohl die Rechenleistung von Computersystemen in den letzten Jahren gestiegen ist und umfangreiche digitale Methoden zur Optimierung und Absicherung von Produkt und Produktion (siehe Abbildung 3) bereits gut etablierte sind, gibt es an einigen Stellen weiterhin Handlungsbedarf und auch Grenzen von digitalen Absicherungen. Grundsätzlich gilt es jedoch immer, die Simulationsmodellerstellung und die eigentliche Absicherung so effizient wie möglich zu gestalten (siehe Abbildung 4).

5.1 Interaktive Absicherung

Derzeit erfolgt die physische Absicherung des Produktionsanlaufs in interdisziplinären und interaktiven Workshops. Um diese Workshops digital möglichst analog zu den derzeitigen Workshops entsprechend interaktiv durchführen zu können, spielt das Absichern und Simulieren in Echtzeit eine bedeutende Rolle. Absicherungsergebnisse müssen performant visualisiert und Änderungen entsprechend interaktiv durchgeführt werden können.

Es existieren zwar effiziente Simulationsmethoden, jedoch können die Ergebnisse oft nur in vorbereiteten Videosequenzen mit den jeweiligen Experten bewertet werden. Mögliche Änderungen der Simulationsmodelle erfordern meist längere Vorbereitungszeiten durch einen Simulationsexperten, so dass neue Ergebnisse erst wieder nach Stunden oder Tagen vorliegen. Erforderlich sind daher Methoden, die ein interaktives Ändern der Modelle ermöglichen – ähnlich dem Ausprobieren in der physischen Welt – und in Echtzeit die veränderten Simulationsergebnisse darstellen.

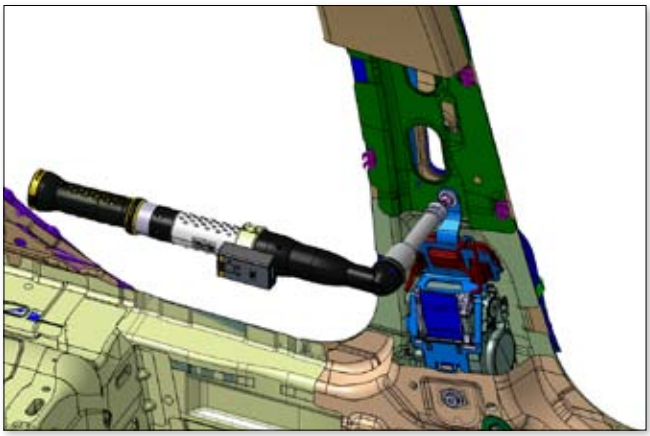


Abbildung 4: Automatisierte digitale Absicherung der Werkzeugzugänglichkeit

5.2 Vernetzte Absicherung

Für die digitale Absicherung des Produktionsanlaufs sind heute verschiedene Typen von Simulationswerkzeugen verfügbar und werden auch eingesetzt. Hierzu zählen beispielsweise die Absicherung der Werkzeugzugänglichkeit, die Simulation der einzelnen Arbeitschritte oder der Materialflüsse. Da man im Rahmen der Produktionsvorbereitung verschiedene Aspekte betrachten muss, erfordert dies das gleichzeitige Erstellen verschiedener Simulationsmodelle.

So lassen sich einzelne Kriterien zwar in den jeweiligen Spezialwerkzeugen simulieren, zur übergreifenden Absicherung, ihrer Kombination und ggf. existierender Wechselwirkungen fehlen aber oft adäquate Werkzeuge oder entsprechende Schnittstellen. Der Insellösungscharakter vieler Simulationswerkzeuge setzt damit einer gemeinsamen übergreifenden Absicherung Grenzen. Schnittstellen sind meist nur zum Austausch von Teilaspekten verfügbar.

5.3 Absicherung komplexer Materialien

Ein weiterer Aspekt ist die Simulation des Materialverhaltens. Starre Körper stellen im Vergleich zu flexiblen Bauteilen keine Herausforderung mehr dar. Die Simulation von Toleranzen bei Dichtungen, das Simulieren von Dämmmatten oder von Kabeln und Schläuchen mit all ihren physikalischen Eigenschaften hingegen ist derzeit nur ansatzweise realisierbar (siehe Abbildung 5). Auch die Simulation von Montageabläufen, wie beispielsweise das Fädeln von Kabeln ist derzeit nicht darstellbar.
Wertvolle Informationen über das Produktverhalten, wie Gewicht, Verformung oder auch die haptische Wahrnehmung durch den Werker während einer Montagesimulation sind derzeit nur bedingt digital realisierbar. Vor dem Hintergrund einer vollständig digitalen Absicherung eines Produktionsanlaufes in der Automobilindustrie sind dies jedoch wichtige Aspekte, die es zu berücksichtigen gilt. Als Beispiel seien hier Montagevorgänge genannt, welche das Anbringen von Clipsen beinhalten.

5.4 Verbindlichkeit und Akzeptanz

Obwohl bereits heute etliche digitale Absicherungen durchgeführt werden, werden weitreichende Entscheidungen aber in der Regel auf Basis von physischen Aufbauten getroffen. Daher ist die prozessuale Verankerung mit den entsprechenden Verbindlichkeiten im Produktentstehungsprozess ein wesentlicher Erfolgsfaktor für die erfolgreiche Nutzung digitaler Absicherungsmethoden. Sowohl Sachbearbeiter als auch Management müssen zudem lernen Entscheidungen auf Basis von digitalen anstelle von physischen Absicherungen zu treffen.

6 Zusammenfassung & Ausblick

Der Beitrag hat die bisherige Vorgehensweise der physischen Produktionsvorbereitung aufgezeigt und gleichzeitig Kriterien definiert, welche durchgängig digital abgesichert werden müssen, um einen Produktionsanlauf in der Montage vollständig digital sicherstellen zu können.

Die methodische Vorgehensweise durch das Schalenmodell unterstützt bei der Identifikation relevanter Kriterien

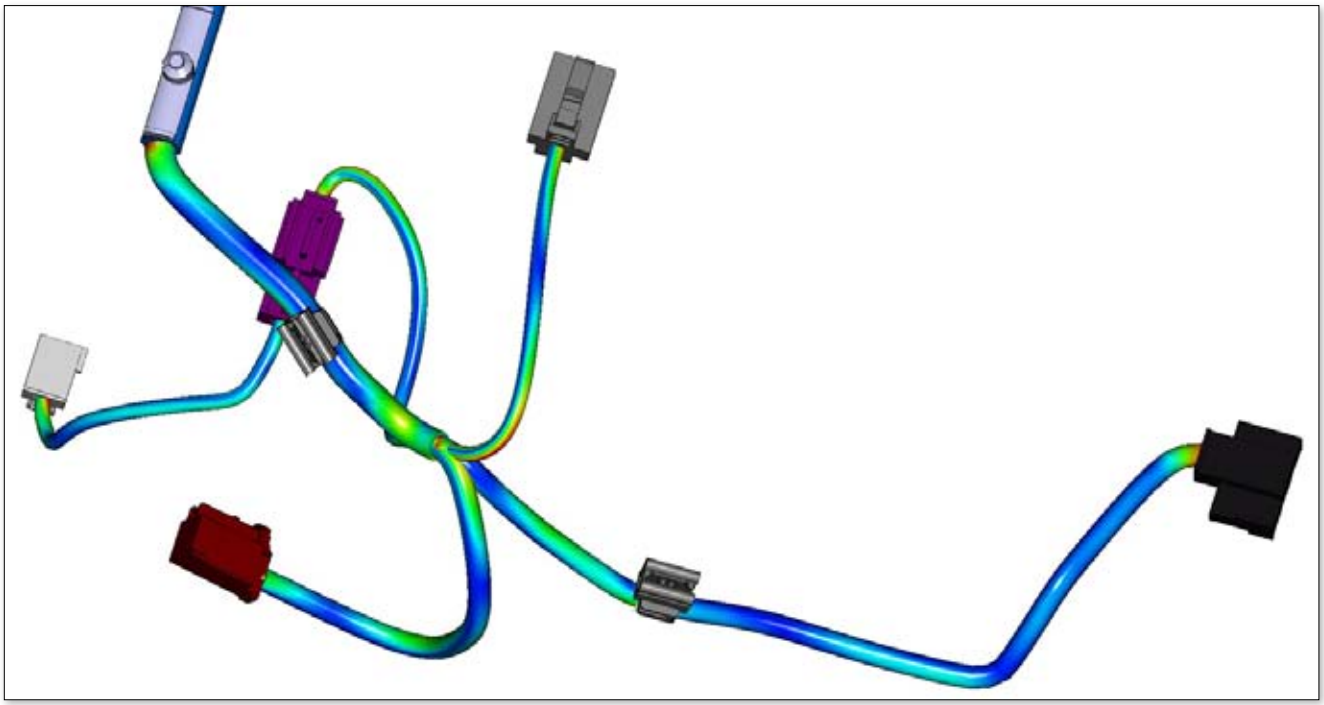


Abbildung 5: Digitale Absicherung von Kabeln und Schläuchen

mit Fokus auf die Endmontage. Gleichzeitig wurden jedoch auch auf die Grenzen und Handlungsbedarfe digitaler Absicherungen bei der Simulation, besonders im Betracht auf manuelle Montagevorgänge, aufgezeigt. Insbesondere bei der Simulation flexibler Bauteile sowie des Materialverhaltens von mehrdimensionalen Körpern und deren Handhabung während ihrer Montage sind neue Methoden notwendig. Hierzu sei als Beispiel für einen Arbeitsvorgang z.B. das Fädeln von Kabeln genannt.

In Forschung und Entwicklung müssen daher neue Lösungen und effiziente Simulationsmethodiken erarbeitet werden, welche es erlauben die derzeit kritischen Absicherungsumfänge in einer effizienten Art und Weise durchführen zu können. Dies gilt als Grundvoraussetzung, um die Vision mit weniger physischen Fahrzeugprototypen zum marktreifen Produkt zu gelangen, auch wirklich umsetzen zu können.

Literatur

BÄR, Thomas: Flexibility Demands on Automotive Production and their Effects on virtual Production Planning. In: Proceedings of the 2nd CIRP Conference on Assembly Technologies and Systems (CATS). Toronto, Canada, 2008, S. 16-28.

BREITLING, Thomas; GROSSMANN, Theodor; ZÖLLER, Albrecht: Digitale Prototypen unterstützen Entwicklung. In: Automobiltechnische Zeitschrift (ATZ) extra, Wiesbaden, (2009)1, S.162-171.

CLAUSEN, Uwe; WEBER, Jörg: Prototypenplanung im Nutzfahrzeugbau. In: Automobiltechnische Zeitschrift (ATZ), Wiesbaden, 108(2006)9, S. 740-744.

FLEISCHER, Jürgen; WAWERLA, Marc; ENDER, Thomas; NYHUIS, Peter; HEINS, Michael; GROSSHENNING, Patrick: Digitaler Serienanlauf beschleunigt den Markteintritt. In: Intelligenter produzieren, Frankfurt a. M., (2005)1, S. 36-37.

FUSCH, Thomas, KRESS, Marcel: Strategien und Nutzen der virtuellen Produktion. In: Maschinenmarkt, Würzburg, (2001)42, S. 54-58.

FRITZSCHE, Lars: Work Group Diversity and Digital Ergonomic Assessment as New Approaches for Compensating the Aging Workforce in Automotive Production. Dresden: Technische Universität, Dissertation, 2010.

HARBOUR CONSULTING: The Harbour Report. Harbour Consulting, Troy, MI, 2006.

Dr. Christoph Zschocke
Geschäftsführer, Ökotec Management GmbH

Martin Hahm
Leiter Facility Management, Werke Leipzig, BMW AG

Verbindung von Energieeffizenz und Energiebezug in produzierenden Unternehmen

Verbundvorhaben Energieeffizienz-Controlling (EnEffCo®) am Beispiel der Automobilindustrie

EnEffCo® Projektbeschreibung

EnEffCo® (Energieeffizienz-Controlling) wurde von ÖKOTEC Energiemanagement Berlin konzipiert und wird derzeit im Rahmen eines Forschungsprojektes, das vom Bundeswirtschaftsministerium im Rahmen des 5. Energieforschungsprogramms der Bundesregierung gefördert wird, mit folgenden Partnern umgesetzt:
Entwicklungspartner:

- Fraunhofer Institut für Produktionsanlagen und Konstruktionstechnik Berlin, Abteilung »Automatisierungstechnik«,
- DAI Labor und Institut für Energietechnik der Technischen Universität Berlin und
- ÖKOTEC Energiemanagement Berlin
- Anwendungspartner:
- BMW AG Werk Leipzig
- Brose Fahrzeugteile GmbH & Co. KG Würzburg
- WITTE-Velbert GmbH & Co. KG Velbert

Ziel des Projektes ist es, ein ganzheitliches Energieeffizienz-Controlling (EnEffCo®) zu entwickeln und zu implementieren, welches geeignet ist, produzierende Unternehmen der Automobilindustrie und deren Zulieferindustrie bei der Senkung von Energieverbrauch und -kosten zu unterstützen, und zwar durch Bereitstellung von intelligenter Dienstleistung und Hard- und Software. Dabei steht folgender Nutzen im Vordergrund:

- alle wesentlichen Verbrauchsquellen einschließlich der zeitlichen Verbrauchsstruktur werden transparent,
- die Energieeffizienz relevanter Verbrauchssektoren werden ermittelt und bewertet,
- Einsparpotentiale werden aufgezeigt, so dass daraus Maßnahmen zur Senkung des Energieverbrauchs umgesetzt werden können,
- Möglichkeiten zur zeitlichen Verschiebung des Energiebedarfs (funktionale Energiespeicher) werden sichtbar gemacht und Handlungsempfehlungen zur Nutzung von Energiespeichern werden über EnEffCo® bereitgestellt. Damit werden weitere Kostenvorteile generiert.

Obwohl sich das Projekt EnEffCo® auf den Anwendungsfall Automobilindustrie konzentriert, werden die gewonnenen Erkenntnisse auch in anderen Branchen insbesondere der Stückgutfertigung anwendbar sein.

Es wird der Lösungsansatz eines ganzheitlichen Energieeffizienz-Controllings für die Produktion dargestellt. Die auf der Basis von Messdaten ermittelten Energieverbrauchsmuster werden mit Prozess-, Maschinen- und Anlagenmodellen verknüpft und bilden die Grundlage für weitergehende Analysen zur Energieeffizienz sowie zur Ermittlung einer optimierten Prozessführung.
Die Umsetzung dieser Lösungsansätze erfolgt durch folgende Forschungs- und Entwicklungsarbeiten:

- Systematische Analyse der in Produktionsmaschinen und -anlagen bzw. deren Steuerungssystemen verfügbaren energierelevanten Daten
- Systematische Analyse der bereits in den Kommunikationsstrukturen der Produktion verfügbaren energierelevanten Daten und deren Schnittstellen
- Integration von Sensorik an relevanten Stellen in der Produktion. Hierzu ist vorab in einer ersten Aufwand-/Nutzenanalyse zu ermitteln, welche Messpunkte hier in Abhängigkeit von den betrachteten Prozessen zu betrachten sind.

- Erarbeitung eines EnEffCo®-Datenbanksystems zur Anbindung erweiterter Funktionalität für die Abbildung von Prozesswissen, Modellierungswissen und Datenanalysewissen in vorhandene Produktions- bzw. Energiemanagementsysteme sowie generische Schnittstellen zur Simulation von Energieverbrauchsszenarien
- Erarbeitung von Strukturen zur Unterstützung des Energiebenchmarkings und -effizienzcontrollings in den Unternehmen

Vorraussetzung hierzu ist die detaillierte Kenntnis über die Energiesituation im Unternehmen, d.h. über die Verbrauchs- und Kostenstrukturen der einzelnen Produktionsbereiche, sowie verfügbarer Freiheitsgrade und nutzbarer Stellgrößen zur Beeinflussung des Energieverbrauchs.

In Ergänzung und Erweiterung des EnEffCo®-Systems soll die Anwendbarkeit und die Betriebsweise von sogenannten funktionalen Stromspeichern erforscht und praktisch erprobt werden. Hintergrund dieses Konzepts ist die Tatsache, dass die Speicherung von Elektrizität sehr kostenintensiv ist und die Stromerzeugung möglichst zeitnah der Nachfrageseite angepasst werden muss. Angesichts erheblicher Investitionen in konventionelle Kraftwerke und Netze, auch angesichts steigender Anteile intermittierender Stromerzeugung in Form von Windkraft und Photovoltaik, wird es technisch zunehmend schwierig und teuer, die vom Markt verlangte Leistung zeitgenau bereitzustellen. Jedes Lager von Roh- und Betriebsstoffen sowie von Zwischenprodukten kann als ein Stromspeicher betrachtet werden, denn hier lagert gewissermaßen die bei der Herstellung dieser Produkte eingesetzte Elektrizität. Bislang wurden solche Eingangs- und Zwischenlager nur unter dem Gesichtspunkt optimaler Produktionsabläufe betrachtet. Ebenso werden die sogenannten physikalischen Speicher für Wärme, Kälte, Druckluft, Raumlufttechnische Anlagen usw. genutzt, um Energie zwischenzuspeichern. Weiterhin werden die Eigenstromerzeugungsanlagen für die Energiebezugsoptimierung im EnEffCo® optimierten Energiemanagementsystem stärker mitberücksichtigt. Mit EnEffCo® werden diese Speicher – unter Ausschluss negativer Auswirkungen auf die Produktion – zusätzlich unter dem Gesichtspunkt der Energiespeicherung optimiert, um dadurch die Kosten für den Energieeinkauf der Unternehmen zu reduzieren und damit – volkswirtschaftlich betrachtet – einen Beitrag zu einer größeren Preiselastizität der Energienachfrage zu leisten und darüber hinaus die Netze zu entlasten.

Durch EnEffCo® werden durch die Reduzierung des Verbrauchs von Primärenergie die Umweltbelastungen reduziert, die Wettbewerbsfähigkeit der Automobilwirtschaft und ähnlicher Produktionsunternehmen der Stückgutfertigung gestärkt sowie Wachstum und Beschäftigung in Deutschland gesichert. Darüber hinaus wird in Produktionsunternehmen eine allgemeine Sensibilisierung für nachhaltige Energielösungen erreicht.

Verbindung von Energieeffizenz und Energiebezug in produzierenden Unternehmen

Vortrag im Rahmen der Veranstaltung

XIII. Internationales Produktionstechnisches Kolloquium
Produktionstechnik Motor aus der Krise

Fraunhofer IPK Berlin
4. - 5. Oktober 2010

Dr. Christoph Zschocke
Geschäftsführer
ÖKOTEC
Energiemanagement GmbH

Martin Hahm
Leiter Facility Management
Werke Leipzig, Berlin
BMW

ÖKOTEC ENERGIEMANAGEMENT GMBH

BMW Werk Leipzig

Freude am Fahren



Gründung des Unternehmens ÖKOTEC Management GmbH im Jahr 1992.

Zunahme der Aktivitäten im Bereich Energie führt zur Gründung von ÖKOTEC Energiemanagement GmbH im Jahr 1999.

1

Details
ÖKOTEC Energiemanagement

- Umfassende Energieberatung von der Ideenentwicklung bis zur Umsetzung
- Konzentration auf energieintensive Branchen in Industrie & Gewerbe
- Tätigkeitsgebiet Deutschland und Europa
- Kontinuierliches Wachstum durch erfolgreiche und innovative Beratungsleistungen
- Interdisziplinäres Team ermöglicht
  - Spezialisierung in allen energierelevanten Themen
  - Flexible Anpassung unserer Projektteams an die unterschiedlichen Bedürfnisse unserer Kunden
- Kapazität zur Abwicklung größerer Projekte
  - 35 Mitarbeiter, davon 25 im Bereich Energiemanagement
  - Strategische Partnerschaften

ÖKOTEC ENERGIEMANAGEMENT GMBH

Auszug Referenzen

Chemie und Pharma

BASF The Chemical Company
BAYER
Honeywell
basell

Fleischverarbeitung

velisco
TULIP
NÖLKE

Metallverarbeitung

nemak
Ball Packaging Europe
Ortlinghaus

Automotive

DAIMLER
PEGUFORM
ZF
Veritas

Getränke

Gaffel Kölsch
MAGNUS

Papierverarbeitung

Papierfabrik Moldorf
VSM
mondi

Kunststoffverarbeitung

Schaeffler Group Industrial
GERRESHEIMER WILDEN
MAUSER
OKT

Weitere Lebensmittel

KRAFT
BÜNGE
WILD
Pfeifer & Langen

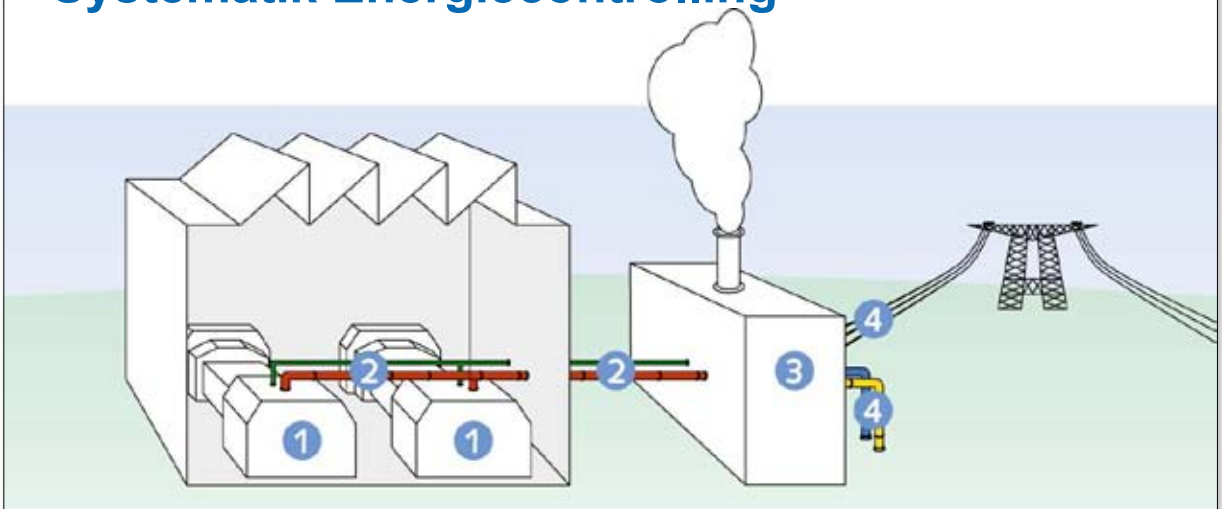
Weitere Branchen

Q.CELLS
SIEMENS
City Clean
QUARZWERKE GROUP

ÖKOTEC ENERGIEMANAGEMENT GMBH

2

Systematik Energiecontrolling



1 ENERGIEVERBRAUCH
Produktionsanlagen
Lüftungsanlagen
Elektromotoren
Beleuchtung

2 ENERGIEVERTEILUNG
Wärme
Kälte
Druckluft
Strom

3 ENERGIEERZEUGUNG
Kesselanlagen
Kraft-Wärme-Kopplung (KWK)
Kälteanlagen
Druckluftanlagen

4 ENERGIEBEZUG
Strom
Gas
Heizöl
Wasser
Nutzmedien (z.B. Wärme)

ÖKOTEC ENERGIEMANAGEMENT GMBH

3



Energiecontrolling

Gesetzliche Bestimmungen

- **Verbrauchserfassung als Bedingung für Besondere Ausgleichsregelung EEG**
  - Seit 01.01.2009: Kopplung Besonderen Ausgleichsregelung für stromintensive Unternehmen an zertifizierte* Erfassung des Energieverbrauchs und Ermittlung von Einsparpotenzialen

    *Gültige Zertifikate: EMAS-Urkunde, Zertifikat nach 14001/16001 oder gleichwertige individuelle Zertifizierung

- **Energiemanagement als Bedingung für reduzierte Steuersätze und Spitzenausgleich**
  - Entwurf Energiekonzept vom 5.9.2010: „Kopplung der Steuerermäßigungen an die Einführung eines Energiemanagementsystems (**spätestens ab 2013**)“
  - Aktuell noch keine konkreten Umsetzungspläne (Stand 09/2010)

4

EnEffCo® - Energie-Effizienzcontrolling am Beispiel der Automobilindustrie

Struktur des Projektkonsortiums

Anwendungspartner Automobilindustrie

brose Technik für Automobile — Automobilindustriezulieferer

BMW Werk Leipzig / MINI — Automobilhersteller

WITTE AUTOMOTIVE — Automobilindustriezulieferer

Projektleitung

ÖKOTEC ENERGIEMANAGEMENT GMBH — Energiemanagementdienstleister

Forschungspartner

DAI-Labor TU Berlin — Kommunikation

Fraunhofer IPK — Produktionstechnologie

en sys — Energiewirtschaft

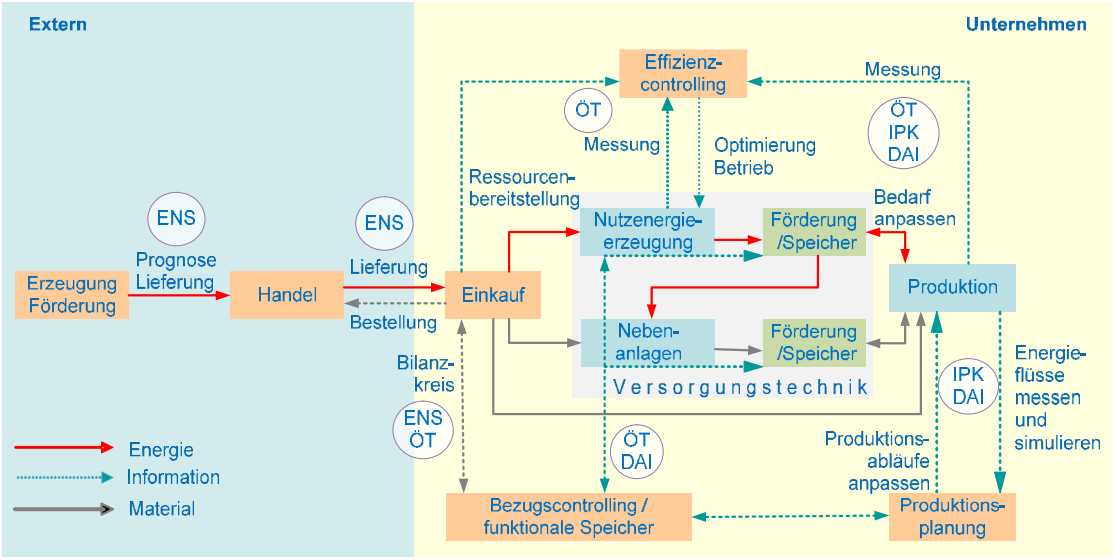
ÖKOTEC ENERGIEMANAGEMENT GMBH — Energieversorgung Energiemanagement

- Laufzeit 01.09.2009 – 31.08.2012
- Projektträger Forschungszentrum Jülich GmbH, PTJ
- Gefördert vom Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi) aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages

5

EnEffCo® Entwicklungspartner

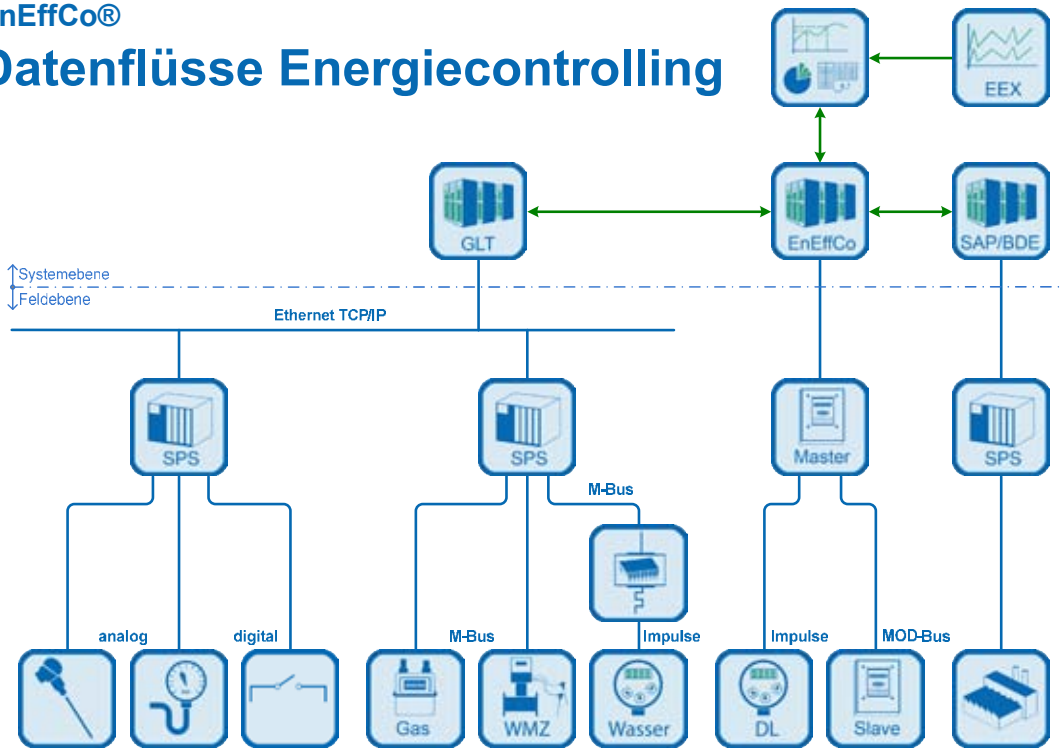
Vernetzung der Kompetenzen



6

EnEffCo®

Datenflüsse Energiecontrolling



7



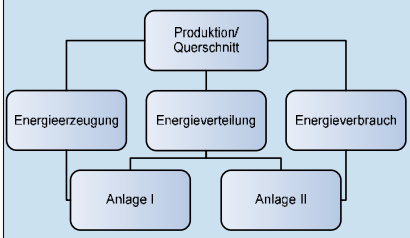
Einführung Energiecontrolling - Teil ÖKOTEC

Systematik

1. Durchführung einer Energieanalyse
2. Ermittlung von Kennzahlen
3. Erstellung einer Kennzahlenstruktur
4. Erarbeitung eines Messkonzepts
5. Auswahl der Hard- und Software
6. Überprüfung von Funktionalität und Plausibilität des Controllingsystems
7. Auswertung & Analyse der Messdaten
8. Entwicklung von Energieeinsparmaßnahmen

ÖKOTEC ENERGIEMANAGEMENT GMBH

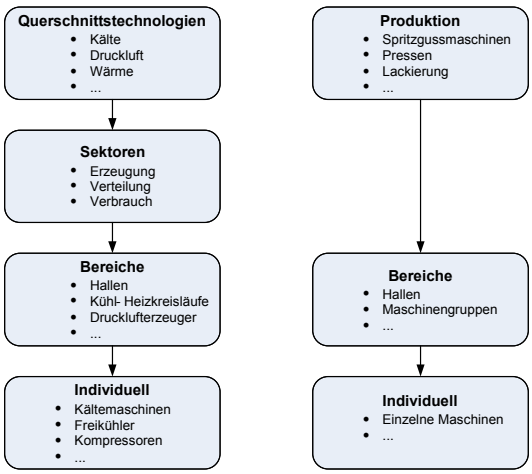
8



Erstellung einer

Kennzahlenstruktur

- Unterteilung der Kennzahlen nach
  - Produktion und Querschnittstechnologien
  - Energieerzeugung, -verteilung und Verbrauch
  - Einzelnen Bereichen



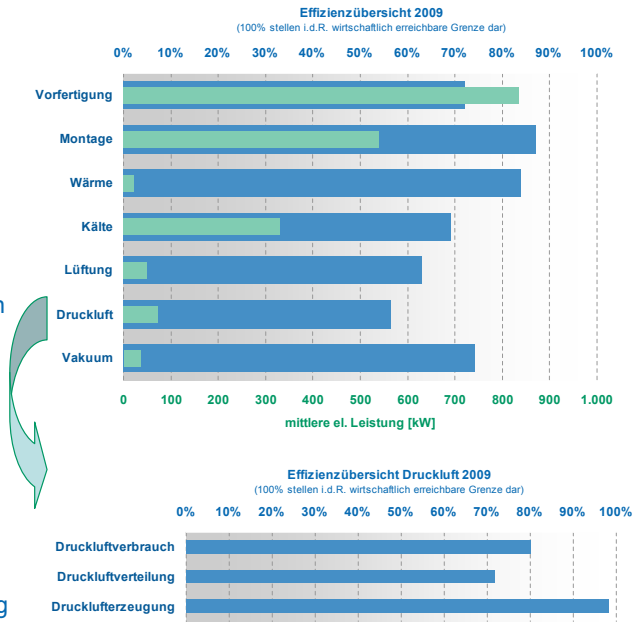
ÖKOTEC ENERGIEMANAGEMENT GMBH

9

Auswertung und Analyse

Effizienzübersicht

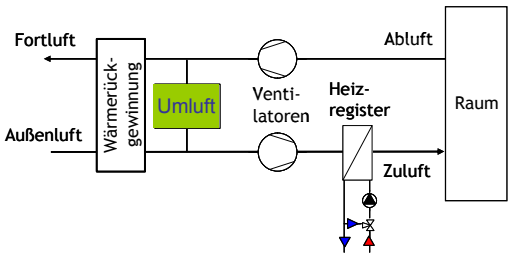
- **Vorteile Effizienztabelle**
  - Einheitliche Darstellung (Nutzen zu Aufwand)
  - Kombination aus Übersicht zu den Gewerken, Bereichen und Komponenten
  - Direktes Ablesen der Einsparpotentiale
  - Systematik der Effizienzsteigerung
- **Vorteile Effizienzübersicht**
  - Einheitlicher Maßstab für alle Gewerke
  - Visualisierung der Schwachstellen und Stärken
  - Bei regelmäßigem Einsatz Visualisierung von Entwicklungen und Erfolgen



Einsatz von EnEffCo® am Beispiel von Lüftungsanwendungen

Regelung durch Kennzahlen

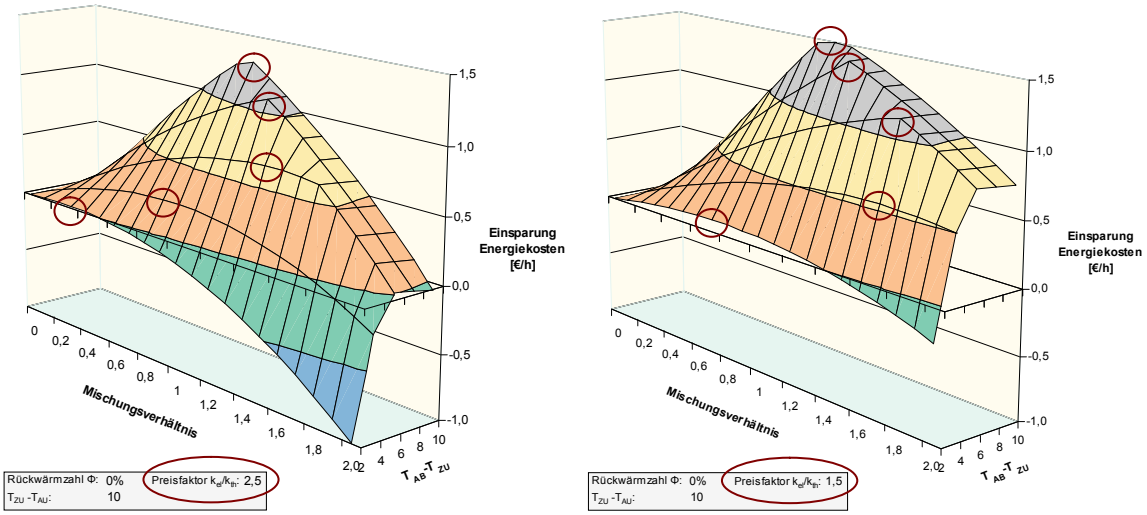
- **Regelung Umluftanteil um Wärmekosten zu senken**
  - Voraussetzung: Ablufttemperatur größer als Zulufttemperatur
- **Einflussfaktoren auf Effizienzkennzahl Umluft u.a.**
  - Außentemperatur
  - Strom- und Wärmeverbrauch
  - Kostenverhältnis Strom- und Wärmekosten
  - Wärmerückgewinnungszahl
  - Ventilatoreffizienz
  - Filterdruckverlust



- **Regelung durch mit Messwerten generierten Kennzahlen**
  - Optimierte Regelung durch Messung des Wärme- und Stromverbrauchs
  - Veränderungen von Filterdruckverlust, Ventilatoreffizienz, Einstellung von Zuluftklappen etc. werden automatisch in Kennzahl und damit die Regelung übernommen.

Einsatz von EnEffCo® am Beispiel von Lüftungsanwendungen

Effizienzkennzahl Umluftanteil



Kreise zeigen Optimum des Mischverhältnisses in Abhängigkeit der Temperaturdifferenz zwischen Zuluft und Abluft an.

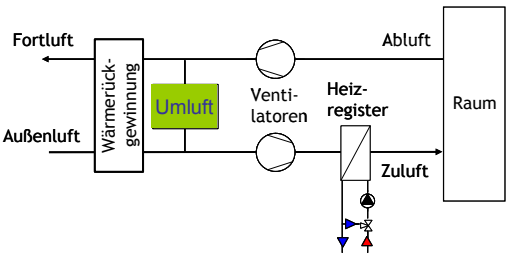
ÖKOTEC ENERGIEMANAGEMENT GMBH

12

Generierung eines funktionalen Speichers bei Lüftungsanwendungen

Lüftungsanlagen als funktionale Speicher

- **Stromverbrauch kann gehen Wärmeverbrauch getauscht werden!**
- **Funktionaler Speicher durch Regelung des Umluftanteils**
  - Erhöhung Strombedarf (Umluftbetrieb) oder
  - Erhöhung Wärmebedarf (Heizregister)



- **Kosteneinsparungen durch die Verschiebung von Wärme- gegen Strombedarf**
  - Parameter für die Regelung sind auch aktuelle bzw. prognostizierte Wärme- und Stromkosten

ÖKOTEC ENERGIEMANAGEMENT GMBH

13

Werk Leipzig
PA-34
05.10.2010

Seite 14

Energiemanagement im BMW Werk Leipzig.



BMW Werk Leipzig

September 2010

Oktober 2009

Freude am Fahren

Werk Leipzig
PA-34
05.10.2010
Seite 15

Energiemanagement im BMW Werk Leipzig.
Das Werk in Zahlen.



Lage:
Industriepark Leipzig-Nord.

Produktpalette:
BMW 1er Dreitürer.
BMW 1er Coupé.
BMW 1er Cabrio.
BMW X1.

Produktionsvolumen:
bis zu 730 Fahrzeuge täglich.

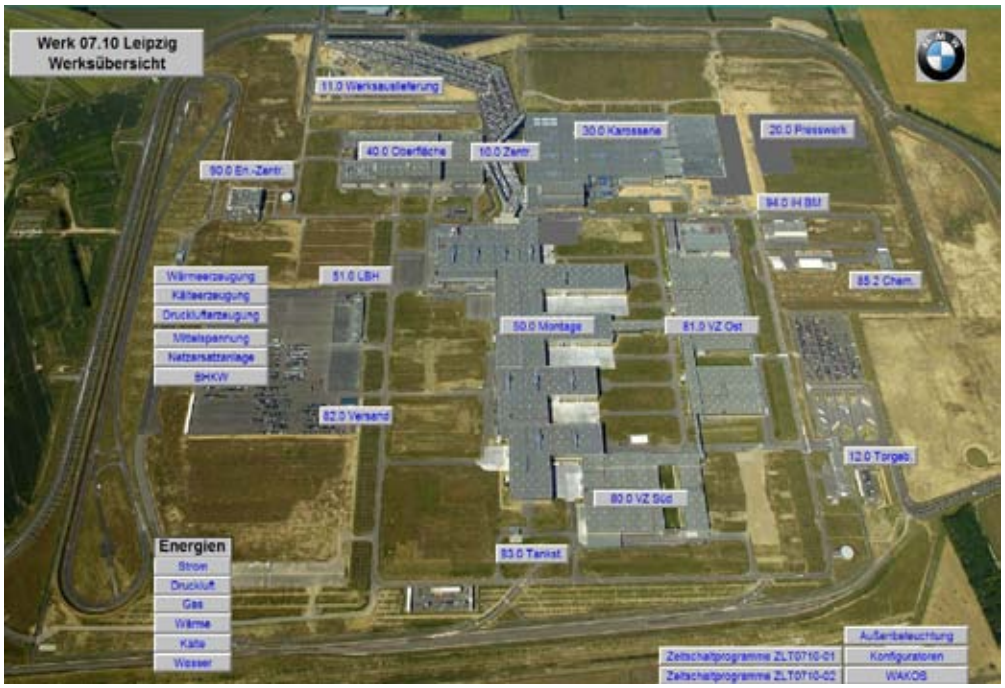
Arbeitsplätze auf dem Werksgelände:
aktuell etwa 5.000 (inkl. Dienstleister und Lieferanten).

Größe des Werksgeländes:
208 ha, davon ca. 50 ha bebaut.
Investitionsvolumen 2001 – 2009:
über 1,3 Mrd. EUR.

Besonderheit:
Versorgungszentrum mit externen Lieferanten im Werk.

Werk Leipzig
PA-34
05.10.2010
Seite 16

Energiemanagement im BMW Werk Leipzig.
Werksstruktur.



Werk Leipzig
PA-34
05.10.2010
Seite 17

Energiemanagement im BMW Werk Leipzig.
Das Werk in Zahlen.

Medien	Zusammenfassung
Wärmeversorgung	3-Kesselanlage mit 45 MW thermischer Leistung, BHKW mit 3 MW thermischer Leistung, 4,8 km Heiztrassen,
Trinkwasserversorgung	5,4 km Leitungsnetz
Druckluftversorgung	3 Schraubenverdichter mit 9.500 N m³/h; 2,3 km Leitungsnetz für 6 bar Netz; 3 Turboverdichter mit 5.100 N m³/h; 1,0 km Leitungsnetz für 12 bar Netz;
Erdgasversorgung	1,6 km Leitungsnetz 4 bar Netz
Löschwasserversorgung	2 Vorratstanks à 1900 m³, 2 Dieselpumpen mit einer Pumpleistung von ca. 500 KW (120 m WS Förderhöhe, 1000 m³/h), 13,5 km Leitungsnetz
Schmutzwassersystem	ca. 160 Schächte , Gesamttrassenlänge 7,8 km
Regenwassersystem	ca. 190 Schächte , 3 Ortbetonbauwerke, Gesamttrassenlänge 9,3 km
Strom- und Datennetz	2 Trafos à 40 (50) MVA, Leistung Netz ca. 35.500 KVA, ca. 150 Schächte, 11,5 km Leerrohrtrassenlänge für AV, SV und IT/TK
Stromversorgung NE	2 Notstromdieselaggregate à 2000 KW elektrischer Leistung, Leistung Netzersatz ca. 3.250 KVA
BHKW Stromerzeugung	BHKW mit 3 MW elektrischer Leistung

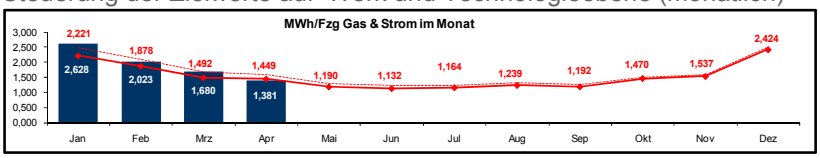
Werk Leipzig
PA-34
05.10.2010
Seite 18

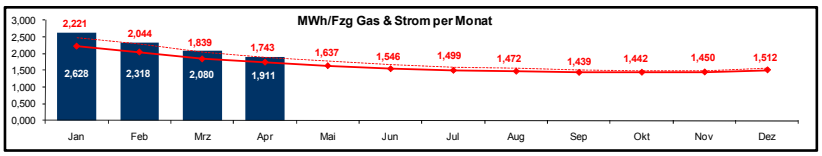
Energiemanagement im BMW Werk Leipzig.
Monitoring und Steuerung.

Monitoring der Verbräuche auf Technologieebene – Beispiel Gasverbrauch

April 2010, Verbräuche Technologien			
Technologie	Ist	Ist Anteil	anteiliger Erdgasverbrauch
	[MWh]		[MWh]
TL-1	317,06	8,35%	387,68
TL-2	460,95	12,15%	563,63
TL-3	1.819,43	47,94%	2.224,71
TL-4	1.137,45	29,97%	1.390,82
PA-44	23,62	0,62%	28,88
PA-34	36,71	0,97%	44,88
	3.795,22		4.640,59
Anteil Geb. 20.0			
Presswerk	45,84	1,21%	56,05

Steuerung der Zielwerte auf Werk und Technologieebene (monatlich)





Werk Leipzig
PA-34
05.10.2010
Seite 19

Energiemanagement im BMW Werk Leipzig.
Status Projekt EnEffCo® im Werk Leipzig.

- Auswahl Pilotflächen: Karosseriebau und Energiezentrale
- Energieeffizienz-Konzept
  - Energieversorgungsstruktur und Maßnahmenliste
- Energiecontrolling-Konzept
  - Erforderliche Kennzahlenstrukturen in Ansätzen
  - Bewertung der abgeleiteten Maßnahmen
  - Investitionsschätzung für Hard- und Softwareerweiterung
- Identifizierung und Simulation funktionaler Speicher (TU-Berlin EnSys)
- Semantische Modelle, Detailanalysen und Modellsimulationen (IPK, TU-Berlin DAI)

Werk Leipzig
TL-2
29.09.2010
Seite 20

Energiemanagement im BMW Werk Leipzig.
Kurzbeschreibung Technologie Karosseriebau.



Im Karosseriebau werden derzeit 4 Derivate gefertigt.

Rund 700 Roboter fügen Pressteile aus Stahl zu einer BMW Karosserie zusammengefügt.

Dabei kommen unterschiedliche Techniken wie Punktschweißen, Bolzenschweißen, Kleben, Bördeln und MAG-Schweißen zum Einsatz.

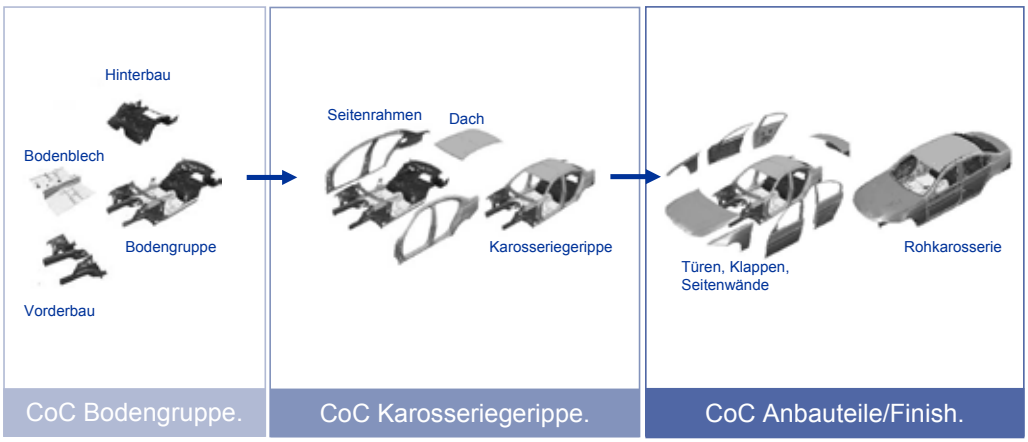
Mit einem Automatisierungsgrad von 97 Prozent in den maschinenintensiven Produktionsabschnitten und nur wenigen Handschweißungen ist der Karosseriebau der am höchsten automatisierte Bereich im Werk.

Dennoch ist dieser Produktionsbereich keineswegs menschenleer: Die Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter sind hier überwiegend für die Produktion, Instandhaltung, Qualitätssicherung sowie Logistik verantwortlich.

Werk Leipzig
TL-2
29.09.2010
Seite 21

Energiemanagement im BMW Werk Leipzig.
Karosseriebau.

Die Produktion der Karosserie gliedert sich in mehrere Produktions- und Prozessabschnitte.

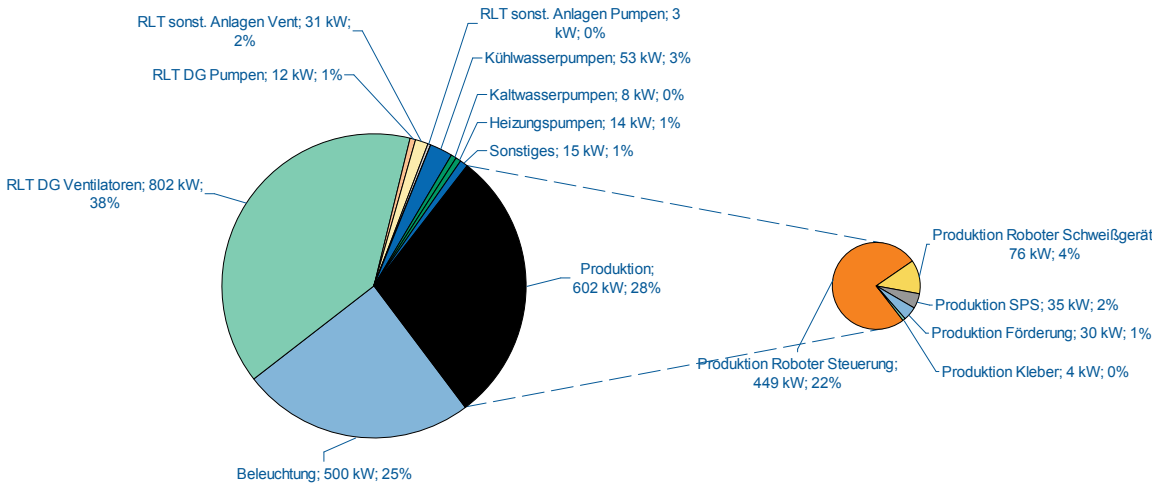


Beispiel E90.

Energieanalyse Karosseriebau - Strom

IST-Zustand Stand-By-Verbrauch

Standby-Gesamtverbrauch 7.3.2010 (2.032 kW)

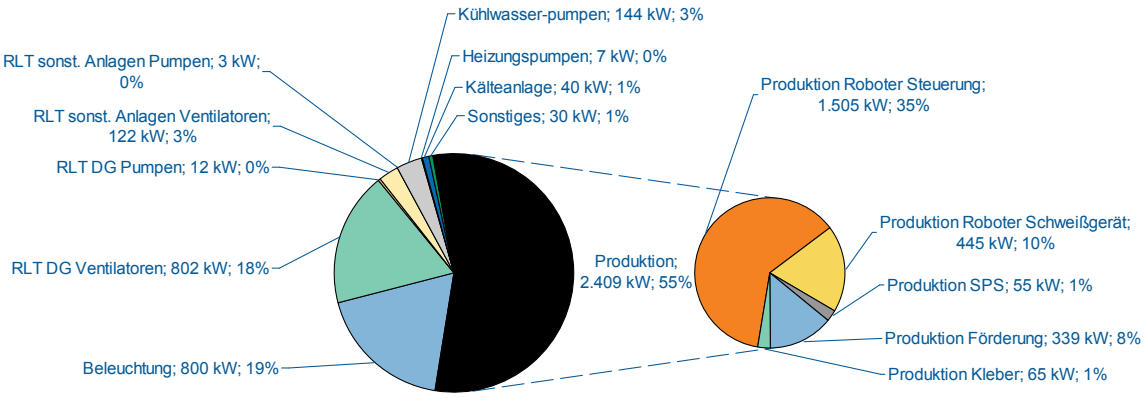


EnEffCo®

Energieanalyse Karosseriebau - Strom

IST-Zustand Verbrauch bei Produktion

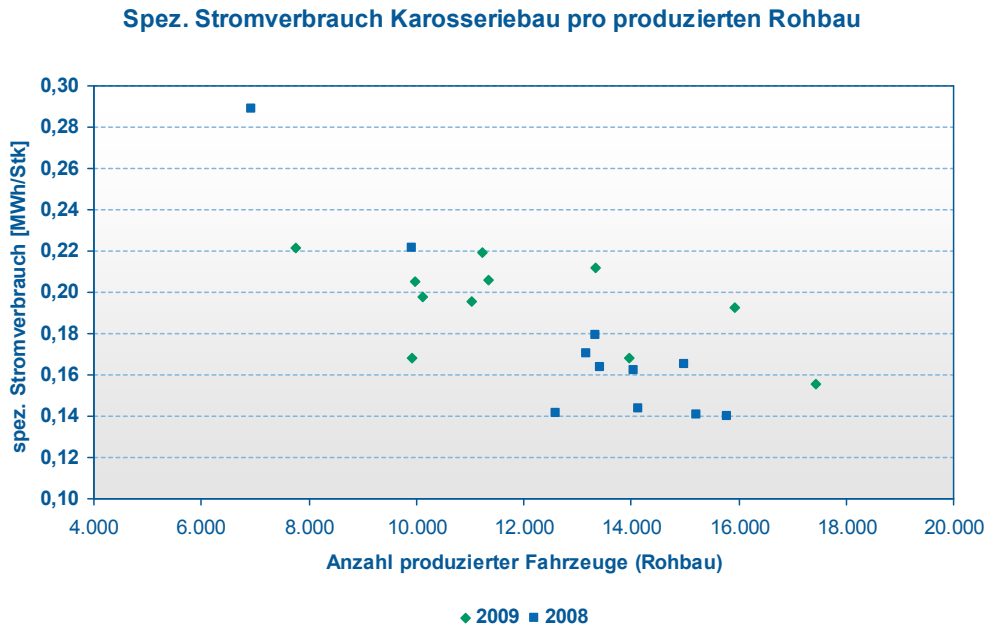
Produktions-Gesamtverbrauch 04.03.2010 (4.368 kW)



EnEffCo®

Energiecontrolling - Bereichskennzahl Strom

Spez. Verbrauch pro Rohbau



EnEffCo®

Energieanalyse => Energiecontrolling

Lüftung - Erster Ansatz für Kennzahlen 1

	Produktion 27.1.2010, Außentemperatur ca. -1°C			Außerhalb Produktion 7.3.2010, Außentemperatur ca. -1°C		
	Rückwärmzahl Wärmerad 1 -	Rückwärmzahl Wärmerad 2 -	Heizregister-leistung kW	Rückwärmzahl Wärmerad 1 -	Rückwärmzahl Wärmerad 2 -	Heizregister-leistung kW
Zone1	69%	73%	68	68%	70%	143
Zone2	67%	71%	87	66%	67%	103
Zone3	64%	67%	174	67%	65%	249
Zone4	63%	65%	272	13%	14%	756
Zone5	92%	90%	144	84%	81%	49
Zone6	76%	79%	255	71%	70%	225
Zone7	72%	73%	157	76%	75%	558
Zone8	68%	64%	95	73%	62%	162
Zone9	76%	77%	49	76%	78%	20
Zone10 (30.3 Zone1)	72%	73%	144	72%	72%	154
Zone11 (30.3 Zone2)	72%	73%	144	67%	63%	188
Zone12 (30.4 Zone1)	72%	73%	144	70%	69%	180
Summe/Mittelwert	**72%**	**73%**	**1.733**	**67%**	**66%**	**2.788**

Auswertung gemäß Momentanmesswerten und Messwerten nach Inbetriebnahme

EnEffCo®

Energieanalyse => Energiecontrolling

Lüftung - Erster Ansatz für Kennzahlen 2

	Produktion, 27.1.2010				
	Zentrale			Verteilung	Zentrale + Verteilung
	Wirkungsgrad Zuluft-Ventilator	Druckverlust Zentrale Pa	Wirkungsgrad Luftleistung	Druckverlust Verteilung Pa	Volumenstrom elektrische Leistung m³/kWh
Zone1	60%	387	25%	265	3,3
Zone2	58%	423	18%	193	3,5
Zone3	61%	503	16%	179	3,5
Zone4	56%	348	22%	230	3,5
Zone5	70%	419	40%	563	2,1
Zone6	58%	441	17%	181	3,5
Zone7	65%	417	29%	338	3,2
Zone8	59%	450	17%	185	3,4
Zone9					
Mittelwert	**61%**	**424**	**23%**	**267**	**3,2**

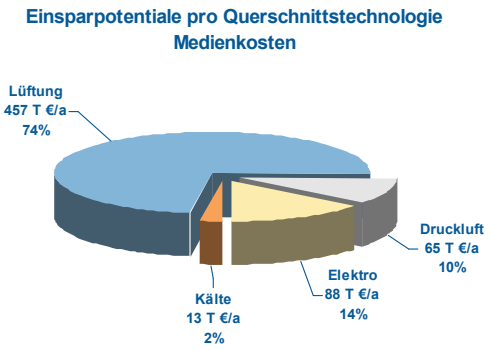
Auswertung gemäß Momentanmesswerten und Messwerten nach Inbetriebnahme

EnEffCo®

Karosseriebau

Übersicht Ergebnisse

- **Energiekosten**
  - Die Energiekosten (Strom, Wärme, Druckluft) bezifferten sich für das Jahr 2009 auf insgesamt ca. 3.000 T€.
- **Einsparpotential**
  - Das ausgewiesene kumulierte Gesamteinsparpotential (ohne Alternativen) beträgt im Mittel ca. 620 T€/a.
  - Bezogen auf die Energiekosten 2009 ergibt sich ein prozentuales Einsparpotential in Höhe von 21 %.



- **Investitionskosten**
  - Bei einem Investitionsaufwand von 463 bis 965 T€ können im Mittel Amortisationszeiten von kleiner 1,5 Jahren erreicht werden.

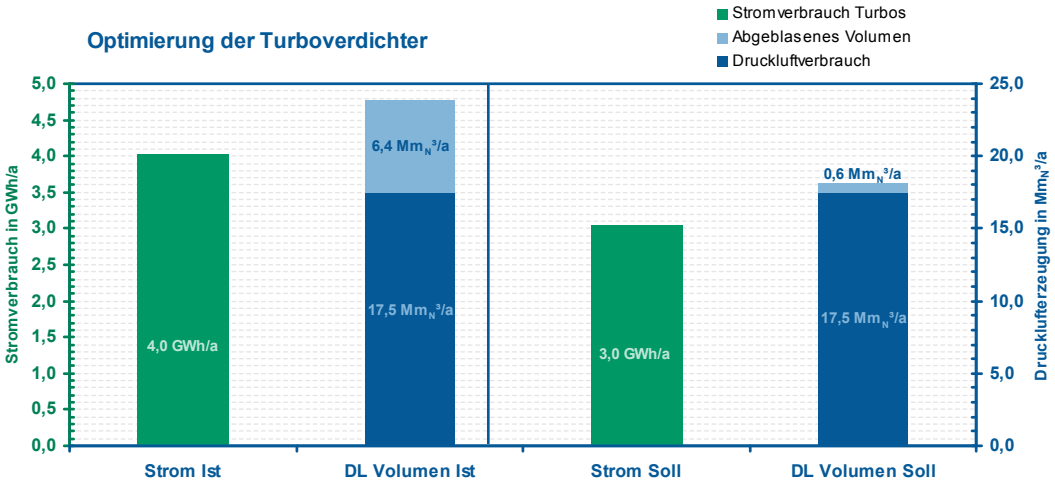
EnEffCo®

Energiezentrale - Beispiel Druckluft – Turbokompressoren

Stromverbrauch und Volumenstrom

▪ Kennzahlen Turbokompressoren

- Erzeugungseffizienz Ist: 4,3 m_N^3/kWh (Auswertung Messungen einer Woche)
- Erzeugungseffizienz Soll: 5,7 m_N^3/kWh (Maßnahme: Optimiertes Abblasverhalten)



EnEffCo®

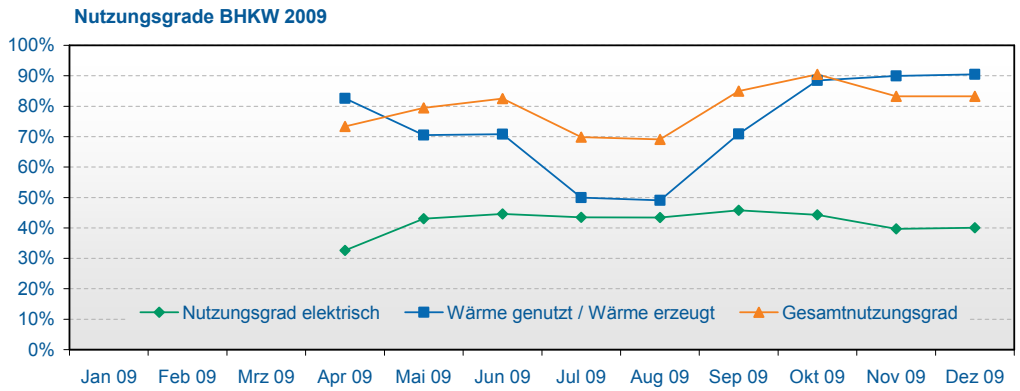
Energiezentrale - Beispiel Wärmeerzeuger

Kennzahlen Heizkessel und BHKW

▪ Kennzahlen Heizkessel (ohne Strombedarf Gebläse und Pumpen)

- Erzeugungseffizienz gesamt, Ist: 86% Jahresnutzungsgrad 2009
- Erzeugungseffizienz gessamt, Soll: 92% (Maßnahme: Regelung + Absenkung RL-Temp.)
- Erzeugungseffizienz 2.AWT, Ist: 3% Momentanablesung
- Erzeugungseffizienz 2.AWT, Soll: 5% (Maßnahme: Regelung + Absenkung RL-Temp.)

▪ Kennzahlen BHKW (Gesamtnutzungsgrad 2009 = 80%; stromgeführter Betrieb)

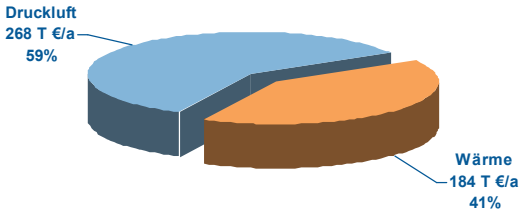


EnEffCo®

Energiezentrale
Übersicht Ergebnisse

- **Energiekosten**
  - Die Energiekosten der Energiezentrale für Druckluft, Wärmeverluste und sonstige Stromverbraucher bezifferten sich für das Jahr 2009 auf insgesamt ca. 1.650 T€.
- **Einsparpotential**
  - Das ausgewiesene kumulierte Gesamteinsparpotential (ohne Alternativen) beträgt im Mittel ca. 450 T€/a.
  - Bezogen auf die Energiekosten 2009 ergibt sich ein prozentuales Einsparpotential in Höhe von 27 %.
- **Investitionskosten**
  - Bei einem Investitionsaufwand 690 bis 1.050 T€ können im Mittel Amortisationszeiten von 1,5 bis 2,3 Jahren erreicht werden.

Einsparpotentiale der Energiezentrale



ÖKOTEC ENERGIEMANAGEMENT GMBH

EnEffCo®

Werk Leipzig
PA-34
05.10.2010
Seite 31

Energiemanagement im BMW Werk Leipzig.

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit.



BMW Werk Leipzig
Facility Management
Martin Hahm

Prof. Jörg Krüger, Gerhard Schreck
Geschäftsfeld Automatisierungstechnik, Fraunhofer IPK

Energieeffizienzcontrolling in vernetzten Fabriken

Abstract | Die effiziente Nutzung von Energie hat sich in den vergangenen Jahren in der Produktion zu einem maßgeblichen Wettbewerbsfaktor entwickelt. Die Optimierung des Energieeinsatzes bedingt eine geeignete Verzahnung von Technologien zur Erfassung, Analyse, Modellierung, Simulation und Steuerung. Moderne Strukturen der informationstechnischen Vernetzung in der Fabrik bieten besondere Potentiale, um diese Verzahnung zu realisieren. Zur optimierten Steuerung und Regelung des Energieeinsatzes ist zudem die Bildung aussagekräftiger Effizienzkenngrößen unerlässlich. Der vorliegende Beitrag beschreibt ein Konzept zum so genannten Energieeffizienzcontrolling am Beispiel der Automobilindustrie.

Entwicklung von Schlüsseltechnologien zur Energieeffizienz

Vor dem Hintergrund des wachsenden Kostendrucks in der Produktion und eines zunehmenden Anteils erneuerbarer Energien an der Gesamtenergieversorgung gewinnt die Energieeffizienz und Flexibilität im Energieeinsatz zunehmende Bedeutung für produzierende Unternehmen.

Deutschland ist neben Japan weltweit führend in Bezug auf die effiziente Nutzung von Energie. Die durch das Bundeswirtschaftsministerium geführte ‚Exportinitiative Energieeffizienz' unterstreicht die wirtschaftliche Bedeutung deutschen Wissens und deutscher Technologie zur effizienten Nutzung von Energie. Auch die produzierenden Unternehmen haben vielfach bereits Maßnahmen umgesetzt, um die Energieeffizienz zu steigern. Der Anteil der Energiekosten am Produkt, der noch vor wenigen Jahren gegenüber den eingesetzten Betriebsmitteln und Grundstoffen vernachlässigt wurde, steht heute zunehmend im Fokus bei der Senkung von Produktionskosten. Insbesondere bei thermischen Prozessen in der chemischen und verfahrenstechnischen Industrie konnten in den vergangenen Jahren durch den Einsatz von Werkzeugen zum Energiemanagement und –controlling deutliche Einsparungen erzielt werden.

Die Bundesregierung hat das Ziel gesetzt, die gesamtwirtschaftliche Energieproduktivität bis zum Jahr 2020 gegenüber dem Stand im Jahr 1990 zu verdoppeln. Um dieses Ziel zu erreichen, wird es erforderlich sein, Produktionsprozesse vom Automobilbau bis zur Lebensmittelproduktion insgesamt in Bezug auf ihre Energieeffizienz zu durchleuchten. Hohe Energiekostenanteile liegen beispielsweise in der spanenden Bearbeitung häufig in der Temperierung von Kühlschmierstoffen, in der Erzeugung von Druckluft einschließlich der Leckageverluste für Montageprozesse oder beispielsweise in Lackier- und Reinigungsprozessen.

Die Identifikation von Potentialen zur Erhöhung der Energieeffizienz in der Produktion vollzieht sich in zwei Schritten, dem Monitoring der Energieflüsse in der Fabrik und zweitens der Analyse des Energieumsatzes der einzelnen Produktionsprozesse und –systeme.

Die Umsetzung dieser Schritte bedingt den Einsatz von Messeinrichtungen dicht am Prozess, die effiziente Nutzung von Kommunikationsinfrastrukturen zur Datenübertragung von der Feldebene bis zur Produktionsplanung sowie eine geeignete Verwaltung und Auswertung der gewonnenen Daten. Durch konsequente und systematische Nutzung der bereits am Markt verfügbaren Hard- und Softwaremodule zum Energiemanagement in der Fabrik lassen sich erfahrungsgemäß Einsparpotentiale erschließen, die eine Amortisation dieser Systeme innerhalb von ein bis zwei Jahren ermöglichen. Im Vordergrund stehen dabei zunächst die Identifikation von Energieverlusten und die Vermeidung von Lastspitzen.

Zukünftige Schritte zur Optimierung des Energieeinsatzes in der Produktion müssen jedoch deutlich über diese Form des Energiemanagements hinausgehen, um das hochgesteckte Ziel einer Verdopplung der Energieproduktivität erreichen zu können. Diese Schritte führen vom reinen Energiemanagement hin zum Energieeffizienzcontrolling, das heißt der gezielten Prozessplanung und -führung unter Berücksichtigung der Energieeffizient der Prozesse. Die wesentliche Herausforderung liegt darin, diese Prozessführung konfliktfrei mit klassischen Zielen der Produktion wie Taktzeiten und Produktionsausstoß zu gestalten. Um diese ganzheitliche Optimierung der Prozessführung bei potentiell konfliktären Zielen zu erreichen, stellen sich mehrere Aufgaben:

- systematische Erfassung des Energieumsatzes der grundlegenden Produktions- und fertigungstechnischen Prozesse,
- Ableitung von energetischen Prozessmodellen, die eine verallgemeinerte Bewertung der Energieeffizienz des Prozesses bei wechselnden Prozessparametern erlauben,
- Benchmarking alternativer Be- und Verarbeitungsverfahren in Bezug auf den Energieumsatz,
- Generierung und Bewertung alternativer Produktions- und Prozessführungsmuster sowie
- Durchgängige Integration von Systemen zum Energiemanagement, Prozessplanung sowie Prozessführung.

Ein hierauf basierendes Energieeffizienzcontrolling (Bild 1) ist die Basis für die Optimierung der Energieproduktivität in der Produktion [1].

Der Begriff Energieeffizienz bezieht sich auf das Verhältnis zwischen dem Ergebnis der Tätigkeiten, Waren oder Dienstleistungen einer Organisation und der eingesetzten Energie [2]. Die in diesem Beitrag vorgestellte Methodik des Energieeffizienzcontrollings dient der Führung produktionstechnischer Prozesse nach Kenngrößen der Energieeffizienz.

Wesentlich hierbei ist der Aufbau eines Energieregelkreises, mit dem präzise Instrumente zur Erfassung, Analyse, Regelung und Vorhersage des Energieverbrauchs auf Prozessebene zur Verfügung stehen. Auf Seiten der Erfassung des prozessbezogenen Energieverbrauchs besteht die Herausforderung im Wesentlichen darin, von der Kenntnis des Energieumsatzes bei bekannten Prozessen zu abstrahieren. Hierbei geht es darum, den Einfluss von Parametern wie Materialeigenschaften, Bauteileigenschaften und Produktionssystem in Bezug auf den Energieumsatz des Prozesses zu verallgemeinern. Basis ist die Verbindung von Verfahren der Prozessmodellierung, -identifikation und -mustererkennung zu einem *Energy Data Mining*. Das Ziel ist die Analyse der komplexen Zusammenhänge der Energiewandlung in Produktionsprozessen. Diese basiert auf umfangreichen Daten, die zum Teil durch Simulationsverfahren präzisiert werden müssen, sofern eine prozessnahe sensortechnische Erfassung nicht

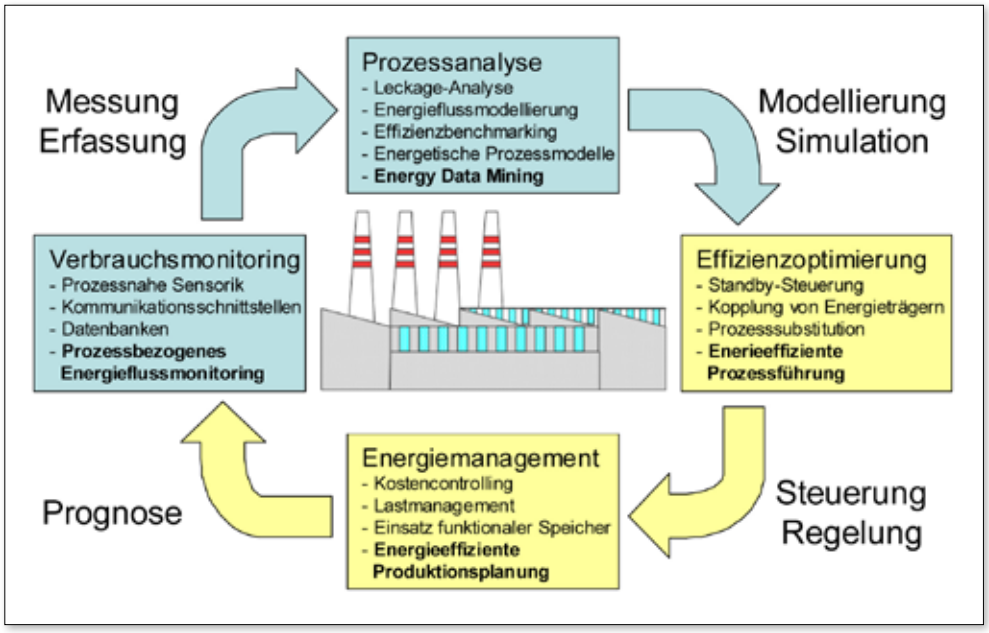


Bild 1: Energieeffizienzcontrolling in der Produktion [1]

möglich ist. Die Präzision und Zuverlässigkeit dieser Daten ist die Voraussetzung für die Effizienzoptimierung im Sinne einer *energieeffizienten Prozessführung*.

Die komplexe übergeordnete Führung von Produktionsprozessen im Sinne dieses Effizienzcontrollings ist aufgrund der genaueren Verbrauchssteuerung nicht nur wesentlich zur Erschließung von Einsparpotentialen sondern darüber hinaus auch eine wichtige Grundlage für die planbare Nutzung nicht deterministischer erneuerbarer Energien (z.B. Windenergie) in der Produktion.

Energieeffizenzcontrolling am Beispiel der Automobilindustrie

Viele Unternehmen haben sich konkrete Ziele gesetzt, den Einsatz von Primärenergie bezogen auf das einzelne Produkt jährlich konsequent zu senken. In dem Projekt »EnEffCo – Energie-Effizienzcontrolling« am Beispiel der Automobilindustrie werden die Methoden und Werkzeuge entwickelt, die die Unternehmen zum Erreichen dieser Ziele benötigen.

Im Projekt forschen und entwickeln neben dem Fraunhofer IPK zwei Institute der TU Berlin, ein Softwareunternehmen sowie ein Unternehmen aus dem Bereich des Energiemanagements. Anwendungspartner sind drei weitere Unternehmen aus Automobilproduktion und dem Zulieferbereich, mit denen unterschiedliche Stufen der Wertschöpfungskette in der Automobilproduktion bezüglich des Energieeffizienzcontrollings untersucht werden.

Ziel des Projektes ist es, ein Konzept zu entwickeln und zu implementieren, das geeignet ist, produzierende Unternehmen der Automobilindustrie und deren Zulieferindustrie bei der Senkung von Energieverbrauch und -kosten zu unterstützen, und zwar durch Bereitstellung von Dienstleistung und Hard- und Software, mit der

- die wesentlichen Verbrauchsquellen einschließlich der zeitlichen Verbrauchsstruktur transparent gemacht werden,
- die Energieeffizienz relevanter Verbrauchssektoren ermittelt und bewertet wird, so dass
- Einsparpotentiale aufgezeigt und daraus Maßnahmen zur Senkung des Energieverbrauchs umgesetzt werden können und letztendlich auch
- Möglichkeiten zur zeitlichen Verschiebung des Energiebedarfs (funktionale Energiespeicher) sichtbar gemacht und damit weitere Kostenvorteile generiert werden.

Die Herausforderung für EnEffCo sind im Wesentlichen die komplexen Abhängigkeiten zwischen Verbrauchsstrukturen und Produktionsabläufen. Bei der Effizienzsteigerung des Energieverbrauchs muss die Effizienz der Produktion ständig im Fokus bleiben. Es ist jedoch schwierig, die Folge einer energiebezogenen Änderung in einem Produktionsschritt auf die folgenden Schritte und am Ende auch die Qualität des Produkts abzuschätzen. Ebenso schwierig ist es, die Auswirkungen einer Veränderung der Produktion, beispielsweise bei einer neuen Produktvariante, auf die übergeordneten Energieeinsparziele des Unternehmens vorherzusagen. EnEffCo soll hierbei unterstützen.

Das Projekt ist in mehrere Stufen gegliedert: Von der Erfassung und Analyse der Verbrauchsprozesse über die Modellierung der Abhängigkeiten zwischen den Prozessen bis hin zur Optimierung von Energieverbrauchsprofilen und dem Energieeinkauf. Die Analyse der Verbrauchsprozesse und -profile erfolgt mit Methoden und Werkzeugen des sogenannten »Data Mining«, mit denen Zusammenhänge gezielt entdeckt und transparent gemacht werden können. Dieses »Energy Mining« bildet die Grundlage zur Modellierung von Abhängigkeiten zwischen den Prozessen auf Basis sogenannter Ontologien. Mit ihnen lassen sich Auswirkungen in der Folge einer Prozessveränderung in veränderlichen Szenarien sicher einschätzen. Diese Ableitung von neuem Wissen aus bekannten Zusammenhängen wird als »Inferenz« bezeichnet. So zeigen sich beispielsweise Optionen für den Stand-by-Betrieb oder das Abschalten von Anlagenkomponenten in Abhängigkeit vom aktuellen Produktionsprogramm.

Die Inferenz auf Basis ontologischer Energiemodelle der Produktion bildet zudem die Basis für eine Verbrauchsprognose bei Veränderung von Prozessen. Dies ist eine wesentliche Voraussetzung um bei technologischen Veränderungen prüfen zu können, ob mittelfristig gesetzte Ziele der Energieeffizienzsteigerung gefährdet werden, zum Beispiel, wenn sich Materialstärken einer Karosserie und damit Parameter von Fügeprozessen ändern.

Produzierenden Unternehmen als den zukünftigen Nutzern bieten die Methoden und Werkzeuge von EnEffCo in mehrfacher Hinsicht eine Unterstützung durch Transparenz über

- Abhängigkeiten zwischen Energieverbrauchsprozessen,
- den Energieeinsatz pro Werkstück/Teilprodukt/ Produkt (Energieeffizienz),
- Optionen zur Energieeffizienzoptimierung,
- Folgen eines Eingriffs in Produktionsabläufe,
- Abweichungen von Zielvorgaben (Energieeffizienzcontrolling), z.B. bei plötzlichen Leckagen bei der Drucklufterzeugung, Verlusten bei der Klimatisierung o.ä..

Durch die Möglichkeit zur Analyse von Verbrauchsszenarien und gezielten Lastprognose lassen sich zudem Verbrauchsprofile einer wandlungsfähigen Produktion flexibler steuern. Der simulationsunterstützte Vergleich von Szenarien unterstützt die Identifikation komplexer Zusammenhänge und macht Optionen zur Prozessoptimierung transparent. Das Management von Szenarien schließt üblicherweise Produktionsanlauf, Normalbetrieb, und Störfälle ein. Ergänzend zur Identifikation von Optimierungspotentialen kann die szenarienorientierte Simulation auch zum Training der Prozessführung genutzt werden [3].

Die modellgestützte Lastprognose wird aufgrund des zunehmenden Anteils nicht deterministischer erneuerbarer Energie im Mix mit herkömmlicher Energieerzeugung eine wesentliche Voraussetzung für die Optimierung des Energieeinkaufs werden. Bild 2 zeigt das Referenzmodell für die Verbindung zwischen Expertenwissen, Messdaten und Energiemanagement in Produktionsplanung und Energieeinkauf.

Gewinnung energiebezogener Daten in der vernetzten Fabrik

Grundlage einer optimierten Steuerung und Regelung des Energieeinsatzes in der Produktion im Sinne eines Energieeffizienzcontrollings ist die prozessnahe Erfassung aufgewendeten Energie bezogen auf das Bauteil.

Hierzu bestehen im Wesentlichen zwei Optionen:

1. Direkte sensortechnische Erfassung des Energieumsatzes (u.a. elektrische Leistung, Wärmeleistung) am Bearbeitungsprozess. Voraussetzung hierfür sind entsprechende Sensoren, die jedoch in der Regel nicht zur Standardausstattung der Maschine gehören, sondern gezielt appliziert werden müssen. Zur Erfassung elektrischer Energie an Werkzeugmaschinen und Robotern lassen sich beispielsweise Strommesszangen auf der Basis von Hallsensoren einsetzen, mit denen die dreiphasigen Strangströme der Versorgung der Maschine oder auch eines einzelnen Antriebs erfasst werden können. Hieraus lässt sich auf die elektrische Leistung zurückschließen.

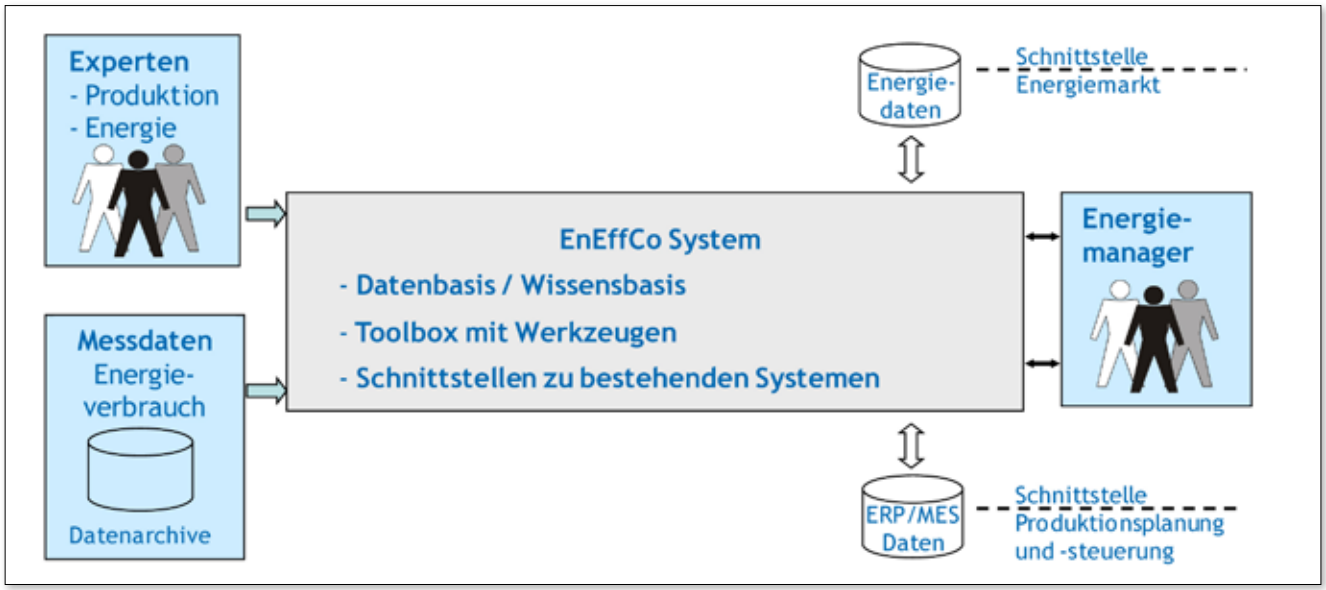


Bild 2: ENEFFCO-Referenzmodell

Der gerätetechnische Aufwand hängt unter anderem davon ab, ob lediglich temporäre Messungen erforderlich sind, um einzelne Analysen durchzuführen oder eine permanente Erfassung (z.B. Strom, Druckluft, Wärme) notwendig ist, auf deren Basis eine kontinuierliche Regelung von Prozessgrößen erfolgen kann. Zur temporären Erfassung werden in der Regel mobile Messstationen verwendet, während bei einer permanenten Messung eine dauerhaft installierte Messtechnik erforderlich ist, die beispielsweise über Feldbussysteme an Auswerte- und Steuerungsrechner angebunden wird.

2. Indirekte Erfassung energiebezogener Daten in der Maschinen- bzw. Anlagensteuerung und Zusammenführung auf einem zentralen Rechnersystem.

   Leistungsfähige Maschinensteuerungen verfügen häufig bereits über die Möglichkeit, Messgrößen der Regelkreise wie Lage, Drehzahl und Antriebsstrom aufzuzeichnen und zu verarbeiten. Über die Erfassung des momentenbildenden Stroms lässt sich auf die eingesetzte elektrische Leistung schließen. Der Vorteil einer steuerungsintegrieren Erfassung und Verarbeitung liegt in der Möglichkeit, eine Korrelation mit den in der Steuerung bekannten Prozessdaten und Technologieparametern herzustellen, wodurch eine Analyse deren Einflusses auf den Energieumsatz erleichtert wird. Dies wiederum ist die Basis einer energiebezogenen Optimierung des Prozesses.

   Aufgrund der begrenzten Ressourcen und spezifischen Systemumgebung der Steuerung wird die komplexe Datenanalyse in der Regel auf einem separaten Rechnersystem unter Verwendung entsprechender Softwarewerkzeuge durchgeführt. Zur Übertragung von Prozessdaten zwischen Steuerung, Sensoren und peripheren Rechnern hat sich OPC (*open connectivity via open standards*) [4] als Quasistandard etabliert. Er bietet die Möglichkeit, einzelne oder Gruppen von Daten zyklisch oder ereignisgesteuert auf der Basis definierter Softwarestrukturen und –schnittstellen zu übertragen. Die Bereitstellung der Daten erfolgt über einen OPC Server auf der Anlagensteuerung.

Eine maschinenbezogene prozessnahe Erfassung energiebezogener Daten, wie sie mit den vorangehend beschriebenen Optionen aufgrund der Vernetzungsstruktur der Fabrik ermöglicht wird, ist in der heutigen Praxis jedoch eher die Ausnahme. Der wesentliche Grund hierfür ist zum einen der Aufwand für die Installation prozessnaher Sensorik, zum anderen die Komplexität der Datenanalyse, die darauf aufsetzt. Daher beschränkt sich das rechnergestützte Energiemanagement häufig auf ein reines Aufzeichnen und Darstellen von Daten (Monitoring), die nur grobe Zusammenhänge wie beispielsweise den über einen kommunikationsfähigen Zähler erfassten elektrischen Energieverbrauch einer Werkseinheit berücksichtigen.
Mit der im Juli 2009 in Kraft getretene Norm DIN EN 16001 [2] werden EU-weit einheitliche Kriterien für ein Energiemanagementsystem aufgestellt. Für den Datenaustausch zwischen Produktionsanlagen und Energiemanagementsystemen existiert jedoch bisher kein Standard. Feldbussysteme wie zum Beispiel der Profibus bieten Profile, die die strukturierte Datenerfassung, beispielsweise analoger Messdaten, in definierten Zeitrastern unterstützten. Diese sind an spezifische Steuerungs- und Regelungsaufgaben und Eigenschaften von Anlagen, beispielsweise von Robotersystemen angepasst. Eine Erweiterung zur energiebezogenen Optimierung der Anlagensteuerung entstand im Jahr 2009 durch Einführung des PROFIenergy Standards [5] auf Basis einer gemeinsamen Konzeption und Entwicklung zwischen Unternehmen aus Automobilbau, Automatisierungs- und Antriebstechnik sowie Universitäten.

Modellierung auf Basis energiebezogener Daten

Die systematische Erfassung von Verbrauchsdaten ist die Basis für eine Modellierung energetischer Zusammenhänge zwischen Prozessen, Maschinen und Anlagen (energieorientierte Prozessmodelle). Die Modellierung wiederum bildet die Grundlage für die Datenanalyse und Simulation von Szenarien als Basis einer energiebezogenen Prozessoptimierung bei der Produktionsplanung durch Ermittlung und Bewertung von alternativen, im Sinne des Energie-Effizienzcontrolling optimierten Steuerungs- und Prozessführungsstrategien für Maschinen und Anlagen. Sie ist gleichzeitig die Basis für eine Lastprognose und damit ebenso wesentlich für die Entscheidungsunterstüt-

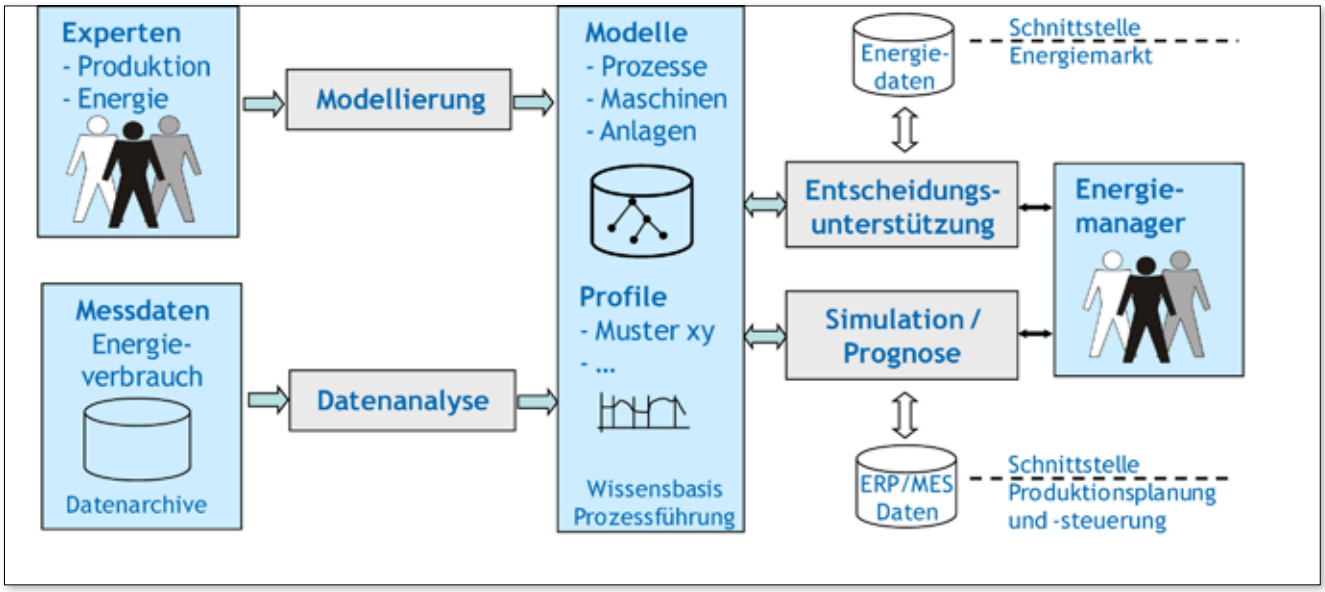


Bild 3: Modellierung und Analyse auf Basis energiebezogener Daten zur Entscheidungsunterstützung und Prognose

zung im Energieeinkauf. Bild 3 zeigt den Zusammenhang zwischen den beim Energieeffizienzcontrolling zusammenwirkenden Teilen.

Die hohe Komplexität der Abhängigkeiten zwischen den Systemteilen bildet die wesentliche Herausforderung für das Energieeffizienzcontrolling. Dies hat in der Vergangenheit dazu geführt, das Systemteile energetisch getrennt betrachtet und optimiert wurden, soweit maßgebliche Wechselwirkungen mit anderen Teilen ausgeschlossen werden konnten. Mit dieser Vorgehensweise ließen sich bereits deutliche Verbesserungen im Energieeinsatz erzielen. Viele der Unternehmen, die bereits frühzeitig Maßnahmen zur Verbesserung der Energieeffizienz ergriffen haben stehen jedoch heute an dem Punkt, an dem diese nur noch im komplexen Zusammenhang mehrerer beteiligter Systeme zu betrachten sind. An dieser Stelle werden Werkzeuge zur Beherrschung der Komplexität benötigt. Benötigt werden insbesondere eine hohe Transparenz über kausale Abhängigkeiten und die Möglichkeit des gezielten Schließens zwischen Prozessveränderungen und deren Wirkungen.

Ontologien sind eine Basis, auf der sich Wissen als Netzwerk von Informationen abbilden lässt. Durch die in den Ontologien verankerten Inferenz- und Integritätsregeln wird die Möglichkeit geschaffen, gezielt Schlussfolgerungen zu ziehen und deren Gültigkeit zu überprüfen. Sie stellen damit ein starkes informationstechnisches Werk-

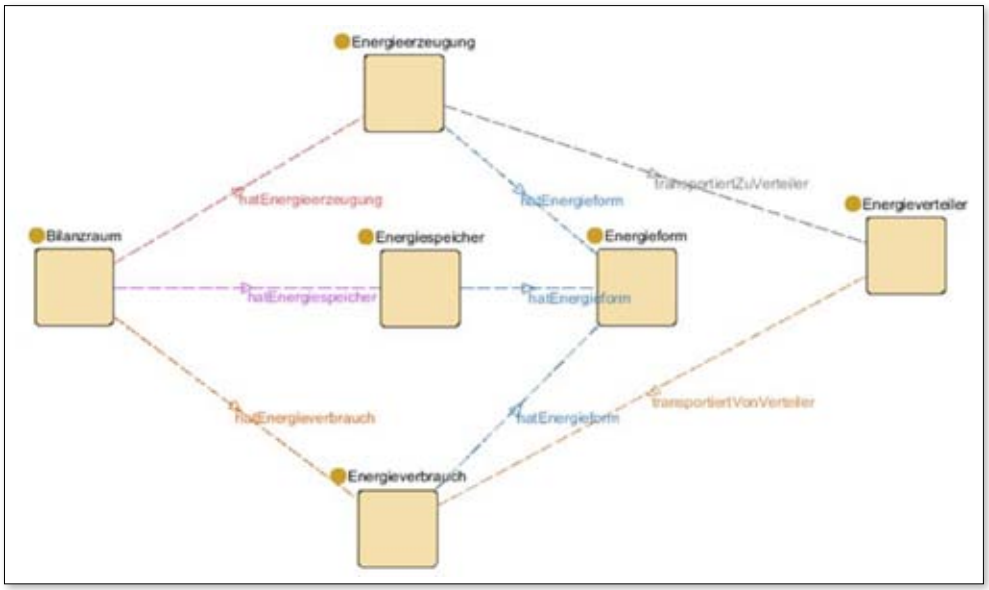


Bild 4: Ontologisches Grundmodell energiebezogener Zusammenhänge in der Produktion

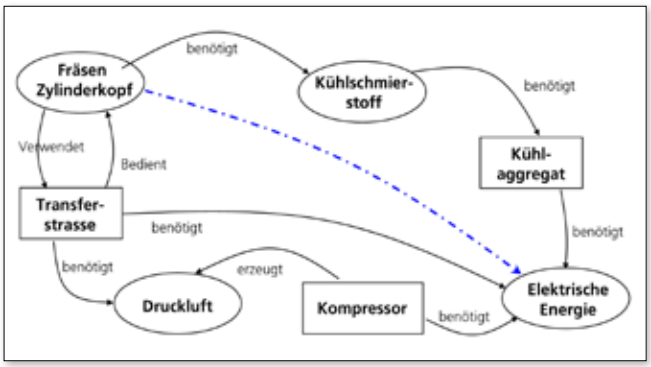


Bild 5: Ontologische Modellierung mit semantischen Informationen am Beispiel einer Transferstraße

zeug dar, um Wissen zu komplexen Produktionssystemen abzubilden [6]. Eine ontologische Systemmodellierung ist zudem ein leistungsfähiges Hilfsmittel, um die Wirkung einer Prozessveränderung in ihrer Konsequenz für die Energieeffizienz innerhalb eines komplexen Systems abschätzen zu können.

Bild 4 zeigt die eine allgemeine Darstellung energetischer Zusammenhänge, wie sie in der Produktion zwischen Energieerzeugung, -verteilung, - verbrauch, -speicherung und –bezug mit Hilfe eines Softwarewerkezeugs zur ontologischen Modellierung abgebildet werden können. Die einzelnen Teile lassen sich weiter untergliedern, so dass ein komplexes Netzwerk von Relationen zwischen Produktionsprozessen, Maschinen und Anlagen entsteht, in denen sich aufgrund der Mechanismen zur Inferenz gezielt Wirkzusammenhänge ermitteln lassen.
Durch die Möglichkeit, in dem ontologiebasierten Modellierungsansatz semantischer Informationen mit Begriffen wie beispielsweise »erzeugt« oder »benötigt« zu verknüpfen, werden Abhängigkeiten innerhalb und übergreifend über die Ebenen transparent. Ein Beispiel hierzu zeigt Bild 5.

Mit dieser Methodik lassen sich auf der Basis bereits vorhandener Informationen in der Fabrik wie beispielsweise Layoutplänen, Daten aus der Produktionsplanung und –logistik sowie Steuerungsabläufen energetische Prozessmodelle entwickeln.

Diese Modellierung ermöglicht unterschiedliche Detaillierungen in der Sicht auf die Fabrik, Hallen und Produktionsbereiche, Linien, Stationen, Maschinen, Komponenten, Fertigungsprozess und Produktionsschritt (Bild 6).

Die Identifikation von Einsparpotentialen durch Abschalten von Verbrauchern oder koordinierte Überführung in den Standby-Betrieb ist bereits auf der Basis verhältnismäßig einfacher Modellierung von Abhängigkeiten und aufsetzenden Inferenzmechanismen möglich. Neben der Optimierung des Energieeinsatzes ermöglicht die Inferenz auf Basis ontologischer Energiemodelle auch

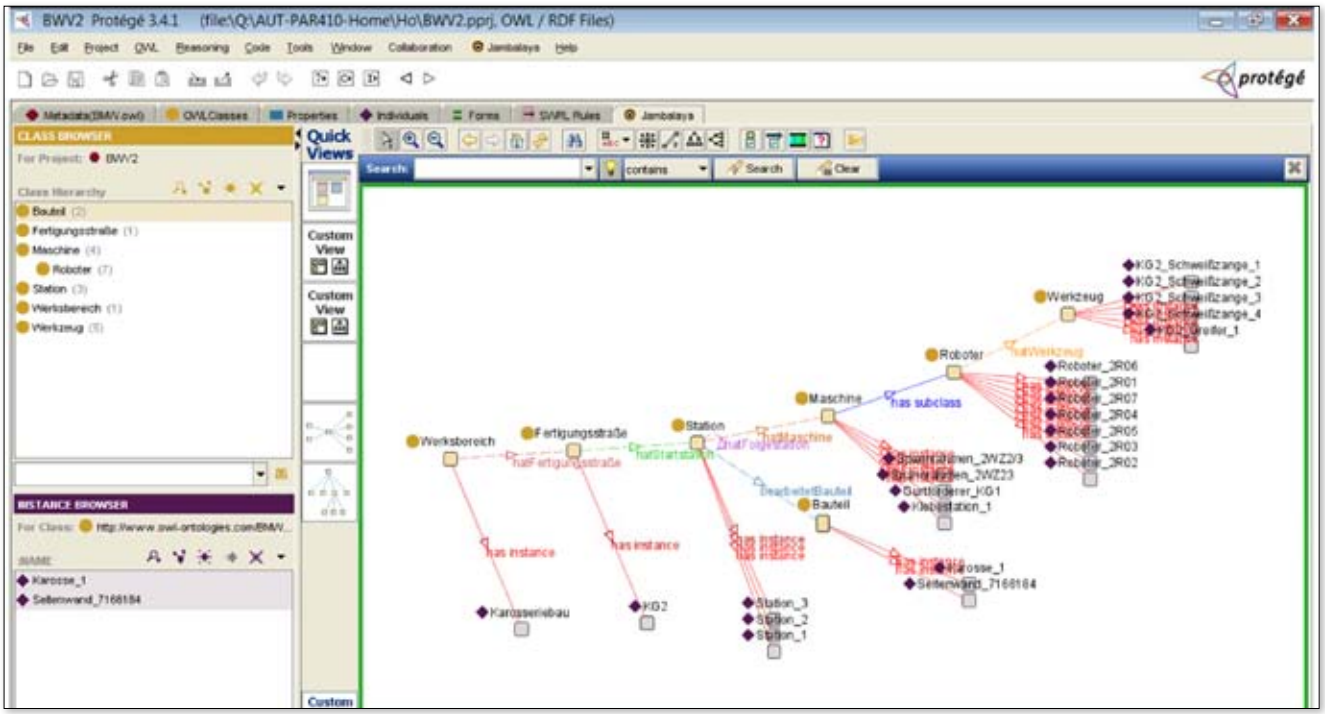


Bild 6: Semantische Prozess- und Anlagenmodellierung im Werksbereich – Instanzen bis zum Werkzeug

eine Verbrauchsprognose bei Prozessveränderungen. Dies ist eine wesentliche Voraussetzung um prüfen zu können, ob mittelfristig gesetzte Ziele der Energieeffizienzsteigerung gefährdet werden, zum Beispiel, wenn sich Materialstärken einer Karosserie und damit Parameter von Fügeprozessen ändern.

Produzierenden Unternehmen, also den zukünftigen Nutzern, bieten die Methoden und Werkzeuge von EnEffCo in mehrfacher Hinsicht Unterstützung durch Transparenz. Sie machen die Abhängigkeiten zwischen Energieverbrauchsprozessen sichtbar, ebenso wie den Energieeinsatz pro Werkstück/Teilprodukt/Produkt (Energieeffizienz), die Optionen zur Energieeffizienzoptimierung, die Folgen eines Eingriffs in Produktionsabläufe sowie Abweichungen von Zielvorgaben (Energieeffizienzcontrolling), zum Beispiel bei plötzlichen Leckagen bei der Drucklufterzeugung, Verlusten bei der Klimatisierung oder Ähnlichem.

Analyse energiebezogener Daten

Die Analyse energiebezogener Daten im Rahmen des Energieeffizienzcontrollings verfolgt die folgenden Ziele:

- Gewinnung von Kenngrößen zur Bewertung der Effizienz des Energieeinsatzes bezogen auf das Produkt,
- Identifikation von Zusammenhängen zwischen prozessbeeinflussenden Größen und Energieeinsatz (Systemidentifikation und Systemmodellierung des funktionalen Zusammenhangs des Energieeinsatzes als Funktion der Prozessparameter) und
- Erkennen von Anomalien im Prozessablauf, die einen erhöhten Energieeinsatz verursachen (Identifikation und Modellierung des energiebezogenen Einflusses von Störgrößen auf den Prozess ‚energetische Störübertragungsfunktion').

Das Erreichen dieser Teilziele führt letztendlich zu dem übergeordneten Ziel einer energieeffizienten Prozessführung.

Grundlegende Basis der Analyse ist die Ermittlung charakteristischer Verbrauchsprofile auf Basis von Messdaten. Für eine effiziente analytische Verarbeitung sollten diese Messdaten in einer Datenbank abgelegt werden.
Zur Durchführung der Analyse eignen sich Methoden des sogenannten Data Mining. Data Mining bezeichnet den Prozess des Entdeckens bedeutsamer neuer Zusammenhänge, Muster und Trends durch die Analyse großer Datensätze mittels Mustererkennung sowie statistischer und mathematischer Verfahren. Die Analyse energiebezogener Daten mit einem Data Mining basierten Lösungsansatz konzentriert sich im Wesentlichen auf folgende Aufgaben:

- Aufbereitung von aufgenommenen Zeitreihen,
- Gegenüberstellung verschiedener Messwerte und Gruppierung zusammenhängender Daten,
- Erkennung von Strukturen innerhalb von Prozessdaten,
- Abhängigkeitsanalyse von Prozessdaten zur Bestimmung der beeinflussenden Faktoren sowie
- Erstellung von Kennzahlen / Kennlinien für das Energieeffizienz-Controlling.

Aufgrund dieses für die energiebezogene Datenanalyse charakteristischen Lösungskonzepts wird dieser im Folgenden auch als *Energy Mining* bezeichnet.

Bild 7 zeigt anhand eines einfachen Beispiels den Zusammenhang zwischen Energieeinsatz und Produktionsausstoß über einen Zeitraum einer Woche. Deutlich zu erkennen ist im rechten Bildteil der linear wachsende Produktionsausstoß, der täglich von Null an neu gezählt wird. Korrelierend dazu ist im linken Bildteil der Energielastverlauf während der Produktion, aber auch die Zunahme des Energieeinsatzes während des Anfahrens der Produktion und die verhältnismäßig langsame Abnahme des Energieeinsatzes in Zeiten ohne Produktionsausstoß zu erkennen.

Auf der Basis eines *Energy Mining* lassen sich aus solchen Korrelationen oder durch komplexere mathematisch-statistische Verfahren sowohl Effizienzkennzahlen wie auch Maßnahmen zur verbesserten Prozessführung ableiten [7]. Erfahrungsgemäß liegen allerdings 70 bis 80% des Aufwandes hierzu bereits vorher in der Beschaffung relevanter Daten, die in sehr unterschiedlichen Quellen liegen können. In dem Beispiel von Bild 7 wurden das Lastprofil (links) aus Daten der Gebäudeleittechnik und die Stückzahlen (rechts) aus einem Betriebsdatenerfassungssystem (BDE) gewonnen. Das Konzept eines sogenannten *Data*

Warehouse zielt daher darauf ab, Datenbestände aus unterschiedlichen Quellen zusammenhängend zu erfassen und zu speichern. Dies vereinfacht auch bei dem Energieeffizienzcontrolling die komplexe Analyse erheblich.

Energieeffiziente Prozessführung

Das übergeordnete Ziel der Erfassung, Modellierung und Analyse energiebezogener Daten, wie sie in den vorangehenden Kapiteln beschrieben wurden ist eine Führung des Produktionsprozesses im Hinblick auf die Optimierung der Effizienzkennzahlen.

Dabei sind Ansätze, um dieses Ziel zu erreichen von sehr unterschiedlicher Komplexität. Ein Ansatz, dessen Wirkung sich verhältnismäßig leicht nachvollziehen und vorhersagen lässt, liegt in der systematischen Abschaltung von Anlagenteilen in Pausenzeiten. Wenngleich die Erklärung der Wirkung dieses Ansatzes verhältnismäßig einfach ist, so ist doch dessen Umsetzung keineswegs trivial, wenn Abschaltvorgänge ohne jegliche Einbuße in der Anlagenverfügbarkeit kontrolliert durchgeführt werden sollen.

Zur Entwicklung und Umsetzung eines entsprechenden Konzeptes haben sich verschiedene Unternehmen der AIDA Gruppe von Automobilherstellern gemeinsam mit Partnern aus Automatisierungs- und Steuerungstechnik zu einem Projektkonsortium *PROFIenergy* zusammengeschlossen. *PROFIenergy* ist ein seit Ende 2009 verfügbares Profil des PROFINET Kommunikationsprotokolls, das es erlaubt, den Energieverbrauch von Automatisierungsgeräten in der Produktion über ein PROFINET Netzwerk zu steuern [5]. Die Energieverbraucher beinhalten hierzu entsprechende Schaltmechanismen über die von außen gesteuert ein koordiniertes Anfahren oder Ausschalten von Anlagenteilen ermöglicht wird. Die hierzu entwickelten Mechanismen unterscheiden dabei kurze geplante Produktionsunterbrechungen von einigen Minuten von längeren geplanten Unterbrechungen bis zu Stunden und Tagen. Ergänzend hierzu sind Mechanismen für das Verhalten von Verbrauchern bei unvorhergesehenen Unterbrechungen vorgesehen.

Im Unterschied zum gezielten An- und Abschalten von Systemen zielt das Konzept von EnEffCo darauf ab, Potentiale zur Energieeinsparung über eine optimierte Prozessführung unter Berücksichtigung komplexer Wechselwirkungen zwischen den Produktionssystemen zu erschließen. Solche Potentiale ergeben sich insbesondere über die Betrachtung der zeitlichen Synchronisation von Produktionsschritten von Stationen und Linien. Bei der Steuerung komplexer Produktionssysteme wie beispielsweise Robotern wird bisher häufig eine zeitliche Optimierung angestrebt. Das heißt, die dynamischen Fähigkeiten kinematischer Systeme werden vielfach unter Berücksichtigung von Genauigkeitsanforderungen und Verschleißverhalten weitgehend ausgeschöpft mit dem Ergebnis eines minimierten Zeittaktes. Dadurch entstehen zeitliche Reserven in der Abfolge von Prozessschritten auf Kosten eines entsprechenden Energieeinsatzes für Beschleunigungs- und Bremsvorgänge. Die Optimierung des Energieeinsatzes im Sinne eines Effizienzcontrollings zielt darauf ab, durch eine angepasste Synchronisation

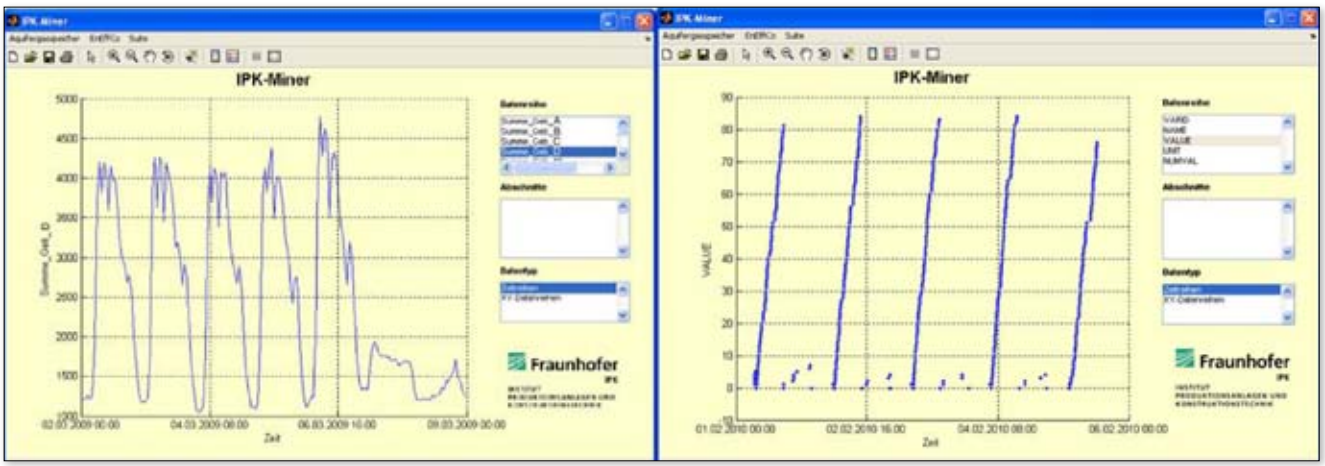


Bild 7: Links: Lastprofil einer Werkshalle (Wochenprofil); rechts: Stückzahlen (Wochenprofil)

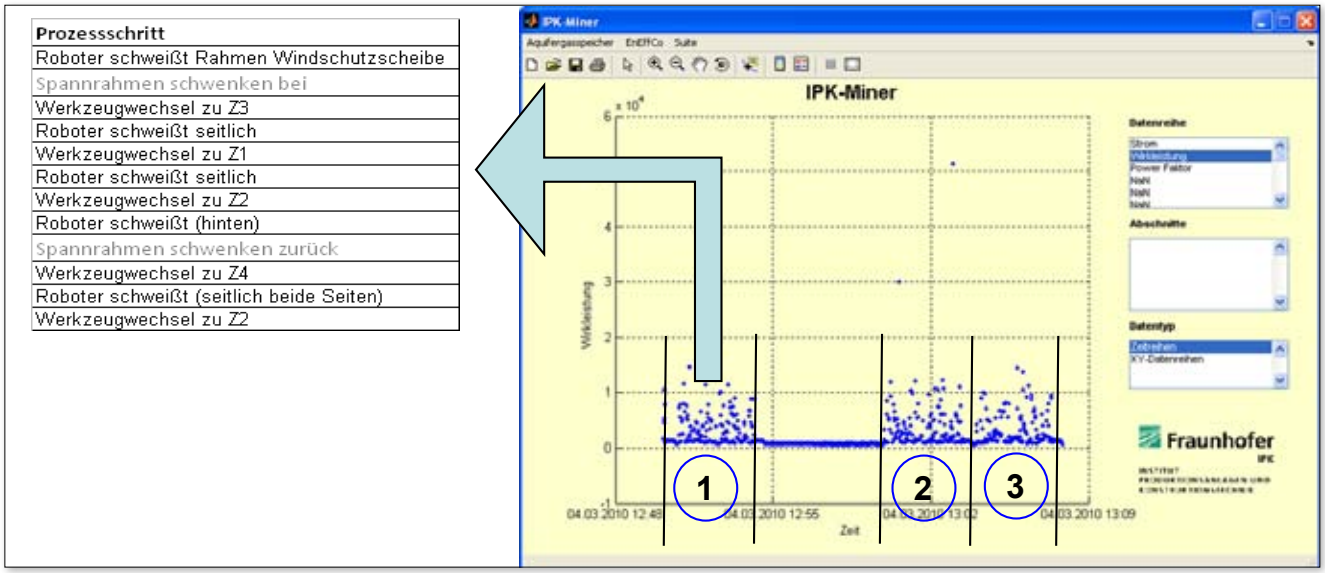


Bild 8: Links: Lastprofil eines Roboters mit Bezug zu Prozessschritten

von Prozessschritten zwischen Stationen und Produktionslinien Taktzeit und Energieeinsatz abgestimmt aufeinander, also übergreifend zu optimieren. Dies geschieht beispielsweise dadurch, dass durch eine angepasste Synchronisation von Prozessschritten Lastspitzen gezielt vermieden werden, also im Fall einer Robotersteuerung Beschleunigungsvorgänge soweit beschränkt werden, dass eine fließende Synchronisation mit dem Prozess ohne Pausenzeiten sichergestellt wird.

Voraussetzung für diese Methodik ist zunächst die Erfassung von Verbrauchsprofilen für Stationen und damit zusammenhängend die Analyse und Modellierung der Abhängigkeiten zwischen aktuellem Produkt, Steuerungsprogramm und Energieverbraucher. Bild 8 zeigt das Lastprofil eines Roboters über einen Zeitraum 20 Minuten im Zusammenhang mit Prozessschritten. Potentiale zur effizienten Verzahnung der Prozessschritte lassen sich häufig bereits aus einer geeigneten Darstellung der Zusammenhänge zwischen Energieverbrauch und Prozess ableiten. Die Zuordnung zwischen Messdaten und Prozessschritten ist in der Regel bereits eine nicht triviale Aufgabe des *Energy Mining*. Die Arbeiten des Fraunhofer IPK in der Entwicklung von Werkzeugen des *Energy Mining* integrieren jedoch auch mathematische Analyseverfahren, über die komplexere Abhängigkeiten aufgezeigt werden.

So zeigen sich beispielsweise Optionen für die optimierte Steuerung von Robotern im Karosseriebau, bei denen Positionierbewegungen, die bisher aus schneller Verfahrbewegung mit anschließendem Verharren in einer Zielposition überführt werden in gleichmäßigere und damit energieeffizientere Bewegungszyklen.

Zusammenfassung und Ausblick

Durch die Möglichkeit zur Analyse von Verbrauchszenarien und gezielten Lastprognosen lassen sich Verbrauchsprofile einer wandlungsfähigen Produktion flexibler steuern. Dies wird aufgrund des zunehmenden Anteils nicht-deterministischer erneuerbarer Energie im Mix mit herkömmlicher Energieerzeugung eine wesentliche Voraussetzung für die Optimierung des Energieeinkaufs werden.

Den EnEffCo-Anwendungspartnern aus Automobilproduktion und Zulieferindustrie stehen diese Vorteile in der Kooperation mit den Forschungspartnern bereits in frühen Entwicklungsphasen zur Verfügung. Methoden, Wissen und Werkzeuge können dementsprechend schneller in konkrete Energie- und Kosteneinsparungen umgesetzt und zum kontinuierlichen Controlling der Zielvorgaben genutzt werden. Damit können sich die Unternehmen entsprechend frühzeitig auf die Veränderungen des Energiemarktes einstellen.

Zukünftige Arbeiten des Fraunhofer IPK konzentrieren sich insbesondere darauf, den Prozess der Analyse energiebezogener Daten ausgehend von der heute

überwiegend erfahrungsbasierten Vorgehensweise in einen höher automatisierten Ablauf zu überführen. Ein wesentliches Ziel für die Zukunft liegt in der Bereitstellung von Werkzeugen zur automatisierten modellgestützten Prognose von Lastprofilen unter Berücksichtigung unterschiedlicher Modelltypen und Daten (z.B. Schichtpläne, Witterungsbedingungen).

Hinweis auf Förderung

Das Projekt EnEffCo ordnet sich in das 5. Energieforschungsprogramm der Bundesregierung zur Steigerung der Energieeffizienz in der Produktion ein und wird gefördert vom Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages.

Literatur

[1] Uhlmann, E. and Krüger, J. (2007). Schlüsseltechnologien für eine nachhaltige Produktion. *Tagungsband zum XII. Internationalen Produktionstechnischen Kolloquium*, 329-346.

[2] DIN EN 16001:2009-08: Energiemanagementsysteme - Anforderungen mit Anleitung zur Anwendung. Deutsche Fassung EN 16001:2009, Beuth-Verlag.

[3] Schreck, G., Sabov, A. and Krüger, J. (2008). Szenariomanagement für internetbasierte Trainingsdienste. *AUTOMATION 2008 - Lösungen für die Zukunft - Der Automatisierungskongress in Deutschland inkl. CD-ROM*, 369 - 372.

[4] www.opcfoundation.org

[5] PI White Paper: The PROFIenergy profile. Increasing the Energy Efficiency of Automation Systems using Smart Energy Management over PROFINET. PROFIBUS Nutzerorganisation e.V., 03/2010.

[6] Sabov, A.; Krüger, J.; 2008. Ontologiebasierte Methoden und Werkzeuge zur Modellierung von Produktionsanlagen. VDI-Fortschrittberichte Reihe 2/ Band 671, 101 – 113.

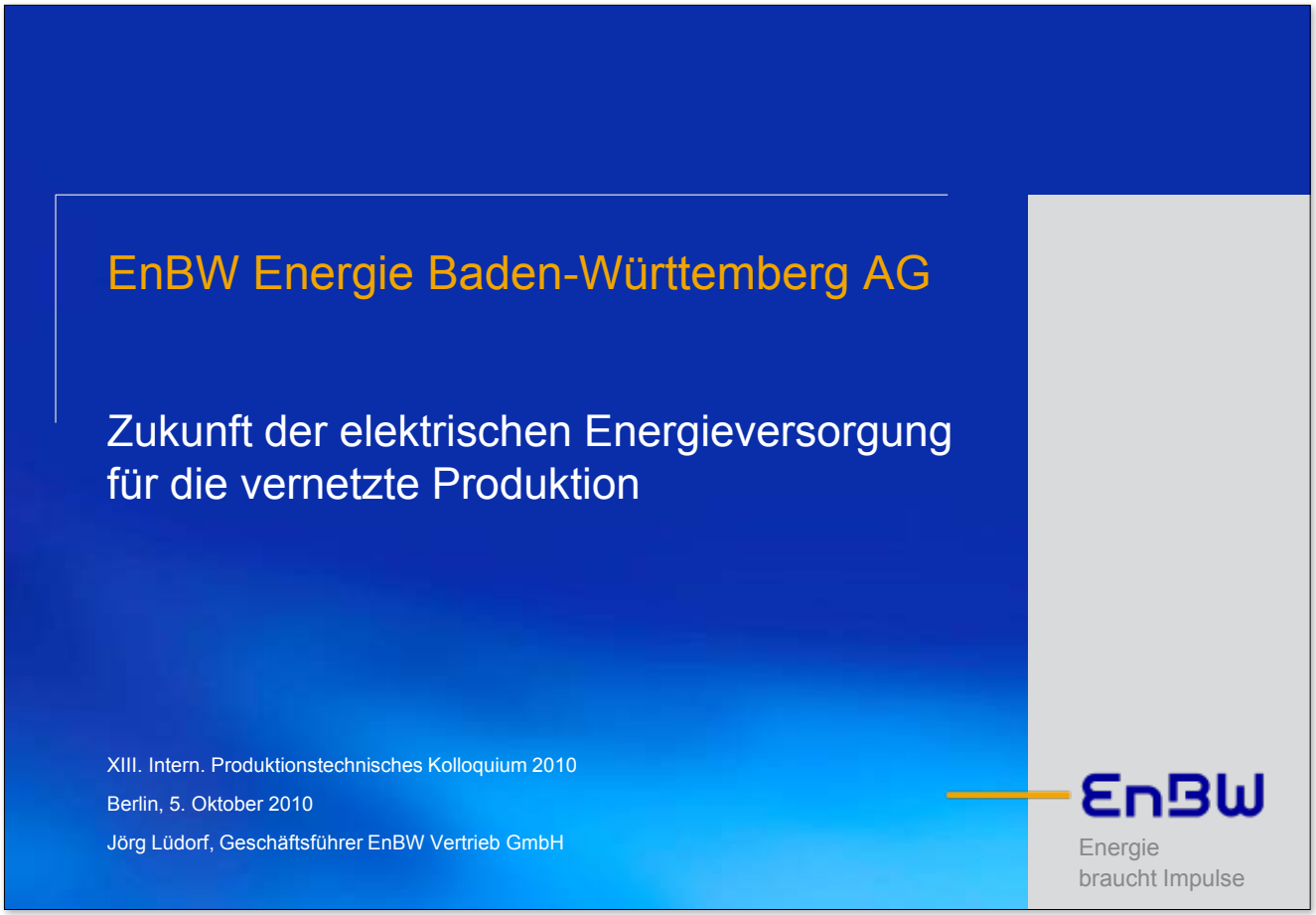
[7] abov, A.; Schreck, G.: Extraction of Characteristic Curves for Supervisory Control of Industrial Processes Using a Data Mining Suite. 10th Industrial Conference on Data Mining ICDM 2010, Berlin, Germany, July 12 - 14, 2010.

Jörg Lüdorf
Geschäftsführer B2B Vertrieb, EnBw Vertriebs- und Servicegesellschaft mbH

Zukunft der elektrischen Energieversorgung für die vernetzte Produktion

Abstract | Der Ausbau der erneuerbaren Energien und die flächendeckende Einführung der Elektromobilität stellen die Energiewirtschaft, so auch die EnBW Energie Baden-Württemberg AG, vor große Herausforderungen. Ein möglicher Lösungsansatz liegt in einer intelligenten Verknüpfung von Erzeugung und Nachfrage. Verschiedene Forschungsvorhaben, wie beispielsweise das Modellprojekt »MeRegio« (Minimum Emission Regions) untersuchen bereits entsprechende Fragestellungen, um praktikable Lösungen zu finden. Dabei müssen nicht nur technische und wirtschaftliche Probleme gelöst, sondern auch Fragen der Akzeptanz und des politischen Willens beantwortet werden. Nur durch die Einbeziehung aller Akteure am Strommarkt, vom Erzeuger bis zum Verbraucher, können wirkungsvolle Konzepte für die anspruchvollen Aufgaben der zukünftigen Stromversorgung entwickelt werden. Ein wichtiger Bestandteil ist dabei die Entwicklung von innovativen Smart-Grid-Ansätzen für Gewerbe- und Industriekunden. Um eine Abschätzung von möglichen Verschiebepotentialen treffen zu können, ist eine genaue Kenntnis aller spezifischen Produktions- und Fertigungsanlagen sowie die dazugehörigen Prozessabläufe notwendig.

Keywords | *Paradigmenwechsel in der Energieversorgung, Smart Grids / intelligente Netze, Erneuerbare Energien, MeRegio, Strom*



Inhalt des Vortrags



Fotograf: Matthias Ibeler

- Der Paradigmenwechsel in der Energiewirtschaft
- Die Vision des Energiemarktes der Zukunft
- MeRegio - Minimum Emission Regions – innovative Smart Grid-Ansätze für die Industrie

2

Paradigmenwechsel in der Energiewirtschaft: Neue Megatrends und Wertewandel verändern nachhaltig die Energielandschaft

Klimadiskussion, Rohstoffverfügbarkeit, Änderungen des politischen und regulatorischen Umfeldes sowie technische Entwicklungen beeinflussen die zukünftige Energieversorgung

Werte-wandel

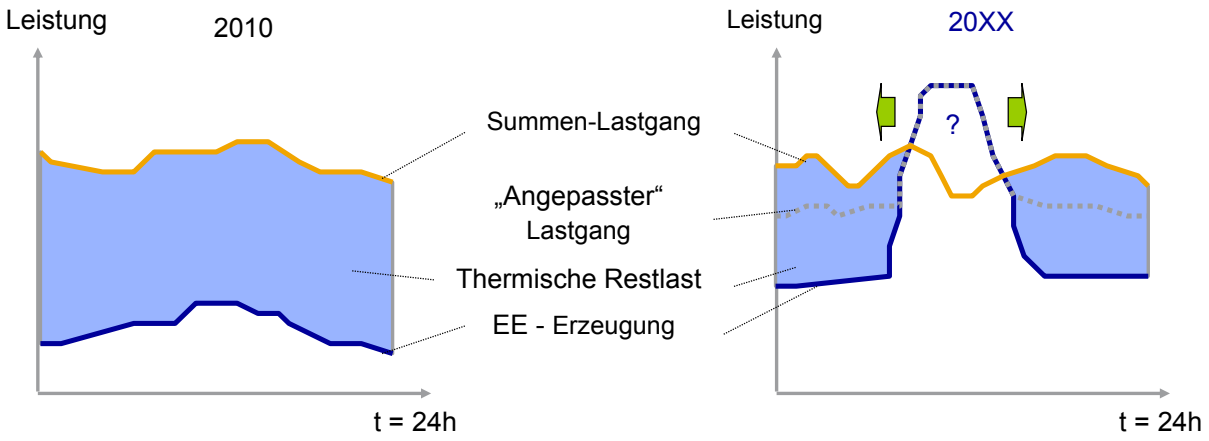
MEGATRENDS:

- Verändertes Verbrauchsverhalten des Endkunden
- Ausbau fluktuierender erneuerbarer Energien (Wind, Fotovoltaik-Anlagen)
- Zusätzlich installierte Leistungen (z. B. BHKW, E-Mobilität)
- Autarkieansätze (z.B. Fotovoltaik-Dachsysteme) sowie die Verringerung des spezifischen Energieverbrauchs (Energieeffizienz, Passivhäuser) bei Haushalten
- Aktive Steuerung der Stromnetze („Smart Grid“)

Energieversorger entwickeln sich vom Stromlieferanten zum Energiedienst-leister und -partner für den Kunden

3

Paradigmenwechsel in der Energiewirtschaft: So verändert sich die Laststruktur und Erzeugung



- Heute: Die Nachfrage (Summen-Lastgang) ist stets größer als die EE-Erzeugung.
- 20XX: Was geschieht zu den Zeiten, wenn die EE-Einspeisung größer ist als die Nachfrage?

4

Paradigmenwechsel in der Energiewirtschaft: Intelligente Verknüpfung von Erzeugung und Nachfrage wird notwendig

VERSORGUNGSPRINZIPIEN (aktuell)

Erzeugung folgt → **Nachfrage**

Beispiel: Westeuropa

- Nachfrage in Deutschland ist fast autonom. Kunden können frei entscheiden, wann wie viel Strom verbraucht werden soll.
- Deckung der Nachfrage vornehmlich aus thermischem Kraftwerkspark

Erzeugung → **Verbrauch**

- Lösung kann nur über eine intelligente vernetzte Regelung der Nachfrage erfolgen
  → technologische Basis für die EnBW ist der intelligente Stromzähler mit seiner bidirektionalen Kommunikationseinrichtung
- Alternative Lösungsansätze ohne Lastverlagerung führen unweigerlich zu einem extrem ineffizienten Ausbau der Netze, der Erzeugung oder zu Versorgungsunsicherheiten

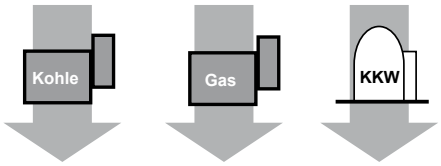
5

Paradigmenwechsel in der Energieerzeugung: Der europäische Energiemarkt wird sich zukünftig grundlegend ändern

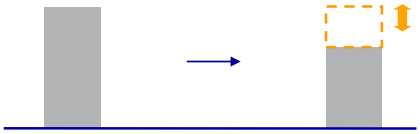
EnBW

heute

- Regeln mit wenigen großen Kraftwerken
- Keine Beeinflussung der Höhe des Energieverbrauchs



Leistungsregelung ausschließlich durch zentrale Erzeugung

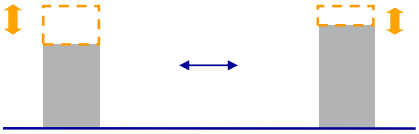


morgen

- Regeln mit vielen Kraftwerken
- Einbau von Speichern
- Mobilisieren der Elastizität im Stromverbrauch



Leistungsausgleich durch Tarifanreize für alle Teilnehmer

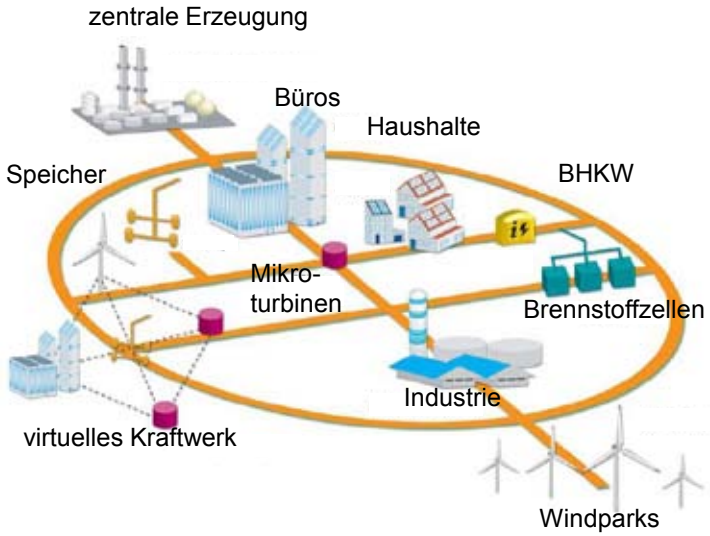


6

Quelle: angelehnt an Dr. Franz Hein, EDNA Initiative

Die Vision des Energiemarkts der Zukunft: Das „intelligente Netz“ - Smart Grid- als Drehscheibe für Energie-Transaktionen

EnBW



Der Begriff des intelligentes Netz umfasst die Vernetzung und Steuerung von

- **dezentralen Erzeugern und Speichern,**
- **Verbrauchern**
- **Netzbetriebsmitteln**

mit Hilfe von Informations- und Kommunikationstechnologien (IKT)

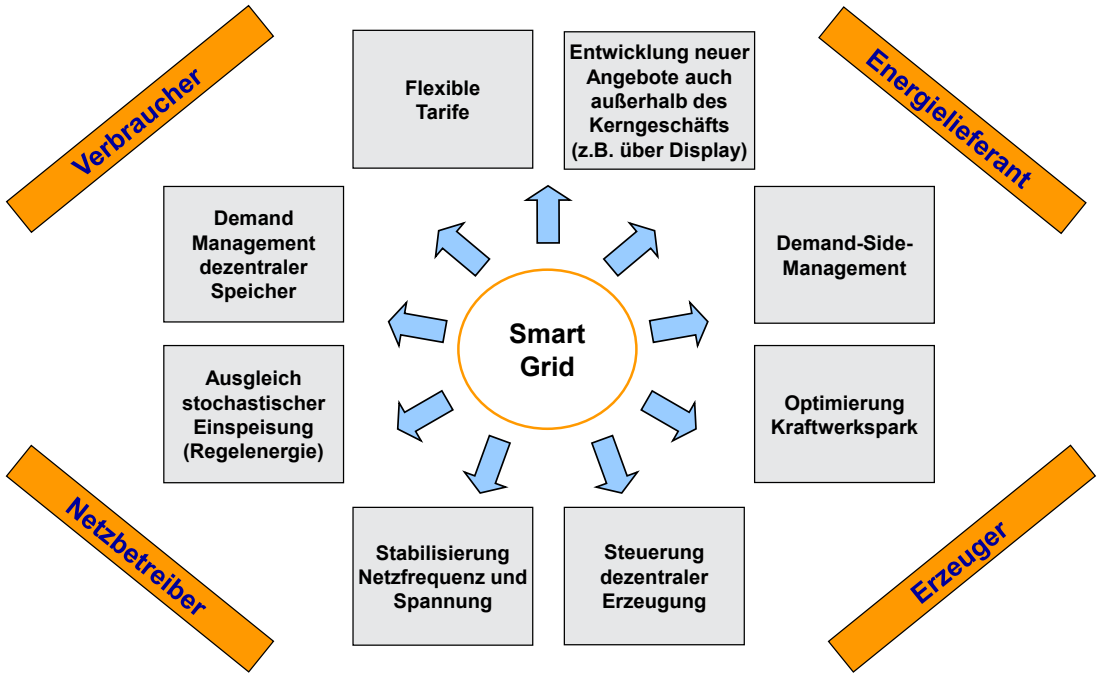
Volkswirtschaftliche Ziele, die die Entwicklung von intelligenten Netzen treiben, sind

- **Ökologisch verträgliche Energieerzeugung**
- **Schonung fossiler Primärenergieträger**
- **Nutzung des Netzes für neue Geschäftsmodelle**
- **Aufrechterhaltung/ Verbesserung der Versorgungsqualität bei erhöhtem Grad an dezentraler Einspeisung**

7

Die Vision des Energiemarkts der Zukunft: Kern ist die Vernetzung von lokalem Verbrauch und dezentralen Erzeugern im Smart Grid

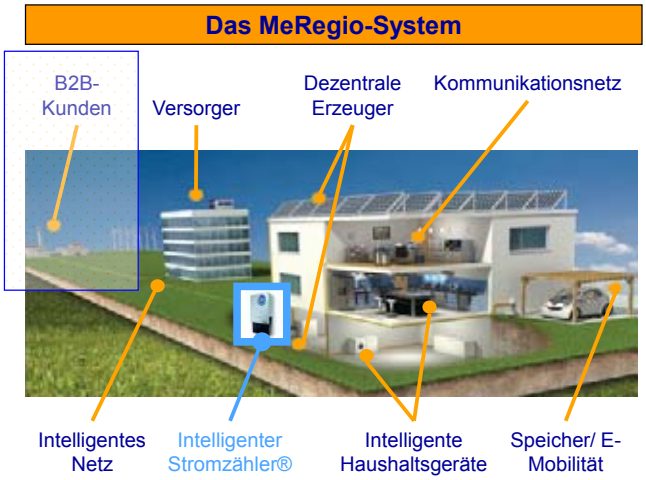
EnBW



8

MeRegio - ein Projekt des Förderprogrammes E-Energy

EnBW



- Das Projekt baut auf dem EnBW Intelligenten Stromzähler auf, der bereits heute Echtzeit Transparenz ermöglicht
- Bei MeRegio werden dezentrale Erzeugung, Speicherung und Verbrauch elektrischer Energie über moderne Informations- und Kommunikationstechnologien (IKT) **CO2-optimal** zusammengeführt
- Davon ausgehend wird bei MeRegio zusammen mit den Konsortialpartnern die intelligente Vernetzung aller Akteure über einen Handelsplatz entwickelt

9

MeRegio - Minimum Emission Regions: Entwicklung flexibler Stromprodukte mit Lastmanagement für Gewerbe- und Industriekunden

EnBW

Fokus für MeRegio

Mittelständische Gewerbekunden, Industriebetriebe bis

max. 5 – 10 GWh/a

bis 1,5 Mio Euro Stromkosten im Jahr

Zukünftig

- **Detaillierte Verbrauchsmessung**
- **Echtzeitvisualisierung**
- **Lastmanagement**
- **Steuerung von Speicherkapazitäten**
- **Tarif, der einen Anreiz zu Energieeinsparung oder Steuerung des Energieverbrauchs setzt**
- **Vernetzung über Internet-Plattform**

10

MeRegio - Minimum Emission Regions: Systematische Vorgehensweise

EnBW

Transparenz

- Sensibilisierung für tagesaktuellen Verlauf des Gesamtverbrauchs in kleineren, mittelständischen Betrieben durch real-time Visualisierung
- Erkenntnisgewinn über Verbrauchsverläufe auf Ebene der Einzelanlagen dank Messung und damit über die Steuerfähigkeit von Lasten

Effizienz

- Aufdecken von Einsparpotenzialen bei verbrauchsintensiven Anlagen
- Beratung zur Optimierung des gesamten Energieeinsatzes unter Berücksichtigung speicherfähiger Anlagen

Intelligenz

- Integration des Betriebs ins MeRegio Smart Grid über dynamische Steuersignale, um Verbrauch optimal auf Dargebot an erneuerbaren Energien abzustimmen
- Teilnahme am Energiemarkt über Vergabe von Nutzungsrechten für Steuerung großer flexibler Verbrauchs-/ Erzeugungsanlagen

11

MeRegio - Minimum Emission Regions: Ein Projekt in vier Entwicklungsphasen

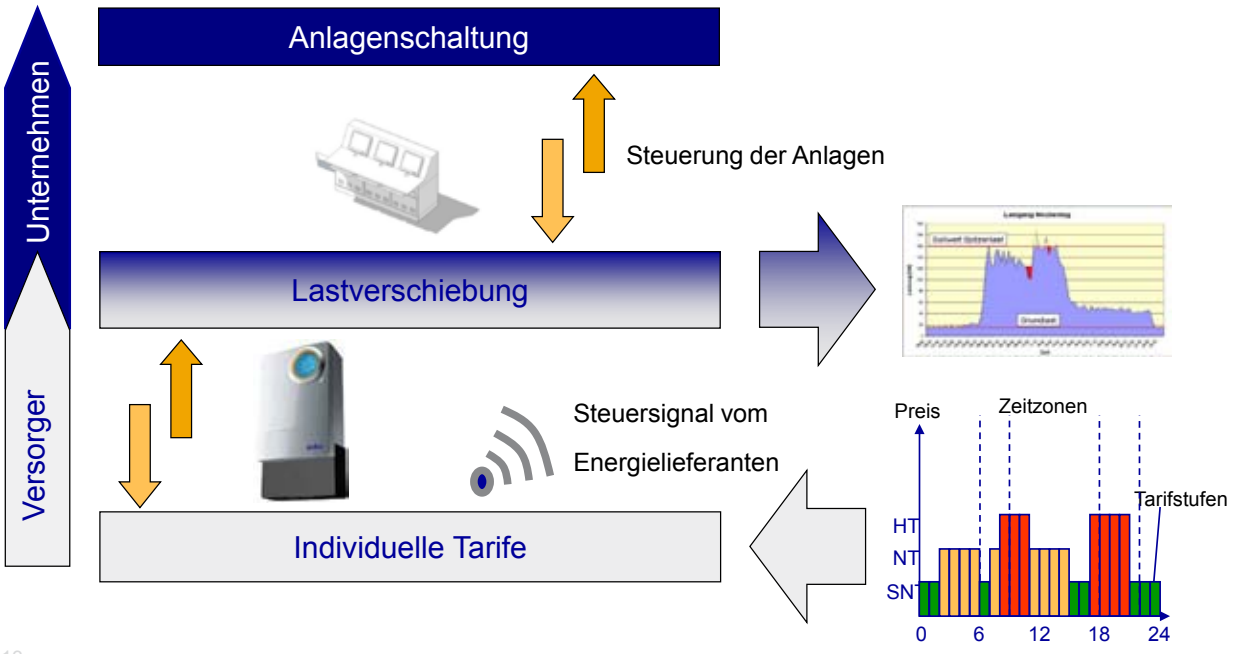
EnBW

Phase 1 bis Ende 2010	Phase 2 bis Ende 2010	Phase 3 2. HJ 2011	Phase 4 Q2 2011 bis Q1 2012
Messen –Transparenz -Effizienz	**Auswerten - Transparenz**	**Regeln/Speichern - Intelligenz**	**Marktplatz - Intelligenz**
› Besseres Verständnis der Anlagentechnik › Energieeffizienzberatung und Identifikation steuerbarer/ speicherfähiger Verbraucher › Einzelmessung von Anlagen	› Auswertung der Messergebnisse › Festlegung der Kriterien für Aufbau der Steuerung der Anlagen (abschaltbar, speicherfähig) › Aufsatz eines passenden Tarifmodells	› Beginn des Aufbaus der Steuerungs-Infrastruktur und Test der Speicherfähigkeit der Anlagen der B2B-Kunden › Aufbau Anbindung an Marktplatz für die Phase 4 › Konzeption von individualisierten Angebote für B2B-Kunden	› Teilnahme am Energiehandel › Aggregatoren handeln für eine Zielgruppe von Kunden (z. B. Bündelung schaltbarer Lasten, kooperatives Lastmanagement)

12

MeRegio - Minimum Emission Regions: Funktionsweise der Anlagenschaltung mittels Steuersignal und Zuständigkeiten

EnBW



13

MeRegio - Minimum Emission Regions: Geeignete Produktionszweige für unterbrechbare Lasten

EnBW

Industrie/ Produktionsbetriebe mit

- Steuerbaren, unterbrechbaren Prozessen/ Anlagen
  - Lüftungsanlagen
  - Entsorgungsprozesse
- Thermische Speicher/ Prozesse
  - Wärme-/ Kältespeicher
  - Kühlungen/ Kühlhäuser
  - Wärmebehandlungen
- Sonstige speicherfähige Anlagen:
  - Speicherfähige Druckluftanlagen
  - Rohstoffspeicher
    - Zementfertigung
    - Steinbrüche
  - Fertigungsspeicher
    - Chemische Verfahren (Hydrolyse)



Quelle: Webseite: eTelligence

14

MeRegio - Minimum Emission Regions: Besonders geeignete Prozesse für unterbrechbare Lasten

EnBW

Prozessart	Beschreibung	Lastverschiebungspotenzial
„Just in Time“ Prozesse	Müssen unmittelbar nach Anlieferung eines Roh-/Betriebsstoffs anlaufen und dürfen keine Minute verzögert werden	Niedrig
Routineprozesse Stündlich Halbtäglich Täglich Wöchentlich Monatlich	Finden regelmäßig wiederkehrend in gleichem Zeitfenster statt, bieten aber in diesen Grenzen Möglichkeiten der zeitlichen Verschiebung	
Unregelmäßige Prozesse	Finden erst statt, wenn genügend zu bearbeitendes Material vorhanden ist (z.B. Nachbereitungsprozesse wie Schreddern etc.), können jeweils um Stunden, evtl. sogar halbe Tage, noch hinausgezögert werden	Hoch

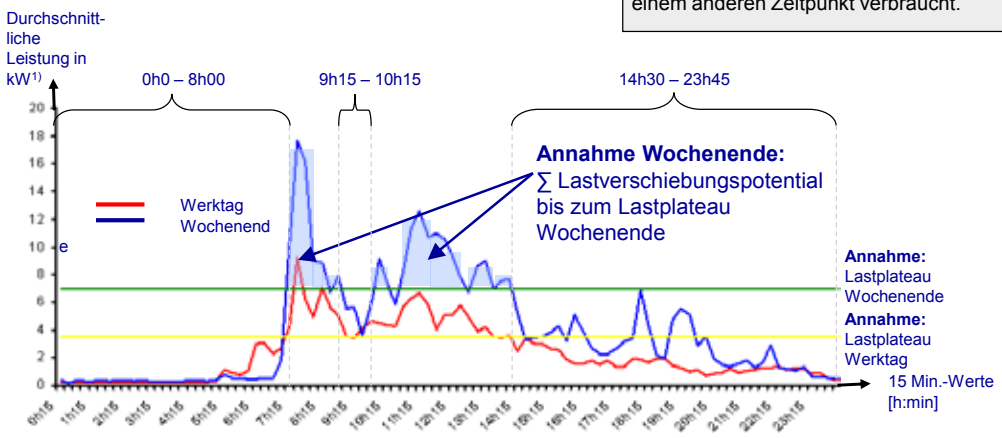
15

MeRegio - Minimum Emission Regions: Lastverschiebung an einem Beispiel

EnBW

Beispiel für einen Lastgang am Wochenende

Anhand von originalen Lastkurven im Unternehmen kann der Verbrauch detailliert betrachtet werden. Dabei sind deutlich die Lastspitzen zu erkennen. Diese Lastspitzen versucht man so zu steuern, dass sie in einem Zeitraum liegen, in dem viel EE-Strom vorhanden ist. D.h. die Last wird verschoben, also zu einem anderen Zeitpunkt verbraucht.



1) Durchschnittliche Leistungswert je Viertelstunde über gesamten Messzeitraum
Quelle: Daten aus Power Submeter für gesamten Messzeitraum: 05.04.-07.05.2010

16

Allgemeines Fazit:

EnBW

- Der Ausbau der erneuerbaren Energien und die flächendeckende Einführung der Elektromobilität stellen die Energiewirtschaft vor große Herausforderungen.
- Ein möglicher Lösungsansatz liegt in einer intelligenten Verknüpfung von Erzeugung und Nachfrage.
- Verschiedene Forschungsvorhaben, wie beispielsweise das Modellprojekt „MeRegio“ untersuchen, bereits entsprechende Lösungsansätze.
- Nur durch die Einbeziehung aller Akteure am Strommarkt können wirkungsvolle Konzepte für die anspruchvollen Aufgaben der zukünftigen Stromversorgung entwickelt werden.
- Ein wichtiger Bestandteil ist dabei die Entwicklung von innovativen Smart Grid-Ansätzen für Gewerbe- und Industriekunden.
- Um eine Abschätzung von möglichen Verschiebepotentialen treffen zu können, ist eine genaue Kenntnis aller spezifischen Produktions- und Fertigungsanlagen sowie die dazugehörigen Prozessabläufe notwendig.

17

Seminar II

Technologieorientierte Fabrikgestaltung

Gerhard Edinger
Leiter Fertigung, Converteam GmbH

Kundenorientierte Investitionsgüterfabrik mit Fließfertigung



Converteam auf einen Blick

- Converteam ist ein Engineering-Unternehmen für elektrotechnische Lösungen zur Energieerzeugung, -übertragung und Umsetzung in Produktionsprozesse



Energieerzeugung





Energieverteilung

Stromrichtersysteme

Converteam



Marine



Öl & Gas



Energie



Industrie

Umfassendes Leistungsangebot

Metall



Krane



Papier



Bergbau



Energie



Öl und Gas



Prüfstände und Infrastruktur-projekte



Marine



- Beratung, Planung, Ausführung
- Design-/Konstruktionsstudien
- Projektmanagement
- Entwicklung und Engineering
- Produktion & Funktionsprüfung
- Integrierter Systemtest
- Kundenschulung
- Montage und Inbetriebnahme
- Wartung und Service

Produkte der Fabrik Berlin



MV7000



ProWind



ProTX



Start-up converter



ProCrane

Unternehmensgeschichte

Jahr	Firma	
1883	AEG	Firmengründung
1995	CEGELEC	CEGELEC AEG AAS GmbH
1998-2005	ALSTOM	ALSTOM Anlagen und Antriebssysteme GmbH ALSTOM Power Conversion GmbH
2006	CONVERTEAM	Converteam GmbH

Berlin – Marienfelde Fabrik

Berlin – Marienfelde



- Marktorientierte Unternehmensorganisation
- Projektmanagement, Engineering und Automatisierung
- Moderne LEAN – Fertigung mit leistungsstarken Produktions- und Systemprüffeldern

- Anzahl Fertigungsmitarbeiter : 305 (Sept 2010)
- Fertigungsfläche : 24.000 m²

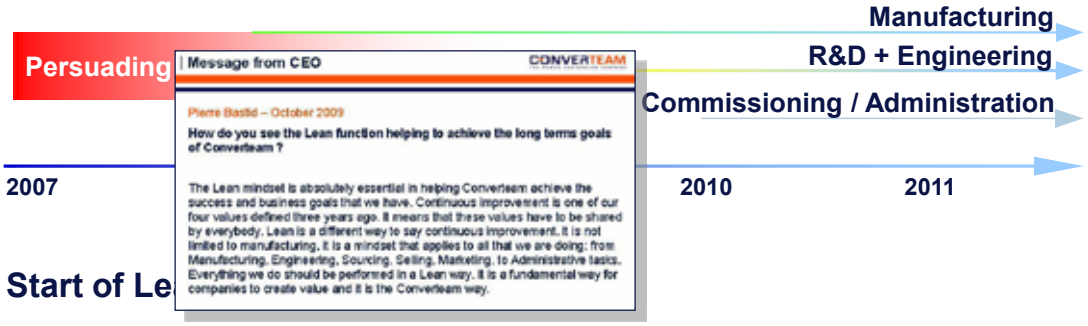
Region Zentral- & Osteuropa, Russland

Kennzahlen

Converteam GmbH	Geschäftsjahr 2009
Umsatz:	259 Mio. Euro
Auftragsbestand:	280 Mio. Euro
Mitarbeiter:	850

LEAN Journey

CONVERTEAM
THE POWER CONVERSION COMPANY



Start of Le

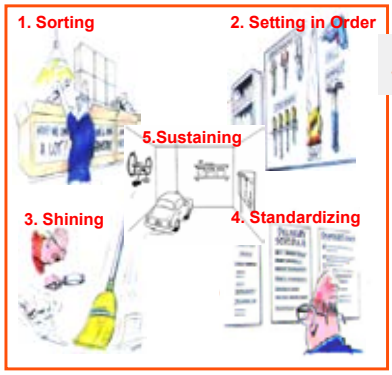
2008: Manufacturing

2009: R&D + Engineering

2010: Tendering / Commissioning / Administration

LEAN Anfänge in der Fertigung

CONVERTEAM
THE POWER CONVERSION COMPANY



5 S



Before – After



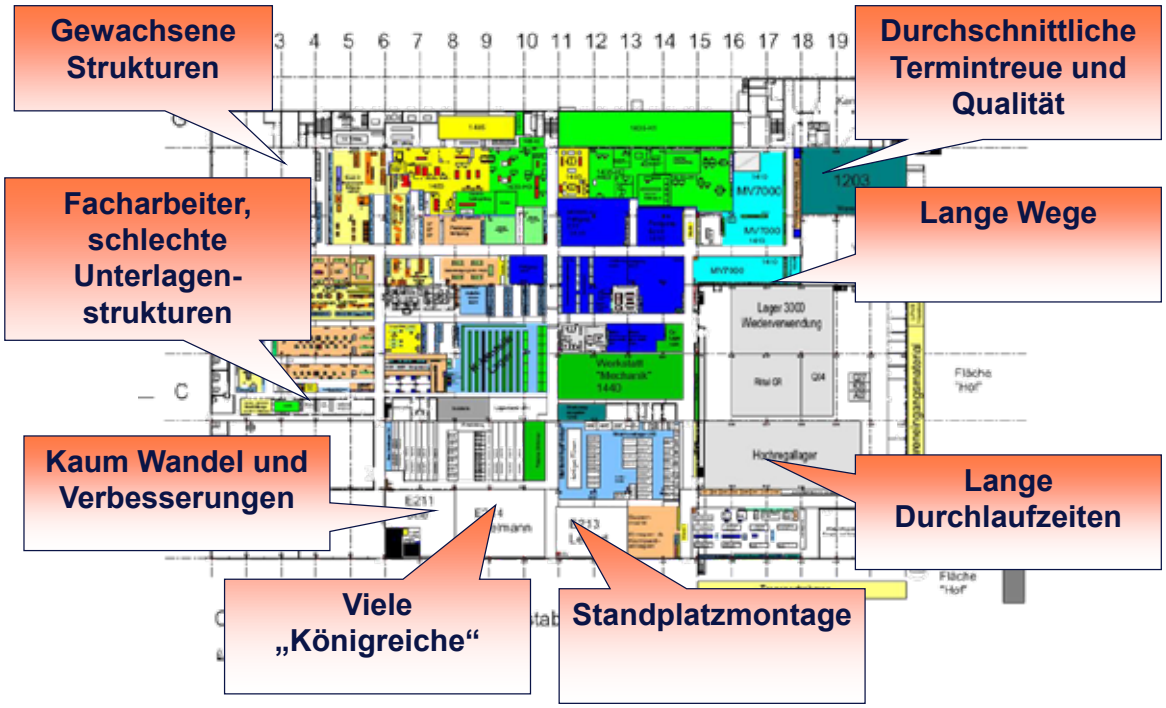
QRQC



Visuell Management

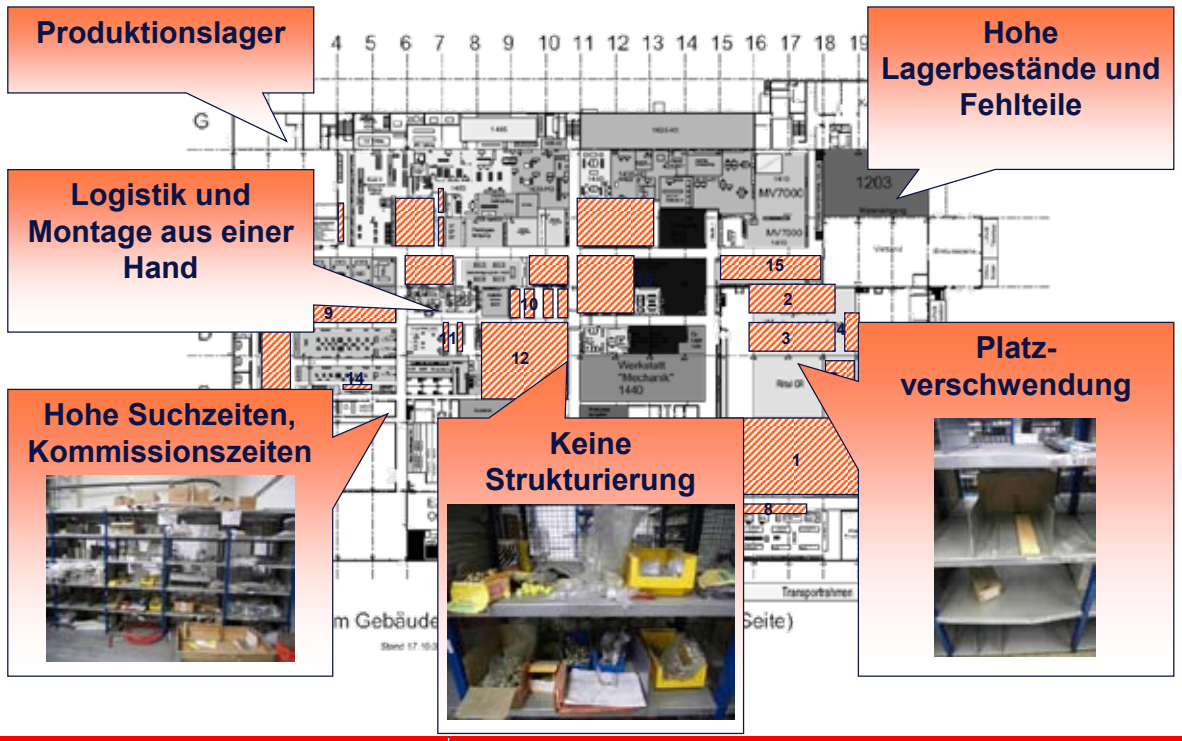
Fabrik 2009

CONVERTEAM
THE POWER CONVERSION COMPANY



Fabrik 2009 – Logistik

CONVERTEAM
THE POWER CONVERSION COMPANY



| Factory 2010 / Fabrik 2010

CONVERTEAM
THE POWER CONVERSION COMPANY

FACTORY 2010
FABRIK 2010

- **Zukunftssicherung**
  Wir können nach Ende der Krise wieder durchstarten
- **vom Push zum Pull System**
- **Produkte mit unterschiedlichen Arbeitsinhalten laufen im Fluss und mit Taktfertigung über eine Linie**
  ➔ Heijunka

| Unser Weg zur neuen Fabrik

CONVERTEAM
THE POWER CONVERSION COMPANY

- Sukzessive Umgestaltung der Fabrik
  Jan 2010 – Mai 2010
  „Operation am offenen Herzen“
- Grundprinzipien der Liniengestaltung
- Taktplan zur Steuerung der Fabrik
- Mitbestimmung Betriebsrat
- Kommunikation über Plakate, Informationsveranstaltungen, animierte Prozessbeschreibungen
- Trennung von Fertigungsplanung- und Dispositionstätigkeiten
- Einführung „Industrial Engineering“



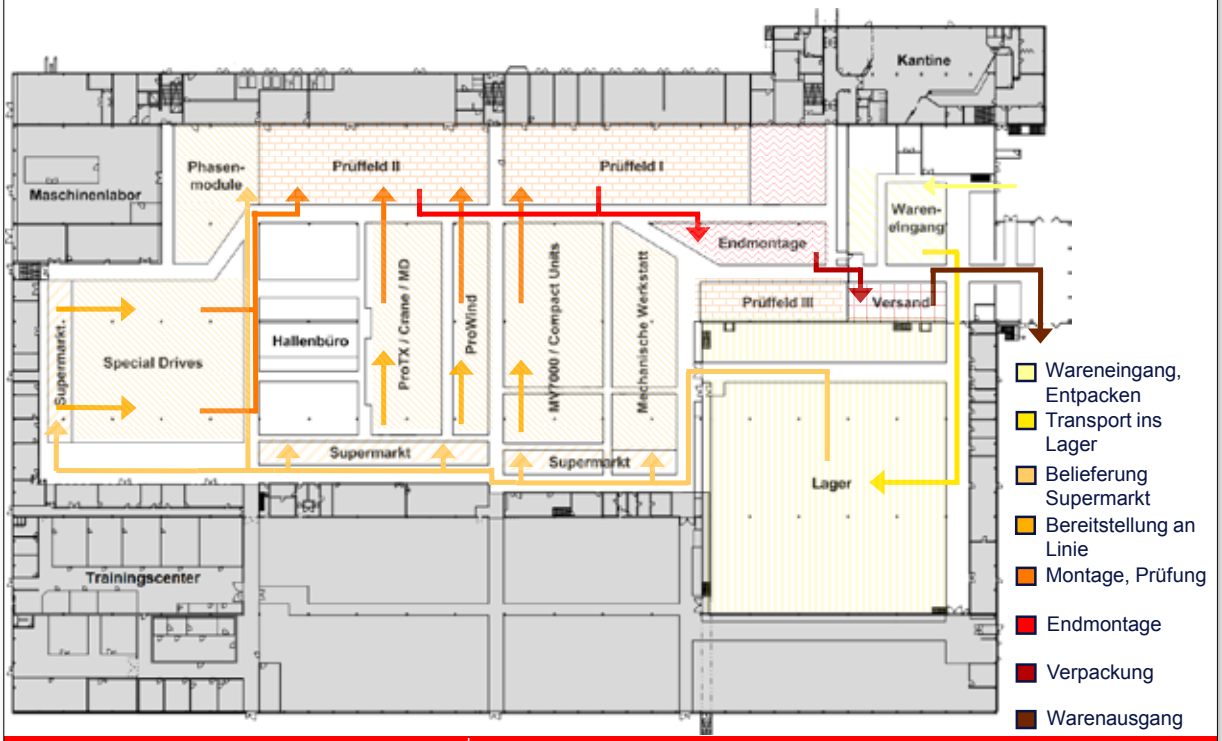
Der Weg

CONVERTEAM
THE POWER CONVERSION COMPANY



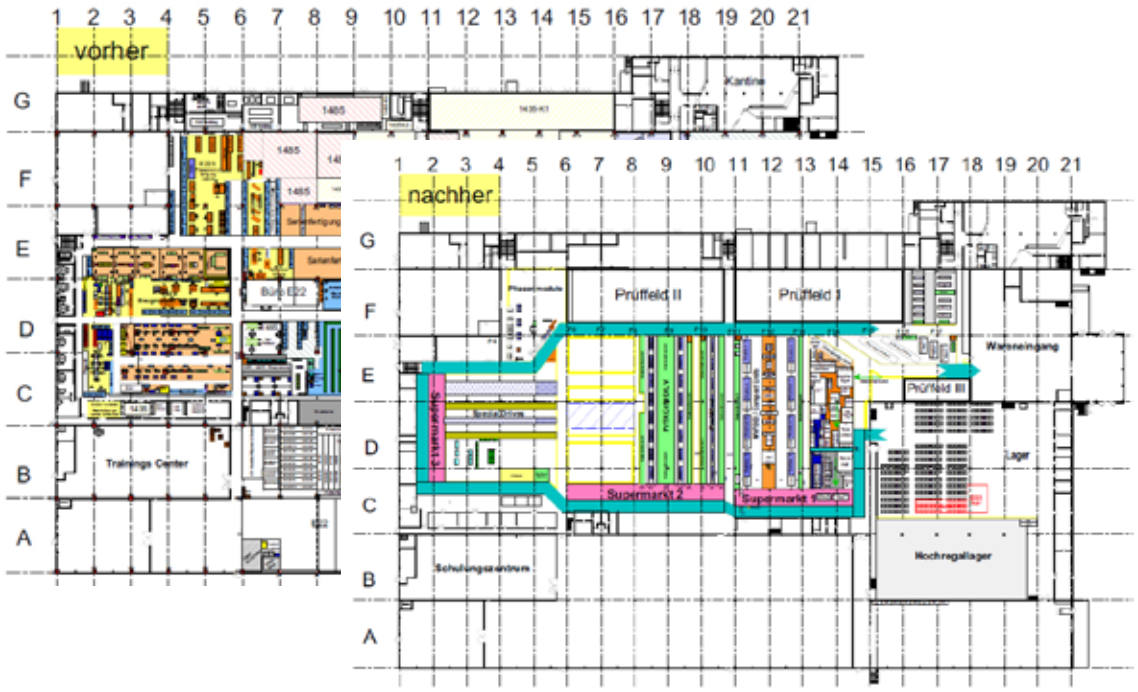
Materialfluss

CONVERTEAM
THE POWER CONVERSION COMPANY



| Vorher / Nachher

CONVERTEAM
THE POWER CONVERSION COMPANY



| Ergebnisse

CONVERTEAM
THE POWER CONVERSION COMPANY

- Einsparung von mehr als 7000 qm Fläche
- Höhere Transparenz u.a. durch Fabrik-Taktplan
- Stabilere Prozesse (kleinere Standardabweichung)
- Verbesserte Optik
- Noch viel zu tun auf der LEAN Journey

Kaizen, Kaizen ….. **Kaizen**


Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit
This document contains confidential and proprietary information of Converteam and must not be used for any purpose other than that for which it is supplied by Converteam.
Its contents must not be disclosed to any other person nor copied in whole or in part without the prior written consent of Converteam.
CONVERTEAM
THE POWER CONVERSION COMPANY

Harald Kujat
General. a. D., Generalinspekteur der Bundeswehr a.D.

Die Lageberichtserstattung als Vorbild für ein Managementcockpit

Abstract | Die Konzeption des Vernetzten Einsatzes dient dazu, militärische Operationen, Notfälle der Inneren Sicherheit und Katastrophen im internationalen Rahmen oder auch national im Verbund der verschiedenen militärischen Kräfte und zivilen Organisationen im Sinne von ‚joined, combined' auf der Grundlage einer Strategie der Vernetzten Sicherheit erfolgreich zu bewältigen. Die Fähigkeit zum Interoperabilität ermöglicht es, einen für einen spezifischen Auftrag, über einen begrenzten Zeitraum zusammengestellten Verbund aus unterschiedlichen Kräften und Diensten schnell und agil, sowie wirkungsvoll und wirtschaftlich zu vernetzen. Interoperabilität ist die Voraussetzung für ein Gemeinsames Lagebild auf der Grundlage aktueller und gesicherter Informationen, einer zutreffenden Lagebeurteilung sowie einer fundierten Entscheidungsfindung und Entschlussfassung und der zuverlässigen Kontrolle der daraus folgenden Aktionen.

Zur Interoperabilität für den Vernetzten Einsatz bedarf es heute nicht weiterer Systeme oder anderer Funktionalitäten sondern der Kompetenz zur Gestaltung einer Informations-Drehscheibe zur Integration bestehender Organisationsstrukturen, Prozesse und Systeme sowie der entsprechenden Technologien im Sinne der Strategie der Vernetzten Sicherheit.

Die Fraunhofer IPK hat das Konzept der Informationsdrehscheibe in Kooperation mit der Industrie zur Anwendungsreife gebracht, um schnell und agil zur Interoperabilität bestehender Organisationen, Prozesse und Systeme für den Vernetzten Einsatz zu befähigen. Eine auf den jeweiligen Einsatz zugeschnittene, geeignete, ausgereifte und angemessene Interoperabilität zur Führungs- und Steuerungsfähigkeit von taktischen, operativen und strategischen Kommandoebenen wird rasch eingerichtet, sichergestellt und betrieben.

Im Vortrag wird das Konzept der Informationsdrehscheibe zur Interoperabilität im Vernetzten Einsatz ausgeführt und an Hand eines realen Einsatzbeispiels zur Bewältigung von Notfällen der Inneren Sicherheit und Katastrophen im Sinne der Strategie der Vernetzten Sicherheit demonstriert.

Keywords | *Informationsdrehscheibe, Prozessorganisation*





Die Lageberichterstattung in Vernetzter Sicherheit als Vorbild für ein Management-Cockpit

PTK 2010 – XIII. Internationales Produktionstechnisches Kolloquium
Berlin, den 5. Oktober 2010

„ÜBERHÖHEN IST EIN KRAFTVOLLES TAKTISCHES ELEMENT DER KRIEGSKUNST & GRUNDLAGE ALLER EIGENEN IDEEN UND HANDLUNGEN“


Clausewitz

„Der strategische Vorteil des Überhöhens“ resultiert aus „der besseren Übersicht“,

„Aus dem Vorteil einer besseren Übersicht entspringt … eine gewissermaßen aktive Wirksamkeit des Überhöhens,

… die Vorteile , welche das Ganze aus der überhöhenden Stellung zieht, zieht auch jedes Teil aus derselben,

--- mithin ist ein großes oder kleines abgesondertes Korps stärker als es ohne diesen Vorteil sein würde,

… und man kann seine Aufstellung mit weniger Gefahr wagen“.

- Gemeinsames Lagebild
- Informationsüberlegenheit
- Wirksamkeit im Einsatz
- Operative Überlegenheit
- Schonung von Mensch und Material

Interoperabilität - Notwendige Befähigung im Comprehensive Approach = Vernetzte Sicherheit

- **Anwendungsfelder Vernetzter Sicherheit**
  - Konflikt
  - Krise
  - Großschadensereignisse
  - Öffentliche Großveranstaltungen/Ereignisse
- **Vernetzte Sicherheit – Defense&Security / Geschäftsprozesse**
  - Joined - Bundeswehr / alle Beteiligten einer Organisation
  - Combined - NATO / alle unmittelbar Beteiligten im Prozess
  - Comprehensive - NATO & NGO/OGD / alle unmittelbar & mittelbar Beteiligten im Prozess
- **Struktur & Prozess, Technologie & System, Mensch & Kultur**
  - Orientieren
  - Entscheiden
  - Handeln
  - Kontrollieren



Gemeinsames Einsatzlagebild = Situational Awareness - Hinreichendes taktisches Element in Kernprozessen Vernetzter Operation

Orientieren

- Gemeinsames Einsatzlagebild
- Unterstützung von Struktur & Prozessen
- Aufbereitung der Information
- Versorgung mit richtiger, lesbarer, verständlicher Information
- Bereitstellung umfassender, aktueller, gesicherter Informationen

Entscheiden

- Zeitverzugslose Beurteilung der Lage und Entscheidung zum Handeln

Vernetzte Operation

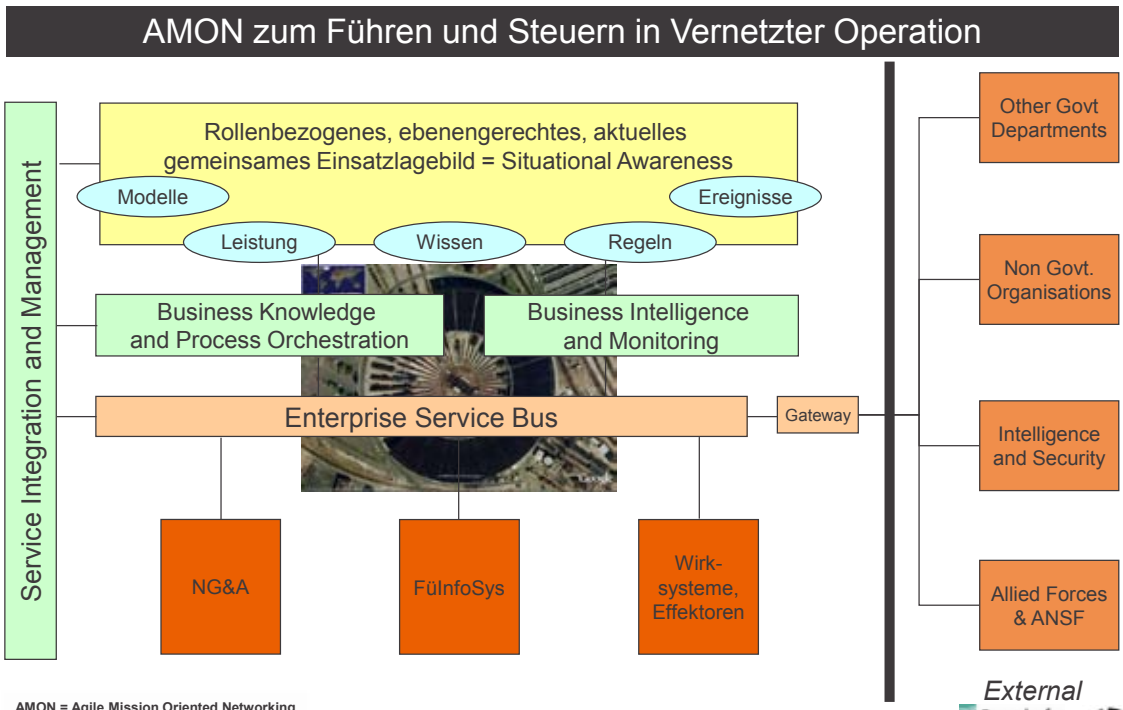
Handeln

- Bedarfsgerechter und zweckmäßiger Einsatz der Kräfte und Ressourcen
- Ständige, aktuelle und gesicherte Information der eingesetzten Kräfte
- Sicherstellung lageabhängiger Handlungs-/ Reaktionsfähigkeit

Kontrollieren

- Sicherstellung der Einsatz- / Durchhalte-fähigkeit von Kräften und Mitteln
- Effektive Durchführungs- und Zielkontrolle
- Sicherstellung der Führungsfähigkeit eingesetzter Kräfte nach Zeit und Raum

Die Informationsdrehscheibe – Technisches Mittel für Gemeinsames Einsatzlagebild = Situational Awareness



5 ©2010 HP Confidential

Gemeinsames Einsatzlagebild = Situational Awareness – Fähigkeiten und Befähigung zur Vernetzten Sicherheit

Status

1. Manning / Personalstärke (M)
2. Equipment / Ausrüstung und Bewaffnung (E)
3. Training / Ausbildung und Qualifikation (T)
4. Sustainability / Durchhaltefähigkeit, Einsatzbereitschaft (S)
5. Unit / Einheit, Verband
6. Capabilities / Einsatzbezogene Fähigkeiten
7. Risks

Operation

1. GIS
2. Projektmanagement / Einsatzplanung
3. Deployment / Verlegung
4. Distribution / Dislozierung
5. Reconnaissance / Aufklärung
6. Intelligence / Nachrichtenwesen
7. Surveillance / Überwachung
8. Blue Force Tracking
9. Red Force Tracking
10. Measures of Effectiveness

Networking

1. Communication / Kommunikation
2. Networking / Vernetzung
3. Decision Process Support / Unterstützung von Entscheidungsabläufen
4. Document Management / Dokumenten-verwaltung

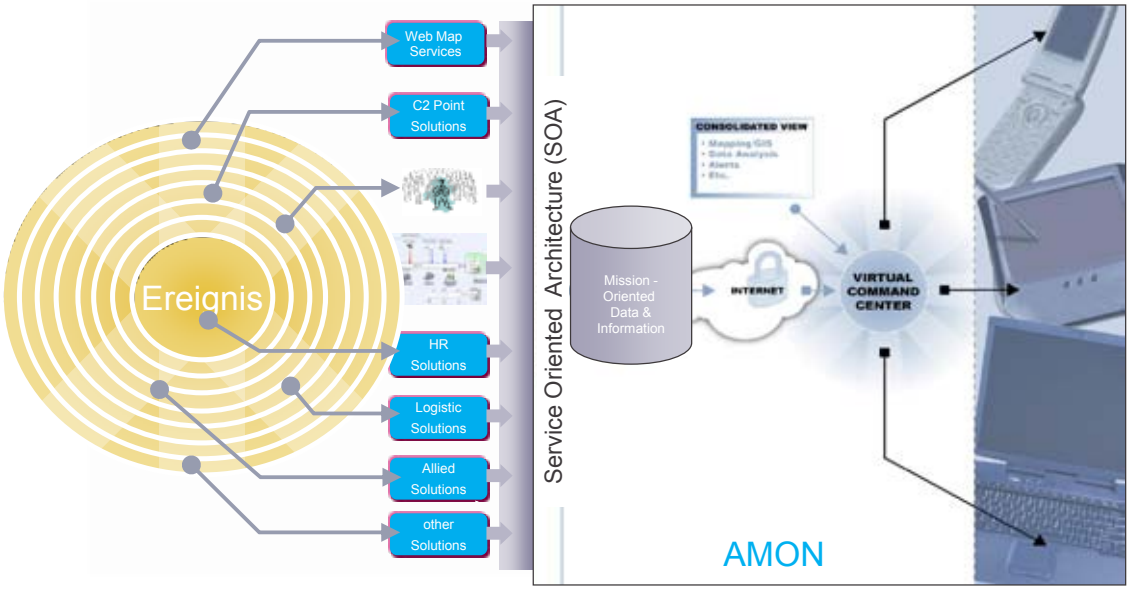


6 ©2010 HP Confidential

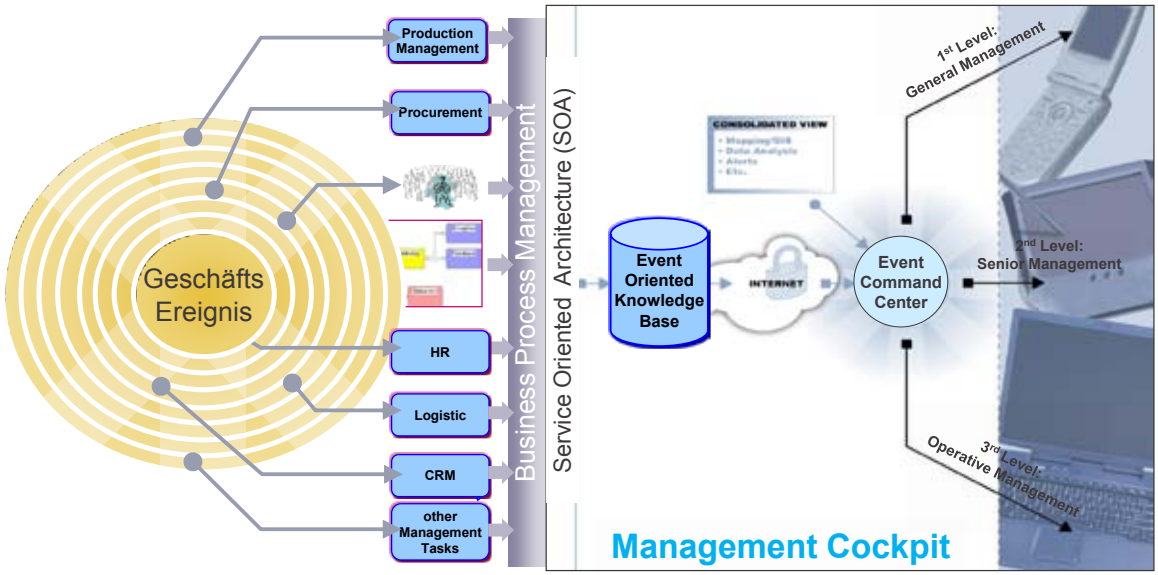
Agile Mission Oriented Networking (AMON) – Management-Cockpit in Vernetzter Sicherheit



Agile Mission Oriented Networking (AMON) – Option für das Management vernetzter Ereignisse



Die Informationsdrehscheibe – Potential für ein Management Cockpit in Vernetzter Produktbereitstellung



9 ©2010 HP Confidential



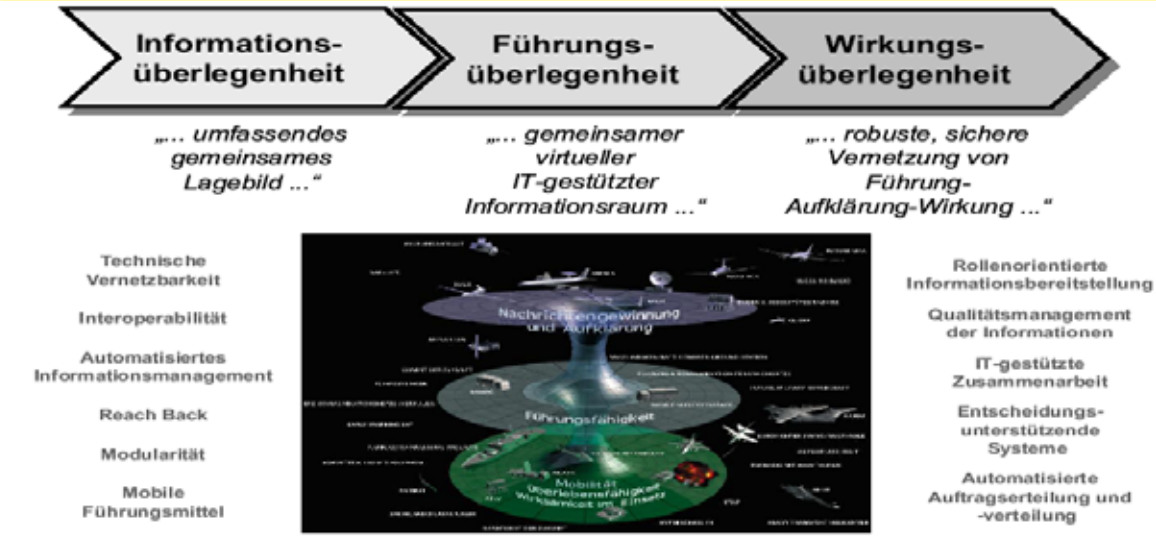
SPSCKujat
Gen. a. D Harald Kujat
Waldstraße 5
D-16845 Lögow

AmperSystems
Dr. Andreas Groth
Margeritenstraße 6
D-82256 Fürstenfeldbruck
+49 8141 43650
a.groth@ampersystems.de

HP Enterprise Services GmbH
Richard Kunzmann, Harald Wundrak
Eisenstrasse 56,
D-65428 Rüsselsheim
+49 6142 80-3864
Richard.kunzmann@hp.com
Harald.wundrak@hp.com

10 ©2010 HP Confidential

De ja vu, de ja entendu – Clausewitz im Spiegel der Strategie der Vernetzen Sicherheit



Quelle: TK „Vernetzte Operationsführung"

11 ©2010 HP Confidential

Netzwerkunterstütze Operationsführung – Fähigkeiten und Befähigung (1/2)

VERKNÜPFUNG VON SENSOREN, INFORMATIONS-, LAGEDARSTELLUNGS- UND FÜHRUNGSSYSTEMEN

- Alliierte bzw. multinationale militärische Führungs- und Informationssysteme
- Regierungs- und Nicht-Regierungsorganisationen
- In einem integrierten, auf Zusammenarbeit angelegten Verbund
- Zur Unterstützung des Führungsprozesses (Planung, Entscheidung, Durchführung)

AUSTAUSCH VON INFORMATION

- Durch Netzwerke, nahtlos verbunden
- Interoperabel, sicher, störrresistent, zeitverzugslos
- Sammlung, Verdichtung, Analyse, Verteilung

12 ©2010 HP Confidential

Netzwerkunterstütze Operationsführung – Fähigkeiten und Befähigung (2/2)

INFORMATIONSÜBERLEGENHEIT

Umfassende, weiträumige, permanente Aufklärung
Verbund von Sensoren (taktisch, operativ, strategisch)
Lageabhängig steuerbar
Datenübermittlung in Echtzeit

FÜHRUNGS- UND INFORMATIONSSYSTEM

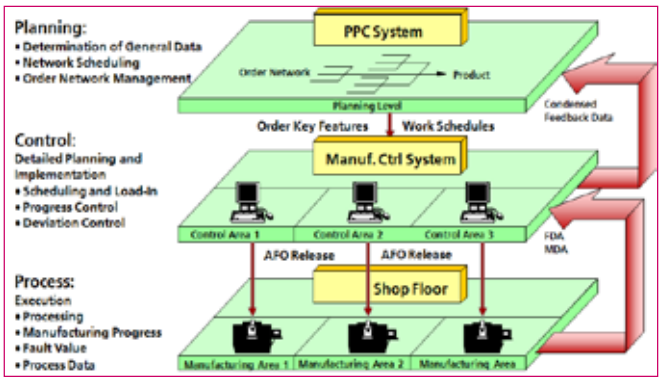
Gemeinsame, einheitliche Lagedarstellung und –beurteilung
Auf allen Führungsebenen
Gesicherte, fundierte Entschlussfassung

EINSATZSTEUERUNG

Integrierte Waffensysteme
Zeitverzugslos
Breites Einsatzspektrum (Reichweite, System, Einsatzart)

Was ist ein Geschäftsprozess oder "Business Process"

- **Geschäftsprozess versus Prozesse der Fertigung** (Fertigungsablauf, Fertigungsprozess,.
  - ➢ Fertigungsablauf, Fertigungsprozess auf der Maschine, Ressourcenbereitstellung, Logistik



Dr. Stephan Rehbehn
Leiter Projektmanagement, Jonas & Redmann GmbH

Sondermaschinenbau »Made in Berlin« – innovative Automatisierungsanlagen der Jonas & Redmann Group

Herr Dr. Rehbehn stellt die Firma Jonas und Redmann Berlin vor und gibt einen Überblick über die Herausforderungen in der Solarindustrie und stellt vor, wie sich die Firma diesen Herausforderungen stellt und sein Produktprogramm entsprechend ausrichtet.

Die Solarindustrie ist gekennzeichnet durch einen stetigen Preisdruck . Die Preisreduzierung lässt sich nur durch Skaleneffekte bei hohen Stückzahlen und einer optimierten Produktionsausbeute realisieren. Diese wird erreicht durch eine geringe Bruchrate, einer hohen Uptime der Anlagen und einer hohen Auslastung der Maschinen sowie der gesamten Fabrik.

Es zeigt sich, dass bei unseren Kunden derzeit ein Umdenken stattfindet, in den Fabriken und Anlagen die manuelle Be- und Entladung der Maschinen durch automatisierte Prozesse zu ersetzen, da dieses ein starkes Mittel ist, Qualität beständig zu optimieren, Arbeitskosten zu reduzieren und damit letztendlich die Solarzellen günstiger herstellen zu können

Was bedeutet das für unsere Maschinen?

Jonas und Redmann garantiert eine ausgezeichnete Qualität mit modular und damit konfigurierbaren Maschinen. Standardmaschinen können optional erweitert werden. Ferner zeichnen sich unsere Maschinen durch einfache aber bewährte Funktionsprinzipien aus, womit Jonas und Redmann eine geringe Cost of Ownership z. B durch geringe Wartungskosten, hohe Verfügbarkeiten und geringe Bruchraten gewährleisten kann.

Ein weiter Punkt zur Optimierung der Abläufe in einer Solarfabrik ist die Einführung von Verkettungssystemen. Eine Verkettung der Anlagen innerhalb des Produktionsprozesses bedeutet eine Optimierung des Materialflusses, eine Verringerung des Bedienpersonals (Operator) sowie eine Erhöhung der Auslastung der Maschinen. Um hier unsere Kunden in optimaler Weise beraten zu können, hat Jonas und Redmann Simulationstools entwickelt, um den Materialfluss der Zellen in einer Produktion darstellen und anpassen zu können.

Gleichzeitig stellt sich für uns die Forderung nach Flexibilität für die Implementierung neuer Technologien. Nur durch Innovation wird es den Herstellern gelingen im Markt zu bestehen.

Dr. Hansjörg Maier
Projektleiter Reengineering, Dr. Ing. h.c. F. Porsche. AG, Weissach

Optimierung der Kostenentstehung und Kostenfestlegung in der frühen Phase des Produktlebenszyklus

Abstract | Ausgehend von der Krise zu Beginn der 1990er Jahre wurden bei der Porsche AG auf Basis von »Best Practices« nach japanischem Vorbild »Lean-Prinzipien« in der Produktion eingeführt. Nach radikaler Umgestaltung der Produktionsprozesse gelang im nächsten Schritt die Etablierung des kontinuierlichen Verbesserungsprozesses (KVP) im Produktionsumfeld, der auch heute noch täglich erfolgreich gelebt wird. Der Transfer der dort verwendeten Methoden mit einer spezifischen Interpretation im betriebswirtschaftlichen und technisch-inhaltlichem Sinn, ergänzte die produktionsseitigen KVP-Aktivitäten durch die sukzessive Ausweitung auf andere Ressortbereiche, Zulieferer und die Vertriebsorganisation. Somit trägt beispielsweise auch der Entwicklungsbereich, der immensen Einfluss auf den Produktlebenszyklus besitzt, direkt und indirekt zum Unternehmenserfolg bei, indem er die optimalen Voraussetzungen für Folgeprozesse schafft. Damit stellt das Wechselspiel zwischen der frühen Phase der Produktlebenszyklus mit den Folgephasen einen wesentlichen Erfolgsfaktor dar.

Keywords | *Lean, Entwicklung, KVP, Prozessoptimierung*

1 Krise – Katastrophe und Chance

Häufig ist ein gewisser Leidensdruck notwendig, damit die Chance zum Wandel wahrgenommen wird. »Die Krise kann hierbei ein produktiver Zustand sein, wenn man ihr den Beigeschmack der Katastrophe nimmt« (Max Frisch). Wie auch in naher Vergangenheit ist die unternehmensspezifische Analyse einer Krise der Grundstein zur Initiierung von Verbesserungsmaßnahmen. Die reine Sicht nach außen ist hierbei selten eine wirkliche Hilfe, vielmehr ist das Unternehmen selbst kritisch zu betrachten, inwieweit es den Anforderungen der Umwelt derzeit und zukünftig genügt.

Zu Beginn der 1990er Jahre schien die Zukunft von Porsche noch ungewiss. Der Umsatz ging vom Geschäftsjahr 1985/1986 bis zum Geschäftsjahr 1992/1993 von 1,8 Milliarden € auf 976.000 € zurück. Einhergehend damit waren immense Absatzeinbrüche im Fahrzeuggeschäft zu verzeichnen (Bild 1). »Es wird Nacht in Zuffenhausen« titelte damals »Die Welt«. Es galt ein Konjunkturtal zu durchschreiten, als sich die stärksten Auslandsmärkte für Porsche zeitgleich in der Rezession befanden. Der Markt für Luxussportwagen reagiert besonders in solchen Marktlagen sensibler als der für Mittelklassewagen, was direkte Auswirkungen in den relevanten Kennzahlen zeigte. Mit dem Geschäftsjahr 1990/1991 verzeichnete Porsche

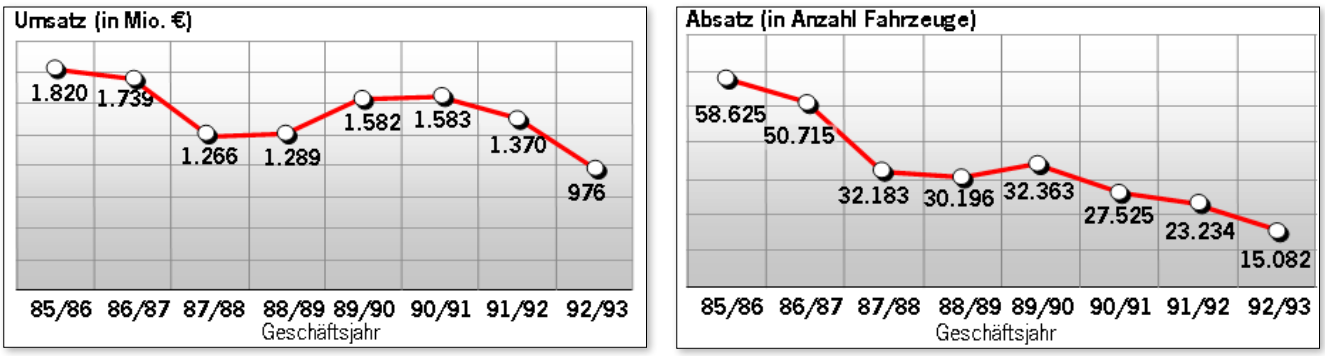


Bild 1: Umsatz und Absatz nach Geschäftsjahr

die ersten absoluten Ergebnisverluste, im Geschäftsjahr 1991/1992 betrugen diese bereits 122 Millionen € vor Steuer. Die dargelegte, nach außen gerichtete Sichtweise, war auch zur damaligen Zeit bei der Porsche AG vorherrschend. Vor allem die schwache Konjunktur und das dies bezüglich sensitiv reagierende Luxussportwagensegment wurde für die Misere verantwortlich gemacht. Diese Sichtweise und damit rein reaktive Verhaltensweise, die nicht zu einer proaktiven Beeinflussung führte, brachte keine Veränderung der Unternehmenssituation.

2 Aufbruch in der Krise

Der Einstieg von Dr. Wendelin Wiedeking in das Porsche-Unternehmen als Produktionsvorstand, kombiniert mit der Expertise japanischer Berater, die Kaizen im Produktionsbereich einführten, ebnete den Weg für den Aufbruch in der Krise. Auf Basis des »Toyota Production Systems« wurden »Best Practice«-Vergleiche durchgeführt und das traditionelle in ein innovatives Produktionsverständnis überführt. Gerade die Situation der existenzbedrohenden Krise und die Top-Down-Vorgabe des Managements zur radikalen Veränderung durch alle Instanzen und Prozesse war eine Voraussetzung, die den Wechsel erst ermöglichte.

Die Verantwortung des Managements rückte in den Mittelpunkt und der Begriff Wertorientierung bekam in diesem Kontext neue Bedeutung. Gerade die Ausrichtung nach dem externen, aber auch nach unternehmensinternen Kunden, war der Ansatz, nachdem die Ablauforganisation auszurichten war. Auf dieser Basis wurden Wertschöpfung und Verschwendung definiert, um die Prozesse effektiv und effizient auszurichten.

»Bestehende Prozesse zu zerschlagen, erfordert hierbei ungleich mehr Kreativität, als neue aufzubauen« (Dr. Wendelin Wiedeking). Dies konnte nur dadurch gelingen, dass ein Umsetzungswille im gesamten Unternehmen bestand und eine klare Kommunikation über wenige Ebenen etabliert wurde. Zielsysteme der Effizienzsteigerungen waren die Produkte, die Prozesse und die Organisation.

Die Fahrzeugmodelle wurden hinsichtlich Kundenmarkt, Vielfalt, Überfunktionalität und nutzlosen Varianten analysiert. Die Organisation wurde durch Reduktion von Hierarchieebenen ausgedünnt, umständliche Strukturen wurden eliminiert und unklare Zuständigkeiten aufgelöst. Prozessseitig galt es unter anderem hohe Bestände zu reduzieren sowie Ausschuss und Nacharbeit zu minimieren (Bild 2).



Bild 2: Fahrzeugmontage vor und nach der Restrukturierung

Die Produktpalette bei Porsche zu Beginn der 1990er Jahre war geprägt durch völlig unterschiedliche Motoren- und Antriebskonzepte. Vierzylinder, Sechszylinder, Achtzylinder – bei Porsche war alles vertreten, was in Kombination zu hohen Produktionskosten führte. Durch ein optimiertes Anforderungsmanagement für neue Produkte konnte ein Gleichteilansatz eingeführt werden, das eine Gleichteilquote von 38 Prozent über die Baureihen Carrera und Boxster ermöglichte. Dies erforderte und ermöglichte eine Synchronisierung der Prozessschritte in der Entwicklung.
Die Fahrzeugmontage wurde hinsichtlich Total-Quality-Management und Just-in-Time-Ansätzen optimiert, der Vorher-Nachher-Vergleich zeigt deutlich die Transparenz hinsichtlich Wertstrom und die Reduzierung der Bestände am Band (Bild 2).

3 »PVP« – Der Porsche Verbesserungs-Prozess

Verbesserungen können durch Innovationssprünge und durch eine kontinuierliche Verbesserung erreicht werden. Innovationssprünge weisen als Nachteile die lange Planungsdauer, gegebenenfalls hohe Investitionskosten, Irreversibilität sowie ein hohes Risiko der Verfehlung der Zielsetzung auf. Die kontinuierliche Verbesserung von Prozessen in kleinen Schritten, kurz »KVP«, weist diese Nachteile in der Regel nicht auf. Die Prozessoptimierung bei Porsche, der Porsche Verbesserungs-Prozess (PVP), baut auf drei Ansätzen auf: dem klassischen Vorschlagswesen, den PVP-Projekten und PVP-Workshops sowie als dritter Baustein die Porsche-Prozessoptimierung (PPO). Von eher lokalen, zufälligen Ideen zur Prozessoptimierung bis hin zur ressortübergreifenden Top-Down-Planung solcher Verbesserungen wird das Ziel verfolgt, alle Möglichkeiten einzubinden und diese möglichst auf allen Hierachie-Ebenen umzusetzen.

Kerngedanke dabei ist immer die Optimierung der Wertschöpfung im Sinne des Kaizen, die Vermeidung von Verschwendung zur Leistungsverbesserung. Hierbei gilt es, alle Tätigkeiten und Produkteigenschaften in den Fokus zu stellen, für die der Kunde bereit ist zu bezahlen. Daneben sind offensichtliche und verdeckte Verschwendung zu reduzieren und im Idealfall zu eliminieren.

Verschwendungen im Sinne des Produktes sind beispielsweise gegeben durch übertriebene Normen und Toleranzen, geringer Gleichteileinsatz, Überdimensionierung, übertriebene Oberflächengüte, zu hohe Materialanforderungen oder aufwändige Fertigungsverfahren. Bei Arbeitsprozessen betrifft dies Überproduktion, hohe Bestände, Wartezeiten, Wege, Nacharbeit, Fehler, Ausschuss, unnötigen Transport und überhöhte Raum- beziehungsweise Flächenbedarfe. In Bezug auf Ressourcen sind hier die Wartung von Maschinen und Anlagen, hohe Rüstzeiten, überhöhte Investitionen sowie ungenutztes Potenzial in der Auslastung zu nennen.

Beginnend mit der Restrukturierung der Organisation im Jahr 1992 und Durchführung von »Best-Practice«-Vergleichen, wurde 1994 das neue Porsche-Produktionssystem sowie der PVP-Ansatz in der Produktion eingeführt. Zusammen mit Lieferanten wurden diese Erkenntnisse auch außerhalb Porsche mit Beginn des Jahres 1996 eingesetzt. Im Rahmen der Porsche-Lieferanten-Entwicklung (POLE) konnten Potenziale zum Nutzen von Porsche und der Lieferanten identifiziert und gehoben werden. Seit 1998 setzt Porsche den PVP-Ansatz unternehmensweit ein und hat seit dem alle Ressorts systematisch in die Prozessoptimierung eingebunden. Die Einführung der PPO ab dem Jahr 2004 war der bis dato letzte Grundstein, der die KVP-Philosophie bei Porsche operativ umsetzt.

Diese Operationalisierung findet sich auch in den sieben für Führungskräfte verbindlichen Porsche-Leitlinien wieder, von denen zwei direkten Bezug zum PVP-Gedanken nehmen. Daneben wird die PVP-Organisation direkt in die Umsetzung des Target-Costing-Ansatzes eingebunden, um die Driving-Costs mit den Target-Costs durch nachhaltige Prozessoptimierung in Übereinstimmung zu bringen.

4 »PVP« in der Fahrzeugentwicklung

Die Arten der Verschwendung aus der Produktion erhalten im Kontext der Produktentwicklung eine völlig neue Bedeutung. Neben den vorgestellten klassischen Kategorien, die auch in vergleichbarer Form im Entwicklungsbereich Anwendung finden, werden zunehmend andere Formen der Verschwendung für die Entwicklung relevant. Überproduktion wird hierbei im Sinne von nicht weiter verfolgten Konzepten, Stylingentwürfen, Modellen

oder nicht kundenrelevanter Erprobungen interpretiert. Bestände können in Bezug auf Daten, Dokumente, Modelle oder virtuelle und experimentelle Prototypen definiert werden. Wartezeit auf Entscheidungen, Änderungsstände, Dienstleister, Lieferanten oder auch auf die Verfügbarkeit von Prüfstrecken, Prüfständen oder Software-Lizenzen sind nur einige Beispiele, die eine völlig neue Auffassung der klassischen Verschwendung im Kontext der Produktentwicklung wiedergeben (Bild 3).

Ein gängiger Ansatz zur Optimierung der Entwicklungsprozesse liegt in der Verlagerung der Funktionsentwicklung und -absicherung von der Straße auf den Prüfstand und von dort in die virtuelle Simulationsumgebung (Bild 4). Dabei werden diese Techniken substitutiv, oftmals aber auch ergänzend eingesetzt. Damit können Iterationsschleifen vermieden und die Variantenvielfalt virtuell abgesichert werden. Dieser Ansatz der Verlagerung der Entwicklungsaktivitäten von der Straße in die Simulationsumgebung kann als genereller und kontinuierlicher Indikator für Optimierungsansätze in der Prozessanalyse verstanden werden.

Nicht nur die Prozesse in den Fahrzeugentwicklungsprojekten selbst, auch die übergeordnete strategische Planung, ermöglicht einen wesentlichen Einfluss auf die Kosten und Erlössituation des Unternehmens. Die Entscheidung hinsichtlich des richtigen Produkts zum



Bild 3: Arten der Verschwendung in Produktion und Produktentwicklung

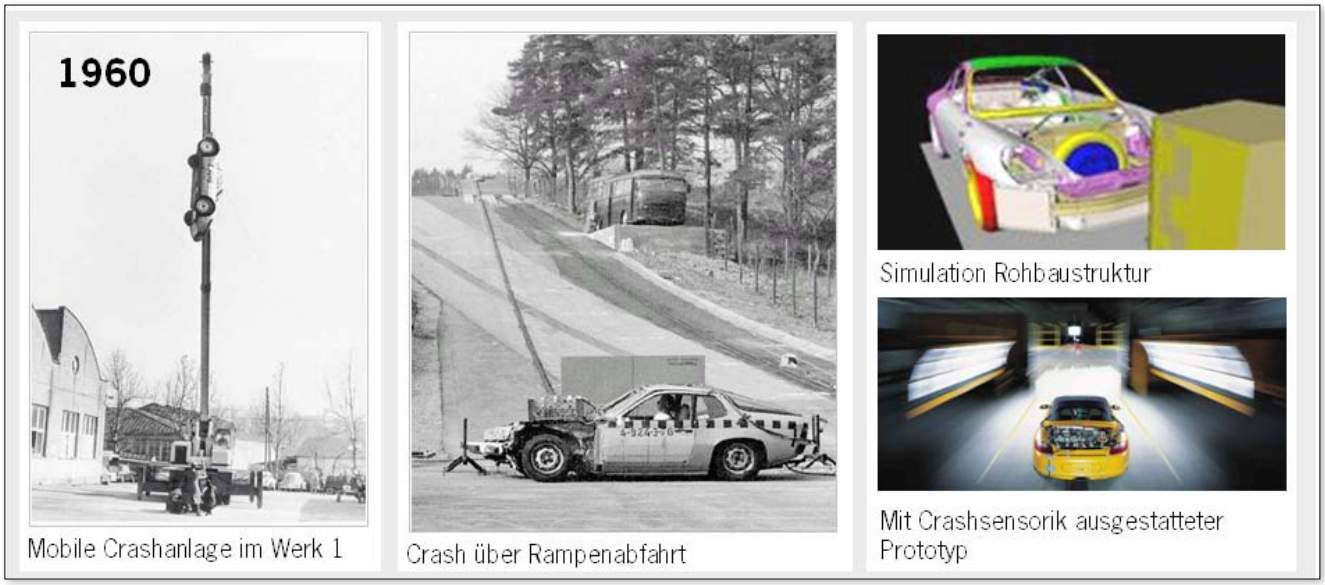


Bild 4: Realversuche und Simulation am Beispiel der Crash-Thematik

richtigen Zeitpunkt am Markt ist essenziell für ein erfolgreiches Unternehmen. Retrograde Planung mit Berücksichtigung der Kapazitäten, Auslastung, Synergien und Risiken im Entwicklungsbereich, kann eine homogene und synergetische Erarbeitung von Entwicklungsinhalten bei minimalem Risiko ermöglichen.

5 »PVP« in der Fahrzeugentwicklung – Beispiel

Das magische Dreieck der Produktentwicklung mit den Aspekten Qualität, Kosten und Zeit entwickelt sich durch PVP derart, dass Zielkonflikte aufgelöst werden sollen. Höhere Qualität in kürzerer Zeit und mit geringeren Kosten spiegelt die Ausrichtung der Aktivitäten wider. Neben den komplexen PVP-Projekten in der Entwicklung sind es oftmals gerade unkonventionelle oder einfache Ideen, die einen großen Erfolg in der Umsetzung versprechen. Dem Lebenszyklus-übergreifenden Typ von Verbesserungsideen ist das nachfolgende Beispiel gewidmet.

Im Rahmen von Fahrzeugentwicklungsprojekten werden immer wieder neue
Verbindungselemente benötigt. Hierbei wird idealerweise auf Normteile, Gleichteile oder Wiederholteile zurückgegriffen. Unter dem Begriff der Verbindungsteile finden sich bspw. Schrauben, Muttern, Halter, Schellen, Nieten, Klammern, Stifte oder Bolzen wieder, deren Aufgabe darin besteht, Bauteile oder Baugruppen zu verbinden und damit technische Freiheitsgrade einzuschränken.

Neben der Anzahl an neuen Verbindungselementen, die sich im Serienprodukt wieder finden, ist in der Entwicklungsphase ein wesentlich größerer Umfang dieser Teile betrachtungsrelevant, bevor eine endgültige Festlegung getroffen wird. Laut Literatur sind Normteile zwischen 20 Prozent und 60 Prozent günstiger als Eigenentwicklungsteile.

Über den Produktlebenszyklus verursacht jedoch auch ein zusätzliches Normteil hohe Kosten. Neben der Entwicklung sind hierbei maßgeblich der Serieneinkauf, die Fertigungs- und Logistikprozesse sowie der Vertrieb im »After Sales«-Bereich betroffen. Ziel ist es somit auch bei solchen »C-Teilen«, die zwar auf der einen Seite geringe Materialkosten, auf der anderen Seite aber oftmals verdeckt hohe Prozesskosten verursachen, Aufwand- und Nutzen gegenüber zu stellen.

Gerade bei geringer Fertigungs- und Entwicklungstiefe, wie in der Automobilbranche üblich, ist die autarke Koordination innerhalb des Unternehmens nicht ausreichend. Eine solche Koordination muss explizit die Zuliefererkette mit einschließen, sofern dies für die Folgeprozesse relevant ist.

Die unter technischen und wirtschaftlichen Gesichtspunkten abzuwägende Reduktion der Verbindungsteilevielfalt über alle Modellreihen hinweg, kann hierbei in drei Phasen erfolgen, die sowohl in organisatorischen als auch zeitlichen Wirkbereichen unterschiedlich ausfallen:

- Die Substitution von einzelnen Verbindungselementen durch bereits verwendete Verbindungselemente, sodass sich hierdurch in der aktuellen oder kurz bevorstehenden Produktion der Teilevariantenumfang reduziert. Dies resultiert in einer kurzfristig umsetzbaren aber gleichzeitig langfristig wirkenden Einsparung in den Entwicklungsfolgeprozessen, insbesondere im »After Sales« durch Ausnutzung von Skaleneffekten.

- Die zweite Option ermöglicht eine mittelfristige Wirkung. Hierbei werden Vorzugsteilekataloge erstellt, auf die die Konstrukteure zurückgreifen können. Damit wird eine ungewollte Variantenerhöhung auf Basis der Unkenntnis von zu präferierenden Teilen vermieden. Neue Teile können nicht autark sondern nur durch einen Genehmigungsprozess, der eine weitere Prüfung mit einschließt, in das Teileportfolio integriert werden. Damit kann eine strategische Ausrichtung des Verbindungselemente-Portfolios implementiert werden.

- Die präventive und langfristig wirkende, zugleich effektivste Möglichkeit besteht darin, bereits in der frühen Phase der Produktentwicklung Konstruktionsrichtlinien zu erstellen, die explizit die Verbindungsteile integrieren. Damit erhöhen sich die Möglichkeiten die Voraussetzungen zum Einsatz von Vorzugsteilen zu schaffen und ausgehend von der

Entwicklung über den gesamten Produktlebenszyklus über Jahrzehnte hinweg Kostenpotenziale zu erschließen.

Wenngleich gegebenenfalls im Entwicklungsbereich ein Mehraufwand durch zusätzliche Koordination und Konstruktionsiteration entsteht, zeigt dieses Beispiel, dass bei einer unternehmensübergreifenden Sichtweise die Vorteile durchaus überwiegen. Gerade die Festlegung der Variantenvielfalt zu Beginn der Produktentwicklung veranschaulicht wie bereits im Vorfeld durch optimierte Prämissen die Folgeprozesse vereinfacht werden können.

6 Erfolgsfaktoren und betriebswirtschaftliche Zusammenhänge

Der PVP eignet sich hervorragend, um die Kosten und Erlöse im Unternehmen aus Entwicklungssicht zu beeinflussen. Dabei umfasst PVP sowohl die Produkt- als auch die Prozessqualität. Der Erlös ist das Produkt aus Preis und Absatzmenge und lässt sich direkt durch die Produktqualität beeinflussen (Bild 5). Fixe und variable Kosten sind durch die Entwicklungsprozessqualität sowie die Beeinflussung der Folgeprozesse in Produktion und Vertrieb durch die Entwicklung und deren Lebenszyklusbezug maßgeblich vorgegeben. Hieraus ergeben sich direkt die Beeinflussung der Erlöse und daraus abgeleitet die des Deckungsbeitrages sowie des Cash-Flows, der den unternehmerischen Handlungsspielraum erst ermöglicht und eine wesentliche Kennzahl darstellt.

Die Treiber hinter diesen Werten sind repräsentiert durch ein klares Commitment des Top-Managements, eine Kultur der ständigen Verbesserung, eine Verankerung von den entsprechenden Zielen in der Linienorganisation, die konsequente Ergebnismessung, die schrittweise Weiterentwicklung, eine Sensibilisierung für erreichte Erfolge sowie den Einsatz interdisziplinärer Teams und fachübergreifender Denkansätze.

7 Produktion – Entwicklung – Produktion: Lernen und Profitieren

Die Produktion kann wichtige Impulse für Optimierungsansätze in der Entwicklung geben – dies gilt wie gezeigt sowohl auf der methodischen als auch auf der inhaltlichen Seite. Neben der rein entwicklungsbezogenen Optimierung der Effizienz, die den Entwicklungs-Output nicht zwingend beeinflusst, liegt vor allem in der Entwicklungseffektivität ein enormer Einflussfaktor auf das Gesamtunternehmen (Bild 6).
Ausgehend von einer Krise können somit neben der schnell und direkt wirkenden Optimierung der Produktionsabläufe auch auf der Entwicklungsebene zwei Dinge betrachtet werden: Die Entwicklungseffizienzsteigerung, die vor allem kostenseitig mindestens mittelfristig einen Einfluss auf die betriebswirtschaftliche Unternehmenssituation besitzt. Zum Zweiten durch den Lebenszyklusbezug der Entwicklung, der unter Umständen langfristig bereits im Vorfeld Aufwand vermeidet, der kurzfristig in der Produktion und anderen Folgeprozessen – sofern überhaupt möglich – vermieden werden müsste.

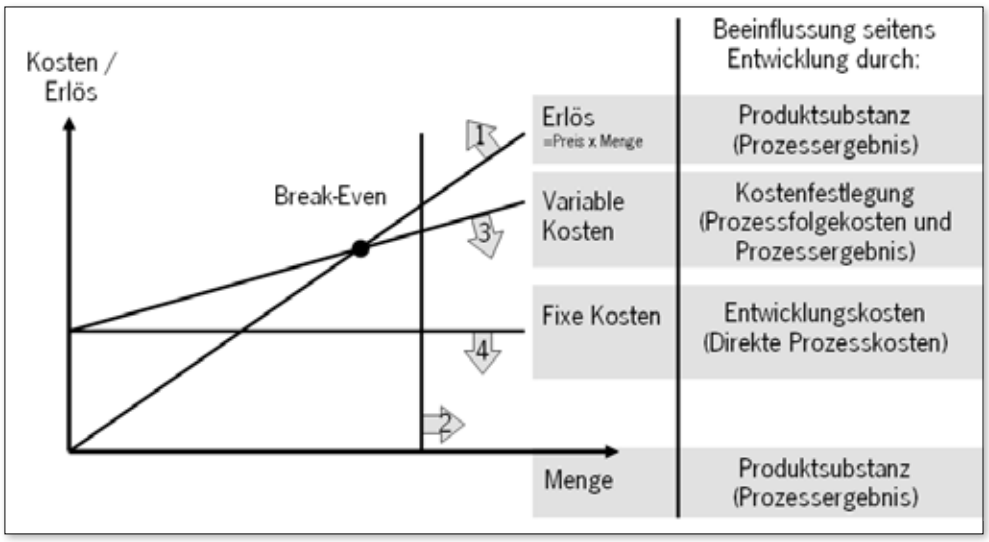


Bild 5: Kosten- und Erlösbeeinflussung aus Sicht der Entwicklung

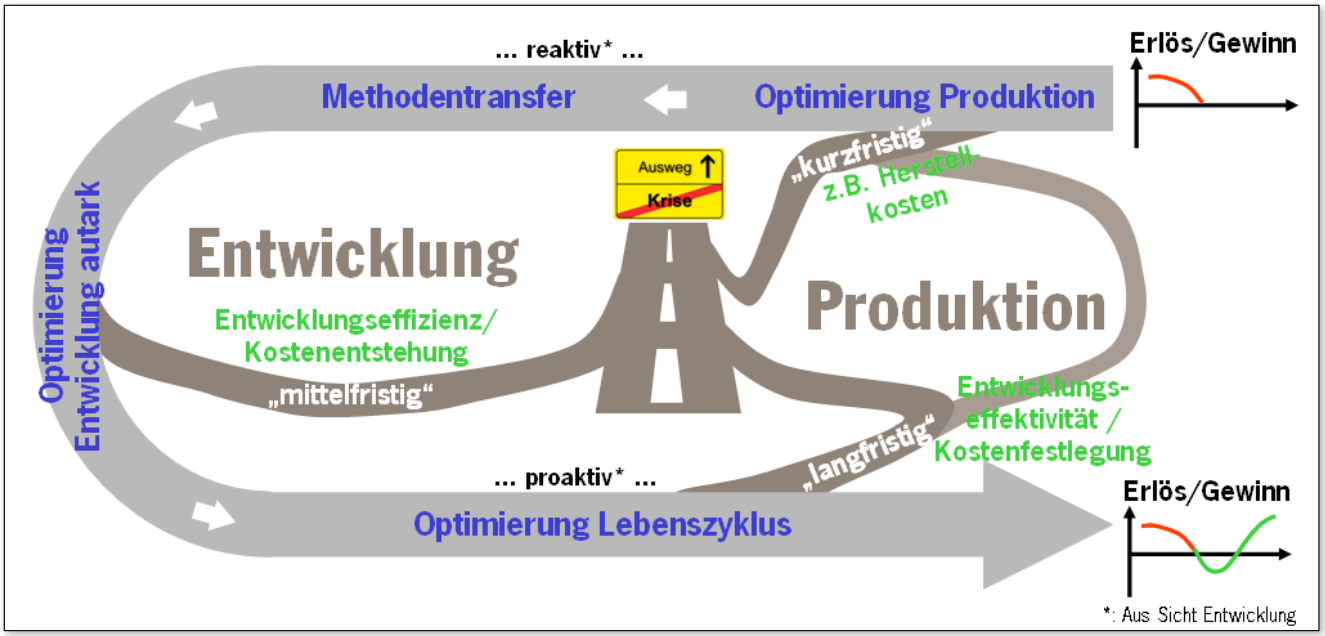


Bild 6: Produkt- und Prozessqualität zur Stärkung der Finanz- und Gewinnsituation

Literatur

BALLWIESER, W.: »Wertorientierung und Betriebswirtschaftslehre: Von Schmalenbach bis heute«, in: Macharzina, K, Neubürger, H.-J (Hrsg.).: »Wertorientierte Unternehmensführung«: Strategien – Strukturen – Controlling, Schäffer-Poeschel Verlag, Stuttgart, 2002, S. 69-98.

BRECHT, U.: »Kostenmanagement; Neue Tools für die Praxis«, Betriebswirtschaftlicher Verlag Dr. Th. Gabler, GWV Fachverlag GmbH, Wiesbaden, 2005.

BRUNNER, F. J.: »Japanische Erfolgskonzepte: KAIZEN, KVP, Lean Production Management, Total Productive Maintenance, Shopfloor Management, Toyota Production Management«, Hanser Verlag, München, 2008.

DIN 2000: »Gesamtwirtschaftlicher Nutzen der Normung«, Deutsches Institut für Normung, Beuth-Verlag, Berlin, Wien Zürich, 2000.

EHRLENSPIEL, K. ; Kiewert A. ; Lindemann U.: »Kostengünstig Entwickeln und Konstruieren«; 6. Aufl.; Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, 2007.

GENTNER, A.: »Entwurf eines Kennzahlensystems zur Effektivitäts- und Effizienzsteigerung von Entwicklungsprojekten«, Verlag Franz Vahlen GmbH, München, 1994.

HAMMER, M.; Champy, J.: »Business Reengineering: Die Radikalkur für das Unternehmen«, 7. Aufl., Campus Verlag, Frankfurt/Main, 2003.

IMAI, M.: »Kaizen - Der Schlüssel zum Erfolg der Japaner im Wettbewerb«, Wirtschaftsverlag Langen Müller/Herbig, München, 1992.

JODLBAUER, H.: »Produktionsoptimierung«, Springer Wien New York, 2007.

JUNG H.: »Controlling«, 2. Aufl., Oldenbourg Wissenschaftsverlag, München, 2007.

KAPLAN, R. ; Cooper, R.: »Cost&Effect; Using Integrated Cost Systems to Drive Profitability and Performance«, Harvard Business School Press, 1998.

OHNO, T.: »Das Toyota-Produktionssystem«, Campus Verlag, Frankfurt / New York, 1995.

SCHMELZER, H. J., Sesselmann, W.: »Geschäftsprozessmanagement in der Praxis: Kunden zufrieden stellen, Produktivität steigern, Wert erhöhen«, 6. Aufl., Carl Hanser Verlag, München, 2008.

SEKINE, K.: »Produzieren ohne Verschwendung: Der japanische Weg zur schlanken Produktion«, Japan Service Verlag Moderne Industrie, 1994.

STELLING, J. N.: »Kostenmanagement und Controlling«, 2. Aufl., Wissenschaftsverlag GmbH, Oldenbourg, 2005

STÜRZEL, W.: »Lean Production in der Praxis«, 3. Aufl., Junfermann Verlag, Paderborn, 1993.

WILKENS, K.: »Kosten- und Leistungsrechnung«; 9. Aufl.; Oldenbourg Wissenschaftsverlag GmbH, 2004.

Prof. Roland Jochem
IWF TU Berlin, Fraunhofer IPK

Michael Giebel
Universität Kassel, Fachgebiet Qualitätsmanagement

Qualitätsmanagement als Wachstumsmotor – Wertschöpfung durch Qualitätsmanagement

Abstract | Das Thema Qualitätsmanagement (QM) steht im Fokus der Wertschöpfung wie nie zuvor. Qualitätsprobleme führen zu Kosten in Milliardenhöhe, wie aktuelle Beispiele aus der Automobilindustrie zeigen.
Veränderte Rahmenbedingungen machen es erforderlich, dass QM nicht länger nur »Mittel zum Zweck« ist sondern aktiv Wert generiert. Dabei ist ein wertorientierter Einsatz von QM keineswegs trivial und erfordert die Betrachtung verschiedener Aspekte und Ebenen, wie sie sich durch Unterschiede zwischen wahrgenommener und tatsächlicher Qualität andeuten. Um in diesem Spannungsfeld einen Beitrag zum Unternehmenserfolg leisten zu können, muss QM einen ganzheitlichen Ansatz verfolgen, der auf Analysen der Wechselwirkungen von Qualität und nachhaltiger Wertschöpfung basiert.
Die Frage nach dem Wertbeitrag des QM, ist auch immer die nach seinen Erfolgsfaktoren. Ein Modell, welches die Wirkmechanismen zur Wertsteigerung durch QM beschreibt, ist das QEMOVA, welches in Verbindung mit Integrierter Unternehmensmodellierung, Ansätze für gezielte Investitionen im Qualitätsbereich und die konsequente Anwendung von QM-Maßnahmen liefert.

Keywords | *Qualitätsmanagement, nachhaltige Wertschöpfungsnetze, QEMOVA, Integrierte Unternehmensmodellierung (IUM), Prozessassistent*

Herausforderungen für Unternehmen und das Qualitätsmanagement

Die Unternehmen und das Qualitätsmanagement (QM) stehen großen Herausforderungen gegenüber. Ein Blick auf aktuelle Rückrufzahlen aus der Automobilindustrie illustriert die wirtschaftlichen Dimensionen der Wertvernichtung auf Grund mangelnder Qualität. Toyota hat seit Herbst 2009 weltweit mehr als zehn Mio. Fahrzeuge zurückgerufen. Im Sommer 2010 wurde einen Rückruf von 270 000 Fahrzeugen vor allem in den USA wegen möglicher Probleme mit den Motoren gestartet. Das Image von Toyota hat unter diesen Rückrufen stark gelitten. Das Unternehmen reagiert auf die anhaltenden Qualitätsprobleme mit einer Verlängerung der Entwicklungszeit um etwa vier Wochen.[1] Die tatsächlichen Kosten für die Rückrufserie in den USA werden Milliardenhöhe erreichen. Auch Mazda rief im August 2010 weltweit mehr als 500.000 Fahrzeuge zurück.[2] Die Zulieferketten in der Automobilbranche, aber auch die in anderen Industriezweigen werden zunehmend komplexer.
Nicht nur die beiden genannten Automobilhersteller sind betroffen, sondern ein großer Teil der Branche (siehe Tabelle 1). Von den insgesamt mehr als 400 Rückrufen in den Jahren 2004-2009 waren lt. Kraftfahrtbundesamt (KBA) ca. 2,8 Mio. Kunden betroffen.[3]

1 Vgl. Handelsblatt (2010)
2 Vgl. Andresen (2010a)
3 Vgl. Quadbeck (2010a); vgl. Andresen (2010b)

Tabelle 1: Autorückrufe in Deutschland (2004-2009)[4]

Hersteller	Betroffene Kunden	Rückruf-Aktionen
Opel	407264	29
Renault	372034	45
Toyota	349359	14
VW	240236	14
Fiat	224697	38
Ford	192101	23
Peugeot	159086	10
Nissan	151204	24
Suzuki	148709	19
Honda	79501	15
Mazda	78658	9
Kia	53274	10
Volvo	49874	11
Chevrolet	48995	16
Audi	44601	8
Chrysler	35586	15
Mitsubishi	31271	16
Citroen	29248	9
Jeep	27034	15
Daihatsu	21655	4
Alfa	19602	10
BMW	15327	5
Land Rover	14193	11
Mercedes	11794	11
Lexus	10047	5
Saab	9307	5
Jaguar	6185	9
Lancia	6134	16
Smart	2835	5
Cadillac	657	5

Die Herausforderungen für den Unternehmenserfolg können auf vier veränderte Rahmenbedingungen zurückgeführt werden (siehe Abbildung 1): den geografischen, den technologie- und lösungsorientierten, den kompetenz- und kundenorientierten sowie den Zeitwettbewerb.[5]

Die Globalisierung der Märkte führt zu einem weltweiten Wettbewerb und somit auch für mittelständische Unternehmen zu einer internationalen Konkurrenz.

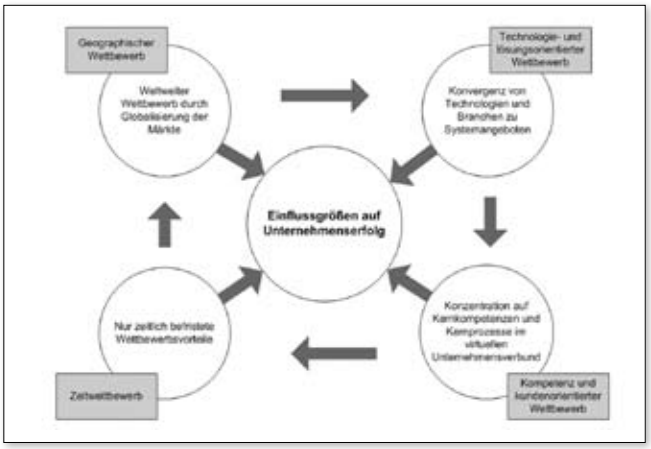


Abbildung 1: Veränderte Rahmenbedingungen für den Unternehmenserfolg[6]

Der technologische und lösungsorientierte Wettbewerb kennzeichnet die zweite Einflussgröße auf den Erfolg des Unternehmens. Bisherige Wirtschaftsstrukturen werden durch die Konvergenz von Technologien und Branchen zur Erzeugung von Systemangeboten aufgebrochen. Dabei werden zum Teil komplett neue Formationen geschaffen. Unternehmen organisieren sich in globalen Wertschöpfungsnetzwerken mit den Zielen sowohl die unternehmensinternen Prozesse zu verbessern als auch Nachhaltigkeit in Bezug auf Planung, Steuerung und Verbesserung der globalen Prozessketten zu erreichen. Unternehmen können ihre führende Stellung bei ihren Zielkunden verlieren, wenn sie die Veränderungen nicht rechtzeitig erkennen und darauf reagieren. Im schlimmsten Fall ist dadurch die Existenz des Unternehmens bedroht.

Veränderte Geschäftsmodelle als Reaktion auf diese Einflüsse kennzeichnen die dritte Einflussgröße. Unternehmen konzentrieren sich auf Kernkompetenzen sowie Kernprozesse und schließen sich zu virtuellen Unternehmensverbünden zusammen, weil Einzelunternehmen kaum in der Lage sind, alle geforderten technologischen Lösungen auf dem gestellten Level zu beherrschen. Die entstehenden Wertschöpfungsnetzwerke sind geprägt durch einzelne Wertschöpfungsmodule, welche sich über Zusammenarbeit und Wettbewerb horizontal und vertikal integrierend verbinden. Um als virtueller Unternehmensverbund auf den Märkten bestehen zu können, müssen die Kernkompetenzen und Kernprozesse der Partner zusammenpassen und vor allen Dingen muss jeder einzelne

4 Vgl. KBA, zitiert nach: Quadbeck (2010a), Andresen (2010b)
5 Vgl. Töpfer/Frost (2002). S. 11-13
6 Vgl. Töpfer/Frost (2002). S. 11; Entnommen aus: Giebel (2010). S. 1

Partner in der Lage sein, das vom Markt verlangte hohe Qualitätsniveau zu verwirklichen.
Diese Veränderungen werden durch den immensen Zeitdruck zusätzlich verschärft. Konkurrenten imitieren erfolgreiche Unternehmen, so dass Wettbewerbsvorteile nur zeitlich befristet sind. Dementsprechend muss die Anpassung des Unternehmens schneller erfolgen als die Markt- und Umweltveränderungen.
Subsumierend kann festgehalten werden, dass Wertschöpfung über mehrere Dimensionen zu bewerten ist um den Herausforderungen der globalen Lebenswelt über eine ingenieurwissenschaftliche Perspektive mit produktionstechnischem Fokus zu begegnen. In diesem Zusammenhang müssen auch verschiedene Entwicklungsniveaus unterschiedlicher Länder sukzessive durch technische Vermittlungs- und Innovationsprozesse abgebaut werden.[7]

Bei der Betrachtung von Qualität kann zwischen der tatsächlichen und der wahrgenommenen Qualität unterschieden werden. Die Wahrnehmung der Verbraucher ändert sich wie neuere Forschungsergebnisse zeigen im Zeitverlauf nur langsam. Wenn sich also die tatsächliche Qualität (z.B. ermittelt über Verbrauchertests) verschlechtert oder verbessert, beginnen sich auch die Kundenwahrnehmungen zu verändern. Die Veränderungen sind aber nicht sehr deutlich. Erst zwei Jahre nach der Veränderung in der Qualität zeigt sich eine merklich gewandelte Wahrnehmung. Im Durchschnitt vergehen fünf bis sieben Jahre bis die Kunden die tatsächliche Qualität eines Produkts entsprechend wahrnehmen. Erschwerend kommt hinzu, dass Kunden im Allgemeinen Verschlechterungen der Qualität schneller realisieren als Verbesserungen. Nur bei Marken mit hoher Reputation ist es umgekehrt. Kunden nehmen bei diesen Unternehmen Verbesserungen früher wahr als Verschlechterungen.[8] Die wahrgenommene Qualität ist also mit der tatsächlichen Qualität abzugleichen, um Rückschlüsse zu ziehen. Auch das PIMS (Profit Impact of Market Strategies)-Forschungsprogramm identifiziert die so genannte relative Qualität als einen wesentlichen strategischen Schlüsselfaktor. Die relative Qualität bezieht sich auf die von Kunden wahrgenommene Produktqualität im Verhältnis zu den Wettbewerbsprodukten.[9]

In diesem Spannungsfeld muss auch das Qualitätsmanagement seinen Beitrag zum Unternehmenserfolg und zur Wertschöpfung leisten. Das Erprüfen der Qualität am Ende des Prozesses reicht dazu schon lange nicht mehr aus. Qualität und QM müssen ganzheitlich betrachtet werden; ganz im Sinne des Total Quality Managements (TQM). Dies umfasst die Qualität von Produkten, Prozessen, Organisationen und Führung und schließt eine Berücksichtigung der relevanten Anspruchsgruppen ein.[10]

Kritiker des Qualitätsmanagements stellen immer wieder heraus, dass das QM keinen unmittelbar wertschöpfenden Beitrag zum Unternehmenserfolg leistet und der Mitteleinsatz auf ein Minimum beschränkt werden muss. Dem gegenüber belegen empirische Erhebungen einen positiven Zusammenhang zwischen dem Erfolg eines Unternehmens und dem Einsatz von Qualitätsmanagement.[11]
Qualität und Wertschöpfung können nicht losgelöst voneinander betrachtet werden. Das Wirtschaftlichkeitsprinzip betrachtet immer eine Verbindung von Input und Output, von Kosten und Nutzen. Bei der Wirtschaftlichkeitsbeurteilung von Qualitätsmaßnahmen ist zu beachten, dass dies allein über das Konzept qualitätsbezogener Kosten nicht möglich ist, da alle finanziellen Konsequenzen nur in Form von Kosten erfasst werden. Negative Effekte wie der zuvor angeführte Imageverlust werden in den Kosten nicht berücksichtigt. Die Abbildung der vollständigen Wertschöpfungskette ist mit den qualitätsbezogenen Kosten nicht möglich. Der Wert - für das Unternehmen und den Kunden - muss ebenfalls Berücksichtigung finden. Die Ermittlung des internen und des externen Nutzens des QM wird, wie auch die Kostenbetrachtung, durch eine zweifache Zurechnungsproblematik erschwert. Zum einen können die Erfolgswirkungen nicht allein auf QM-Aktivitäten zurückgeführt werden, zum anderen auch nicht eindeutig QM-Maßnahmen und somit auch nicht qualitätsbezogenen Kosten zugeordnet werden, da bei der Umsetzung auch Ausgaben in anderen Bereichen des Unternehmens entstehen.[12]

7 Vgl. Töpfer/Frost (2002). S. 11-13; vgl. Seliger (2007); vgl. Seliger (2008)
8 Vgl. Mitra/Golder (2007). S. 14
9 Vgl. Buzzell/Gale (1989). S. 29-44; 91-112.
10 Vgl. Giebel (2010). S. 1-14
11 Vgl. Buzzell/Gale (1989); Jochem/Geers/Giebel (2009); Rust/Moormann/Dickson (2002); Hendricks/Singhal (2001); CQE University of Leicester (2005); Sommerhoff (2005)
12 Vgl. Bruhn/Georgi (1999). S. 70; vgl. Bruhn (1998). S. 115-117; vgl. Bruhn (2008). S. 531; vgl. Giebel (2010). S. 20-49; vgl. Tomys (1995). S. 48-52; vgl. Kamiske (2007). 96-98

Qualitätsmanagement steht also in Wechselbeziehungen mit anderen Managementkonzepten und Maßnahmen im Unternehmen. Einerseits unterstützt das QM diese Konzepte, andererseits nutzt QM diese Konzepte für die Erreichung der QM-spezifischen Ziel- und Aufgabenstellungen. Die Wirkung auf die Wertschöpfung ist das Ergebnis der Wechselwirkung und des Zusammenspiels. Sie bilden einen Wirkverbund, der sich wechselseitig beeinflusst und über einfache Ursache-Wirkungs-Beziehungen hinausgeht. Modelle, die die Wertschöpfung des QM untersuchen wollen, müssen diese Wirkgeflechte ebenso wie die Wirkverzögerungen der QM-Maßnahmen und -Aktivitäten abbilden können. Auch muss ein Modell bei qualitativen Eingangsdaten zu handlungsleitenden Entscheidungen führen und auf unterschiedliche QM-Bereiche hin skalierbar sein.[13]

Wertgeneratoren des Qualitätsmanagements

Methoden und Modelle, die den Wertbeitrag des Qualitätsmanagements bewerten wollen, müssen die wesentlichen unternehmerischen Erfolgsfaktoren identifizieren und nutzen. Es stellt sich also die Frage, worin die Erfolgsfaktoren mit ihrem Anteil zur wirtschaftlichen Bedeutung des QM liegen, um eine Entscheidungsbasis für eine optimal abgestimmte Allokation der Ressourcen für den Qualitätsbereich zu haben. Eine genauere Betrachtung der Aktivitäten des QM zeigt, dass eine Reihe von mittelbaren unternehmensinternen und -externen Effekten sowie kausalen Abhängigkeiten zur Wertschöpfung und zur Steigerung der Wettbewerbsfähigkeit eines Unternehmens ihren Ursprung im Qualitätsmanagement haben.[14]

Die unternehmensexternen Effekte

Ein Großteil der Aktivitäten und Ansätze des Qualitätsmanagements ist auf die Generierung einer hohen kundenorientierten Produktqualität ausgerichtet. Diese steht wiederum in einer vielschichtigen Abhängigkeit zu vorökonomischen Zielgrößen. So bildet sie die Basis für die Entstehung von Kundenzufriedenheit und Kundenbindung. Gleichzeitig ergeben sich aus der Produktqualität Wirkabhängigkeiten wie z.B. die Möglichkeiten für den Aufbau eines Qualitätsimages, eine verbesserte Positionierung auf dem Absatzmarkt sowie die Zunahme der Kundenzufriedenheit. Zufriedene Kunden erweisen einem Unternehmen eine hohe Loyalität, die sich neben einer hohen Widerkaufrate auch durch positive Kommunikationseffekte zwischen aktuellen und potenziellen Kunden bemerkbar macht. Aus einer hohen Kundenzufriedenheit resultiert oftmals auch eine für das Unternehmen positive Veränderung der Preiselastizität.[15] Für europaweit agierende Unternehmen ist oft ein Konformitätsnachweis notwendig, um Handelsbarrieren zu beseitigen. Das QM kann durch entsprechende normkonforme Aktivitäten eine Überwindung dieser Marktbarrieren ermöglichen und so den Zugang zu neuen Absatzmärkte öffnen.

Unternehmensinterne Effekte

Positiv auf die Leistungserstellungseffizienz eines Unternehmens wirkt das QM durch seine Prozessorientierung und die resultierende Verringerung von Schnittstellenproblemen. Qualitätsprogramme führen zu einer kontinuierlichen Verbesserung und Implementierung von *Best Practice-Lösungen* und wirken so unmittelbar auf die Effizienz entlang der Leistungserstellung. Aus den kostensenkenden Effekten können die notwendigen Investitionen finanziert und gezielt verschiedene Preissegmente eines Marktes bedient werden. Durch die Konzentration auf die Prozesse und deren konsequente Verbesserung können Kernkompetenzen entwickelt werden, die Wettbewerbsvorteile, z.B. Imitationsschutz, bieten.

Aufgrund der im Zeitverlauf exponential ansteigenden Fehlerbeseitigungskosten (Zehnerregel) ist auch die präventive Fehlervermeidung von großer Bedeutung. Die Fehlerprävention kann auch das Risiko für den Eintritt von Schadensfällen beim Kunden senken. Eine Verbesserung der *time-to-market* ergibt sich aus einer durch die Qualitätssicherungselemente ermöglichten kürzeren Entwicklungszeit. [16]

Hinsichtlich rechtlicher Belange eröffnen sich aus der konsequenten Anwendung von QM-Maßnahmen Nachweise für Exkulpationsmöglichkeiten hinsichtlich der Produkt-/Produzentenhaftung.[17]

13 Vgl. Giebel (2010). S. 20-49
14 Vgl. Jochem/Geers/Giebel (2009). S. 11-12
15 Vgl. Huber/Herrmann/Braunstein (2009). S. 69-85; vgl. Jochem/Geers/Giebel (2009). S. 11-12
16 Vgl. Jochem/Geers/Giebel (2009). S. 11-12
17 Vgl. Ensthaler (2007). S. 123-152

Value und Performance Generatoren des Qualitätsmanagements

Unter dem Einfluss der unternehmensindividuellen moderierenden Faktoren generieren die dargestellten unternehmensinternen und -externen Effekte einen positiven Beitrag zur Wertschöpfung (siehe Abbildung 2). Dabei ist zu beachten, dass die Wirkzusammenhänge nicht nur hierarchisch sind. Vielmehr bestehen auch Rückkopplungen von den betriebswirtschaftlichen Zielgrößen auf die Potentiale eines Unternehmens.

In diesem Zusammenhang ist der Wille zur Nachhaltigkeit eine wesentliche Handlungssituation für die Industrie. Aus produktionstechnischer Sicht kann ein Beitrag zu nachhaltiger Wertschöpfung geleistet werden, indem zukunftsfähige Technologien als treibende Kräfte in den drei Dimensionen ökonomisch, ökologisch und sozial in ihren Wechselwirkungen analysiert, bewertet und entwickelt sowie zu ihrer Anwendung befähigt werden.[18] Um dies erreichen zu können müssen bereits bei der Entstehung von Wertschöpfungsnetzen und Technologien Nachhaltigkeitskriterien beachtet werden. Um der Komplexität der Wechselwirkungen begegnen zu können, ist ein systemisches Verständnis über diese hilfreich. Dies umfasst im Wesentlichen das strukturierte Erfassen der Betrachtungsebenen globaler Wertschöpfung um Ansatzpunkte für deren nachhaltige Gestaltung identifizieren zu können. Eine Schlüsselrolle kommt in diesem Gesamtkontext der Befähigung von Menschen zu nachhaltigem Handeln zu. Die wichtigste Quelle für Ideen und daraus resultierenden Innovationen sind gut ausgebildete Menschen. Mit dieser Basis können Vorgehensweisen für nachhaltiges Handeln in Wertschöpfungsnetzen erforscht und umgesetzt werden. So soll es z.B. Kunden möglich sein, eine Ware über die »Nachhaltigkeit ihrer Entstehung« zu beurteilen und auszuwählen, um einen Paradigmenwechsel hin zu gesellschaftsweitem nachhaltigen Handeln zu ermöglichen.[19]

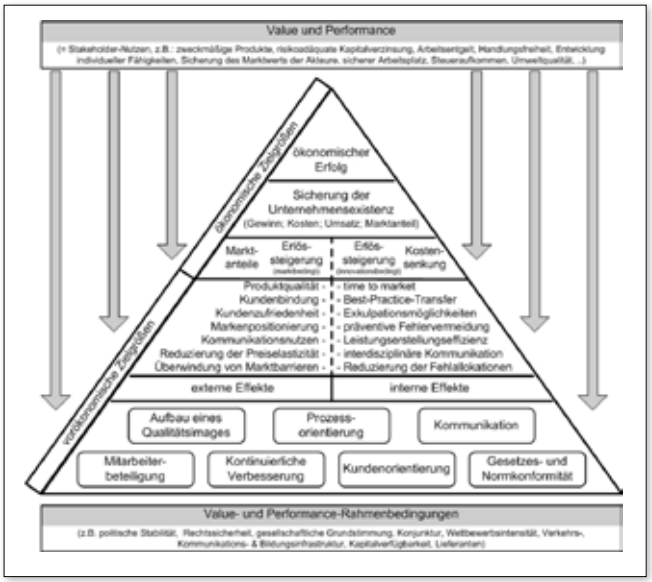


Abbildung 2: Value und Performance Generatoren des Qualitätsmanagements[20]

Unternehmen beinhalten mannigfaltige Wirkkreise und Wirkungsnetzwerke, deren Elemente sich wechselseitig beeinflussen. Zur Nutzung der dargestellten Effekte werden konkrete Methoden und Modelle benötigt. Ein Modell, das die Besonderheiten des QM aufnimmt und die Wirkungen von QM-Strukturen und –Aktivitäten auf den Unternehmenswert und –erfolg abbildet, ist das Quality Effect Model on Value Added (QEMOVA).

Das Quality Effect Model on Value Added (QEMOVA)

Ein Modell, welches die Wirkmechanismen zur Wertsteigerung durch Qualitätsmanagement beschreibt, ist das von Giebel (2010) entwickelte Quality Effect Model on Value Added (QEMOVA). Das QEMOVA bildet sowohl die Wechselwirkung mit anderen Konzepten und Einflüssen als auch die Wirkverzögerungen der QM-Maßnahmen und -Aktivitäten ab. Es ist auf unterschiedliche Einsatzfelder des QM hin skalierbar und führt auch bei nur qualitativen Eingangsdaten zu handlungsleitenden Entscheidungen. Dem Modell liegt ein systemischer Ansatz zu Grunde und es nutzt Ursache-Wirkungsgeflechte zur Erfassung und Bewertung der Wirtschaftlichkeit von Qualitätsmanagementstrukturen und -aktivitäten. Das Vorgehensmodell des QEMOVA ist ein Regelkreis im Sinne eines ständigen Verbesserungsprozesses und beinhaltet

18 Vgl. Seliger et al. (2004)
19 Vgl. Seliger (2007); vgl. Seliger (2008)
20 Jochem/Geers (2010). S. 54

die folgenden sieben Schritte:

1. Analysebereich abgrenzen und beschreiben
2. Unternehmenswert und -erfolg definieren
3. Einflussfaktoren identifizieren
4. Wechselwirkungsmatrix aufstellen
5. Einflussportfolio und Wechselwirkungsnetzwerk generieren
6. Wirkkreisläufe und Wirkungen des Qualitätsmanagements analysieren
7. Maßnahmenplanung und -kontrolle durchführen

Die Anwendung des QEMOVA wird im Folgenden durch die Darstellung des Modells an Hand eines Fallbeispiels aus der pharmazeutischen Industrie illustriert.[21]

1. Schritt: Abgrenzung und Beschreibung des Analysebereichs

Der erste Schritt des QEMOVA beinhaltet die Abgrenzung und Beschreibung des Analysebereichs. Dazu wird definiert, ob das gesamte Unternehmen, die Kernprozesse der Wertschöpfungskette, einzelne Projekte oder Unternehmensbereiche untersucht werden. Wichtige Betrachtungsaspekte sind Vision, Mission, Geschäftsmodell und Strategie. Gleichzeitig sind die Systemgrenzen davon abhängig, aus welcher Perspektive Systeme betrachtet werden. Daher kann es absolute Systemgrenzen nicht geben und die Systembestimmung wird erst durch die weitere Identifizierung der Systemelemente im zweiten und dritten Schritt abgeschlossen.

In der Einzelfallstudie wurde das QEMOVA zur Analyse eines Kernprozesses der Wertschöpfungskette eingesetzt. Der Analysebereich ist der Prozess zur Abwicklung von Investitionsprojekten bei einem pharmazeutischen Unternehmen. In mehreren Workshops wurde ein klares, einheitliches Prozessverständnis erzeugt. Die Abbildung 3 zeigt die abschließend vereinbarten und identifizierten Prozessphasen von Investitionsprojekten im untersuchten Unternehmen.[22]

Das Fallbeispiel verdeutlicht, dass die Auswahl des Analysebereichs und die Erarbeitung eines einheitlichen Prozessverständnisses eine umfangreiche Aufgabe ist, die eigens für diese Analyse durchgeführt wurde. Eine ganzheitliche Lösung mit Nutzen für das gesamte Unternehmen und weiterführenden Potenzialen, stellt die Modellierung eines Geschäftsprozess-Modells dar. Es ist eine einheitliche Informationsbasis und dient einer gemeinsamen Sicht auf das Unternehmen.

Eine Methode, die auf einem Geschäftsprozess-Modell basiert und einen Mehrwert im Sinne des QEMOVA bezüglich Auswahl und Verständnis des Analysebereichs schafft, ist der Prozessassistent. Er verwendet als methodische Grundlage die Integrierte Unternehmensmodellierung (IUM) und bietet strukturierten Zugriff auf die wichtigsten Informationen des Prozessmodells. Diese beinhalten neben den Prozessbeschreibungen auch Beschreibungen und Informationen über die Organisationseinheiten. Somit kann eine maximale Transparenz über Prozess und Verantwortlichkeiten erreicht werden. Darauf aufbauend sind die Vorteile des Prozessassistenten (Abbildung 4) die unternehmensweite Bereitstellung eines integrierten Managementsystems, ein Implementierungsassistent für IT-Spezifikationen, die Möglichkeit zur Einführung von Wissensmanagement sowie von Managementsystemen. Weitere Vorteile sind eine intuitive Navigation, Schnittstellen zu anderer Standardsoftware und die branchenneutrale und unternehmensgrößenunabhängige Einsatzmöglichkeit.[23]

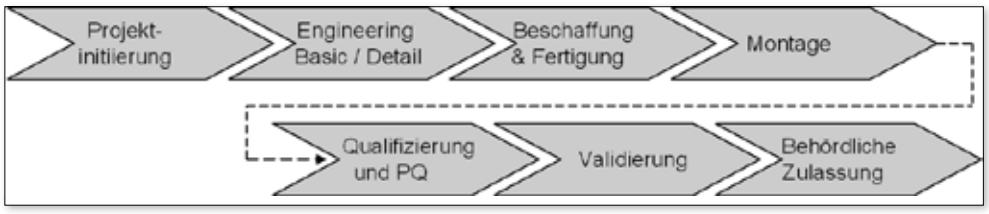


Abbildung 3: Prozessphasen von Investitionsprojekten im untersuchten Unternehmen (Giebel 2010)

21 Vgl. Giebel (2010). S. 80-81
22 Vgl. Giebel (2010). S. 81-84, 123-124
23 Vgl. Jochem (2001); vgl. Jankovic et al. (2008); vgl. Knothe/Jochem (2009)

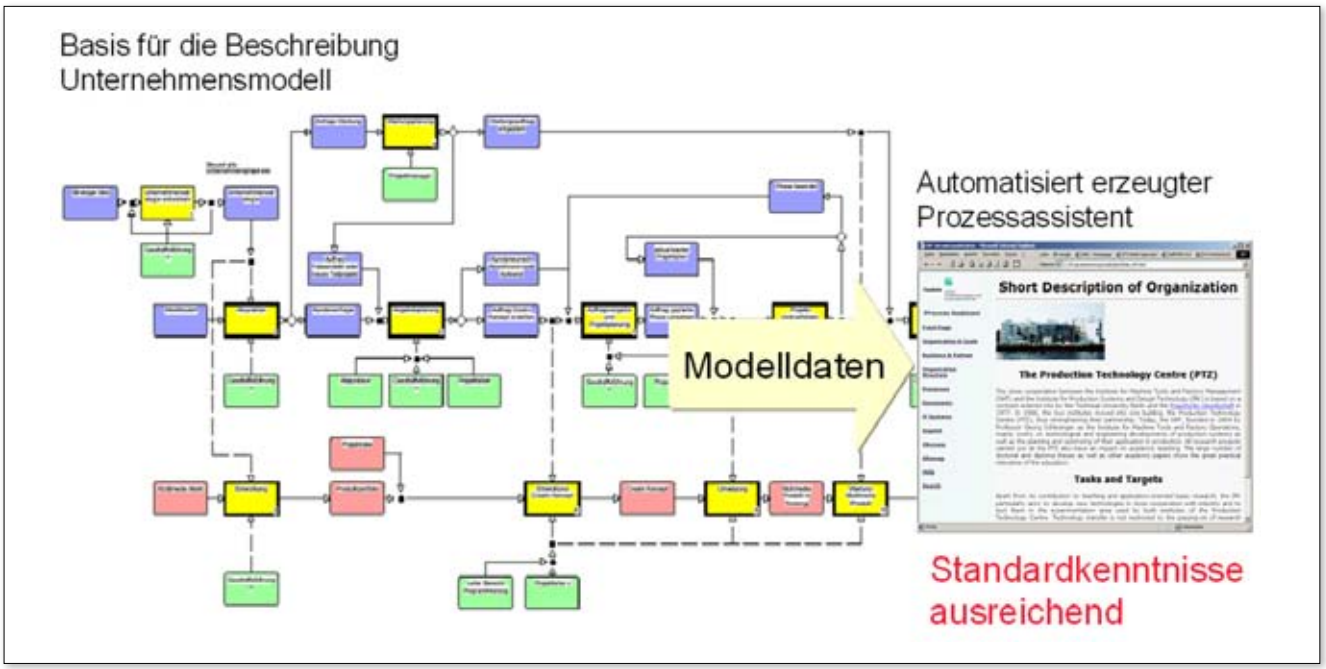


Abbildung 4: Integrierte Unternehmensmodellierung mit dem Prozessassistenten[24]

2. Schritt: Definition der Erfolgsziele

Der zweite Schritt des QEMOVA umfasst die Definition von Unternehmenswert und -erfolg. Dieser Schritt ist immer auf den Analysebereich zu beziehen. Somit ergibt sich die Fragestellung: »Was sind die Erfolgsziele bei Investitionsprojekten?« Während der Diskussion der Zielgrößen ist es wichtig, immer wieder den Abgleich zum Analysebereich und den strategischen Zielen des Unternehmens vorzunehmen. Die identifizierten Erfolgsziele müssen konform mit der strategischen Ausrichtung des Unternehmens bzw. des Unternehmensbereiches sein (Schritt 1).

Für den Investitionsprozess wurden vier strategisch bedeutende Ziele identifiziert (siehe Tabelle 2). Für jedes Ziel wurde ein Indikator bzw. eine Messgröße abgeleitet. Die Ableitung dieser Indikatoren gestaltete sich unterschiedlich schwierig. Die Messgröße muss für die Zielgröße gültig und auch erfassbar sein. Zu den einzelnen Größen wurden genauere Beschreibungen erarbeitet bzw. Berechnungsvorschriften für den Indikator definiert. Für jede dieser Messgrößen wurden Ist- und Zielwerte ermittelt bzw. vereinbart. Termin- und Budgeteinhaltung können aus Vergangenheitsdaten und durchgeführten Projekten ermittelt werden. Für die beiden anderen Zielgrößen sind Istwerte nur zu schätzen, da die aktuelle Datenlage keine Berechnung der Größen ermöglicht. Entsprechend ist ein Kennzahlensystem aufzubauen, das diese Messgrößen erfassen kann. Dies schränkt zwar die Bewertung der Entwicklung ein, andererseits sind diese beiden Größen mit Zielen versehen, die eine vollständige Erfüllung erwarten.[25]

24 Vgl. Rabe/Wintrich (2010)

25 Vgl. Giebel (2010). S. 84-86, 124-125

Tabelle 2: Identifizierte Erfolgsziele im Investitionsprozess[26]

Aus der Strategie abgeleitete Größen des Unternehmenswertes/ -erfolgs	Indikator/ Messgröße	Istwert	Zielwert	Beschreibung/ Berechungsvorschriften des Indikators
Termineinhaltung	Abweichung vom geplanten Endtermin in Tagen	+ 60 Tage	+ 15 Tage	Geplanter Endtermin lt. CAR Tatsächlicher Endtermin lt. Projektabschlussbericht
Budgeteinhaltung	Abweichung vom geplanten Budget in %	+/-25%	+/-10%	Geplantes und freigegebenes Budget lt. CAR Tatsächliches Budget aus Projektabrechung (Budget aus CAR + ggf. Project Changes)
Behördenfeste Dokumentation	Anzahl fehlerhafter oder fehlender behördenrelevanter Dokumente	k.A.[27]	100%	Anzahl der nach Abschluss der Validierung überarbeiteten oder nachgereichten Dokumente an RAE (Regulatory Affairs)
Erfüllung der definierten Leistungsdaten/ Kundenanforderungen	Erfüllungsgrad	k.A.[28]	100%	Ermittelt 6 Monate nach Projektabschluss und Betrieb der Anlage; Erfüllte Anforderungen zu definierten Anforderungen (lt. CAR) in %

3. Schritt: Einflussfaktoren identifizieren

Der dritte Schritt des QEMOVA umfasst das Identifizieren der Einflussfaktoren. Zusammen mit den in Schritt 2 ermittelten Elementen des Unternehmenswerts und -erfolgs sowie den zu untersuchenden QM-Strukturen und -Aktivitäten bilden sie die Systemelemente. Das System sollte aus einem Satz von 20 bis 40 Variablen bestehen. Aus diesen veränderlichen Einflussgrößen und ihren Wechselwirkungen wird die Kybernetik des Systems ermittelt. Die sorgfältige Auswahl dieser Variablensätze ist von entscheidender Bedeutung für die Methode.

Für die Fallstudie wurden im Projektteam die in Tabelle 3 dargestellten Systemelemente identifiziert. Die Systemelemente sind in vier Bereiche gegliedert worden: Identifizierte Erfolgsziele (aus Schritt 2), QM-Aktivitäten und -Strukturen (entsprechend der Zielsetzungen und Rahmenbedingungen), Projektcharakter sowie Projektleiter und -team. Zu jedem Systemelement wurde ein Indikator zur Erfassung und Operationalisierung dieser Größe identifiziert. Zusätzlich sind Beschreibungen, Erläuterungen oder Berechnungsvorschriften für den Indikator angegeben.

26 Vgl. Giebel (2010). S. 124-125

27 Aktuell wird oftmals erst kurz vor der behördlichen Einreichung von einer anderen Abteilung des Unternehmens das Fehlen von behördenrelevanten Unterlagen erkannt.

28 Aktuell erfolgt keine regelmäßige, systematische Rückmeldung vom Betreiber/Kunden an das Engineering.

Tabelle 3: Betrachtete Systemelemente des Investitionsprozesses[29]

ID	Systemelemente	Indikator/ Messgröße	Beschreibung/ Berechungs-vorschriften des Indikators
Identifizierte Erfolgsziele			
Z1	Termineinhaltung	Abweichung vom geplanten Endtermin in Tagen	Geplanter Endtermin lt. CAR Tatsächlicher Endtermin lt. Projektabschlussbericht
Z2	Budgeteinhaltung	Abweichung vom geplanten Budget in %	Geplantes und freigegebenes Budget lt. CAR Tatsächliches Budget aus Projektabrechung (Budget aus CAR + ggf. Project Changes)
Z3	Behördenfeste Dokumentation	Anzahl fehlerhafter oder fehlender behördenrelevanter Dokumente	Anzahl der nach Abschluss der Validierung überarbeiteten oder nachgereichten Dokumente an RAE (Regulatory Affairs)
Z4	Erfüllung der definierten Leistungsdaten/ Kunden-anforderungen	Erfüllungsgrad	Ermittelt bei Projektabschluss
QM-Aktivi-täten und -Strukturen			
QM1	Erfüllung der Anforderungen des PQP (Projektqualitätsplan)	Rechtzeitige Erfüllung zu Anzahl der Anforderungen (in %)	Rechtzeitige Erfüllung der definierten Anforderung in der definierten Qualität im Verhältnis zu der gesamten Anzahl der Anforderungen
QM2	Konsequente Anwendung der Q-Gate Systematik	Rechtzeitige Erfüllung zu Anzahl der Anforderungen (in %)	Festlegung des Q-Gate-Umfangs auf Basis einer Risikoabschätzung. Checklis-ten definieren die Mindest-anforderungen je Q-Gate. Höhere Förderungen können projektspezifisch festgelegt werden.
QM3	Treiber für PQP und Q-Gates	Definierte Verantwortlich-keiten für PQP und Q-Gate-Systematik	Organisatorische Verantwort-lichkeit für Schulung und Con-trolling von PQP und Q-Gates
Projekt-charakter			
PC1	Belastung der Projekt-organisation	Anzahl der Parallelprojekte	Durchschnittliche Anzahl der parallelen Projekte pro Teammitglied

29 Vgl. Giebel (2010). S. 126-128

ID	Systemelemente	Indikator/ Messgröße	Beschreibung/ Berechungs-vorschriften des Indikators
PC2	Komplexität des Projekts	Anzahl der Teilprojekte	Anzahl der Teilprojekte des Gesamtprojekts
PC3	Reifegrad der F&E Idee	Reifegrad	Beurteilung auf einer unternehmensspezifischen Reifegradskala
PC4	Qualität der Schnittstellenko-ordination	Qualitätsbeurteilung	Intern im Projekt Extern zu F&E Extern zu Produktion/ Betreiber
PC7	Projektsponsor	Reputation	Reputation, Hierarchieebene
PC8	Lieferantenqualität	In % gemäß aktueller Lieferan-tenbewertung (im Projekt)	Kontrolle der Lieferanten
PC9	Vollständigkeit der Spezifikati-onen, Vergabeprotokolle	Anzahl der Anpassungen/ Nachträge in den Spezifikati-onen und Vergabeprotokollen nach IPP	Referenzzeitpunkt ist der Initial Project Proposal (IPP)
PC10	Vollständigkeit der Dokumen-tation	Rechtzeitige und vollständige Erfüllung der Dokumentations-anforderungen zu Anzahl der Anforderungen (in %)	Vollständigkeit der Dokumen-tation bezieht sich auf die Anlagendokumentation, nicht die Projektdokumentation
PC11	Aktualität des Dokumenten-management (einschl. der Fortschrittsberichte) Aktualität der Fortschrittsbe-richte	Rechtzeitige und vollständige Erfüllung der Dokumentations-anforderungen zu Anzahl der Anforderungen (in %)	Die Anforderungen sind in den »Dokumentenanforderer«, dem PQP und ggf. weiteren Vorschriften enthalten.
PC12	Definierter Eskalations-mechanismus	Beschreibung des Eskalations-mechanismus liegt vor	(bis hin zu Projektabbruch) Zunächst nur Definition, später auch Anwendung
PC13	Klare Zieldefinition / Pro-jektspezifikation	Anzahl der Zielanpassungen/ Nachträgen in der Spec. nach IPP	Design Freeze der Spezifikation (Spec.) nach dem Initial Project Proposal (IPP)
PC14	Durchlaufzeit	Anzahl Tage	Von Projektauftrag bis Projekt-abschluss a) gemessen nach Validierung b) gemessen nach erfolgrei-cher behördlicher Zulassung
Projektleiter und -team			
PL1	Erfahrung des Projektleiters	Anzahl Jahre in Projekt-leitungsfunktion	Alternative: Anzahl Projekte in Projektleitungsfunktion
PL2	Größe des Projektteams	Anzahl der im Projektteam vertretenen Fakultäten	Alternative: Anzahl der Teammitglieder
PL3	Expertise/Erfahrung Projekt-team	Anzahl durchgeführten Projekte im betroffenen Themengebiet	Themengebiete lt. Fakultäten-liste

ID	Systemelemente	Indikator/ Messgröße	Beschreibung/ Berechungs-vorschriften des Indikators
PC3	Reifegrad der F&E Idee	Reifegrad	Beurteilung auf einer unternehmensspezifischen Reifegradskala
PC4	Qualität der Schnittstellenko-ordination	Qualitätsbeurteilung	Intern im Projekt Extern zu F&E Extern zu Produktion/ Betreiber
PC7	Projektsponsor	Reputation	Reputation, Hierarchieebene
PC8	Lieferantenqualität	In % gemäß aktueller Lieferan-tenbewertung (im Projekt)	Kontrolle der Lieferanten
PC9	Vollständigkeit der Spezifikati-onen, Vergabeprotokolle	Anzahl der Anpassungen/ Nachträge in den Spezifikati-onen und Vergabeprotokollen nach IPP	Referenzzeitpunkt ist der Initial Project Proposal (IPP)
PC10	Vollständigkeit der Dokumen-tation	Rechtzeitige und vollständige Erfüllung der Dokumentations-anforderungen zu Anzahl der Anforderungen (in %)	Vollständigkeit der Dokumen-tation bezieht sich auf die Anlagendokumentation, nicht die Projektdokumentation
PC11	Aktualität des Dokumenten-management (einschl. der Fortschrittsberichte) Aktualität der Fortschrittsbe-richte	Rechtzeitige und vollständige Erfüllung der Dokumentations-anforderungen zu Anzahl der Anforderungen (in %)	Die Anforderungen sind in den »Dokumentenanforderer«, dem PQP und ggf. weiteren Vorschriften enthalten.
PC12	Definierter Eskalations-mechanismus	Beschreibung des Eskalations-mechanismus liegt vor	(bis hin zu Projektabbruch) Zunächst nur Definition, später auch Anwendung
PC13	Klare Zieldefinition / Pro-jektspezifikation	Anzahl der Zielanpassungen/ Nachträgen in der Spec. nach IPP	Design Freeze der Spezifikation (Spec.) nach dem Initial Project Proposal (IPP)
PC14	Durchlaufzeit	Anzahl Tage	Von Projektauftrag bis Projekt-abschluss a) gemessen nach Validierung b) gemessen nach erfolgrei-cher behördlicher Zulassung
Projektleiter und -team			
PL1	Erfahrung des Projektleiters	Anzahl Jahre in Projekt-leitungsfunktion	Alternative: Anzahl Projekte in Projektleitungsfunktion
PL2	Größe des Projektteams	Anzahl der im Projektteam vertretenen Fakultäten	Alternative: Anzahl der Teammitglieder
PL3	Expertise/Erfahrung Projekt-team	Anzahl durchgeführten Projekte im betroffenen Themengebiet	Themengebiete lt. Fakultäten-liste

Im Laufe der wiederholten Anwendung muss sich die Angemessenheit der Indikatoren, die das Ergebnis eines auf Konsensfindung ausgelegten Diskussionsprozesses sind, beweisen.

4. Schritt: Wechselwirkungsmatrix aufstellen und ausfüllen

Im vierten Schritt des QEMOVA wird die Wechselwirkungsmatrix (WW-Matrix) aufgestellt und ausgefüllt. Dazu werden die Systemelemente paarweise über ihre Wirkzusammenhänge analysiert.

Die Analyse erfolgt in drei Bewertungskategorien: Intensität, Art der Korrelation (Wirkrichtung) und Zeitliche Abhängigkeit. Diese Bewertungen sollten unbedingt im Team erfolgen und es sollte Konsens bei der Bewertung herrschen.

Für die Beschreibung der Wirkungsintensität bietet sich folgende Einteilung an:

Intensität

0	keine Wirkung vorhanden
1	schwache Wirkung (unterproportional)
2	mittlere Wirkung (proportional)
3	starke Wirkung (überproportional)

Bei der Bewertung der Wirkung ist beispielhaft folgende Logik anzuwenden: Wenn Element A verändert wird, wie stark ändert sich dann durch die direkte Einwirkung von A das Element B? Wenn A nur wenig verändert wird und das Element B sich darauf hin stark verändert, ist von einer überproportionalen Wirkung auszugehen und eine 3 zu vergeben. Wenn A stark geändert werden muss, um B stark zu verändern, sollte höchstens eine 2 vergeben werden. Bei nur sehr schwachen Wirkungen oder bei Wirkungen, die erst mit großer Zeitverzögerung eintreten, sollte eine 0 vergeben werden. Um Doppelbewertungen zu vermeiden, muss darauf geachtet werden, dass nur direkte Wirkungen auf die anderen Elemente berücksichtigt werden.[30]

Neben der Intensität der Wirkung ist die Richtung der Wirkung zu beachten. Bei der Art der Korrelation wird zwischen positiver und negativer Korrelation unterschieden:

Art der Korrelation

+	positive Korrelation / gleichgerichtete Wirkung
–	negative Korrelation / gegengerichtete Wirkung

Die Bewertung von Intensität und Richtung der Wirkungen kann in einer Matrix (Abbildung 5) erfolgen.

Aus der Summierung der Beträge (!) (das Vorzeichen darf nicht als negativer Wert interpretiert werden, sondern zeigt nur die Richtung der Korrelation) der Zeilen ermittelt sich die Aktivsumme (AS) des jeweiligen Elementes, d.h. wie stark beeinflusst dieses die anderen Elemente. Die Spaltensumme ist die Passivsumme (PS), die beschreibt, wie stark das Element von den anderen beeinflusst wird. Die Ermittlung des Quotienten (Q), durch Division der Aktiv- durch die Passivsumme eines jeden Elements (AS : PS = Q), dient der Unterscheidung in aktive und passive Elemente. Das Produkt (P) aus Aktiv- und Passivsumme (AS * PS = P) identifiziert kritische und puffernde Elemente.[31]

Als dritte Dimension ist die zeitliche Abhängigkeit der Wirkung zu beachten, die in die folgenden Kategorien eingeteilt werden kann:

Zeitliche Abhängigkeit

a	sofort
b	kurzfristig
c	mittelfristig
d	langfristig

Der zeitliche Verlauf von Wirkungen hat eine mindestens ebenso große Bedeutung wie die Art der Wirkung selbst. Dies gilt vor allem, wenn Rückkopplungen verzögert sind, da zu schnelle oder zu langsame Korrekturen den beabsichtigten Effekt ins Gegenteil verkehren können.[32] Wie zuvor im Abschnitt »Herausforderungen für Unternehmen und das Qualitätsmanagement« dargestellt, können erhebliche zeitliche Verzögerungen zwischen Qualitätsveränderungen und dem Wahrnehmen dieser Änderungen durch die Kunden bestehen.

30 Vgl. Vester (1991) S. 93-94

31 Vgl. Vester (1991) S. 90; vgl. Vester (1994) S. 144-145

32 Vgl. Vester (1994) S. 61-65

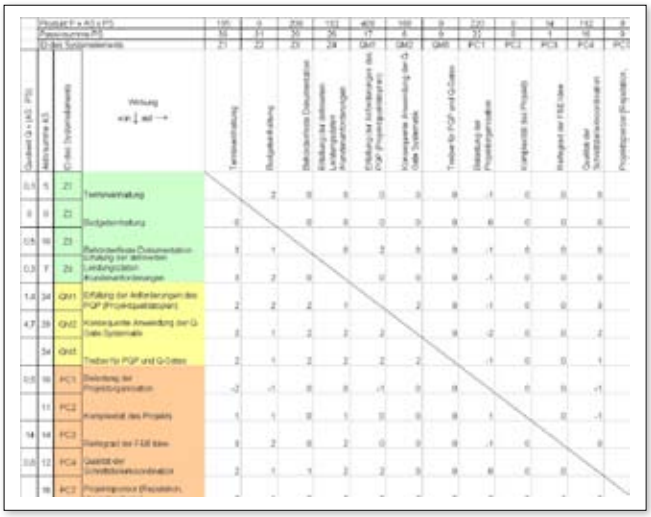


Abbildung 5: Ausgefüllte Wechselwirkungsmatrix des Analysebereichs (Ausschnitt)[33]

Neben den Bewertungen enthält die WW-Matrix (Abbildung 5) bereits auch die ermittelten Aktiv- und Passivsummen sowie die Q- und P-Werte der einzelnen Elemente. Für drei Elemente (QM3, PC2 und PC7) konnten auf Grund der Berechnungsvorschrift keine Q-Werte ermittelt werden, da ihre Passivsumme Null ist (Division durch Null ist mathematisch nicht zulässig).
Die Wechselwirkungsmatrix bildet die Grundlage für alle folgenden Auswertungen und Analysen in den Schritten 5 und 6.

5. Schritt: Einflussportfolio und Wechselwirkungsnetzwerk generieren

Der fünfte Schritt des QEMOVA umfasst die Generierung von Einflussportfolio und Wechselwirkungsnetzwerk. Das Einflussportfolio (Abbildung 6) positioniert die Systemelemente in einem Koordinatensystem anhand ihrer Aktiv- und Passivsummen. Grundsätzlich kann dadurch zwischen aktiven und reaktiven sowie zwischen kritischen und puffernden Elementen unterschieden werden. Die Unterscheidung von aktiven und reaktiven Elementen erfolgt über die in der Wechselwirkungsmatrix ermittelten Quotienten (Q-Werte). Die Trennlinie liegt bei einem Quotienten von 1. Elemente mit einem Q-Wert größer 1 sind aktiv (Bereich oberhalb der 45° Linie in Abbildung 6). Elemente mit einem Q-Wert kleiner 1 sind reaktiv. Die Unterscheidung zwischen puffernd und kritisch erfolgt über die Produkte (P-Werte) aus Aktiv- und Passivsumme. Die Mitte liegt bei einem P-Wert von $(n-1)^2$. Dabei gibt n die Anzahl der Variablen im jeweiligen Modell an. Entlang der Hyperbeln verlaufen gleiche P-Werte.[34]
Die aktiven Elemente haben sehr viele Wirkungen auf das Verhalten des Gesamtsystems, werden jedoch kaum von anderen Systemelementen beeinflusst, wodurch sie in gewisser Weise stabilisierend wirken. Aus dem System selbst heraus wirken sie nicht als Hebel, können durch äußere Eingriffe aber als Steuergrößen verwendet werden, da sie nachhaltig auf das Systemverhalten wirken.
Die reaktiven Elemente beeinflussen das betrachtete System selbst nur sehr schwach. Da sie aber sehr stark von den anderen Systemkomponenten beeinflusst werden, eignen sie sich als Indikatoren; dabei strahlen Veränderungen jedoch nicht in das System zurück. Reaktive Elemente von außen beeinflussen zu wollen entspricht daher einer Symptombehandlung, die das Gesamtsystem nur selten verbessert. Zu beachten ist, dass die Auswirkungen auf die reaktiven Variablen teilweise erst mit großer zeitlicher Wirkverzögerung oder bei Extremzuständen des Systems sichtbar werden.
Die kritischen Elemente wirken selbst stark auf andere Systemelemente und werden zudem auch stark durch die anderen Variablen beeinflusst, sie sind daher nach eingehender Analyse grundsätzlich als Hebel geeignet.
Die puffernden Variablen hingegen beeinflussen das System nur schwach und werden auch nur schwach beeinflusst, wodurch sie auch bei stärkeren Systemänderungen relativ konstant bleiben. Vorsicht ist jedoch geboten, wenn die träge Reaktion auf Zeitverzögerungen zurückzuführen ist oder bestimmte Schwellwerten überschritten werden. Auch ist zu beachten, dass die Einstufung auf der gesamten Aktiv- bzw. Passivsumme beruht. Wenn nun ein pufferndes Element eine starke Wirkung auf ein kritisches oder aktives Element ausübt, kann auch bei insgesamt minimaler Wirkung das System durch eine kleine Veränderung stark beeinflusst werden.

Im Portfolio der Fallstudie (Abbildung 6) zeigt sich, dass sowohl im Bereich der aktiven wie auch der reaktiven Elemente die erwarteten Größen auftreten, und dass sowohl die enorme Bedeutung der Projektleitererfahrung im System abgebildet wird als auch die Qualitätsmanagementabteilung. Auffällig im Portfolio ist, dass keine

33 Giebel (2010). S. 130

34 Vgl. Vester (1990) S. 94-95; vgl. Vester (1991). S. 96-97

Größen im kritischen Bereich vorliegen. Elemente, deren Passivsumme Null ist, d.h. die nicht vom System beeinflusst werden, sind direkt auf der Hochachse abgetragen. Ein Systemelement, die ***Budgeteinhaltung***, liegt direkt auf der Querachse. Diese Zielgröße hat keine Rückwirkung auf das abgebildete System. Auch im passiven Sektor zeigen sich erwartete Systemelemente, wie ***Termineinhaltung***, ***Durchlaufzeit*** und ***Budgeteinhaltung***. Dies deutet auf die Schlüssigkeit des aufgestellten Systems und der Bewertungen hin.

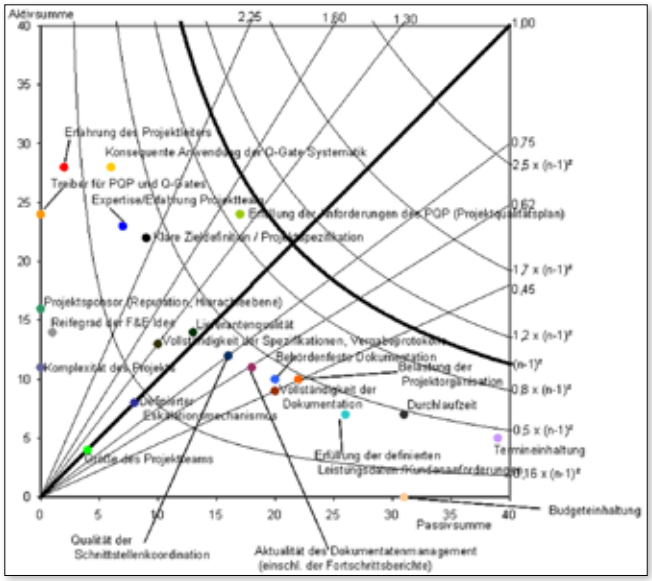


Abbildung 6: Einflussportfolio im Aktiv- Passivsummen-Koordinatensystem (Berichtsdarstellung)[35]

Die Generierung des Wechselwirkungsnetzes ist ein weiterer Teil der Aktivitäten im 5. Schritt des QEMOVA. Im Ausschnitt des WW-Netzwerks, als graphischer Repräsentation der Wechselwirkungsmatrix (Abbildung 7), sind die vier Erfolgsziele (Z1-Z4), ein Systemelement aus dem Bereich »QM-Aktivitäten und -Strukturen« (QM1) sowie zwei Systemelemente aus dem Bereich »Projektleiter und -team« (PL2 und PL3) zu erkennen. Diese Systemelemente wirken in unterschiedlicher Anzahl und Intensität auf andere Elemente. So wirkt die ***Größe des Projektteams*** (PL 2) bspw. auf zwei Systemelemente (zwei abgehende Pfeile) und wird von zwei Elementen beeinflusst (zwei eingehende Pfeile). Das Systemelement ***Termineinhaltung*** (Z1) hingegen wird von 19 anderen Elementen direkt beeinflusst und wirkt selbst auf drei Systemelemente.

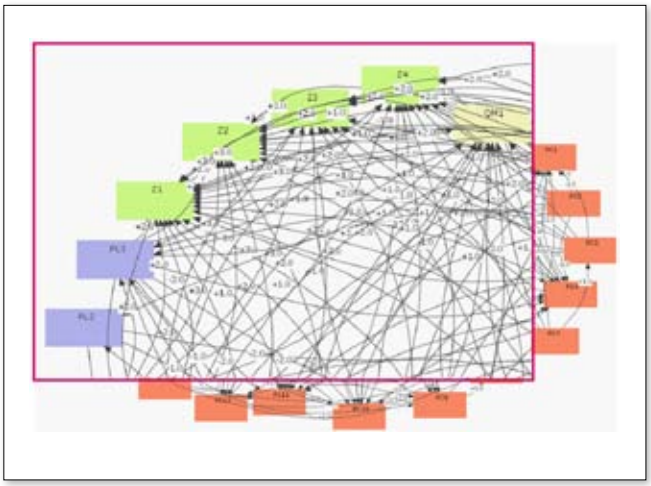


Abbildung 7: Wechselwirkungsnetz aus der Fallstudie (Ausschnitt)[36]

6. Schritt: Wirkkreisläufe und Wirkungen der QM-Aktivitäten und -strukturen analysieren

Im sechsten Schritt des QEMOVA-Modells werden die Wirkkreisläufe im Wechselwirkungsnetz identifiziert und die Wirkverbindungen der Qualitätsmanagementstrukturen und -aktivitäten auf die Unternehmenswerte und -erfolge dargestellt. Dazu werden besonders die starken Wirkungen und alle Systemelemente des Unternehmenserfolgs und des Qualitätsmanagements betrachtet. Es sind die reaktiven Elemente in den Wirkkreisläufen zu identifizieren, die als Indikatoren dienen können.

In der Fallstudie zeigt sich bei Betrachtung der ausschließlich starken Wechselwirkungen (siehe Abbildung 8), dass die ***Konsequente Anwendung der Q-Gate Systematik*** (QM2) eine starke direkte Wirkung auf das Erfolgsziel ***Termineinhaltung*** (Z1) hat. Mittelbar (über PC10: *Vollständigkeit der Dokumentation*) hat das Systemelement QM2 auch starke Wirkungen auf das Erfolgsziel Z3 (*Behördenfeste Dokumentation*) und über dieses wiederum auf die *Termineinhaltung* (Z1). Für die beiden anderen QM-Systemelemente zeigen sich keine unmittelbar oder mittelbar starken Wirkungen auf die Erfolgsziele.

35 Giebel (2010). S. 130

36 Giebel (2010). S. 135

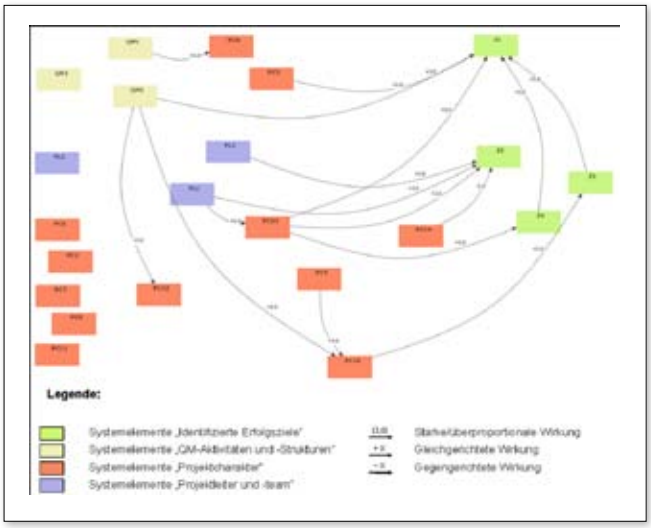


Abbildung 8: Wechselwirkungsnetz der überproportionalen Wechselwirkungen[37]

Zusätzlich wurden die Wirkkreisläufe aus mittleren und starken Wirkbeziehungen ermittelt. Der Fokus der Auswertungen liegt auf den QM-Systemelementen und den Erfolgszielen, da das QEMOVA auf die Analyse und Untersuchung der Wirkung der Qualitätsmanagementaktivitäten und -strukturen auf den Unternehmenserfolg bzw. die Erfolgsziele abzielt. Zunächst wurde analysiert, in wie vielen Wirkkreisen aus proportionalen und überproportionalen Wirkungen die QM- und Ziel-Systemelemente vorkommen. Dabei zeigt sich, dass die Systemelemente QM3, Z2 und Z4 in keinerlei Wirkkreisen vorkommen. Die *Termineinhaltung* (Z1) kommt nur in einem Wirkkreis vor. Die *Behördenfeste Dokumentation* (Z3) hingegen ist in 24 Wirkkreisen enthalten. In 13 dieser Wirkkreise sind die Elemente QM1 und QM2 enthalten. Darüber hinaus ist QM1 in zehn weiteren Kreisläufen mit Z3 integriert. Die *Erfüllung der Anforderungen des PQP* (QM1) und die *Konsequente Anwendung der Q-Gate Systematik* (QM2) haben also sehr viele Wirkkreise mit Z3, so dass sie sich gut eignen, um auf das Ziel einer *Behördenfesten Dokumentation* hinzuwirken.

QM1 ist insgesamt Bestandteil von 40 Wirkkreisen, QM2 von 23. In allen 23 Wirkkreisen ist auch QM1 enthalten. Diese beiden QM-Aktivitäten und -Strukturen stehen also in enger Wirkbeziehung. Dies ist auch inhaltlich zu erklären, da im PQP Aspekte detailliert beschrieben werden, die auch Anforderungen in den Q-Gates sind. Umgekehrt sollen die Q-Gates auch auf den PQP referenzieren.

37 Giebel (2010). S. 136

In einem weiteren Analyseschritt wurde untersucht, ob die Wirkkreise, die QM-Aktivitäten und -Strukturen enthalten, auch Elemente aufweisen, die eine direkte überproportionale Wirkung auf die Erfolgsziele haben.

Ergebnis dieser Betrachtung für das Fallbeispiel war eine Auflistung, die individuell und ausführlich interpretiert wurde, um im nächsten Schritt Maßnahmen ableiten zu können.[38]

7. Schritt: Maßnahmenplanung und -kontrolle durchführen

Der siebte Schritt umfasst die Maßnahmenplanung und geht über in eine fortlaufende Maßnahmenkontrolle und -überwachung. Das Ziel dieses Schrittes liegt darin, Maßnahmen einzuleiten und QM-Aktivitäten und -Strukturen so zu gestalten, dass sie eine möglichst große positive Wirkung auf die Erfolgsziele haben. Dazu werden die Ergebnisse aus den Schritten 5 und 6 herangezogen (s.a. S. 12 und 13). Maßnahmen sollten dabei an Systemelementen ansetzen, die sich im aktiven Bereich befinden. Diese Elemente sind von außen lenkbar und werden nur sehr schwach vom System selbst beeinflusst. Sie sind durch einen hohen Quotienten (Q-Wert) gekennzeichnet.

Werden die Systemelemente nach ihrem Quotienten von hoch aktiv nach stark puffernd sortiert, zeigen sich die Systemelemente *Erfahrung des Projektleiters* (PL1) und *Reifegrad der F&E Idee* (PC3) als die Systemelemente mit dem höchsten Quotienten. Bei dieser Sortierung ist allerdings die Einschränkung zu berücksichtigen, dass aus mathematischen Gründen nicht für alle Elemente ein Quotient berechnet werden kann. Auf dieser Grundlage sollte daher auch immer eine direkte Betrachtung der Aktiv- und Passiv-Summen erfolgen. In Tabelle 4 sind die Systemelemente nach ihrer Aktiv-Summe in absteigender Reihenfolge sortiert dargestellt. Auch in dieser Darstellung zeigt sich, dass die *Erfahrung des Projektleiters* (PL1) den ersten Rang begleitet. Die abgeleiteten Maßnahmen sollten also die Erfahrung des Projektleiters berücksichtigen und adressieren. Auf dem zweiten bis vierten Rang folgen dann bereits die drei betrachteten QM-Aktivitäten und -Strukturen.[39]

38 Vgl. Giebel (2010). S. 94-96, S. 136-138
39 Vgl. Giebel (2010). S. 96-98, 139-146

Tabelle 4: Auswertung der QEMOVA-Daten (Sortierung nach Aktivsumme, absteigend[40]

ID des System-elements	Systemelement	Aktivsumme AS	Passivsumme PS	Quotient	Produkt	verbal aktiv-reaktiv	verbal puffernd oder kritisch
PL1	Erfahrung des Projektleiters	28	2	14,000	56	Hochaktiv	Starkpuffernd
QM2	Konsequente Anwendung der Q-Gate Systematik	28	6	4,667	168	Hochaktiv	Puffernd
QM1	Erfüllung der Anforderungen des PQP (Projektqualitätsplan)	24	17	1,412	408	Leicht aktiv	Neutral
QM3	Treiber für PQP und Q-Gates	24	0	0,000	0	Stark reaktiv	Starkpuffernd
PL3	Expertise/ Erfahrung Projekt-team	23	7	3,286	161	Hochaktiv	Puffernd
PC13	Klare Zieldefinition/ Projektspe-zifikation	22	9	2,444	198	Hochaktiv	Puffernd
PC7	Projektsponsor (Reputation, Hierarchieebene)	16	0	0,000	0	Stark reaktiv	Starkpuffernd
PC3	Reifegrad der F&E Idee	14	1	14,000	14	Hochaktiv	Starkpuffernd
PC8	Lieferantenqualität	14	13	1,077	182	Neutral	Puffend
PC9	Vollständigkeit der Spezifikatio-nen, Vergabeprotokolle	13	10	1,300	130	Neutral	Puffernd
PC4	Qualität der Schnittstellen-koordination	12	16	0,750	192	Leicht reaktiv	Puffernd
PC11	Aktualität des Dokumenten-management (einschl. der Fortschrittsberichte)	11	18	0,611	198	Reaktiv	Puffernd
PC2	Komplexität des Projekts	11	0	0,000	0	Stark reaktiv	Starkpuffernd
Z3	Behördenfeste Dokumentation	10	20	0,500	200	Reaktiv	Puffernd
PC1	Belastung der Projektorganisa-tion	10	22	0,455	220	Reaktiv	Puffernd
PC10	Vollständigkeit der Dokumen-tation	9	20	0,450	180	Reaktiv	Puffernd
PC12	Definierter Eskalations-mechanismus	8	8	1,000	64	Neutral	Starkpuffernd
Z4	Erfüllung der definierten Leistungsdaten/ Kunden-anforderungen	7	26	0,269	182	Stark reaktiv	Puffernd
PC14	Durchlaufzeit	7	31	0,226	217	Stark reaktiv	Puffernd
Z1	Termineinhaltung	5	39	0,128	195	Stark reaktiv	Puffernd
PL2	Größe des Projektteams	4	4	1,000	16	Neutral	Starkpuffernd
Z2	Budgeteinhaltung	0	31	0,000	0	Stark reaktiv	Starkpuffernd

40 Vgl. Giebel (2010). S. 141-142

Eine weitere Analysemöglichkeit ist die Betrachtung der Aktiv-Summe bezogen auf die beeinflussten Elemente. Im Fallbeispiel zeigt sich, dass die *Klare Zieldefinition/ Projektspezifikation* (PC13), die *Erfahrung des Projektleiters* (PL1), die *Konsequente Anwendung der Q-Gate Systematik* (QM2) und der *Reifegrad der F&E Idee* (PC3) einen Wert größer zwei aufweisen. D.h. diese Elemente haben im Mittel eine mindestens proportionale Wirkung auf die Systemelemente, die sie beeinflussen.

Ein weiterer wichtiger Punkt im 7. Schritt ist eine Darstellung der wesentlichen Ergebnisse der QEMOVA-Anwendung. Darin sollten die Hebel zur Beeinflussung der wichtigsten Elemente aufgelistet und beschrieben werden. Außerdem werden alle weiteren Ergebnisse und Maßnahmenvorschläge zusammengefasst sowie wesentliche Zusammenhänge noch einmal verdeutlicht.
In der Fallstudie wurde entsprechend der Ergebnisse ein unternehmensspezifisches Quality Gate Konzept entwickelt und implementiert.[41]

Fazit

Unter dem Druck der großen Herausforderungen, denen Unternehmen gegenüberstehen, ist es notwendig, Qualitätsmanagement als Wachstumsmotor aufzufassen und für die Wertschöpfung zu nutzen. Gezielte Investitionen im Qualitätsbereich und die konsequente Anwendung von QM-Maßnahmen und -methoden generieren eine positive und nachhaltige Rendite. QM muss dabei immer in seinen Wirkverflechtungen mit der Strategie und anderen Aktivitäten des Unternehmens analysiert werden. Ein Modell, welches die Wirkmechanismen zur Wertsteigerung durch Qualitätsmanagement beschreibt, ist das hier anhand einer Fallstudie beschriebene Quality Effect Model on Value Added (QEMOVA).

41 Vgl. Giebel (2010). S. 96-98, 139-146

Literatur

Andresen (2010a) Andresen, Tino (19.08.2010): Servolenkung. Mazda mit größtem Rückruf der Unternehmensgeschichte. In: Handelsblatt, 19.08.2010

Andresen (2010b) Andresen, Tino (04.08.2010): Rückrufe häufen sich. Experte warnt Autobauer vor »gewaltigem Imageschaden«. In: Handelsblatt Online, http://www.handelsblatt.com/unternehmen/industrie/rueckrufe-haeufen-sich-experte-warnt-autobauer-vor-gewaltigem-imageschaden;2630454;0

Bruhn (1998) Bruhn, Manfred (1998): Wirtschaftlichkeit des Qualitätsmanagements. Qualitätscontrolling für Dienstleistungen. Berlin, Heidelberg: Springer.

Bruhn (2008) Bruhn, Manfred (2008): Qualitätsmanagement für Dienstleistungen. Grundlagen Konzepte Methoden. 7., überarb. und erw. Aufl. Berlin, Heidelberg: Springer.

Bruhn/Georgi (1999) Bruhn, Manfred; Georgi, Dominik (1999): Kosten und Nutzen des Qualitätsmanagements. Grundlagen - Methoden - Fallbeispiele. München, Wien: Hanser.

Buzzell/Gale (1989) Buzzell, Robert D.; Gale, Bradley T. (1989): Das PIMS-Programm. Strategien und Unternehmenserfolg: Gabler.

CQE University of Leicester (2005) Centre of Quality Excellence; University of Leicester (2005): The impact of the effective implementation of organisational excellence strategies on key performance results. Report on EFQM and BQF Funded Study. Unter Mitarbeit von L. Boulter, T. Bendell und H. Abas et al. Herausgegeben von European Foundation for Quality Management (EFQM) and the British Quality Foundation (BQF).

Ensthaler (2007) Ensthaler, Jürgen (2007): Qualitätsmanagement und Recht. In: Masing, Walter; Pfeifer, Tilo; Schmitt, Robert (Hg.): Handbuch Qualitätsmanagement. 5., vollst. neu bearb. Aufl. München: Hanser, S. 123–152.

Giebel (2010) Giebel, Michael (2010): Wertsteigerung durch Qualitätsmanagement. Entwicklung eines Modells zur Beschreibung der Wirkmechanismen und eines Vorgehenskonzepts zu dessen Einführung. Dissertationsschrift, Universität Kassel.

Handelsblatt (2010) Handelblatt (07.07.2010): Qualitätsstandard. Toyota will Autos sorgfältiger entwickeln.

Hendricks/Singhal (2001) Hendricks, Kevin B.; Singhal, Vinod R. (2001): The Long-Run Stock Price Performance of Firms with Effective TQM Programs. In: Management Science, Jg. 47, H. 3, S. 359–368.

Huber/Herrmann/Braunstein (2009) Huber, Frank; Herrmann, Andreas; Braunstein, Christine (2009): Der Zusammenhang zwischen Produktqualität, Kundenzufriedenheit und Unternehmenserfolg. In: Hinterhuber, Hans H.; Matzler, Kurt (Hg.): Kundenorientierte Unternehmensführung. Kundenorientierung - Kundenzufriedenheit - Kundenbindung. 6., überarbeitete Auflage. Wiesbaden: Gabler Verlag / GWV Fachverlage GmbH Wiesbaden, S. 69–85.

Jankovic et al. (2008) Jankovic, M.; Kokovic, Z.; Ljubicic, V.; Marjanovic, Z.; Knothe, T.: Enterprise Modeling Based Application Development for Interoperability Problem Solving. In: Mertins, K.; Ruggaber, R.; Popplewell, K.; Xu, X. (Hrsg.): Enterprise Interoperability III: New Challenges and Industrial Approaches. London: Springer 2008.

Jochem (2001) Jochem, Roland (2001): Integrierte Unternehmensplanung auf der Basis von Unternehmensmodellen. TU Berlin, Diss., 2001. Berlin: IPK (Berichte aus dem Produktionstechnischen Zentrum Berlin).

Jochem/Geers (2010) Jochem, Roland; Geers, Dennis (2010): Was versteht man unter Wirtschaftlichkeit von Qualität? In: Jochem, Roland (Hg.): Was kostet Qualität? - Wirtschaftlichkeit von Qualität ermitteln. München: Hanser Carl, S. 27–54.

Jochem/Geers/Giebel (2009) Jochem, R.; Geers, D.; Giebel, M. (2009): Weit mehr als Fehlervermeidung! Vorzeigbare QM-Bilanzen. In: MQ Management und Qualität. 5/2009. Rheintaler Druckerei und Verlag AG (RDV), Berneck, Schweiz. S.11-12.

Kamiske (2007) Kamiske, Gerd (2007): Qualitätsbezogene Kosten. In: Schmitt, Robert; Pfeifer, Tilo (Hg.): Masing Handbuch Qualitätsmanagement. 5., vollst. neu bearb. Aufl. München: Hanser Fachbuchverlag, S. 93–100.

Knothe/Jochem (2009) Knothe, T.; Jochem, R.: Interoperability Issues in the Field of Innovation Management. In: IEEE Proceedings of International Conference I-ESA China 2009 Interoperability for Enterprise Software and Applications Promoting collaboration of enterprises through interoperability, to link China and Europe, and the World.

Mitra/Golder (2007) Mitra, Debanjan; Golder, Peter N. (2007): Wie Kunden Qualität beurteilen. In: Harvard Businessmanager, Jg. 29, H. 6, S. 14

Quadbeck (2010a) Quadbeck, Eva (04.08.2010): Fünf-Jahres-Bilanz. Die Rückruf-Rangliste der Autobauer. In: RP-online, URL: www.rp-online.de/auto/news/Die-Rueckruf-Rangliste-der-Autobauer_aid_889768.html

Rabe/Wintrich (2010) Rabe, M.; Wintrich, N.: »Prozessmanagement in der Fabrikplanung« in: Mertins, K.; Jochem, R.; Knothe, T. (Hrsg.): Handbuch Prozessmanagement. Symposium Verlag 2010.

Rust/Moormann/Dickson (2002) Rust, Roland T.; Moormann, Christine; Dickson, Peter R. (2002): Getting Return on Quality: Revenue Expansion, Cost Reduction, or Both? In: Journal of Marketing, Jg. 66, S. 7–24

Seliger (2007) Seliger, Günther (Hg.) (2007): Sustainability in Manufacturing. Recovery of Resources in Product and Material Cycles: Springer Berlin.

Seliger (2008) Seliger, Günther (2008): Sustainable value creation nets. In: Mok, H.-S.; Kang, H.-Y.; Seliger, G.; Skerlos, S.; Nasr, N. (Hg.): Proceedings of the Global Conference on Sustainable Product Development and Life Cycle Engineering. S. 2-7.

Seliger et al. (2004) Seliger, Günther et al. (Hg.) (2004): Proceedings Global Conference on Sustainable Product Development and Life Cycle Engineering: Berlin.

Sommerhoff (2005) Sommerhoff, Benedikt (November 2005): Spezialstudie ExBA QM. Das Qualitätsmanagement - Schadet's nur nicht oder nützt es auch? In: Forum! Marktforschung GmbH; Deutsche Gesellschaft für Qualität e.V. (DGQ) (Hg.): Erfolg im Trend. Excellence 05 ;. Inklusive Spezialstudie ExBa QM. Mainz (ExBa - Benchmarkingstudie zur Excellence in der deutschen Wirtschaft,), S. 50–56.

Tomys (1995) Tomys, Anne-Katrin (1995): Kostenorientiertes Qualitätsmanagement. Qualitätscontrolling zur ständigen Verbesserung der Unternehmensprozesse. München, Wien: Hanser.

Töpfer/Frost (2002) Töpfer, Armin; Frost, Christoph (2002): Von der Qualitätssicherung über TQM zu Business Excellence - Überblick und Einordnung der Beiträge. In: Töpfer, Armin (Hg.): Business Excellence. Wie Sie Wettbewerbsvorteile und Wertsteigerung erzielen. Frankfurt am Main: Frankfurter Allg. Buch, S. 11–26.

Vester (1990) Vester, Frederic (1990): Ausfahrt Zukunft. Strategien für den Verkehr von morgen; eine Systemuntersuchung. 2., korrig. Aufl. München: Heyne.

Vester (1991) Vester, Frederic (1991): Ausfahrt Zukunft - Supplement. Material zur Systemuntersuchung. München.

Vester (1994) Vester, Frederic (1994): Ballungsgebiete in der Krise. Vom Verstehen und Planen menschlicher Lebensräume. 5. Aufl., aktualisierte Neuausg. München: dtv-Verl. (dtv Sachbuch, 1690).

Seminar III

Schrittmacher-Technologien in der Fertigung

Martin Kapp
Geschäftsführender Gesellschafter der Kapp-Gruppe und Vorsitzender des VDW e.V.

Hartfeinbearbeitete Antriebskomponenten zur Steigerung der Energieeffizienz in Antrieben

Keywords | *Energieeffizienz, Getriebe, Verzahnung*



Hartfeinbearbeitete Antriebskomponenten zur Steigerung der Energieeffizienz in Antrieben

KAPP O NILES

www.kapp-coburg.de
www.niles.de
www.kapp-usa.com
www.kapp-asia.com
www.kapptec.com

Globale Aufstellung



■ KAPP 2 TECHNOLOGIE
Coburg



● KAPP
Coburg



■ NILES
Berlin



■ KAPP TECHNOLOGIES
Boulder, USA





▲ KAPP TOOLS
Nagoya, Japan



■ KAPP TEC
Sao Paulo, Brasilien



■ KAPP ASIA
JiaShan, China

● Headquarter ■ Subsidiary ▲ Joint Venture

KAPP O NILES

www.kapp-coburg.de
www.niles.de
www.kapp-usa.com
www.kapp-asia.com
www.kapptec.com

Abnehmerbranchen KAPP und NILES



KAPP NILES

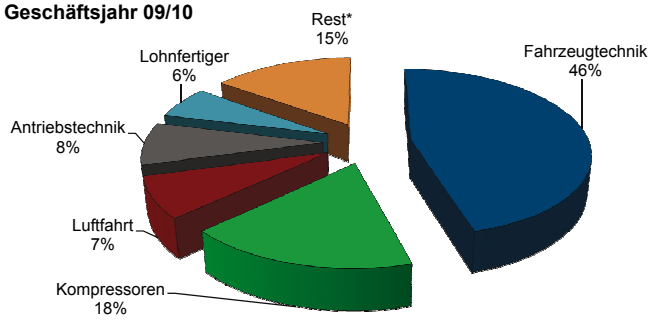
www.kapp-coburg.de
www.niles.de
www.kapp-usa.com
www.kapp-asia.com
www.kapptec.com

Hartfeinbearbeitete Antriebskomponenten zur Steigerung der Energieeffizienz in Antrieben

© KAPP Gruppe; Oktober 2010

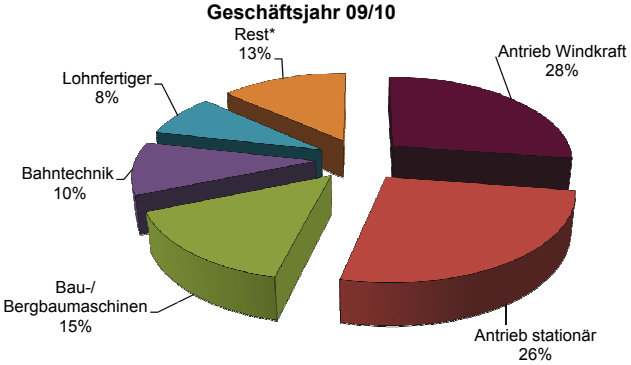
Umsatzverteilung nach Branchen

KAPP
Geschäftsjahr 09/10



Rest*: Handelsvertretungen, Werkzeugmaschinen, Bau-/Bergbaumaschinen, etc.

NILES
Geschäftsjahr 09/10



Rest*: Werkzeugmaschinen, Antrieb Schiffsbau, Luftfahrt, etc.

KAPP NILES

www.kapp-coburg.de
www.niles.de
www.kapp-usa.com
www.kapp-asia.com
www.kapptec.com

Hartfeinbearbeitete Antriebskomponenten zur Steigerung der Energieeffizienz in Antrieben

© KAPP Gruppe; Oktober 2010

Bearbeitungsverfahren

	Profilschleifen	Wälzschleifen	Coronieren
Außen-verzahnung			
Innen-verzahnung			

www.kapp-coburg.de
www.niles.de
www.kapp-usa.com
www.kapp-asia.com
www.kapptec.com

Hartfeinbearbeitete Antriebskomponenten zur Steigerung der Energieeffizienz in Antrieben

© KAPP Gruppe; Oktober 2010

Abrichtfreies Profilschleifen



www.kapp-coburg.de
www.niles.de
www.kapp-usa.com
www.kapp-asia.com
www.kapptec.com

Hartfeinbearbeitete Antriebskomponenten zur Steigerung der Energieeffizienz in Antrieben

© KAPP Gruppe; Oktober 2010

Abrichtbares Wälzschleifen



KAPP NILES

www.kapp-coburg.de
www.niles.de
www.kapp-usa.com
www.kapp-asia.com
www.kapptec.com

Hartfeinbearbeitete Antriebskomponenten zur Steigerung der Energieeffizienz in Antrieben

© KAPP Gruppe; Oktober 2010
Seite 8

KAPP Verzahnungszentrum KX 300 P





KAPP NILES

www.kapp-coburg.de
www.niles.de
www.kapp-usa.com
www.kapp-asia.com
www.kapptec.com

Hartfeinbearbeitete Antriebskomponenten zur Steigerung der Energieeffizienz in Antrieben

© KAPP Gruppe; Oktober 2010
Seite 9

Einflussgrößen auf den Getriebewirkungsgrad



Quelle: nach Müller, Klingelnberg

KAPP NILES

www.kapp-coburg.de
www.niles.de
www.kapp-usa.com
www.kapp-asia.com
www.kapptec.com

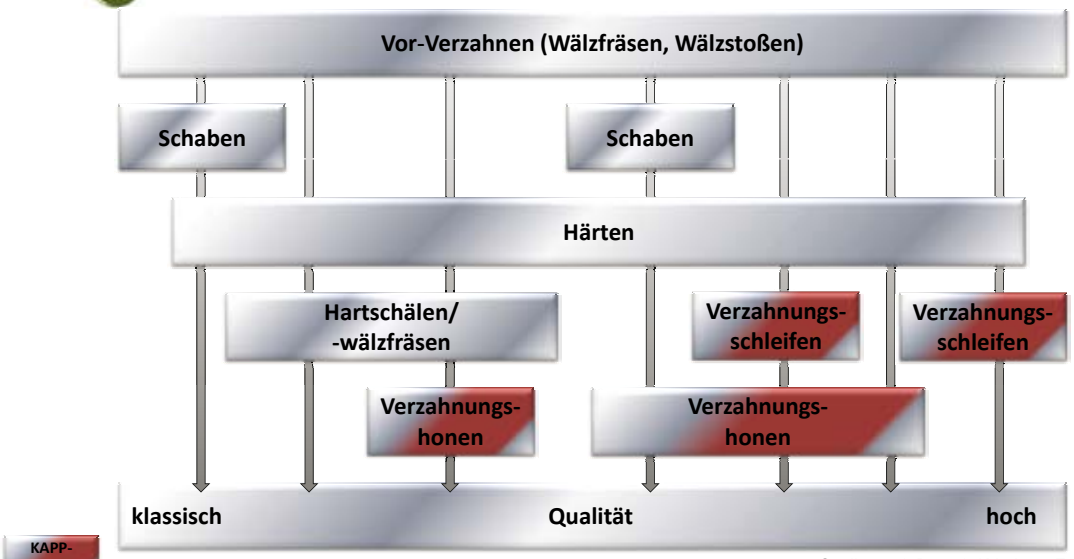
Hartfeinbearbeitete Antriebskomponenten zur Steigerung der Energieeffizienz in Antrieben

© KAPP Gruppe; Oktober 2010

Prozessfolge der Zahnradherstellung



Verzahnungsqualität, Zahnflankenform sowie die Oberfläche der Zahnflanke werden durch deren Herstellungsprozess bestimmt



Quelle: nach Bausch / Moderne Zahnradfertigung

KAPP NILES

www.kapp-coburg.de
www.niles.de
www.kapp-usa.com
www.kapp-asia.com
www.kapptec.com

Hartfeinbearbeitete Antriebskomponenten zur Steigerung der Energieeffizienz in Antrieben

© KAPP Gruppe; Oktober 2010

Einflussgrößen auf den Getriebewirkungsgrad



KAPP O NILES

www.kapp-coburg.de
www.niles.de
www.kapp-usa.com
www.kapp-asia.com
www.kapptec.com

Hartfeinbearbeitete Antriebskomponenten zur Steigerung der Energieeffizienz in Antrieben

© KAPP Gruppe; Oktober 2010

Verzahnungsqualität



Für jeden Herstellungsprozess muss ein Toleranzbereich eingeräumt werden. In der DIN-Verzahnungsnorm zur Qualität sind die einzelnen Abweichungen an der Zahnflanke in Klassen eingeteilt und geben damit das Toleranzfeld vor.

Es existieren 12 Verzahnungsqualitäten, die durch die genannten Herstellungsprozesse erzielbar sind, wobei

- **1 für die feinste**

und

- **12 für die gröbste**

Verzahnungsqualität steht

- ❒ Qualität 1 - 7 geschliffen
- ❒ Qualität 5 - 7 gehont (ohne vorheriges Schleifen)
- ❒ Qualität 5 - 7 geschabt
- ❒ Qualität 5 - 9 wälzgefräst, wälzgestoßen
- ❒ Qualität 7 - 12 formgefräst, formgestoßen
- ❒ Qualität 8 - 12 gestanzt, gepresst, gesintert, gespritzt

Quelle: http://de.wikipedia.org/wiki/Zahnrad

KAPP O NILES

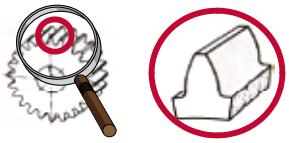
www.kapp-coburg.de
www.niles.de
www.kapp-usa.com
www.kapp-asia.com
www.kapptec.com

Hartfeinbearbeitete Antriebskomponenten zur Steigerung der Energieeffizienz in Antrieben

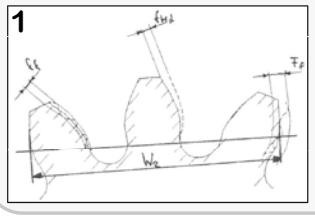
© KAPP Gruppe; Oktober 2010

Fehler an der Verzahnung durch die Herstellung



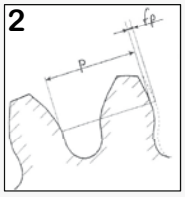


1



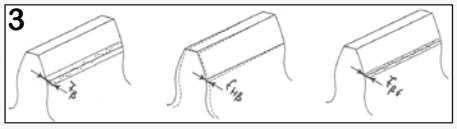
Profilabweichungen
beeinflussen u.a.
- Tragbild / Flankenbeanspruchung
- Schwingungsanregung / Geräusch

2



Teilungsabweichungen
beeinflussen u.a.
- Schwingungsverhalten
- Geräusch

3



Flankenlinienabweichungen
beeinflussen u.a.
- Tragbild / Flankenbeanspruchung
- Schwingungsanregung / Geräusch

© KAPP Gruppe; Oktober 2010

Zusammenfassung Verzahnungsqualität



- **Die erreichbaren Qualitäten durch den Einsatz von Vorverzahnungsprozessen wie bspw. Wälzfräsen sind begrenzt**
- **Zusätzlich kommt es durch die Wärmebehandlung der Verzahnung zu weiteren geometrischen Abweichungen durch den zwangsläufig auftretenden und zudem schwankenden Härteverzug**
- **Durch Hartfeinbearbeitungsprozesse, wie zum Beispiel Wälzschleifen, können die geometrischen Abweichungen der Zahnflanken weitgehend korrigiert werden**

➢ **Ergebnis: positive Beeinflussung des Getriebewirkungsgrades durch optimierten Flankenkontakt – das tatsächliche Zahnrad entspricht der ausgelegten Geometrie**

© KAPP Gruppe; Oktober 2010

Einflussgrößen auf den Getriebewirkungsgrad



KAPP O NILES
www.kapp-coburg.de
www.niles.de
www.kapp-usa.com
www.kapp-asia.com
www.kapptec.com

© KAPP Gruppe; Oktober 2010

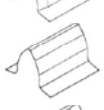
Zahnflankenform



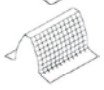
Modifikationen, durch die Hartfeinbearbeitung auf die Zahnflanke aufgebracht, verbessern das Laufverhalten von Getriebezahnrädern und führen damit zu einer positiven Beeinflussung des Getriebewirkungsgrades


Zahnflanke ohne Modifikation


Modifikation der Flankenlinie


Modifikation des Profils


Kombination von Flankenlinien- und Profilmodifikation


Topologische Modifikation
(bei detailliert bekanntem / berücksichtigtem Lastfall)

Bildquelle: Reishauer-Fibel

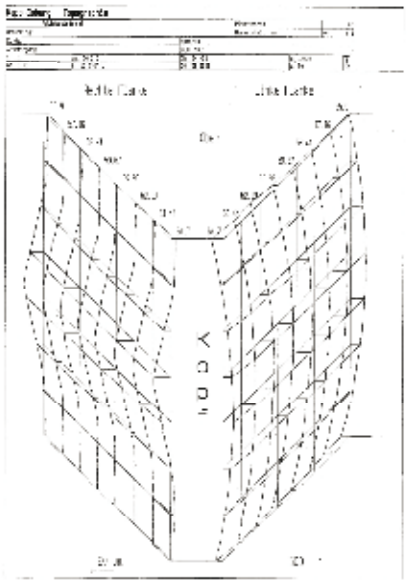
KAPP O NILES
www.kapp-coburg.de
www.niles.de
www.kapp-usa.com
www.kapp-asia.com
www.kapptec.com

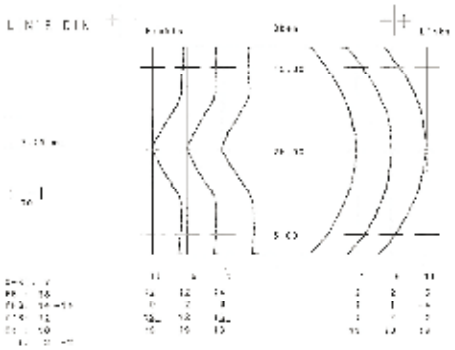
© KAPP Gruppe; Oktober 2010

Zahnflankenform – Optimierung Schub-/ Zugflanke



Schleifen von unterschiedlichen Modifikationen an Rechts- u. Linksflanke





- im Zweiflankenschliff
- mit unveränderter Schleifzeit
- mit gleicher Werkstückzahl pro Abrichtzyklus

m=3,75mm z=15 α=20° β=15° b=50mm

© KAPP Gruppe; Oktober 2010

Einflussgrößen auf den Getriebewirkungsgrad



© KAPP Gruppe; Oktober 2010

Zahnflankenoberfläche – OF-Struktur



Prozessbedingte Oberflächenstrukturen



gefräst
$\varnothing R_z = 2\mu m$ (aber Welligkeit durch Vorschubmarkierungen !)

geschabt
$\varnothing R_z = 5\mu m$

geschliffen
$\varnothing R_z = 2\mu m$

gehont
$\varnothing R_z = 2\mu m$

Bildquellen
Bild 1/2: Winkel / Liebherr; WZL-Tagung, 2007
Bild 3/4: Schenk; Rocky Mountain Gear Finishing School, 2009

KAPP O NILES
www.kapp-coburg.de
www.niles.de
www.kapp-usa.com
www.kapp-asia.com
www.kapptec.com

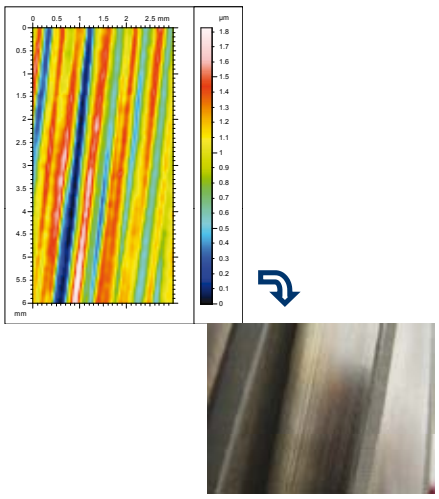
Hartfeinbearbeitete Antriebskomponenten zur Steigerung der Energieeffizienz in Antrieben
© KAPP Gruppe; Oktober 2010

Zahnflankenoberfläche – erzeugte Oberflächenstruktur

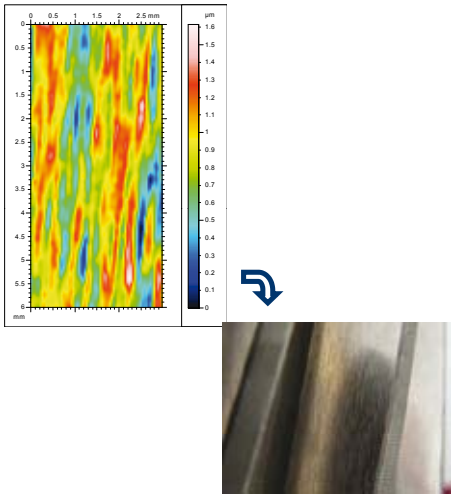




Wälzschleifen mit Standard-Technologie



Wälzschleifen mit Struktur-Shiften

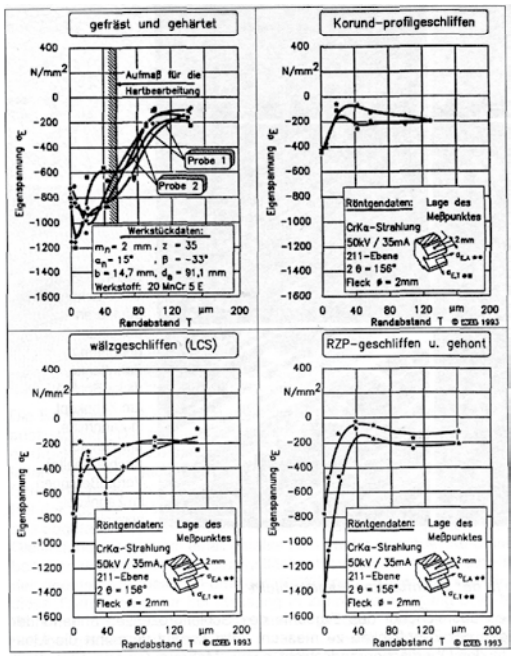


KAPP O NILES
www.kapp-coburg.de
www.niles.de
www.kapp-usa.com
www.kapp-asia.com
www.kapptec.com

Hartfeinbearbeitete Antriebskomponenten zur Steigerung der Energieeffizienz in Antrieben
© KAPP Gruppe; Oktober 2010

Zahnflankenoberfläche - Druckeigenspannung





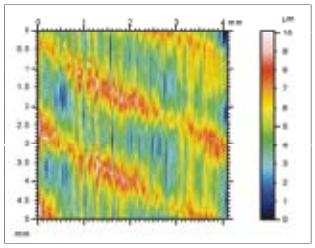
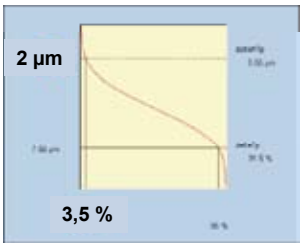
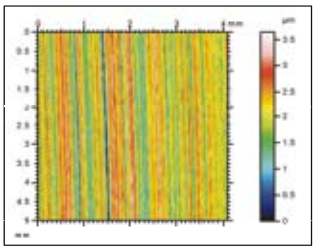
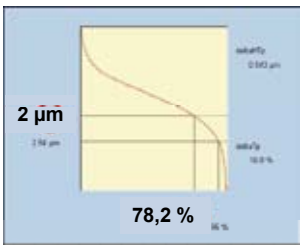
Quelle: Bausch; Moderne Zahnradfertigung; S. 472

© KAPP Gruppe; Oktober 2010

Zahnflankenoberfläche - Traganteil



Messung des Traganteils in 2µm Tiefe der Zahnflankenrandschicht

	Oberfläche	Traganteil
Rohteil gefräst		
Fertigteil geschliffen		

© KAPP Gruppe; Oktober 2010

Praxisbeispiel Opel Getriebe



Opel F 15
Frontantrieb
5-Gang-Getriebe
Max. Drehmoment: 150 Nm



Opel F 17
Frontantrieb
5-Gang-Getriebe
Max. Drehmoment: 170 Nm

- **Wechsel von F 15 auf F 17 um den Kraftstoffverbrauch zu senken, die Laufruhe zu verbessern und um den Leistungsdurchsatz zu erhöhen**
- **Verzahnung des 2. und 3. Gangs des F 17 wird Hartfeinbearbeitet (F 15 nur Weichbearbeitung), keine konstruktive Änderung der Verzahnungsgeometrie – nur durch die Änderung des Bearbeitungsprozesses wird die Getriebeleistung erhöht**

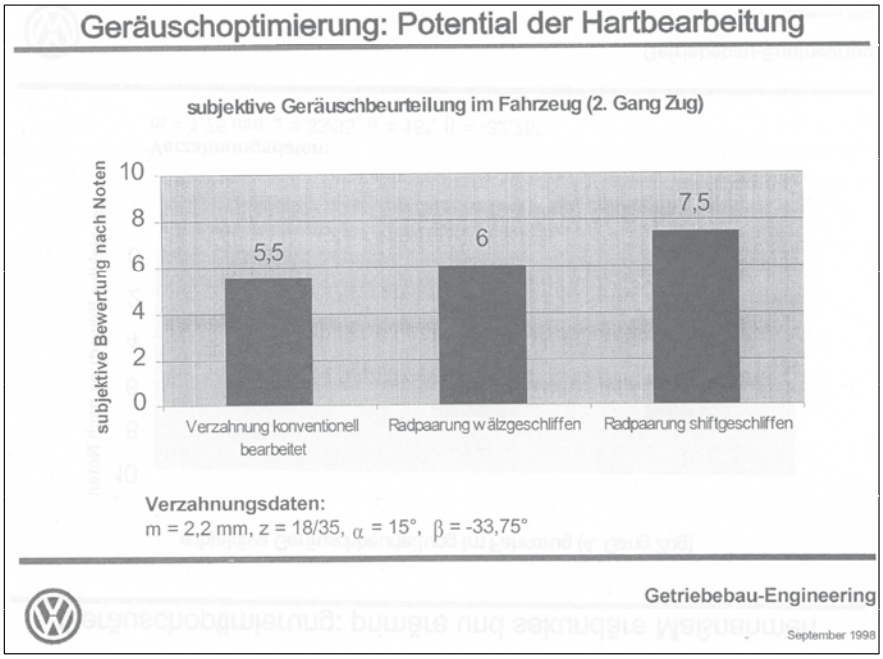
Quelle: http://media.gm-powertrain.at/scripts/depot3/powertrain-media/media/200402250001.txt; 23.09.2010

Zahnflankenoberfläche - Zusammenfassung



- **Durch das Hartfeinbearbeitungsverfahren kann die Zahnflankenoberfläche und insbesondere auch der Traganteil der Verzahnung beeinflusst werden.**
- **Höhere Traganteile erlauben eine kleinere Baugröße der Zahnräder und damit Gewichts- und Bauraumeinsparungen.**
- **Auch die Auswirkungen auf die Reibung in Getrieben ermöglichen eine Verbesserung des Getriebewirkungsgrades, z.B. können auch andere Schmierstoffe mit Potential zur Wirkungsgraderhöhung eingesetzt werden.**

Exkurs Geräuschverhalten von Zahnrädern



Quelle: Tagungsband: Feinbearbeitung von Stirnrädern in der Serien / WZL, 1998

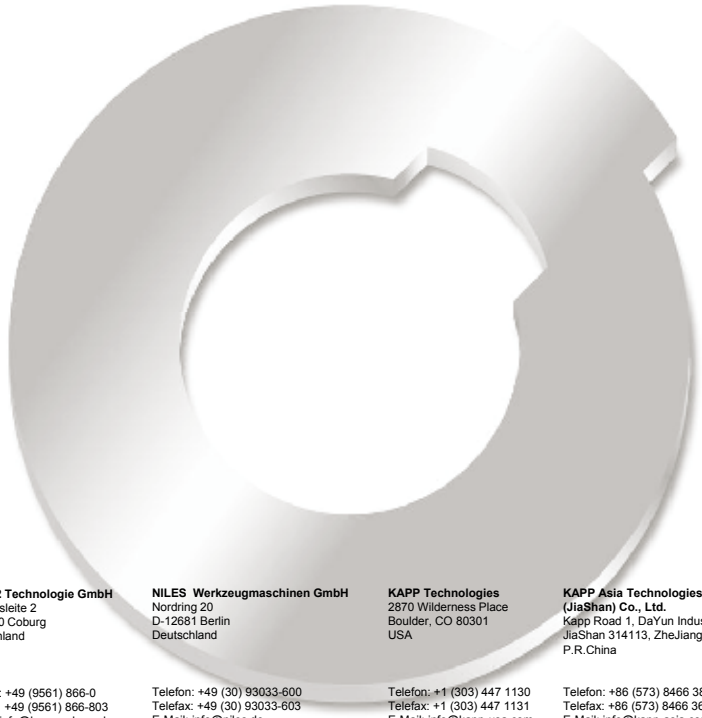
Einflussgrößen auf den Getriebewirkungsgrad



Hartfeinbearbeitung von Verzahnungen ermöglicht

- **eine Erhöhung der Verzahnungsqualität**
- **eine Beeinflussung/ Verbesserung der Oberfläche der Zahnflanken**
- **eine exakte Herstellung gewünschter Zahnflankengeometrie**

➢ **Diese drei Merkmale haben einen wesentlichen Einfluss auf den Wirkungsgrad bzw. die Energieeffizienz von Antrieben.**



KAPP GmbH
Callenberger Straße 52
D-96450 Coburg
Deutschland

Telefon: +49 (9561) 866-0
Telefax: +49 (9561) 866-103
E-Mail: info@kapp-coburg.de

KAPP 2 Technologie GmbH
Gärtnersleite 2
D-96450 Coburg
Deutschland

Telefon: +49 (9561) 866-0
Telefax: +49 (9561) 866-803
E-Mail: info@kapp-coburg.de

NILES Werkzeugmaschinen GmbH
Nordring 20
D-12681 Berlin
Deutschland

Telefon: +49 (30) 93033-600
Telefax: +49 (30) 93033-603
E-Mail: info@niles.de

KAPP Technologies
2870 Wilderness Place
Boulder, CO 80301
USA

Telefon: +1 (303) 447 1130
Telefax: +1 (303) 447 1131
E-Mail: info@kapp-usa.com

KAPP Asia Technologies (JiaShan) Co., Ltd.
Kapp Road 1, DaYun Industry Zone
JiaShan 314113, ZheJiang
P.R.China

Telefon: +86 (573) 8466 3888
Telefax: +86 (573) 8466 3666
E-Mail: info@kapp-asia.com

KAPP TEC Indústria e Comércio de Máquinas e Ferramentas Ltda.
Rua Solimoes, 60
09930-570 Diadema S.P.
Brasilien

Telefon: +55 (11) 409 15 355
Telefax: +55 (11) 409 15 355
E-Mail: info@kapptec.com

KAPP NILES

www.kapp-coburg.de
www.niles.de
www.kapp-usa.com
www.kapp-asia.com
www.kapptec.com

KAPP Gruppe
Callenberger Straße 52
D-96450 Coburg
Telefon: +49 (9561) 866-0
Telefax: +49 (9561) 866-103
E-Mail: info@kapp-coburg.de

Thomas Beck, Andreas Fischer-Ludwig
Siemens Energy, Fossil Power Generation, Gasturbinenwerk Berlin

Innovative Produktionsstrategien in der Turbinenfertigung

Abstract | Stationäre Gasturbinen zur Energieerzeugung sind technologische Hochleistungsprodukte die in Kombination mit einer Dampfturbine Gesamtwirkungsgrade über 60 % ermöglichen. Sie sind die effizientesten fossilen Energielieferanten. Verbrennungstemperaturen über 1500 ° C stellen höchste Anforderungen an die verbauten Komponenten. Um dieses Produkt aus dem Bereich »Old Economy« wettbewerbsfähig im »Hochlohnstandort« Deutschland fertigen zu können, sind mehrer Erfolgsfaktoren verantwortlich:

- Vernetzung der Fertigung mit Designabteilungen zur parallelen Produkt- und Prozessentwicklung (**Concurrent Engineering**).
- **Management von Prozessinnovationen** bewirkt eine ständige Weiterentwicklung der Fertigungsprozesse (Kosteneinsparungen und Qualitätsverbesserungen).
- **Produktionssystemen** zur Ablaufoptimierung durch die Einführung von Prozessstandards liefert nachhaltig umsetzbares Optimierungspotenzial
- Moderne **Manufacturing Execution Systems** (MES) führen zu einem optimalen Produktionsfluss.

Keywords | *Concurrent Engineering, Prozessinnovation, Produktionssysteme, MES*

1 Einleitung

Auf Grundlage der weltweit neuesten wissenschaftlichen und technischen Erkenntnisse entstehen im Gasturbinenwerk Berlin hocheffiziente und dadurch besonders wirtschaftliche und umweltfreundliche Gasturbinen für Kraftwerke. Immer wieder hat das Werk im nationalen wie im internationalen Vergleich die Nase vorn. Es ist schon Tradition, dass die Neuentwicklungen aus Berlin regelmäßig alles bisher Dagewesene in punkto Wirkungsgrad und Leistungsfähigkeit übertreffen.

Die jüngste Produktinnovation ist eine Gasturbine mit dem Namen SGT5-8000H. Die Leistung dieses Kraftpaktes liegt bei 375 MW – das ist klarer Weltrekord (siehe Abbildung 1). Bei der Kopplung der Gasturbine mit einer Dampfturbine (GuD) kann der Prozesswirkungsgrad auf über 60 % gesteigert werden. Auch dieser Wert ist weltweit einzigartig. Im Vergleich mit derzeit gängigen Turbinen steht er für rund 40.000 Tonnen weniger CO_2-Emmission pro Jahr. Somit setzt diese Gasturbine auch in Sachen Umweltschutz weltweit Maßstäbe bei der Reduzierung des Verbrauches fossiler Energieträger. und der damit verbunden Reduzierung des CO_2-Ausstosses ist die Erhöhung des Wirkungsgrades von Gasturbinen.

Gasturbinen sind sehr flexibel einsetzbar und erreichen ihre Spitzenleistung schon wenige Minuten nach dem Start und sind auch über einen weiten Leistungsbereich regelbar. Wegen dieser hohen Flexibilität, wird diese Art der Energieerzeugung als Brückentechnologie den Wandel von fossilen Energieträgern zu regenerativen Energien begleiten. Deshalb zählen diese innovativen Produkte auch zum »Green Portfolio« der SIEMENS AG. Diese Giganten aus Stahl und Ni-Basiswerkstoffen mit einem Gewicht bis zu 440 t werden mit sehr hoher Fertigungstiefe im Gasturbinenwerk in Berlin hergestellt. Gasturbinen verbinden in einzigartiger Weise den klassischen Schwermaschinenbau mit hochmoderner Fertigungstechnologie. Tonnenschwere und winzige Bauteile werden mit fortschrittlichsten Methoden in Uhrmacherpräzision zusammengefügt. Alle Hauptkomponenten wie Rotor, Gehäuse, Verbrennungssystem und Beschaufelung werden in Berlin gefertigt. Level Loading wird über externe Supply Chains ausgesteuert. Die Endmontage und ein Prüffeld runden den Fertigungsbereich



Bild 1: SGT5-8000H, die leistungsstärkste GT der Welt, links bei der Endmontage, rechts beim First Fire im EON Kraftwerk Irsching.

ab. Von Berlin aus wird die gesamte Welt mit diesen Hochtechnologieprodukten beliefert. In Abbildung 2 ist der prinzipielle Aufbau einer Gasturbine mit einem Blick in den Leistungsteil der Turbine dargestellt.

Die jahrzehntlange Produktionserfahrung und die hohe Fertigungstiefe sind nur ein Teil der Erfolgsgeschichte um den Fertigungsstandort im internationalen Wettbewerb in eine Spitzenposition zu bringen. Um den Status eines Top-Performern dauerhaft abzusichern sind zusätzliche Anstrengungen notwendig.

Ein sehr wichtigen Anteil am Erfolg sind im Bereich der Materialbeschaffung zu finden. Zur richtigen Zeit die notwendigen Rohstoffe absichern hilft die Produktkosten langfristig zu kalkulieren. In diesem Beitrag wird im folgen ausschließlich auf die geeigneten Prozesse zur Effizienzsteigerung des reinen Fertigungsprozesses eingegangen. Die hierbei im Gasturbinenwerk eingesetzten Produktionsstrategien sind:

- Product Life Cycle Managment, dabei im wesentlichen das Concurrent Engineering,
- Innovationsmanagement der Fertigungsprozesse,

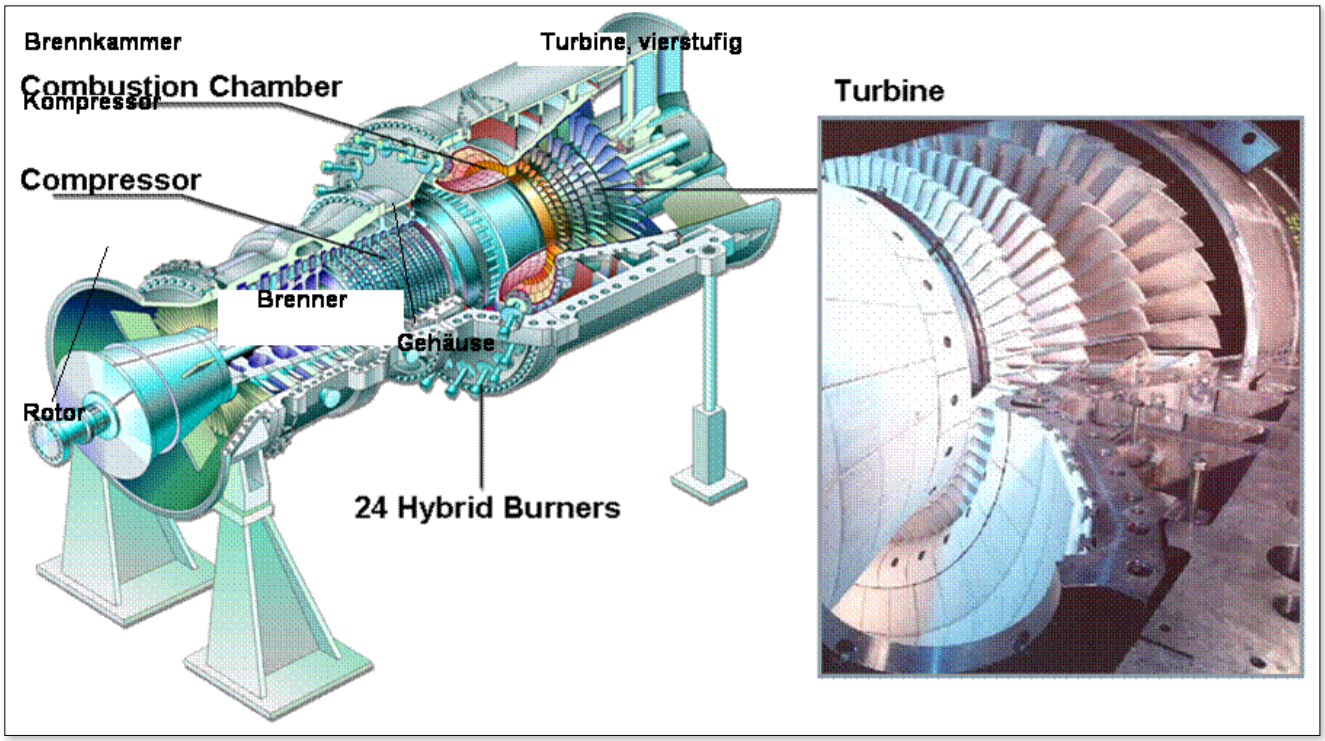


Bild 2: SGT5-4000F, links: Prinzipdarstellung der Turbine, rechts Blick auf Brennkammer und Turbinenschaufeln.

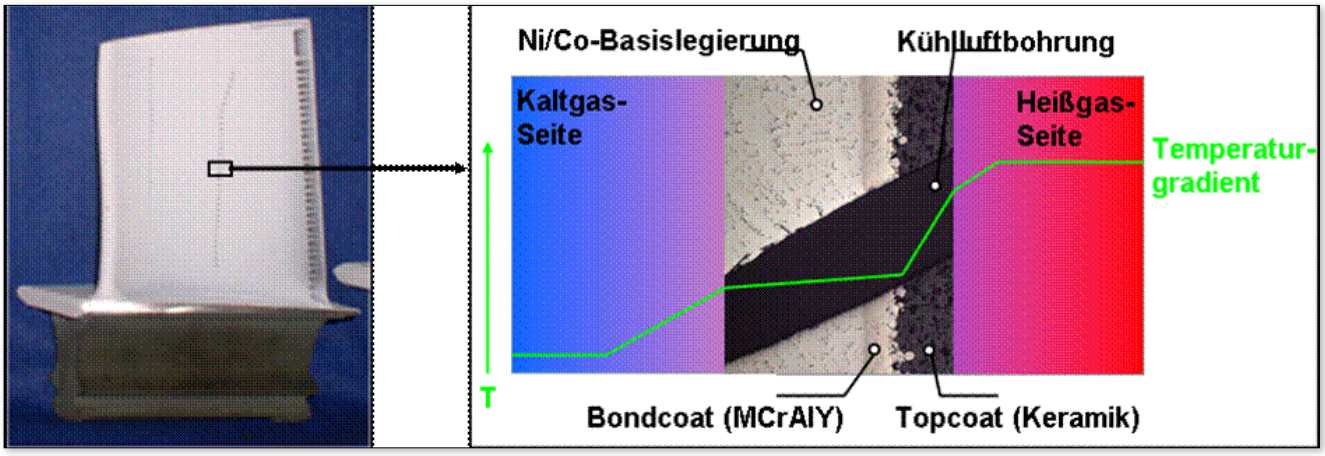


Bild 3: Prinzipdarstellung des Temperaturverlaufes einer gebohrten Turbinenschaufel mit Wärmedämmsystem.

- Siemens Produktionssystem
- Manfacturing Execution System

Alle diese vier Werkzeuge kommen im Berliner Gasturbinenwerk zur Anwendung. Im folgenden soll dies nun an Beispielen der Turbinenschaufelfertigung erläutert werden. Die Turbinenschaufeln sind ein besonders werthaltiges und innovatives Produkt innerhalb der Gasturbine. Die Beschaufelung ist das Herzstück einer Gasturbine. Durch die Schaufeln wird die thermische Energie aus dem Verbrennungsprozess in der Brennkammer in eine Rotationsbewegung umgewandelt. Durch die Drehbewegung wird ein Generator angetrieben, welcher dann den nutzbaren Strom liefert. Dazu werden am Rotor 4 Stufen Turbinenlaufschaufeln befestigt (siehe Abbildung 2.) Vor jeder Laufschaufel befindet sich eine Leitschaufel welches die heißen Verbrennungsgase geeignet auf die Laufschaufel führt. Eine wichtige Kenngröße zur Erreichung dieser Ausgangsleistung bei gleichzeitig hohem Wirkungsgrad ist die Turbineneintrittstemperatur und der Heißgasdurchsatz durch die Turbine. Eine hohe Temperaturdifferenz zwischen Turbineneintritt und –austritt und ein hoher Anteil an komprimierte Luft die dem Verbrennungsprozess zugeführt werden kann steigern den Wirkungsgrad. Um dies beides zu gewährleisten werden sehr hohe Anforderungen an die Bearbeitung der Turbinenschaufeln gestellt. Die im Feingussverfahren hergestellten Turbinenschaufeln aus Ni- und Co-Super-Legierungen dürfen , um die geforderten Standzeiten zu erzielen, nicht heißer als ca. 900 °C werden. Da der Heißgasbereich einige 100 K höher ist, müssen die Turbinenschaufeln geeignet thermisch isoliert werden. Dazu werden die Bauteile mit Beschichtungssystemen versehen. Weiterhin werden die innen hohlen Schaufeln durch abgezweigte Luft aus dem Kompressor gekühlt. Damit wird ein Temperaturgradient zwischen kalter Innenseite der Schaufel und der heißen Außenseite erzeugt. Dazu werden die Schaufeln an geeigneten Stellen mit Kühlluftbohrungen versehen. Dadurch wird eine zusätzliche Kühlung beim Durchgang der Kühlluft durch die Schaufelwand erreicht. Der generelle Aufbau einer solchen Turbinenlaufschaufel ist in Abbildung 3 gezeigt.

Solch eine Schaufel dreht bei den oben genannten hohen Temperaturen mit 3000 U/min. Die Bahngeschwindigkeiten liegen deutlich im Überschallbereich. Die Zentrifugalkräfte die dabei wirken entsprechen einem Gewicht von ca. 80 Tonnen. Jede dieser Schaufel leistet dabei soviel wie 5 Turbo Porsche Motoren (ca. 2000 PS) und bekommt dabei eine Lebensdauer von mindestens 25.000 äquivalenten Betriebsstunden garantiert. Das entspricht einer Laufleistung von drei Jahren Dauerbetrieb. Zusammengefasst: Ein absolutes Hochtechnologieprodukt. Einige grundlegende Leistungsvergleiche für Gasturbinen und Gasturbinenschaufeln sind in Abbildung 4 aufgeführt. Abbildung 5 zeigt die Wertschöpfungskette in der Turbinenschaufelfertigung.

2 Product Lifecycle Management

Product-Lifecycle-Management (PLM) bezeichnet ein strategisches Konzept zum Management eines Produktes

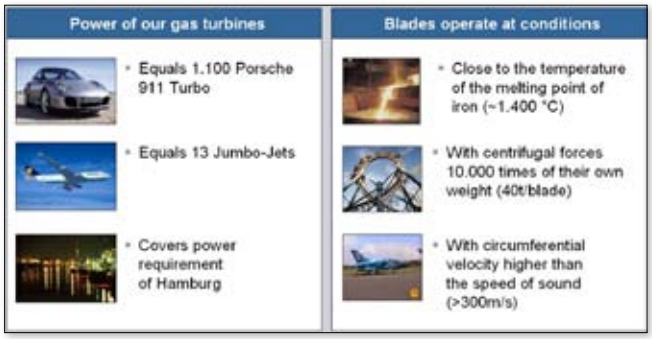


Bild 4: Leistungsvergleich für eine Gasturbine und Anforderungen an eine Gasturbinenschaufel.

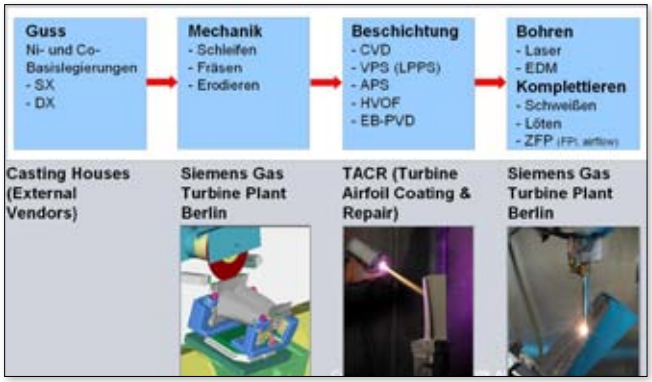


Bild 5: Wertschöpfungskette in der Turbinenschaufelfertigung

über seinen gesamten Lebenszyklus. PLM ist kein in sich geschlossenes System sondern ein strategisches Konzept, das durch geeignete technische und organisatorische Maßnahmen betriebsspezifisch umgesetzt werden muss. Für die Turbinenschaufel bedeutet dies, dass schon im Rahmen der Produktidee alle relevanten Bereiche über den gesamten Lebenszyklus der entstehenden Komponente mit eingebunden werden. Im Produktentwicklungsprozess, der von der Konstruktionsabteilung geleitet wird, gibt es verschiedene Haltepunkte an denen Marketing und Vertriebsorganisationen, das Beschaffungsmanagement, die Fertigungsabteilung aber auch die nach Produktauslieferung angierenden Einheiten wie Servicevertrieb und Service Engineering eingebunden. Dieser frühzeitige Input sorgt für eine reibungslose Produktentwicklung und garantiert kürzeste Entwicklungszeiten (time to market). Dieser für die gesamte Gasturbine gültige Prozesse wurde speziell für die Schaufelentwicklung optimiert und zusätzliche Haltepunkte für Design und Fertigungsabstimmung integriert. Dies hat die Entwicklungszeiten um 30 % reduziert. Die für jedes Produkt anvisierten Zielkosten werden schon nach der Hälfte der bisherigen zu fertigenden Einheiten erreicht. Dies führt zu einem Wettbewerbsvorteil, da wir schneller am Markt sind und die im Produktentwicklungsprozess eingesparten Kosten an unsere Kunden weitergeben können.

Ein Beispiel hierfür ist die Prozessentwicklung des Laserschweißen von Anbauteilen an den Turbinenschaufeln: Diese Anbauteile sind notwendig um Gusstechnisch vorhandene Öffnungen zu verschließen oder die Kühlluftzufuhr in das Bauteil zu regulieren. In den neuesten Produkten hat sich die Anzahl dieser Einbauteile stark erhöht, sodass die bisher üblichen Fügeverfahren wie WIG-Schweißen oder Hochtemperaturlöten nicht mehr wirtschaftlich erschienen. Durch sehr frühzeitiges Einbinden des Schaufelbaus konnte die Technologie des Laserschweißens in den Fertigungsfluss integriert, sowie die Fertigungsprozesse so frühzeitig entwickelt werden, dass die Technologie rechtzeitig zum Qualifizierungsstart zur Verfügung stand. Das Laserschweißen selbst ist nicht mehr als besonders innovativ einzuschätzen. Es findet seit vielen Jahren in weiten Bereichen der Industrie seine Anwendungsfelder. Das Entscheidende ist es, die notwendigen Technologien punktgenau in den bisherigen Fertigungsprozess zu implementieren.

3 Prozessinnovation

Prozessinnovationen sind neuartige Faktorkombinationen, durch die die Produktion eines bestimmten Gutes kostengünstiger, qualitativ hochwertiger, sicherer oder schneller erfolgen kann. [ ] Für den Unternehmenserfolg sind Prozessinnovationen von höchster Bedeutung. So bilden Prozessinnovationen die Basis des Produktivitätswachstums von Unternehmen. Unternehmen die unterdurchschnittlich oder gar nicht in Prozessinnovationen investieren, können langfristig kein Produktivitätswachstum realisieren. Das Wirkungsfeld von Prozessinnovationen ist in Abbildung 6 dargestellt. Prozessinnovationen sind ein Teil des Technologiemanagements. In Zukunft werden die Anforderungen an das strategische Technologiemanagement weiter steigen. Die systematische Bearbeitung der Anforderungen an das strategische Technologiemanagement ist mit Hilfe von Technologie Roadmaps möglich. Durch einen zielgerichteten Aufbau zukünftiger technologischer Kernkompetenzen lassen sich Wettbewerbsvor-



BIld 6: Das Wirkungsfeld von Prozessinnovationen

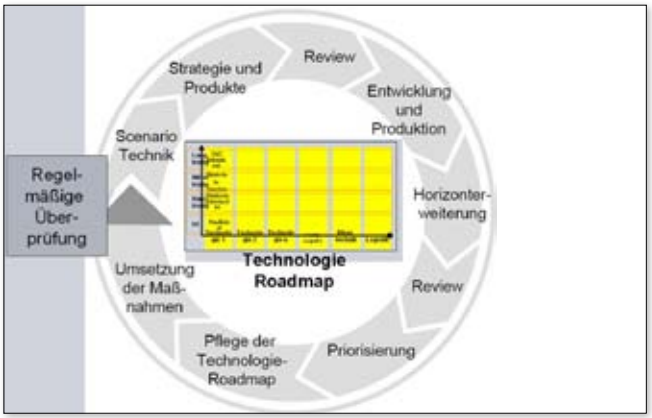


Bild 7: Prozess der zyclischen Überarbeitung der Technologie-Roadmap

teile als Basis für den erfolgreichen Marktauftritt eines Unternehmens entwickeln. In den Technologie-Roadmaps sind aktuell verfügbare Technologien, durch bereits gestartete Projekte zukünftig absehbare Technologien, aber auch langfristige technologische Trends abgebildet. In Industrieunternehmen erfolgt die Projektauswahl, die Priorisierung und Ressourcenallokation vor dem Beginn der Entwicklungsarbeiten auf Basis einer strukturierten Businessplanung, bei der der zu erwartende Nutzen, Umsetzungsaufwände, Risiken etc. betrachtet werden. Die Projekte werden mittels standardisierter Bewertungsverfahren miteinander verglichen . Strategische Ziele wie z. B. die Reduzierung von Lieferantenabhängigkeiten fließen in die Bewertung mit ein. Auf Basis der in der Technologie-Roadmaps enthaltenen Informationen erfolgt eine Überleitung in die Berechnung der Herstellungskosten einzelner Bauteile. Diese Daten werden auf Komponenten bzw. ganze Produkte aggregiert, so dass der wirtschaftliche Effekt der Innovationsprojekte auf das Produktportfolio dargestellt und mit dem Target-Costing verknüpft werden kann. Auf diese Weise erfolgt ein Informationsrückfluss der in den Technologie-Roadmaps abgebildeten Technologiestrategie in übergeordnete Bereichs- oder Unternehmensstrategien. Um rechtzeitig notwendige Veränderungen in den Entwicklungsprozessen zu erkennen muss die Technologie-Roadmap regelmäßig reviewt und ggf. angepasst werden (Abbildung 7).

4 SIEMENS Produktionssystem

In den Abbildungen 8, 9, 10 und 11 sind die Grundzüge des SIEMENS Produktions Systems (SPS) dargestellt.

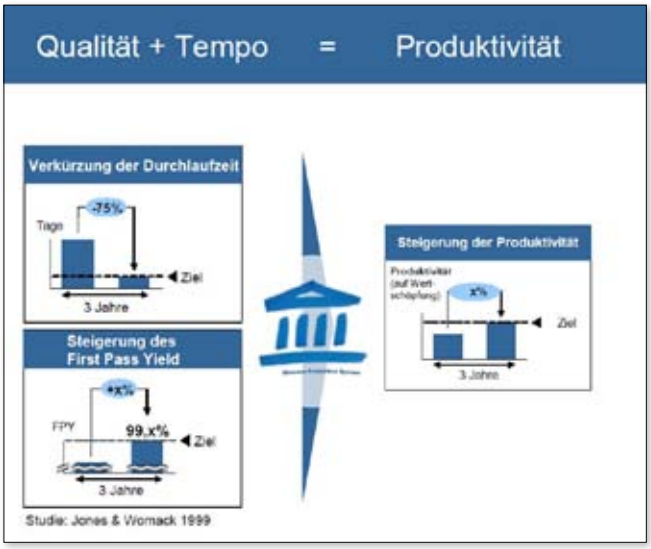


Bild 8: Ziele des SIEMENS-Produktions-Systems (SPS)



Bild 9: Toolbox es SIEMENS Produktion Systems

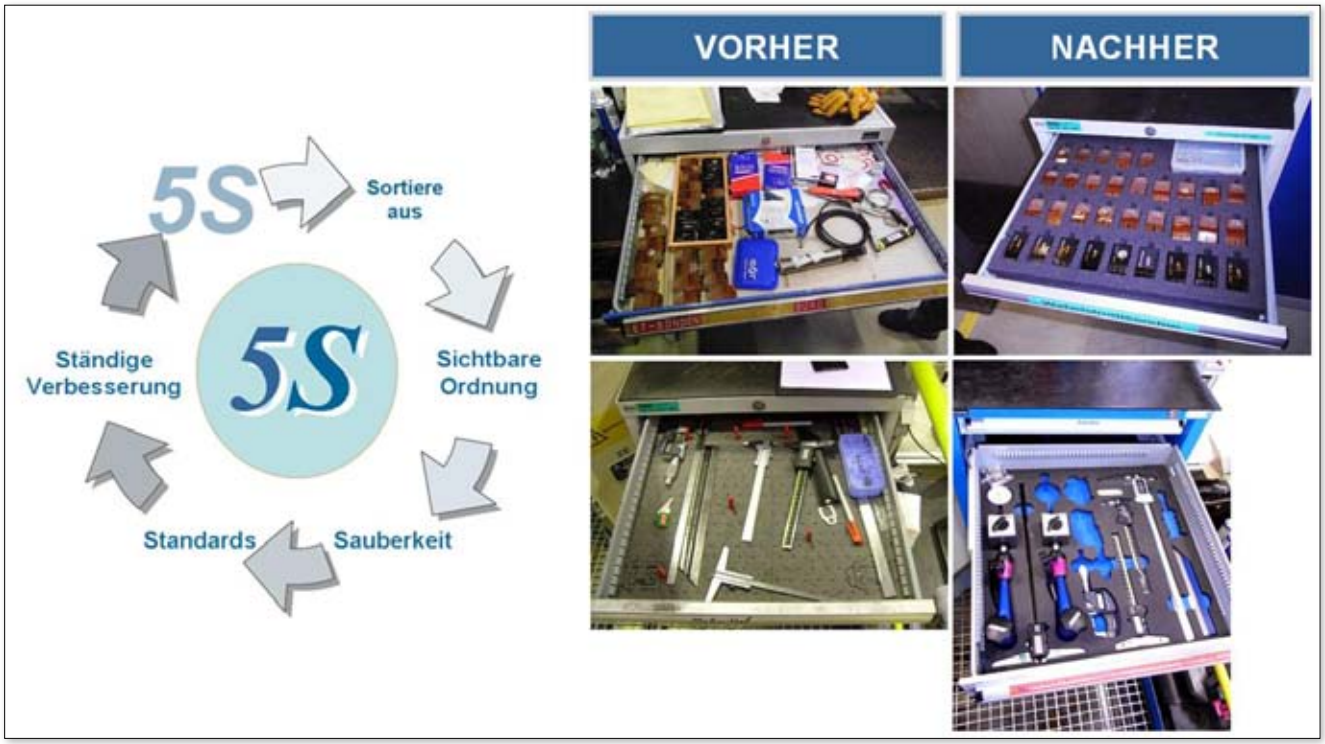


Bild 10: Der 5S Prozess sorgt für Standardisierte Prozesse an allen Arbeitsplätzen

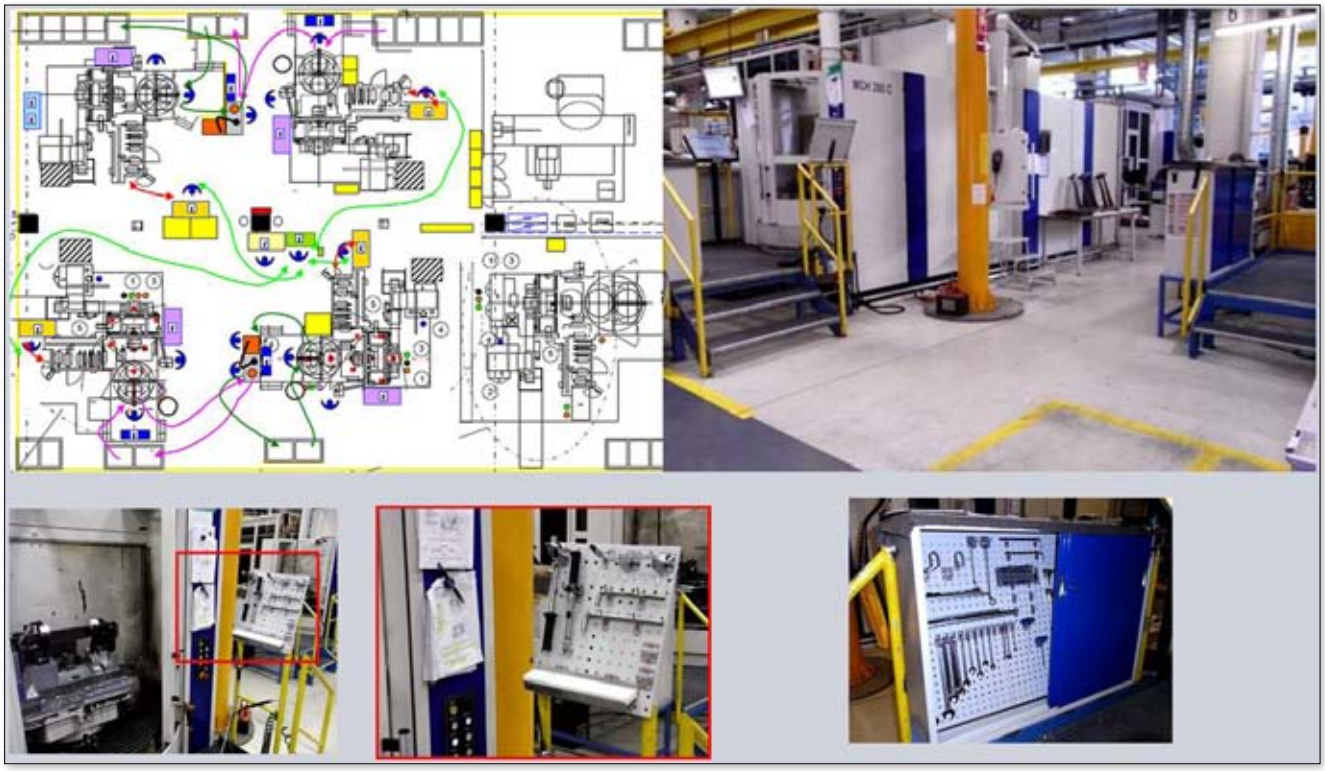


Bild 11: Line Projekte in einzelnen Fertigungsbereichen reduzieren Wege und Logistikprozesse

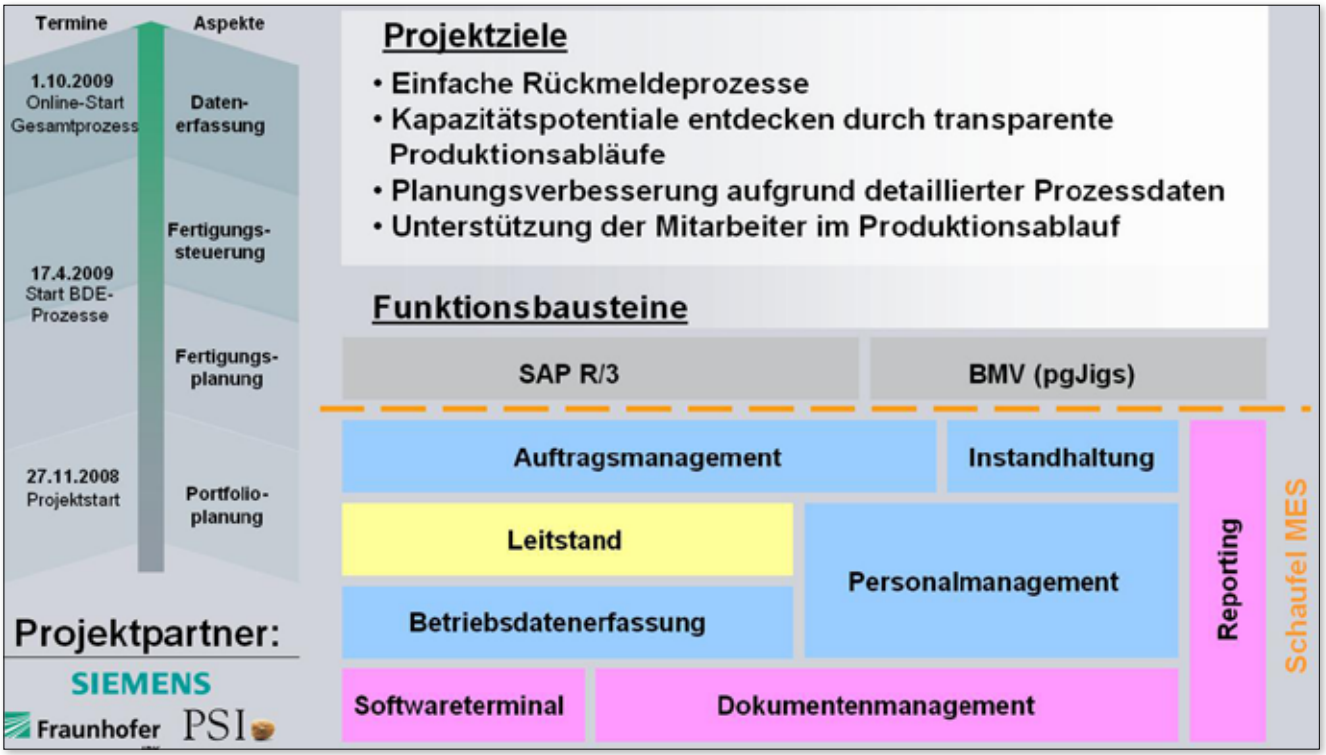


Bild 12: Struktur des SIEMENS Manufacturing Execution Systems (MES)

5 Manufacturing Execution System

Die flächendeckende Einführung von Produktionsplanungssystemen hat in den letzten Jahren für eine verbesserte Wirtschaftlichkeit deutscher Industrieunternehmen geführt.

Flexibilität, Effizienz und Transparenz über die gesamten wertschöpfenden Prozesse reduziert Durchlaufzeiten und optimiert die Auslastung. Zum einen erhöht dies die Kundenzufriedenheit und anderen verbessert dies die Kostenstruktur. Im Berliner Schaufelbau mit über 80 Maschinen- und Handarbeitsplätzen wurde dafür ein Ende 2009 ein erweitertes Manufacturing Execution System (MES) eingeführt. Die Aufgaben und Funktionalitäten mit den einzelnen Modulen sind in Abbildung 12 dargestellt. Im Zusammenspiel mit SAP auf Unternehmensleitebene steuert und plant die MES Software die Fertigungsprozesse in einer durchgängigen Lösung. Zusätzlich zu einer Betriebsdatenerfassung mit Terminals an den 80 Arbeitsplätzen und mehreren Leitständen mit der Funktionalität für eine Kurz-, mittel- und langfristigen Planung ergänzt ein Auftragsverwaltungsmanagement sowie ein Instandhaltungsmodul die klassischen MES Funktionen. Zusätzlich werden durch ein Dokumentenmanagement den Mitarbeitern die auftragsspezifischen Fertigungsunterlagen am Bedienerterminal zugänglich gemacht. Prüfvorgänge und Qualitätsauffälligkeiten werden in einem angepassten Qualitätsmodul erfasst und bearbeitet. Reports über die fertigungsrelevanten KPI werden online und automatisch aktualisiert und zwischen den Modulen gemeldet. Es besteht die Möglichkeit alle Daten über einen Berichtsgenerator auszulesen und weiter auszuwerten. Die Software sorgt heute für einen sicheren Informationsfluss und unterstützt die Fertigungsmitarbeiter und auch die indirekten Bereiche wie Arbeitsvorbereitung, Qualitätssicherung, Technologieabteilungen und Instandhaltung bei der Ausführung festgelegter Arbeitsprozesse. Die Fertigungsplaner und – steurer verfolgen die gesamten Produktionsprozesse in Echtzeit und können auf Störungen unmittelbar reagieren.

Wegen der hohen Komplexität und der ständigen technologischen Weiterentwicklung unserer Produkte haben wir uns für ein dreistufiges Planungssystem entschieden. In der ersten Ebene findet eine langfristige Planung basierend auf Jahresscheiben statt. Dabei werden mögliche Portfolien optimiert. Es können auch bereits Produkte

die noch in der Entwicklung sind mit eingeplant werden. Dies hilft um frühzeitig Erkenntnisse über zukünftige Auslastungen zu bekommen, aber auch um eventuell entstehende Kapazitätsengpässe zu erkennen und ggf. notwendige Investitionen rechtzeitig in die Wege zu leiten. In der mittleren Planungsebene findet der direkt Kontakt zum SIEMENS internen Kunden statt. Auf einer Basis von ca. 3 Monaten wird von hier aus die direkte Fertigungssteuerung mit Ihren z. Zt. 5 Leitständen mit den Start- und Endterminen versorgt. Diese unterste Planungsebene steuert dann die gesamten Fertigungsressourcen aus.

6 Zusammenfassung

Abbildung 13.

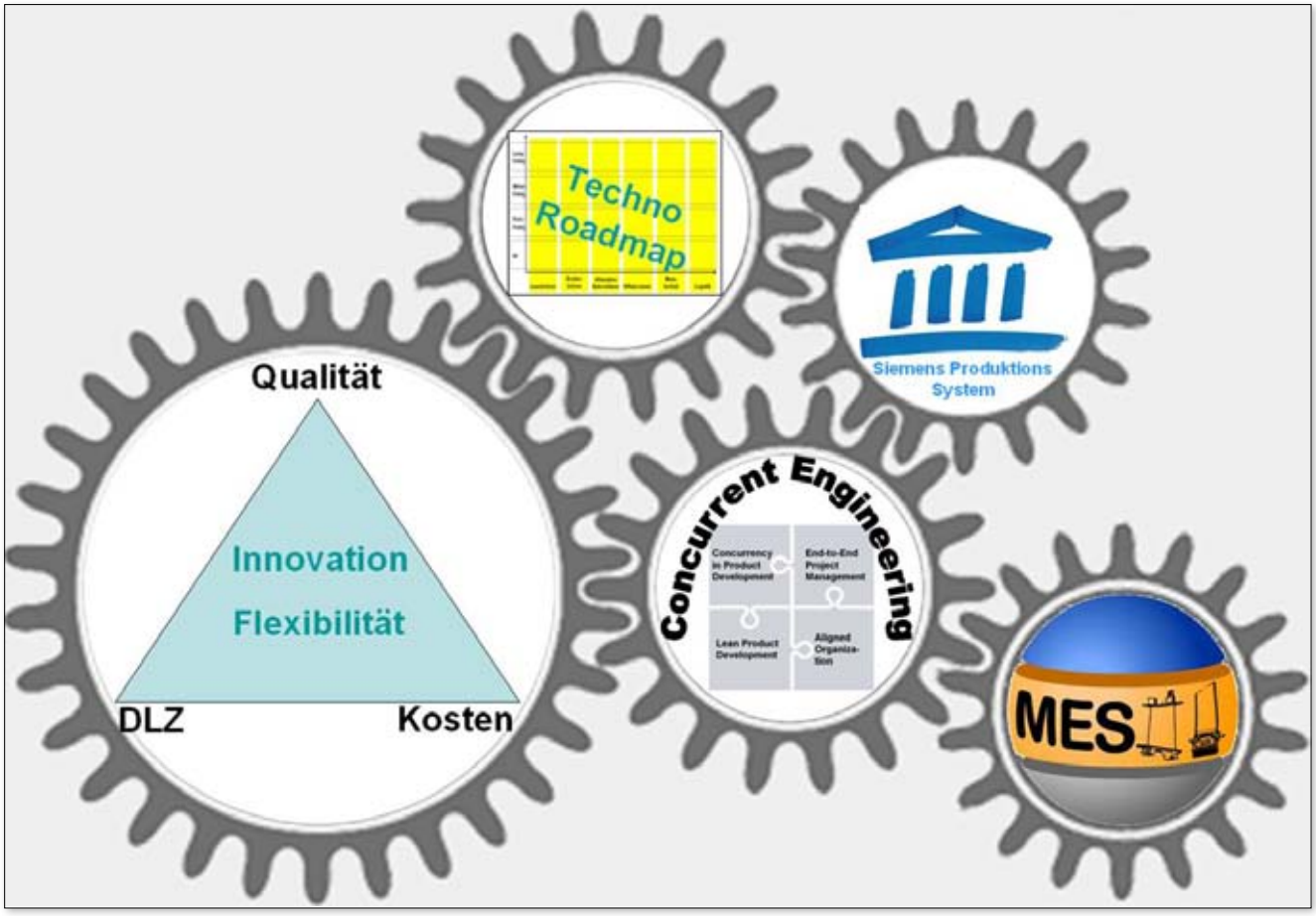
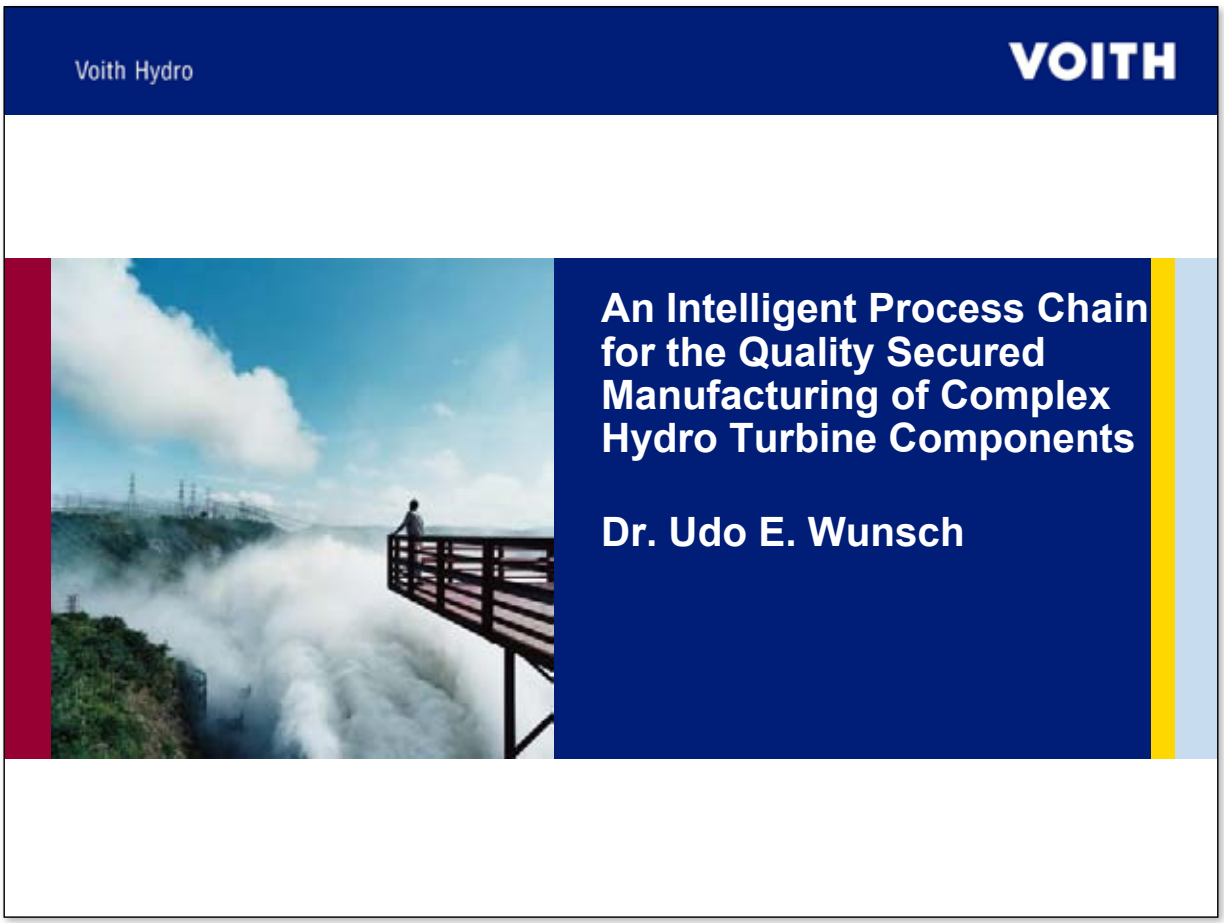


Bild 13: Zusammenspiel der vier Rädchen Technologie Roadmap, Siemens Produktions System, Concurrent Engineering und MES bringen den höchsten Kundennutzen hinsichtlich Qualität, Kosten und DLZ.

Dr. Udo E. Wunsch
Head of International Production, Voith Hydro Holding GmbH & Co. KG

Intelligente Prozeßketten für die qualitätssichere Fertigung komplexer Hydroturbinenkomponenten

Abstract | Der weltweite Markt für Wasserkraftwerke ist in den letzten Jahren stark gewachsen. Zudem ist auf Grund neuer Wettbewerber im internationalen Markt auch der Wettbewerbsdruck gestiegen. Voith Hydro hat daher bedeutende Investitionen in das internationale Produktionsnetzwerk zur Fertigung von Turbinen und Generatoren realisiert. Dabei wurden sowohl Erweiterungsinvestitionen getätigt als auch umfangreiche Maßnahmen zur Produktivitätssteigerung realisiert. Ein bedeutender Schwerpunkt bildete dabei die Fertigung von Turbinenschaufeln für Francis- und Kaplanturbinen. Hierbei war es für uns wichtig nicht nur einzelne Schritte zu verbessern sondern das Gesamtsystem zu betrachten. Im Vortrag wird die gesamte Prozesskette beginnend von den Prozessen in unserer Gießerei bis zur Fertigbearbeitung auf einem Flexiblen 5 Achsen-Fertigungssystem dargestellt.



Voith Hydro VOITH

Voith – Worldwide presence to the customer



- More than 280 own production, service and sales locations.
- Worldwide Research and Development network.

Voith Hydro VOITH

Voith – Sales and employees by division

Voith AG					
Group Divisions	Voith Paper	Voith Turbo	Voith Hydro	Voith Industrial Services	Group
Sales	1 743 Mio. EUR	1 232 Mio. EUR	1 085 Mio. EUR	1 018 Mio. EUR	5 078 Mio. EUR
Employees	9 500	5 428	4 681	19 118	38 727

Fiscal year 2008/2009

Voith Hydro VOITH

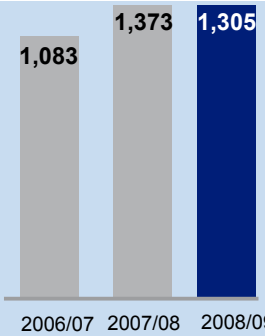
International positioning of Voith Hydro in numbers

Number of employees	4,681	Manufacturing capacity	100 %
Number of employees in Germany	625 13 %	Manufacturing capacity in Germany	3.2 %
Number of employees in Europe (excluding Germany)	647 14 %	Manufacturing capacity in Europe (excluding Germany)	6.6 %
Number of employees outside of Europe	3,409 73 %	Manufacturing capacity outside of Europe	90.2 %

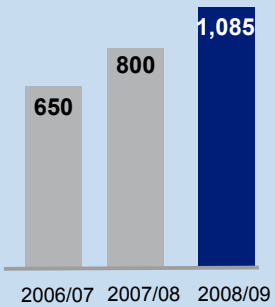
Voith Hydro VOITH

Positive market development

- Sales: 1,085 Mio. EUR / 56.6 % outside Europe
- Employees: 4,681 / 73 % outside Europe
- 90% of manufacturing capacity outside Europe
- Consolidated subsidiaries: 19



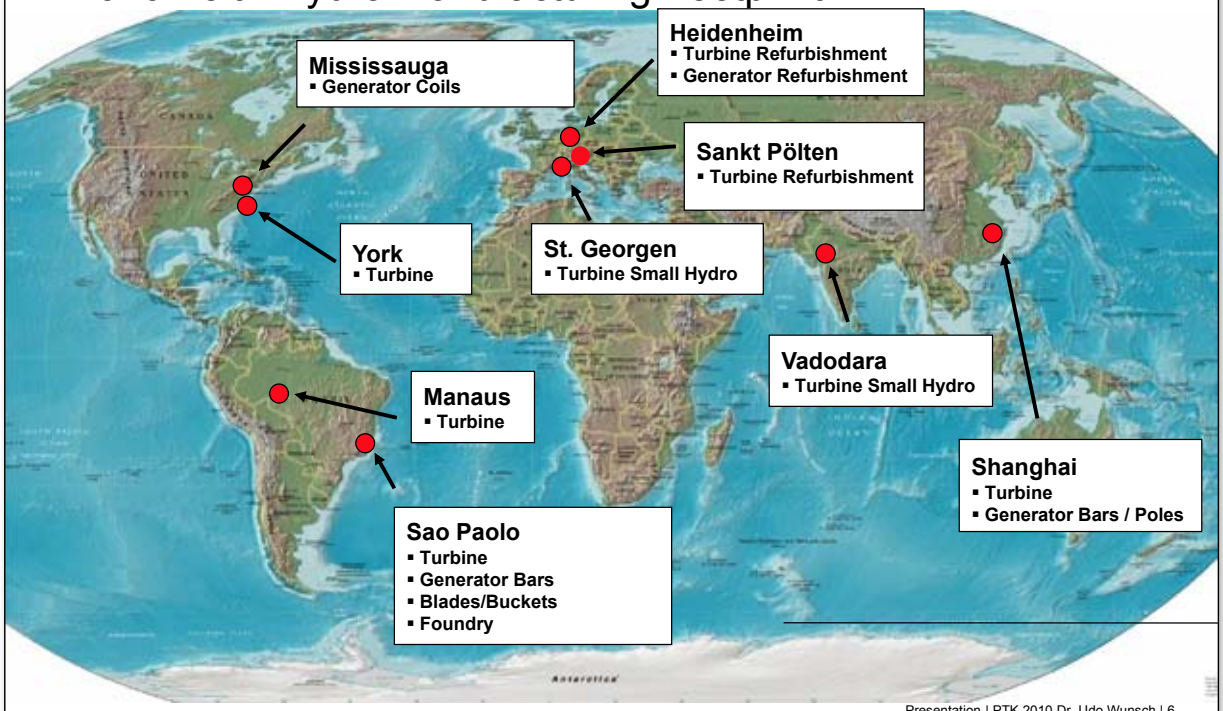
Orders received EUR in millions



Sales EUR in millions

Voith Hydro VOITH

2010 Voith Hydro Manufacturing Footprint

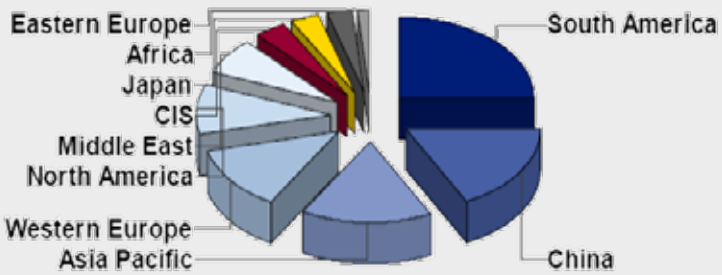


Presentation | PTK 2010 Dr. Udo Wunsch | 6

Voith Hydro VOITH

Global Hydro Market – Total Mio € 20,552

Market share per area
3 years' average FY 2006/07 – 2008/09



South America	25.1%
China	17.3%
Asia Pacific	15.9%
Western Europe	12.9%
North America	9.9%
Middle East	7.2%
CIS	3.9%
Japan	3.4%
Africa	3.1%
Eastern Europe	1.4%
Total	100.0%

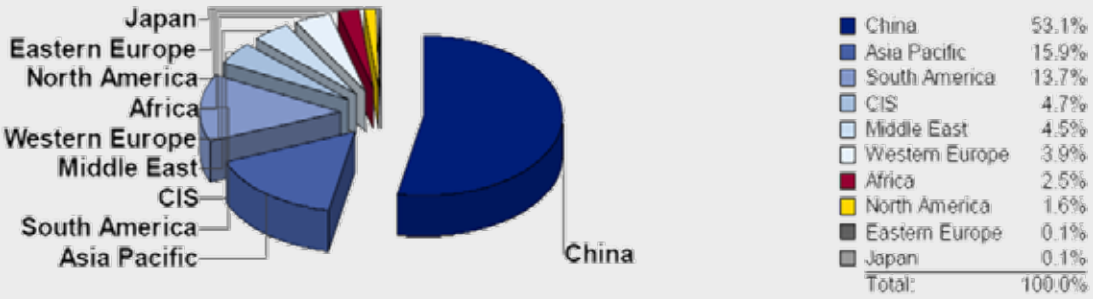
Source: Go2Hydro 2.0 / 2010-01-19

Presentation | PTK 2010 Dr. Udo Wunsch | 7

Voith Hydro VOITH

Global Hydro Market – Total 126,580 MW

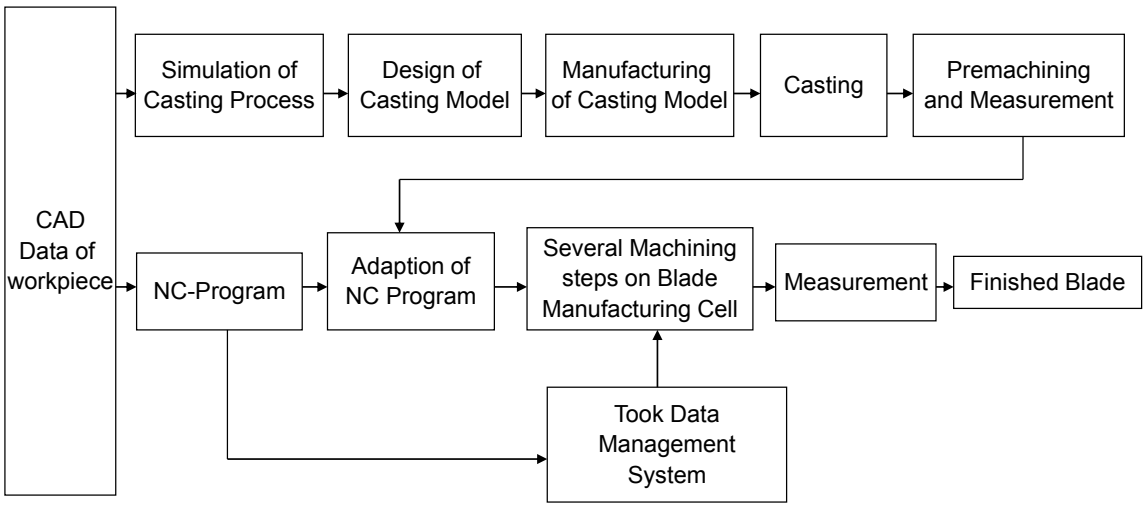
Market share per area
3 years' average FY 2006/07 – 2008/09



Source: Go2Hydro 2.0 / 2010-01-19

Voith Hydro VOITH

Basic: Process Chain in Turbine Blade Manufacturing



Voith Hydro VOITH

Foundry Engineering and Simulation with Magma

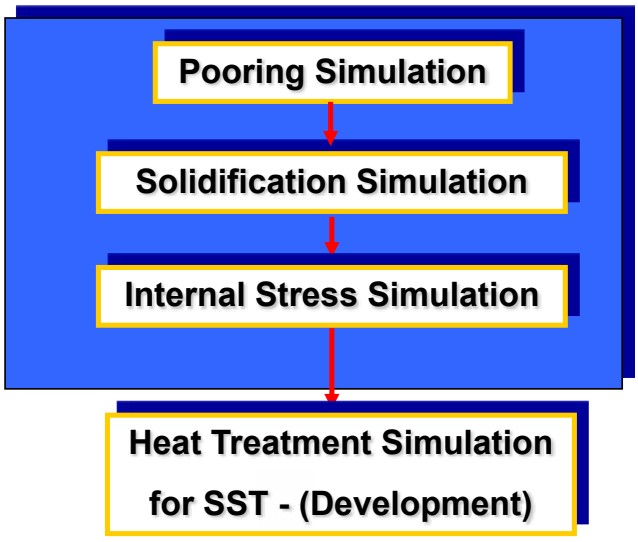
- VOITH HYDRO Foundry works with foundry simulation software MAGMA SOFT since 1996, with remarkable results reaching standard of excellence in quality, cost reduction and development of foundry technology.

Voith Hydro VOITH

Base Material Quality Improvements

Simulation Software in order to allow adequate sizing of risers, attack channels and stock distribution

Simulation of the entire process including internal stresses



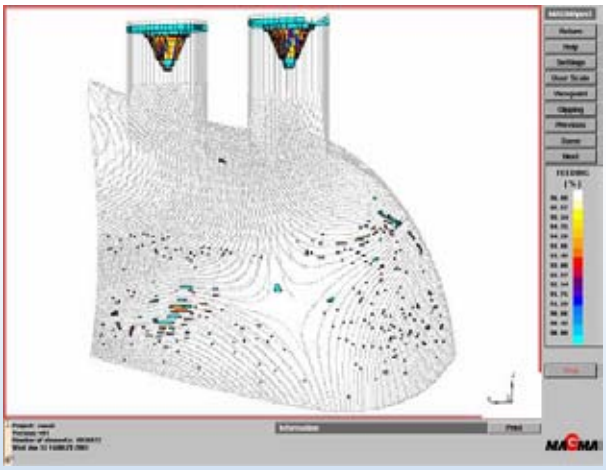
Voith Hydro VOITH

Base Material Quality Improvements

Example shows the correlation of the simulation software with cast bucket

(Painted areas are showing possible defect areas)

Defects





Software can predict possible defect area and is being used to fine tune the process and avoid defects

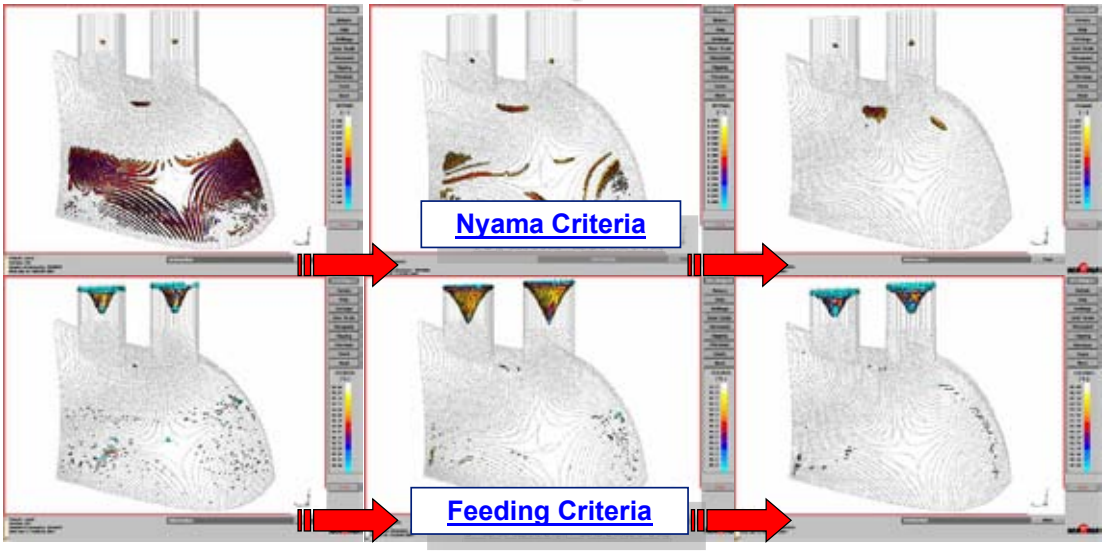
Voith Hydro VOITH

Base Material Quality Improvements

Example shows how a new stock distribution changes the casting results.

(Painted areas are showing possible defect areas)

Original shape | **1st modification for casting** | **2nd modification for casting**



Voith Hydro VOITH

Base Material Quality Improvements

Foundry converter was equipped with numerically controlled system



The new automation allows

- Automatic charge processing
- Uniform balance of gases proportions
- Lower gas consumption.
- Flexibility of charge programming.
- Accurate set up of gas proportions

Voith Hydro VOITH

Steel Refining: Numerically Controlled AOD Converter

AOD converter:

- Ultimate equipment for steel refining aiming metal cleanness, high mechanical properties and excellent weld ability.
- The process is divided in 3 steps: Decarburization, Reduction and Desulphurization, in each one of these phases gases (N2, Ar) are applied into the melting steel.

AOD PROCESS	Gas
1st Step Decarburization	N2
2nd Step Reduction	Ar
3ª Step Desulphurization	Ar





Steel max liquid capacity = 70ton



Voith Hydro VOITH

Grinding with Andromat

- Heavy duty grinding station controlled by man interface as an arm extension.
- Supplier: Andromat (Germany)
- Removal capacity: up to 100 kg/hour of martensitic stainless steel.
- Grinder is used to remove excess of material from casting surfaces and also for optimization of BMC thru put time/capacity.





Voith Hydro VOITH



Voith Hydro VOITH

Casting of a Blade



Presentation | PTK 2010 Dr. Udo Wunsch | 18

Voith Hydro VOITH

Example of Six Sigma Project: impact resistance

Six Sigma Project - Quality Improvement
"To Increase Impact Resistance on Stainless Steel Material CA6NM"

Background and initial situation

- Standard ASTM A 742 CA6NM: min 54 J (Charpy-0 C)
- Voith's Material Mean: 132 J (Charpy-0 C)
- Project Goal: Min 150 J

Hypothesis: High impact material has crack growth rate on stainless steel material.

Verified root causes

- It was found strong correlation between the Impact resistance property and chemical composition. It's been tested some charges in order to verify thiy hypotheses and designed a mathematical model for Impact Resistance vs. Chemical Composition

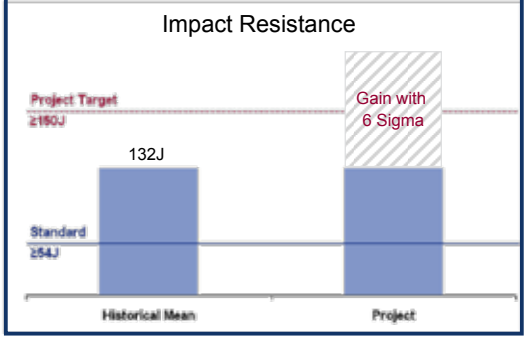
Results

- By using the mathematical model it was possible to obtain a material impact resistance over than 150 J

Added value for companies and customers

- Technical Competitiveness
- Hydro Engineering Technical Advantage

Development of Quality



Presentation | PTK 2010 Dr. Udo Wunsch | 19

Voith Hydro VOITH

Blade Manufacturing Cell

Blades will be machined on a “Blade Manufacturing Cell” equipped with 3 Portal Machines

- Three 5 axis portal machines linked by an automated pallete system
- Machines from Waldrich Coburg type Mastertec 4500
- High productivity: High speed cutting and Power at milling head up to 70 kW





Presentation | PTK 2010 Dr. Udo Wunsch | 20

Voith Hydro VOITH

Blade Manufacturing Cell

Waldrich-Coburg MasterTec 4500 AP-M3



Machine Dimensions

Clearance	-	4.500 [mm]
Length of system	-	35.000 [mm]
Width of system	-	23.500 [mm]
Max speed main axis	**-**	50.000 mm/min
6 pallets	-	4m x 5m; max. load 30 to

Presentation | PTK 2010 Dr. Udo Wunsch | 21

Voith Hydro VOITH

Blade Manufacturing Cell

High tech process with the combination of the best in 3D measurement and the best in CAM-CAD software coupled to a Blade manufacturing Cell

rough cast blade

blade comes directly after taking away of hard skin to manufacturing area

3D scan of blade with GOM

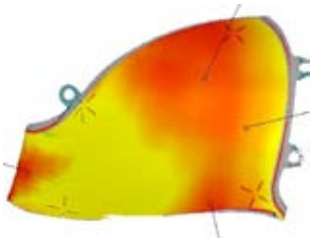
- each blade to be scanned
- 3D solid of real blade with all the details
- exact stock distribution

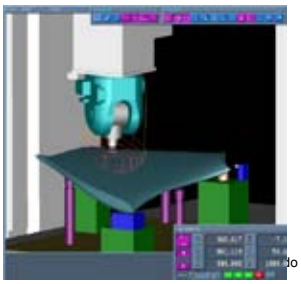
tebis with CAM

CNC programming with complete virtual machine simulation

- simulation of the complete maching process possible
- all possible collisions to be detected
- no „air-cutting“ as base for CNC is real blade solid (just milling where material is available)

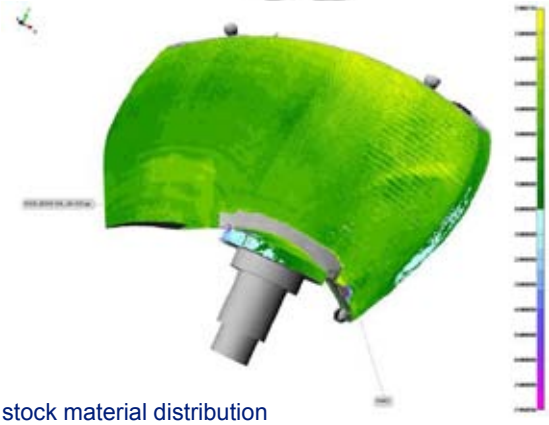




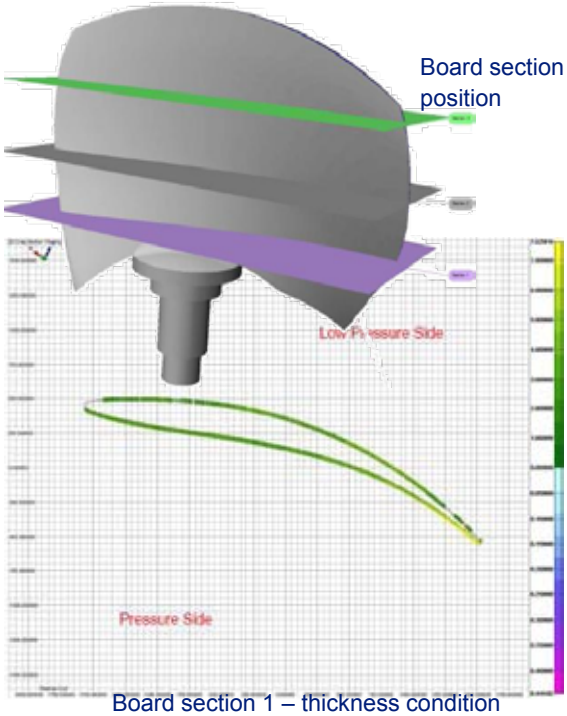


Voith Hydro VOITH

Range of application of Measurement System



stock material distribution
(Kaplan blade - low pressure side)



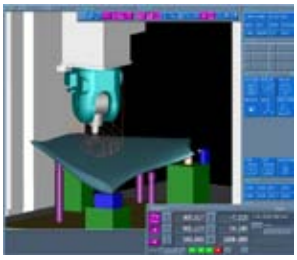
Board section 1 – thickness condition

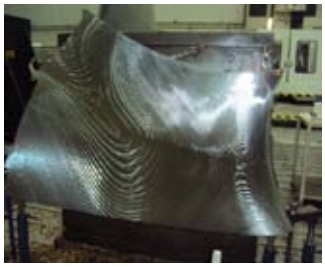
Voith Hydro VOITH

Pictures of areas

Manufacturing Engineering
Introduction of new manufacturing technologies







gom 3D scan

tebis CAM virtual machine simulation

result

Voith Hydro VOITH

Runner Manufacturing

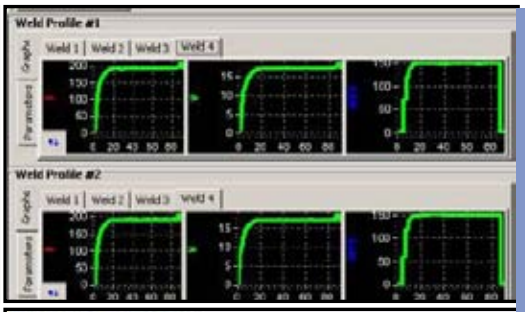


Voith Hydro VOITH

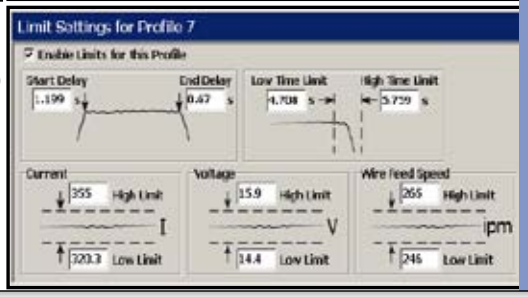
Runner Manufacturing
Welding Monitoring System

VHP uses high performance welding machines with monitoring system that can provide online the principal parameters from welding.





VHP process can limited the welding parameters (create a WPS profile) according to defined WPS and stop the weld machine if any electrical parameters are out of specification according to picture beside



Voith Hydro VOITH

Engineered reliability.

Klaus Löffler
Leitung Branchenmanagement, TRUMPF Laser- und Systemtechnik GmbH

Entwicklungstrends der Laser- und Systemtechnik

Keywords | *Concurrent Engineering, Prozessinnovation, Produktionssysteme, MES*

1 Der Laser feiert seinen 50. Geburtstag

Der Laser feiert in diesem Jahr seinen 50-sten Geburtstag. Genauer gesagt, im Mai 1960 zündete Theodore H. Maiman den ersten Laserblitz. Ausgangspunkt dieser neuen Technologie war 5 Jahre zuvor die Präsentation von Charles H. Townes und James P. Gordon ihres Masers (Microwave Amplification by Stimulated Emission of Radiation = Mikrowellenverstärkung durch stimulierte Emission von Strahlung).

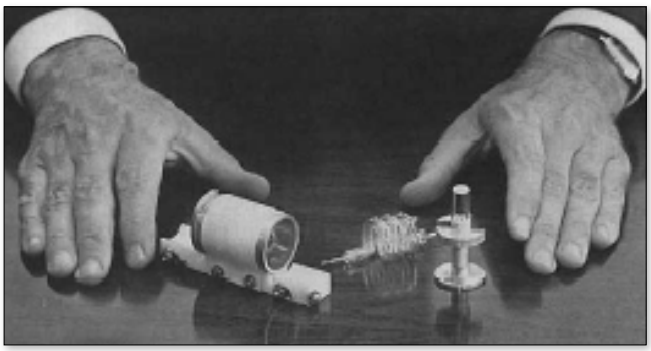


Bild 1: Theodore H. Maimans erster Rubinlaser (1960)

Die Entwicklung der Lasertechnik nahm jetzt ihren Lauf und getrieben von der Idee der Innovation, des Neuem, zunächst ohne direkte Anwendungen im Visier, entstanden diverse Laserentwicklungen. Abhängig z.B. vom aktiven Medium, dem Laseraufbau, der Signalform etc. entstand eine Vielzahl unterschiedlicher Laserquellen. 1962 wurde beispielsweise der erste He-Ne Laser von A. White entwickelt, der als Vorläufer der heutigen Scannerlaser gesehen werden kann. Bis 1964 hatten Laserforscher und Ingenieure schon vieles probiert. Doch jeder Versuch, eine bestehende Anwendung auf den Laser zu übertragen, zeigte, dass die »konventionelle« Anwendung überlegen blieb, solange man die Applikation nicht vom Laser her komplett neu entwickelte. Der Laser war als Werkzeug noch nicht wirtschaftlich einsetzbar und ausreichend erforscht. Das Wort LASER wurde in Deutschland als Synonym für »Light Applied to Stimulate Expensiv Research« verwendet; der Laser als Lösung auf der Suche nach einem Problem!

2 Einführung der Laser und Systemtechnik

Der Laser hat sich als Werkzeug für viele Anwendungen gezeigt. Je nach Einwirkdauer und Leistungsdichte des Laserstrahls lassen sich unterschiedliche Wirkungen erzielen. Die Wirkungen reichen vom reinen Erwärmen über Schweißen und Trennen bis hin zum Verdampfen des Materials. Neben den eben erwähnten beiden Parametern spielt die Wellenlänge eine weitere wichtige Rolle in der Wechselwirkung Laserstrahl Materie. Hochreflektierende Metalle weisen eine höhere Absorption bei kürzeren Wellenlängen auf. Mit diesem Hintergrund wird die Notwendigkeit von Lasern mit Wellenlängen vom Bereich 248nm bis 10600nm ersichtlich.

Mit den beschriebenen 3 Parametern wird die Vielzahl von Anwendungen und Laserstrahlerzeugern erklärbar. Das Beschriften von Bauteilen ist eines der Verfahren, welches man im täglichen Leben häufig begegnet. Im Bereich Hochleistungslaser mit einer Laserleistung größer 1000 Watt ist das Laserschneiden von ebenen Blechen die dominierende Anwendung.

3 Entwicklungstrends der Lasertechnik: Gaslaser – der CO_2-Laser

Einer der ersten CO_2-Laser mit einer Laserleistung von 1,5kW hat eine Länge von mehr als 7 Metern. Die heutigen Lasern erzeugen auf einer Grundfläche von einem Quadratmeter bis zu 10 kW. Allein von der TRUMPF

TruFlow-Baureihe beläuft sich die installierte Basis auf über 18.000 Einheiten.

Der Entwicklungstrend bei den CO_2-Lasern läuft in Richtung höherer Strahlqualität (K>0,9 bei 5000W Laserleistung) bei kompakter Bauform und in Richtung Wartungsfreiheit. Auf die jeweilige Anwendung angepasste Laserstrahlprofile erlauben eine weitere Steigerung des Prozesswirkungsgrades, hier ist die radiale Polarisation zu nennen. Der CO_2-Laser hat ein physikalisch basiertes Defizit im Bereich des elektrischen Wirkungsgrades im Vergleich zum Festkörperlaser. Entwicklungen im Bereich des aktiven Energiemanagements sollen die Auswirkungen beim Kunden vermindern.

4 Entwicklungstrends der Lasertechnik: Festkörperlaser

Die eben erwähnten Festkörperlaser stehen seit wenigen Jahren mit CW-Leistungen zur Verfügung, welche bisher den CO_2-Laser vorbehalten waren. Die Resonatorkonzepte des Scheibenlaser und des Faserlaser erreichen elektrische Wirkungsgrade bis 30% und Direktdiodenlaser bis in den hohen 30% Bereich. Die Entwicklung dieser Laser hat in den letzten 5 Jahren rasant an Fahrt aufgenommen. Der Wirkungsgrad von Festkörper-CW-Laser im 3kW Bereich wurden von 3% elektrischen Wirkungsgrad auf über 30% gesteigert. Gleichzeitig haben sich Herstellkosten und Markpreise mehr als halbiert.

Neue Laserwerkzeuge, die Kurzpulslaser, welche Pulse im ns, ps bis femto-Sekunden erzeugen können, bieten ganz neue Möglichkeiten der Fertigung. Die Pulse dieser Laser sind so kurz, dass es praktisch zu keiner Wärmeübertragung am Werkstück kommt. Mit solchen Lasern lassen sich selbst amorphe Werkstoffe bearbeiten. Die Qualität von Halbleitern oder auch der Wirkungsgrad von Solarzellen können durch solche Strahlquellen optimiert werden. Die Anwendungen sind vielfältig und bieten noch unbekannte Potentiale.

5 Entwicklungstrends der Systemtechnik am Beispiel der Remotebearbeitung

Zu Beginn der Lasertechnik wurde der Strahl statisch gehalten und das Werkstück bewegt. Wobei es doch in der Regel einfacher ist, die nahezu gewichtslosen Photonen des Lasers über das Werkstück zu bewegen. Mit den neuen Laseraggregaten erlangt der Einsatz von Scannern zur Strahlablenkung immer mehr an Bedeutung. Hochgeschwindigkeitsprozesse im PV-Bereich, Halbleiterbereich bis zum wirtschaftlichen Einsatz im Automobilbau sind hier zu nennen. Durch Laserstrahlen mit höchster Leistungsdichte lassen sich durch den Sublimationsprozess Folien beschneiden, ohne dass ein Schneidgas zum Austrieb des Werkstoffs eingesetzt wird. Einen ähnlichen Effekt lässt sich selbst durch den Einsatz von Schweißlasern und Scannertechnik erreichen. Für das Trennen von dünnen Folien (Brennstoffzelle, Batterietechnik) könnte dies der Durchbruch bedeuten. Die Scannertechnik soll in Zukunft die Möglichkeit bieten mit Qualitätssystemen die jeweiligen Bauteile zu erfassen und dann ein auf das Bauteil angepasste Programm mit Hilfe des Scanner abzuarbeiten.

6 Entwicklungstrends der Systemtechnik am Beispiel der Blechbearbeitung

Hier hat sich vor allem durch die neuen Strahlquellen in Kombination mit neuen Steuerungstechniken und Bearbeitungssystemen die Bearbeitungsgeschwindigkeiten erhöht. Die damit verbundene Reduzierung der Kosten je Längeneinheit eröffnet der Lasertechnik weiter Anwendungen welche bisher durch mechanische Beschnittwerkzeuge durchgeführt wurden. Das Leiten des Laserlichtes durch Lichtleitkabeln erlaubt nun auch neue investreduzierte Fertigungskonzepte. Als Beispiel ist hier die Stanz-Laser-Kombinationsbearbeitung zu erwähnen. Bei diesem Verfahren wird entweder die Stanz oder die Lasertechnik eingesetzt. Dies ergibt eine Auslastung des Lasers von ~ 30%. Durch die flexible Verschaltung des Laserlichtes von einem Aggregat auf ein zweites Bearbeitungssystem (Im Beispiel eine Laserschweißsystem) ergibt eine Erhöhung der Auslastung des einen Laseraggregates und eine Investreduzierung, da nur noch ein Laseraggregat notwendig wird.

7 Entwicklungstrends des Systemtechnik am Beispiel Tailored Materials

Die Rohstoffe werden in Zukunft weiter knapper und die Rohstoffpreise steigen. Zusätzlich werden Systeme im

Rahmen der Effizienzdiskussion immer weiter in Richtung physikalischem Limit entwickelt. Mit diesen beiden Trends im Hintergrund wird es immer wichtiger Werkstoffe und Oberflächen der jeweiligen Belastung optimiert zu entwickeln. Der Laserstrahl kann hier hilfreich sein. Mit dem Laserstrahl lassen sich Oberflächen mit unterschiedlichen Eigenschaften zum Grundmaterial generieren. Ein ressourcenschonender Umgang mit Rohstoffen ist damit erst möglich. Im Luftfahrt- und Turbinenbau wird dies bereits intensiv eingesetzt. Weiterhin lassen sich Verfahren wie das Laserpolieren, Laserhärten, Laserstrukturieren mit diesem Ziel einsetzen.

8 Zusammenfassung

In den letzten Jahren konnten die Laserentwickler viele neue Produkte zur Industriereife bringen. Wellenlängen, Strahlqualitäten, mittlere Leistung, kurze Pulse und hohe Frequenzen.

Gleichzeitig lautet die Entwicklungsrichtung im Bereich Systemtechnik »Laserlicht aus der Steckdose«, »Photonen ablenken« und »Adaptive Bearbeitung«. Mit diesen neuen Eigenschaften können neue Produkte entwickelt und hergestellt werden. Die wichtigsten Unternehmen der Lasertechnik sind in Deutschland ansässig und können damit mit der deutschen Produktionstechnik einen wichtigen Rolle bei der Sicherung unserer Zukunft leisten.

TRUMPF



Auswirkung der Intensität des Laserstrahls auf Metall



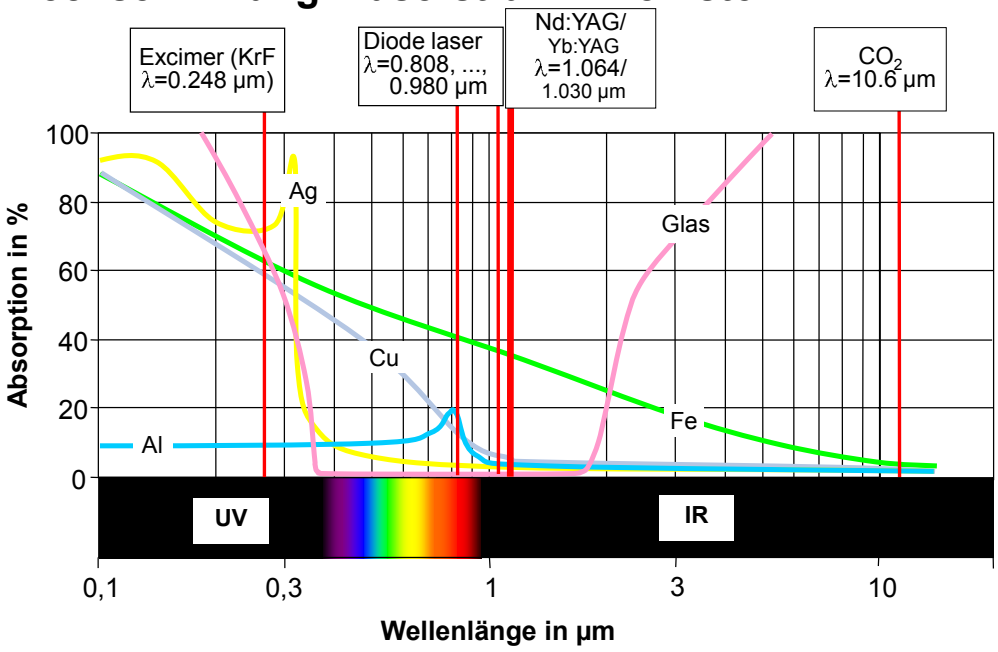


Hauptwirkung	Erwärmen	Schmelzen	Schmelzen und Verdampfen	Schmelzen und Verdampfen	Verdampfen und Ionisieren	Sublimieren und direkte Dissoziation
Leistungsdichte ab	30 W/mm²	1 kW/mm²	10 kW/mm²	1 MW/mm²	10 MW/mm²	10 GW/mm²
Einwirkzeit	s	ms	ms	ms	ns	ps
Verfahrens-beispiele	Härten, Löten	Wärme-leitungs-schweißen	Tief-schweißen, Schneiden	Bohren	Abtragen, Gravieren	Strukturieren

TRUMPF



Wechselwirkung: Laserstrahl - Werkstoff



TRUMPF











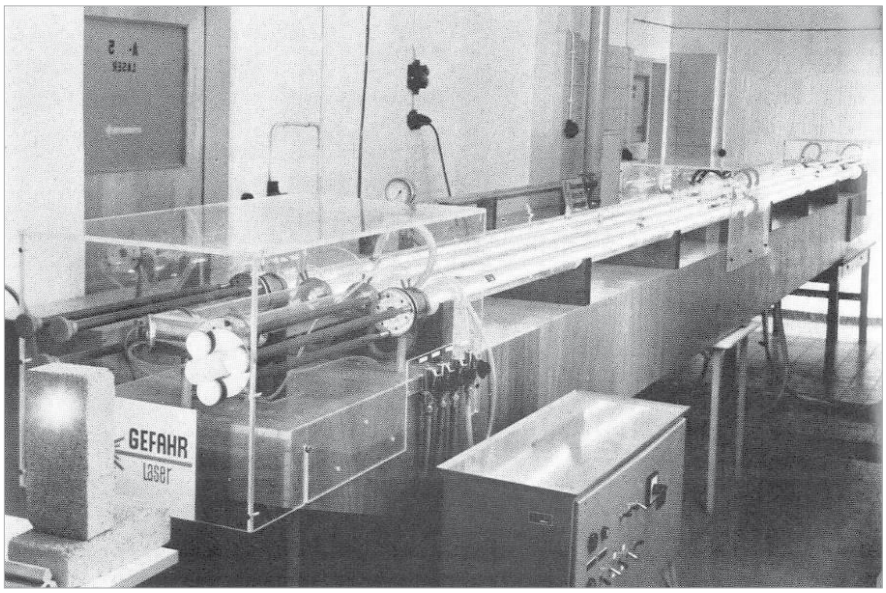




TRUMPF



CO_2-Laser, gefaltetem Rohr 28m lang, Leistung 1,5kW



(Quelle: Batalle Institute)

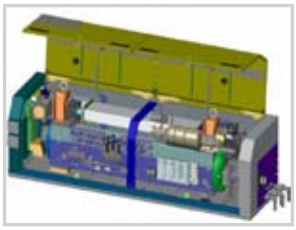
TRUMPF



Hochleistungs-CO_2-Laser



- schnell axial geströmte CO_2-Laser
- hochfrequenzangeregt
- 2 000 W bis 20 000 W
- Grundfläche 1m x 1m (1,4m x 1,4m)
- Strahlqualität von K = 0,2 bis K = 0,9
- installierte Basis seit 1986: > 18.000 Einheiten

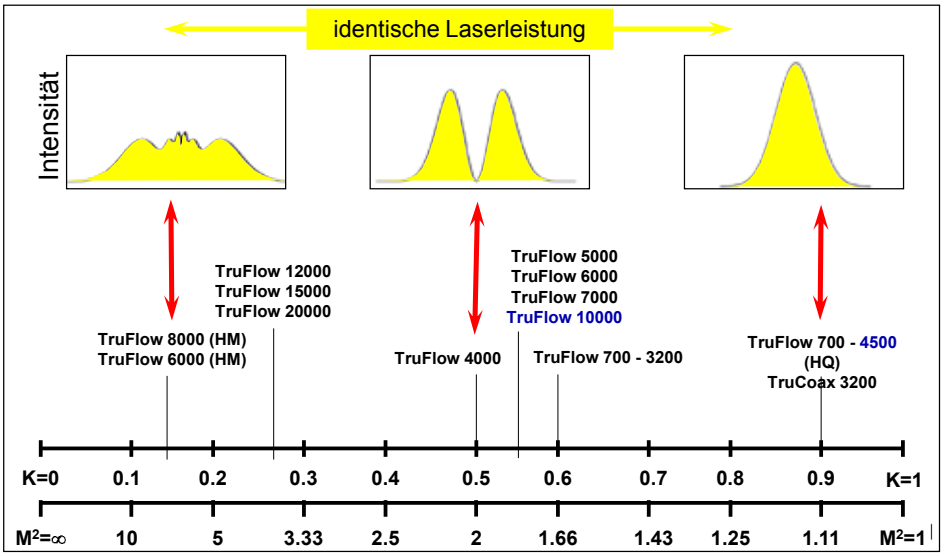


- diffusionsgekühlte CO_2-Laser (TruCoax)
- hochfrequenzangeregt
- 1 000 W bis 3 200 W
- hohe Strahlqualität (K = 0,9)
- Gasdosenwechsel ~ 20 000 Stunden
- geringes Gewicht, kleine Baugröße

TRUMPF



Maximale Flexibilität: TruFlow Resonator-Tuning



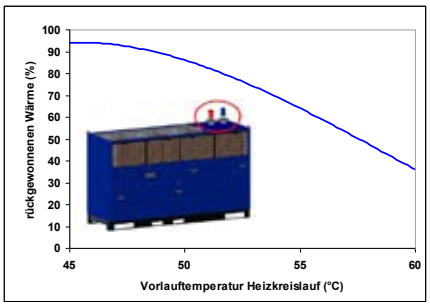
TRUMPF



Aktives Energiemanagement

- Abwärmenutzung über einen Heiz- oder Prozesswasserkreislauf
- Laserkühlung bleibt unabhängig von der Verfügbarkeit des Prozesswassers erhalten

- Anwendungsbeispiele:
  - Nutzung für Gebäudeheizung
  - Warmwasseraufbereitung oder
  - Prozesswasserkreislauf



3400 Betriebsstunden im Jahr Strahl ein Faktor 0,6 / Leistungsfaktor 0,8 Stromkosten: 0,13 €/kWh Heizkosten: 0,06 €/kWh	**Serienkühler**	**Serienkühler (ext. Freikühler)**	**Kompressorkühler mit Wärmerückgewinnung**
Einsparung T(€), jährlich	0	1,2	0 - 8,0
Invest T(€), einmalig	0	9,1	6,0

TRUMPF



Festkörperlaser: Die neuen Stars?



TRUMPF



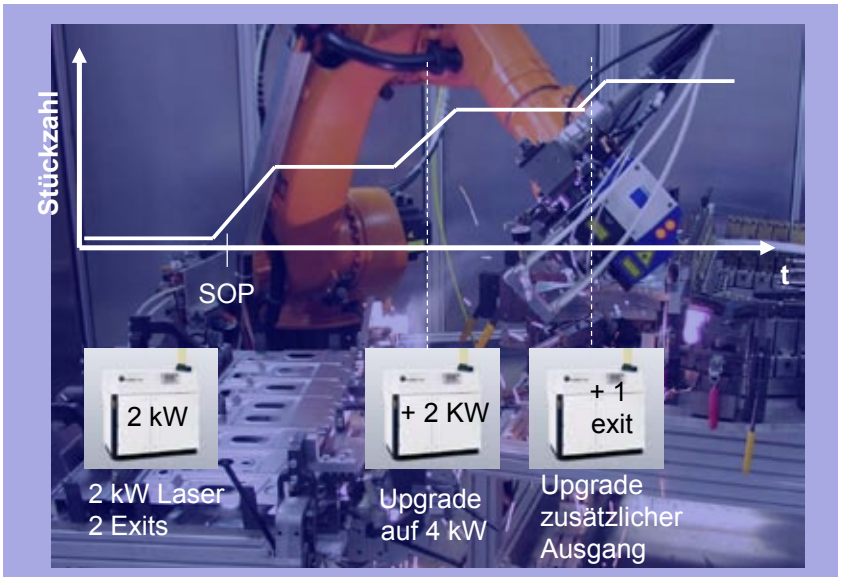
Laser Entwicklung folgt Moore`s Law?



TRUMPF



Aufrüstbare Laser: Laserleistung / Ausgänge



TRUMPF



KurzPulsLaser: > MW Pulsspitzenleistung

ps-Laser <10ps

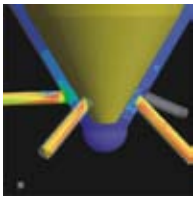
- Abtragen, Strukturieren, Bohren, Sublimationsschneiden.
- Beugungsbegrenzte Strahlqualität
- Hohe Pulsfrequenz 200kHz (500kHz)
- Hohe mittlere Leistung 50W
- Industrietauglich
  - Verfügbarkeit > 98%
  - Serviceintervall > 5000 Std.
  - Betriebskosten < 1,5 € / Std.



TRUMPF



Beispiele Laser Mikrobearbeitung



Injection Nozzle Drilling



Surface Structuring
Motor - Printing



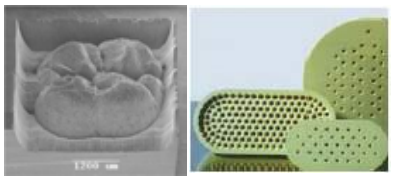
Solar Cell Structuring



Structuring
Sensors / PCB Board



Diamond Cutting



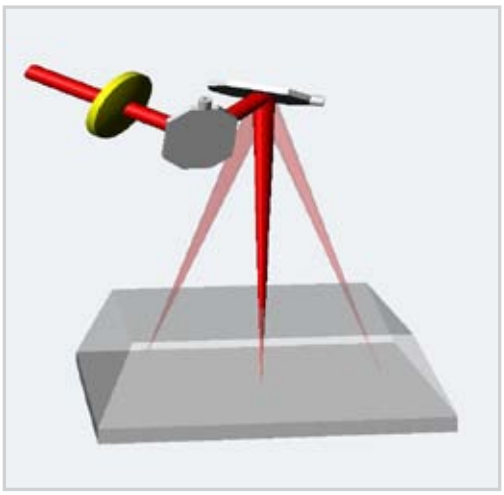
Cutting / Ablation / Drilling of Ceramics
ZrO-Denture Spinning Nozzle

TRUMPF



Bewegen von Photonen anstatt Bauteilen
Laserbearbeitung mit Remote Scanner:



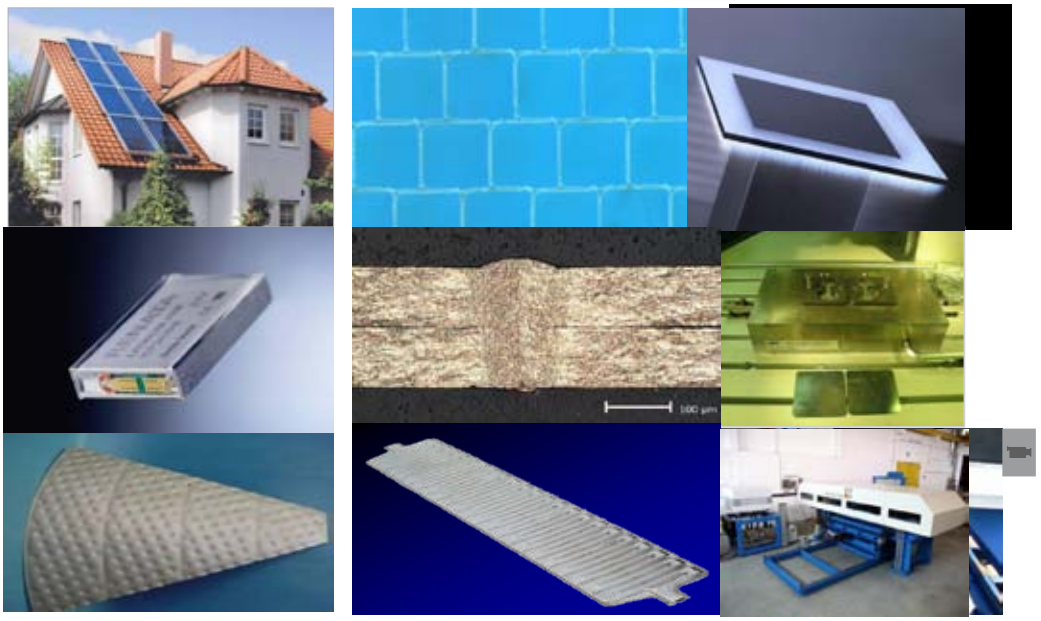




TRUMPF



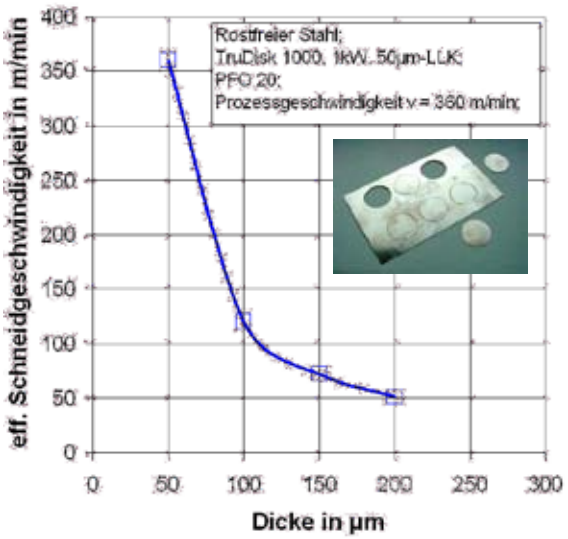
Remote-(füge)-bearbeitung mit dem Laserstrahl



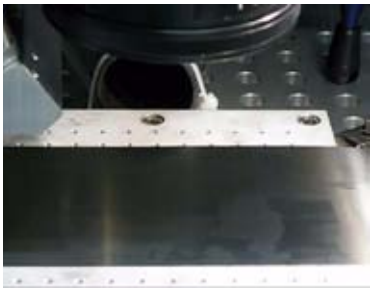
TRUMPF



Remote- Schneiden – Dampfdruckschneiden



- Hohe Leistungsdichte erlaubt schneiden ohne Schneidgas
- Abtragen von bis zu 50 µm je Überlauf mit 360 m/min



TRUMPF

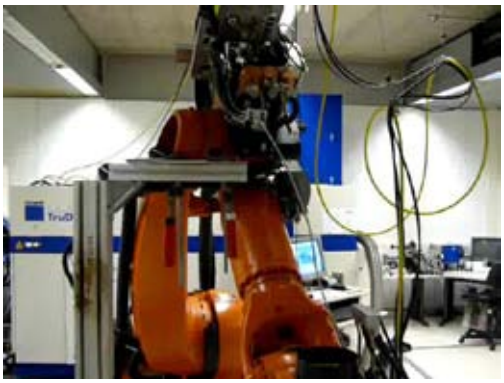


Melt Pressure Cutting - Process

- TruDisk 8002
- Zinc coated steel
- s = 1 mm
- v = 9 m / min

- TruDisk 8002
- Zinc coated steel
- s = 1 mm
- v = 9 m / min





TRUMPF



Intelligente Scanneroptiken mit Bilderkennung Adaptives Laserschweißen für Batteriegehäuse

Programmierbare Kamera:

Detektion von Bauteilen im Scannerfeld
Bearbeitung von Teilen in der realen
    Position
    Genaue Kamera (< 30 µm)
Schnelle Bearbeitung (200 - 300 ms)





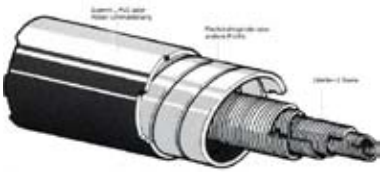
1 PFO
2 Laser beam
3 Machining field
4 Camera
5 Ethernet connector
6 Connector for the power supply

TRUMPF



Laser koppelt sich von der Arbeitsstation ab



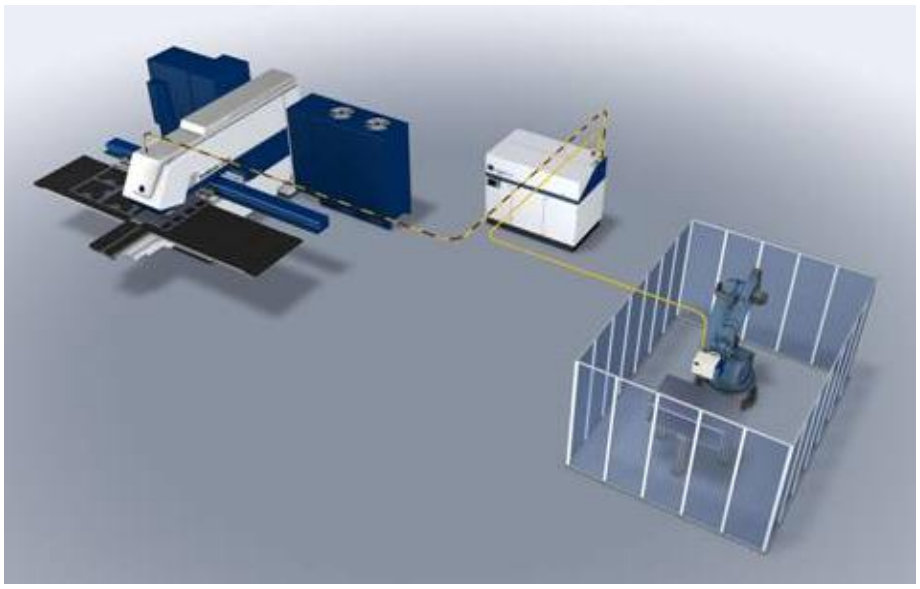




TRUMPF



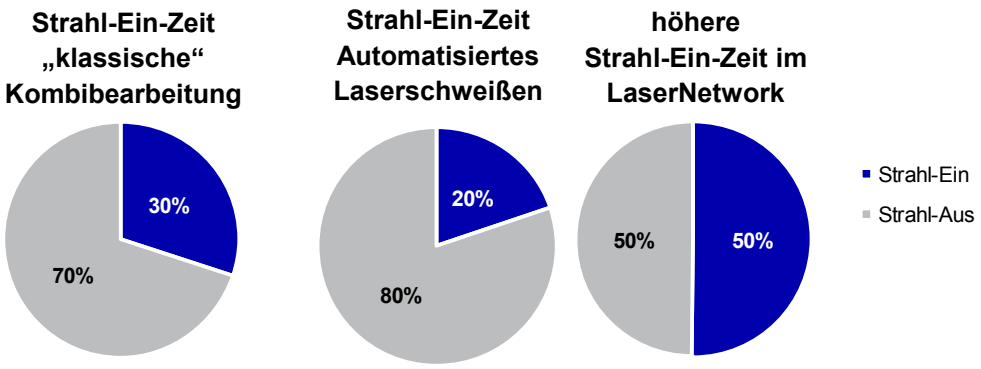
TRUMPF LaserNetwork: Immer voll ausgelastet



TRUMPF



Geringe Strahl-Ein-Zeiten der Laserquelle in der Kombibearbeitung und beim Laserschweißen



Strahl-Aus-Zeit = Rüsten, Wartung, Be- und Entladen; ungewollte Pausezeiten, keine Aufträge, Störungen

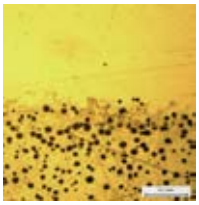
TRUMPF



Tailored Materials



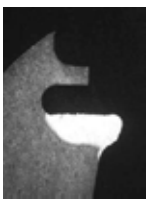




TRUMPF



Selektiver Einsatz von Hochleistungswerkstoffen





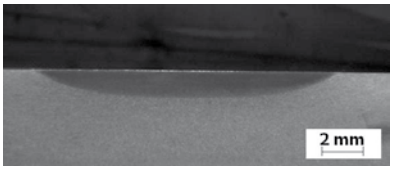


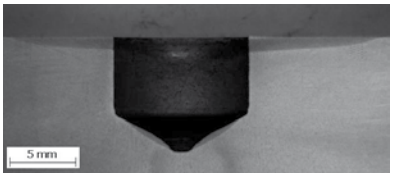
TRUMPF

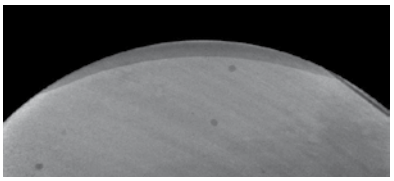


Laserstrahlhärten mit Scanner Technologie





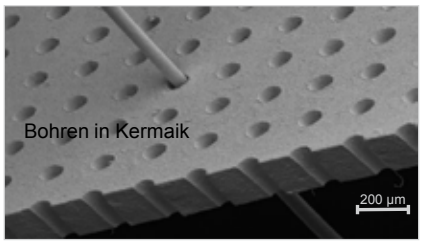




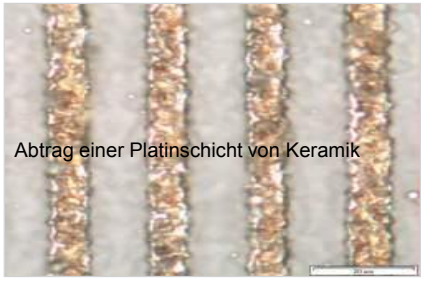
TRUMPF



Laserstrukturieren: Reibungsverminderung/-erhöhung
Laserabtragen dünner Schichten









TRUMPF



Zusammenfassung

Nach 50 Jahren ist die Laserentwicklung noch lange nicht abgeschlossen.

In den letzten Jahren konnten die Laserentwickler viele neue Produkte zur Industriereife bringen:
- Wellenlängen
- Strahlqualität
- Mittlerer Leistung
- Kurze Pulse
- Hohe Frequenzen

Im Bereich der Systemtechnik ergeben sich neue Möglichkeiten durch:
- “Laserlicht aus der Steckdose”
- “Photonen ablenken”
- “Adaptive Prozesse”

und dies bei deuticher Erhöhung der Wirkungsgrade (Laser und Prozesse).

Der LASER ermöglicht die Herstellung von vielen innovativen Produkten

Prof. Johannes Wilden
IWF TU Berlin

Synergie von Werkstoff- und Prozesstechnik als Schlüssel für neue Produktionstechnologien

Keywords | *Fügetechnik, Beschichtungstechnik, Generative Verfahren*



Forschungs- und Anwendungszentrum
Füge- und Beschichtungstechnik
wird von der Europäischen Union kofinanziert (Europäischer Fonds für regionale Entwicklung)
Investition in Ihre Zukunft!

Berlin	> 100 Betriebe mit großem Eignungsnachweis
Brandenburg	> 350 Betriebe mit großem Eignungsnachweis
Region Berlin	> 50 Betriebe im Bereich photonische Technologien

Zunehmende Innovationsgeschwindigkeit
Verkürzte Entwicklungszyklen
Steigende Anlagenkosten
Höheres Investitionsrisiko
Abnehmende Entwicklungskapazität

Bedarf:
Enger Zusammenschluss von Forschung & Entwicklung mit der Industrie
Transfer innovativer Technologien in die industrielle Anwendung
Unterstützung bei der Einführung neuer Technologien und Produkte
Wissenschaftliche produktbezogene Durchdringung
Technologieplattform auf dem neuesten Stand der Technik
Kompetentes Personal

Ausgangssituation

Forschungs- und Anwendungszentrum
Füge- und Beschichtungstechnik
wird von der Europäischen Union kofinanziert (Europäischer Fonds für regionale Entwicklung)
Investition in Ihre Zukunft!

Fügetechnik	Beschichtungstechnik	Generative Verfahren
Schweißen	**Auftragschweißen**	**Diffusionsschweißen**
Lichtbogen	Lichtbogen- & Plasma	LOM
Plasma	UP	
Laserstrahl	Laserstrahl	**Laser**
Elektronenstrahl	Elektronenstrahl	SLS (Sintern)
Diffusionsschweißen	**Thermisches Spritzen**	SLM (Schmelzen)
Widerstandsschweißen	Plasma	
Rührreibschweißen	Rota-Plasma	**Elektronenstrahl**
Löten	Innenbeschichtung	SES
Lichtbogen	HVOF	SEM
Laser	Lichtbogen	
Hartlöten	CGDS	**Thermisches Spritzen**
Hochtemperaturlöten	LPPS	TSM-thermal spray molding
UMH	LPPS-Thin Film	
Nanobasiertes Fügen	**Galvanik**	
	Löten	

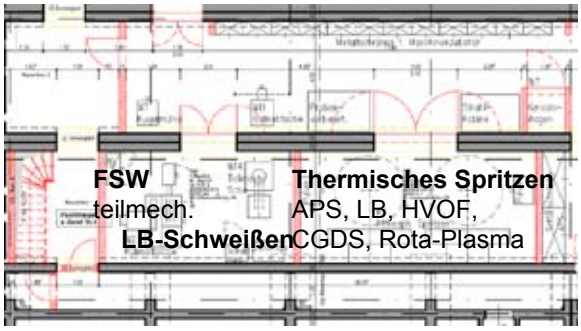
Ausstattung

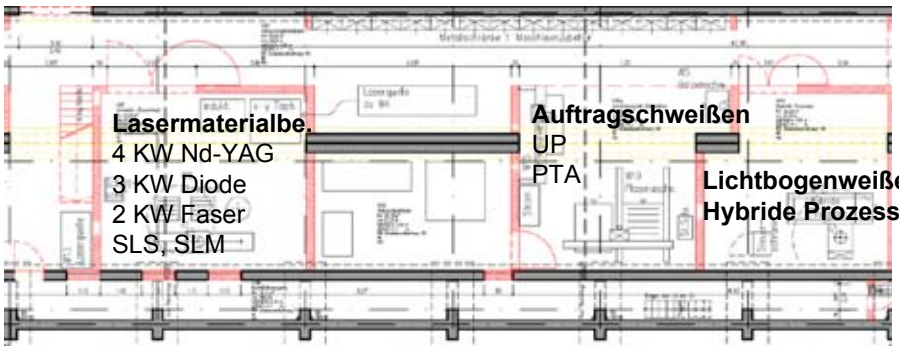
Forschungs- und Anwendungszentrum
Füge- und Beschichtungstechnik
wird von der Europäischen Union kofinanziert (Europäischer Fonds für regionale Entwicklung)
Investition in Ihre Zukunft!

	Werkstoff	Prozess
Analytik	Metallographie Lichtmikroskopie REM / EDX REM / EBSD Ramanspektr. Nanoindenter Mikrozugversuch Mikrohärte DTA,DSC	DPV 2000 Thermographie Pyrometrie HV-Videographie Datenerfassung
Modellbildung & Simulation	Phasenverhältnisse, Schmelzverhalten Diffusionsvorgänge Werkstoffgesetze Erstarrung	Strömungsmechanik Lichtbogenphysik Reaktionskinetik Energieströme /-bilanzen

Ausstattung / Nutzung

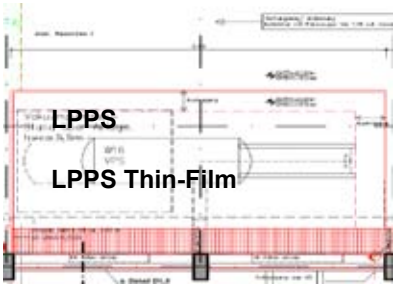
Forschungs- und Anwendungszentrum
Füge- und Beschichtungstechnik
wird von der Europäischen Union kofinanziert (Europäischer Fonds für regionale Entwicklung)
Investition in Ihre Zukunft!

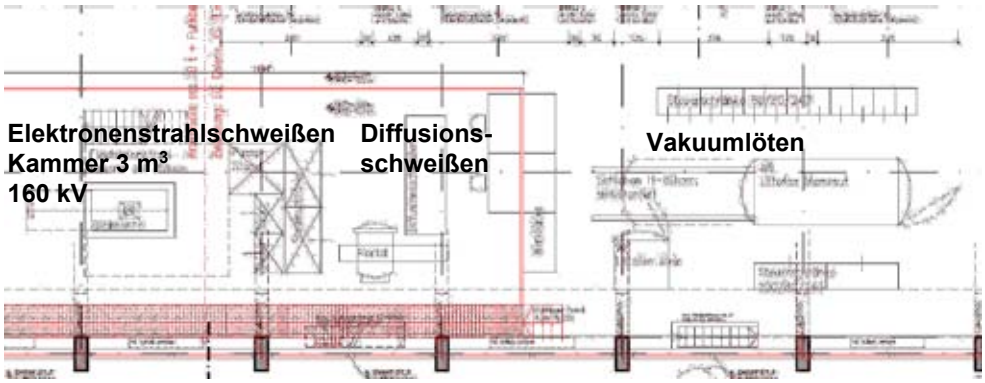




Labor Untergeschoss

Forschungs- und Anwendungszentrum
Füge- und Beschichtungstechnik
wird von der Europäischen Union kofinanziert (Europäischer Fonds für regionale Entwicklung)
Investition in Ihre Zukunft!

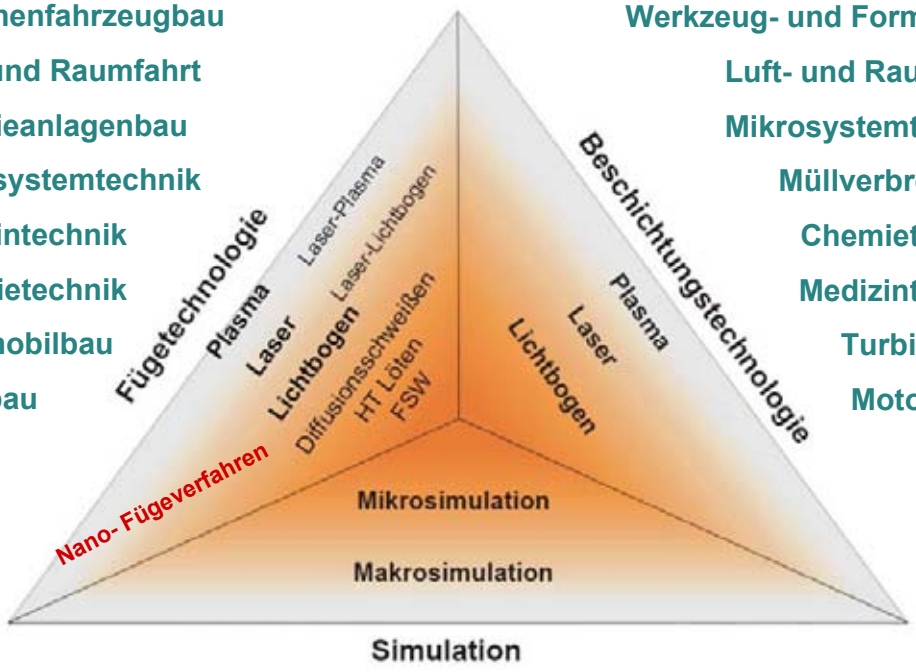




Labor Obergeschoss

Forschungs- und Anwendungszentrum
Füge- und Beschichtungstechnik
wird von der Europäischen Union kofinanziert (Europäischer Fonds für regionale Entwicklung)
Investition in Ihre Zukunft!

Schienenfahrzeugbau
Luft- und Raumfahrt
Chemieanlagenbau
Mikrosystemtechnik
Medizintechnik
Energietechnik
Automobilbau
Stahlbau



Werkzeug- und Formenbau
Luft- und Raumfahrt
Mikrosystemtechnik
Müllverbrennung
Chemietechnik
Medizintechnik
Turbinenbau
Motorenbau

Forschungs- und Anwendungszentrum
Füge- und Beschichtungstechnik
wird von der Europäischen Union kofinanziert (Europäischer Fonds für regionale Entwicklung)
Investition in Ihre Zukunft!

Synergie von Werkstoff- und Prozesstechnik – Schlüssel zu hochproduktiven Füge- und Beschichtungstechnologien

Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. J. Wilden
Technische Universität Berlin – Fachgebiet Füge- und Beschichtungstechnik



Forschungsfelder
Thermisches Spritzen
Energieeffizientes Schweißen
Nanobasierte Fügeverfahren
Resumé

Forschungs- und Anwendungszentrum
Füge- und Beschichtungstechnik
wird von der Europäischen Union kofinanziert (Europäischer Fonds für regionale Entwicklung)
Investition in Ihre Zukunft!

WC / CoCr





SULZER METCO

Beschichten von Kaplanflügeln

Forschungs- und Anwendungszentrum
Füge- und Beschichtungstechnik
wird von der Europäischen Union kofinanziert (Europäischer Fonds für regionale Entwicklung)
Investition in Ihre Zukunft!



Hüftimplantate



Motorblock

SULZER METCO

Serienfertigung:
VW 10 Zylinder



Synchronringe



Haushaltsgegenstände

EUROFLAMM

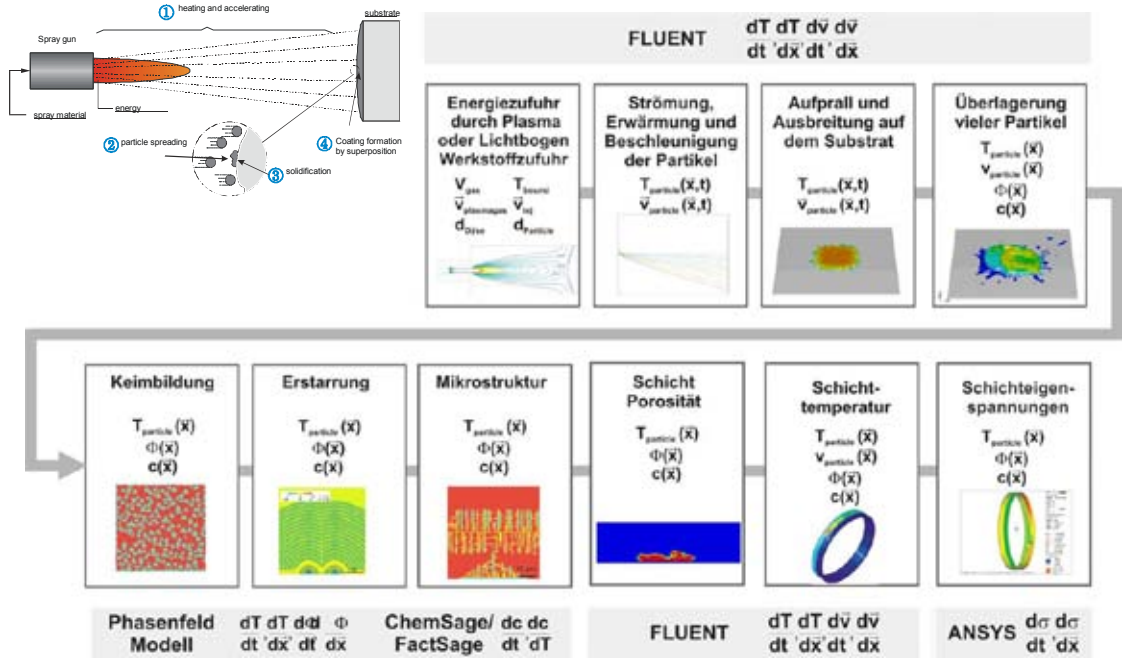
Anwendungen

Forschungs- und Anwendungszentrum
Füge- und Beschichtungstechnik
wird von der Europäischen Union kofinanziert (Europäischer Fonds für regionale Entwicklung)
Investition in Ihre Zukunft!

Industrie / Ausrüstung	Beschichtete Komponenten
Luftfahrt	Fahrwerk, Landeklappen
Gasturbinen in der Industrie	Schaufeln, Abrasivschichten, Verbrennungsschichten
Fahrzeugmotoren	Zylinderbohrungen, Reibbelag, Synchronisationsringe
Papier, Druck und Stahlindustrie	Walzen mit einem Gewicht bis zu 65 t
Öl und Gasausrüstung	Pumpenantriebe, Dichtungen, Wellen, Verdichterwellen
Medizin	Orthopädische Implantate, Röntgentargets
Textilmaschinenbau	Rillenwalzen, Untertrittwalzen
Andere Industrie	Verschiedene Komponenten und Teile
Konsumgüter	Bratpfannen, Bügeleisen, Schreibgeräte
Vor-Ort Beschichtungen	Dampfkessel, Papierwalzen, Gasturbinen

Anwendungsbereiche

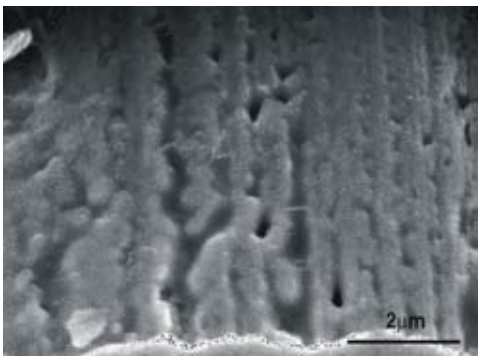
Forschungs- und Anwendungszentrum
Füge- und Beschichtungstechnik
wird von der Europäischen Union kofinanziert (Europäischer Fonds für regionale Entwicklung)
Investition in Ihre Zukunft!



Prozess

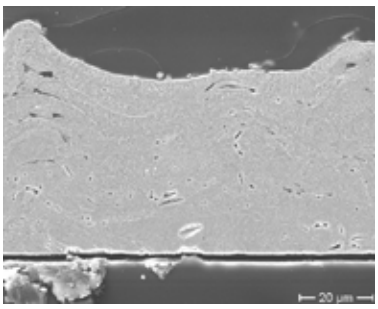
Forschungs- und Anwendungszentrum
Füge- und Beschichtungstechnik
wird von der Europäischen Union kofinanziert (Europäischer Fonds für regionale Entwicklung)
Investition in Ihre Zukunft!

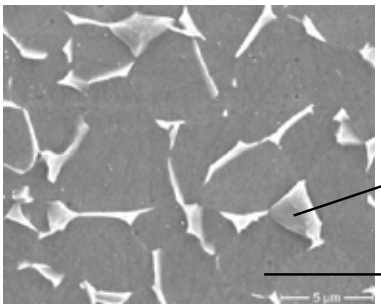
Ni gerichtet erstarrt



Nickel
Plasmastrom: 700 A
Spritzabstand: 300 mm

TiAl6V4 wie gespritzt





Vakuum
800 °C
1 h

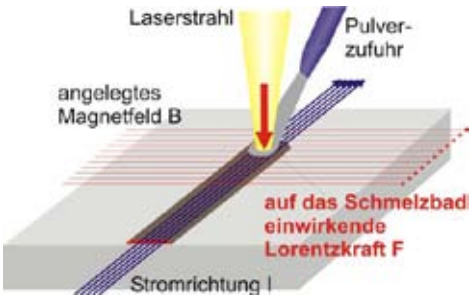
α-Titan

geätzt (85 % H_2O; 5 % HNO_3; 10 % HF)

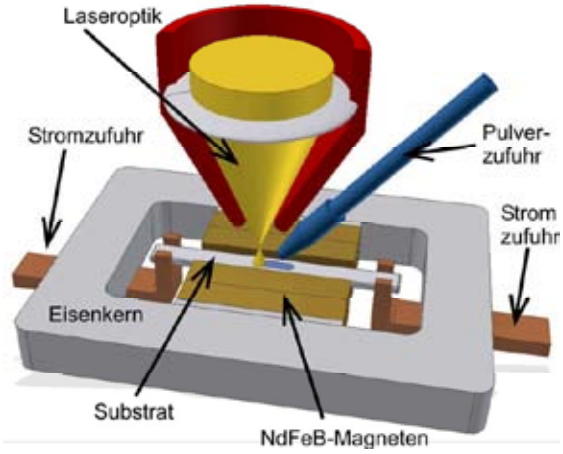
Mikrostruktur thermisch gespritzter Schichten

Forschungs- und Anwendungszentrum
Füge- und Beschichtungstechnik
wird von der Europäischen Union kofinanziert (Europäischer Fonds für regionale Entwicklung)
Investition in Ihre Zukunft!

Nutzung magnetischer und elektrischer Felder
➔ Gezielten Beeinflussung der Nahtgeometrie durch Lorentz-Kräften



Grundlegender Wirkungsmechanismus



Technische Realisation „Laserstrahlbeschichten unter Magnetfeldeinfluss“

Grundlagen

Forschungs- und Anwendungszentrum
Füge- und Beschichtungstechnik
wird von der Europäischen Union kofinanziert (Europäischer Fonds für regionale Entwicklung)
Investition in Ihre Zukunft!

Stromdichte j: $\vec{j} = \sigma\left(\vec{v} \times \vec{B} - S \cdot \nabla T + \vec{E}\right)$

Kraftdichte F: $\vec{F} = \left[\left(\vec{j}(\vec{v}) + \vec{j}(S) + \vec{j}(\vec{E})\right) \times \vec{B}\right]$

$\vec{j}$ *Stromdichte* $\vec{E}$ *elektr.Feld*
σ *elektr.Leitfähigkeit* $\vec{F}$ *Kraftdichte*
$\vec{v}$ *Schmelzbadgeschwindigkeit*
$\vec{B}$ *angelegtes Magnetfeld*
S *thermoelektr.Potential*
∇T *Temperaturgradient*

Dämpfung der Schmelzbadbewegung | **Veränderung der Naht-geometrie (Thermostrom)** | **Veränderung der Naht-geometrie (Äußerer Strom)**

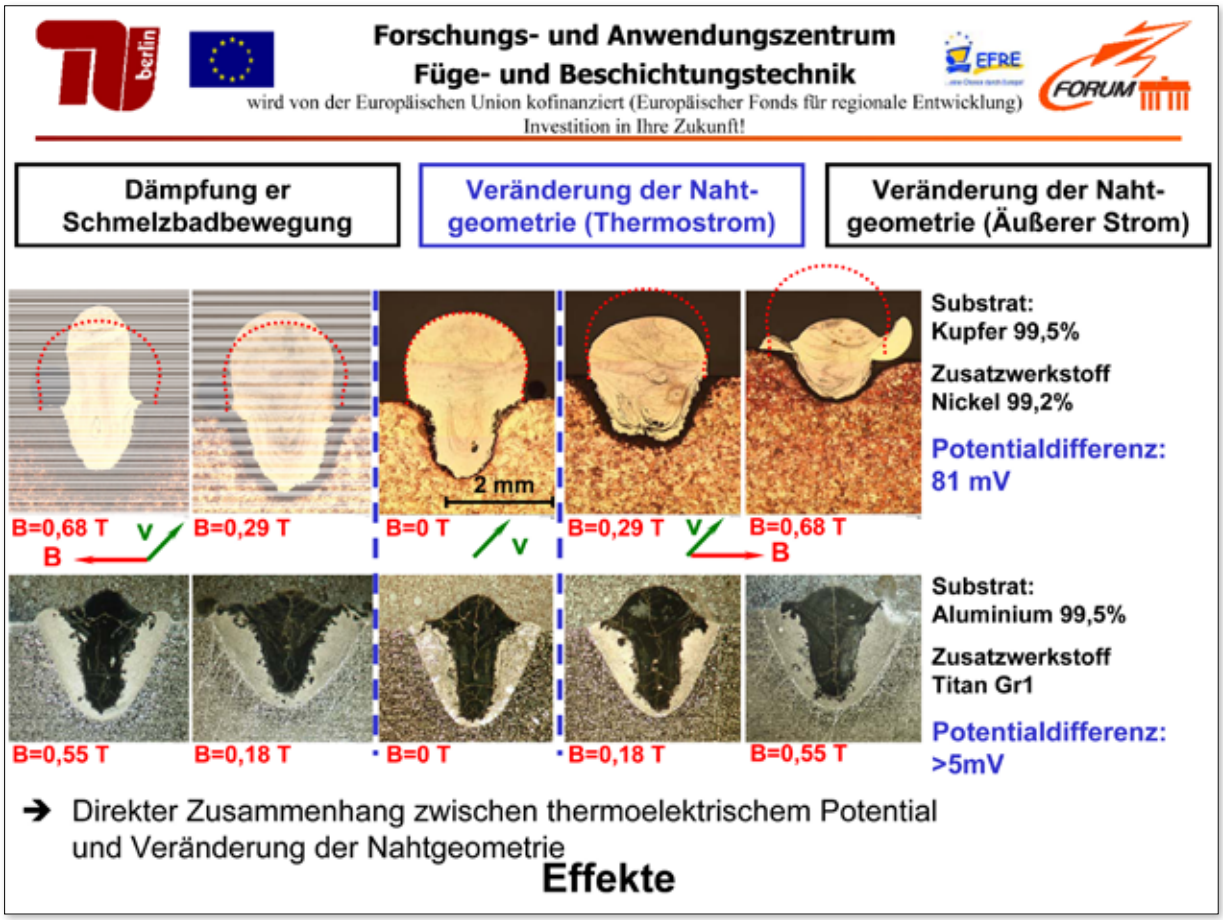
Ausnutzung der Effekte zur gezielten Beeinflussung der Schmelzbadgeometrie

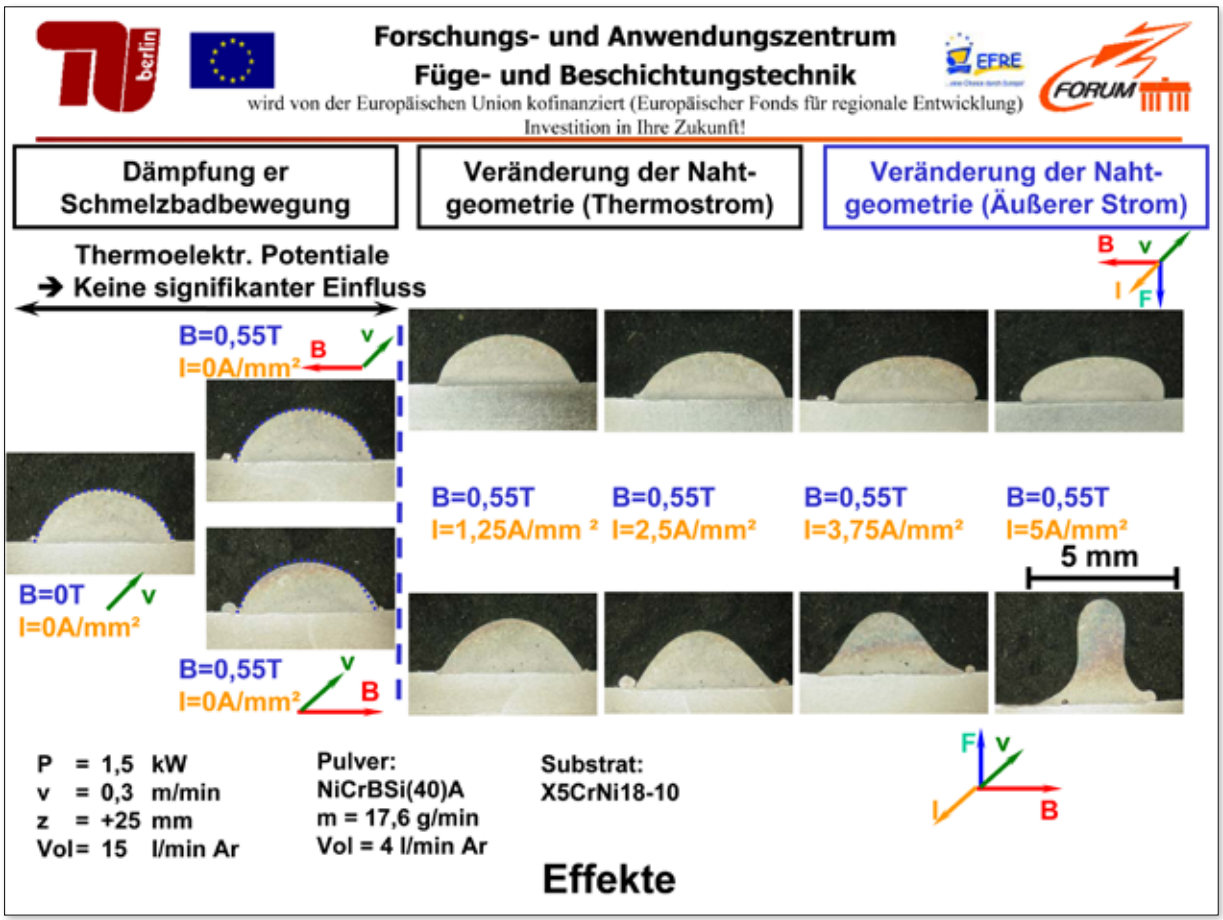
ZIEL: Erweiterung der Prozessgrenzen bei der Lasermaterialbearbeitung

Vorgehensweise:

- Dämpfung der Schmelzbadbewegung ➔ Laserstrahlumschmelzen
- Nahtformung durch Thermostrom ➔ Beschichten mit reinen Metallen (bekanntes thermoelektrisches Potential)
- Nahtformung durch äußeren Strom ➔ Technische Beschichtungssysteme

Physikalische Grundlagen – Strom- und Kraftdichte


Forschungs- und Anwendungszentrum
Füge- und Beschichtungstechnik
wird von der Europäischen Union kofinanziert (Europäischer Fonds für regionale Entwicklung)
Investition in Ihre Zukunft!
Dämpfung er Schmelzbadbewegung
Veränderung der Naht-geometrie (Thermostrom)
Veränderung der Naht-geometrie (Äußerer Strom)
B=0,68 T
B=0,29 T
B=0 T
2 mm
B=0,29 T
B=0,68 T
Substrat: Kupfer 99,5%
Zusatzwerkstoff Nickel 99,2%
Potentialdifferenz: 81 mV
B=0,55 T
B=0,18 T
B=0 T
B=0,18 T
B=0,55 T
Substrat: Aluminium 99,5%
Zusatzwerkstoff Titan Gr1
Potentialdifferenz: >5mV
➔ Direkter Zusammenhang zwischen thermoelektrischem Potential und Veränderung der Nahtgeometrie
Effekte


Forschungs- und Anwendungszentrum
Füge- und Beschichtungstechnik
wird von der Europäischen Union kofinanziert (Europäischer Fonds für regionale Entwicklung)
Investition in Ihre Zukunft!
Dämpfung er Schmelzbadbewegung
Veränderung der Naht-geometrie (Thermostrom)
Veränderung der Naht-geometrie (Äußerer Strom)
Thermoelektr. Potentiale
➔ Keine signifikanter Einfluss
B=0,55T I=0A/mm²
B=0T I=0A/mm²
B=0,55T I=0A/mm²
B=0,55T I=1,25A/mm²
B=0,55T I=2,5A/mm²
B=0,55T I=3,75A/mm²
B=0,55T I=5A/mm²
5 mm
P = 1,5 kW
v = 0,3 m/min
z = +25 mm
Vol = 15 l/min Ar
Pulver: NiCrBSi(40)A
m = 17,6 g/min
Vol = 4 l/min Ar
Substrat: X5CrNi18-10
Effekte

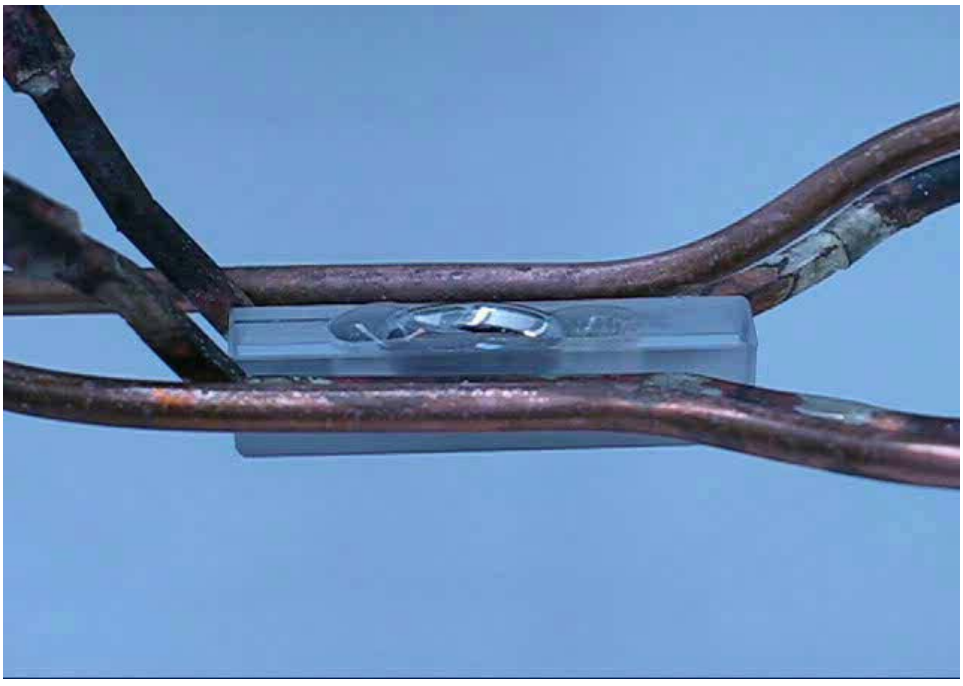
Forschungs- und Anwendungszentrum
Füge- und Beschichtungstechnik
wird von der Europäischen Union kofinanziert (Europäischer Fonds für regionale Entwicklung)
Investition in Ihre Zukunft!

Dämpfung der Schmelzbadbewegung	Veränderung der Naht-geometrie (Thermostrom)	Veränderung der Naht-geometrie (Äußerer Strom)



Effekte

Forschungs- und Anwendungszentrum
Füge- und Beschichtungstechnik
wird von der Europäischen Union kofinanziert (Europäischer Fonds für regionale Entwicklung)
Investition in Ihre Zukunft!



Magnetische Schmelzbadformung – Hochfrequente Magnetfelder

Forschungs- und Anwendungszentrum
Füge- und Beschichtungstechnik
wird von der Europäischen Union kofinanziert (Europäischer Fonds für regionale Entwicklung)
Investition in Ihre Zukunft!

Zielstellung:

Verringerung des Energiebedarfs beim Schweißen um 40%

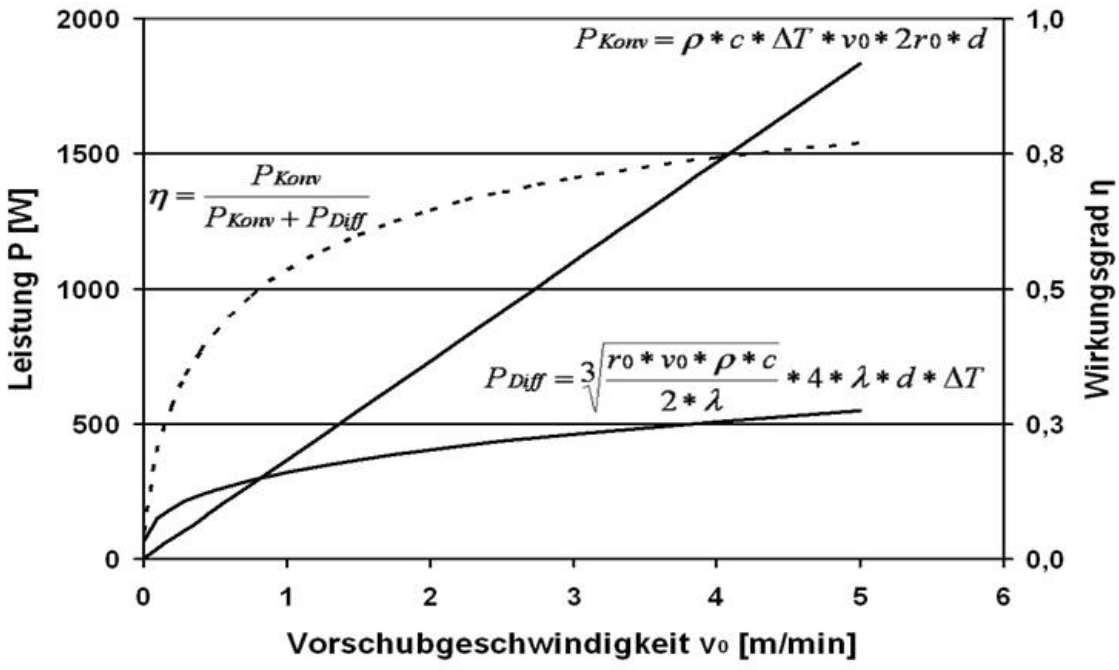




Bildnachweis: RWE Power Generation

Energieeffizienz

Forschungs- und Anwendungszentrum
Füge- und Beschichtungstechnik
wird von der Europäischen Union kofinanziert (Europäischer Fonds für regionale Entwicklung)
Investition in Ihre Zukunft!



Prozessgeschwindigkeit, Leistung und Wirkungsgrad

Forschungs- und Anwendungszentrum
Füge- und Beschichtungstechnik
wird von der Europäischen Union kofinanziert (Europäischer Fonds für regionale Entwicklung)
Investition in Ihre Zukunft!

Gesamtleistung

Wärmeleitung in die Vorrichtung

$$P = k \int \Delta T \, \partial A$$

Wärmeleitung ins Bauteil

$$P = \sqrt[3]{\frac{r_0 \cdot v_0 \cdot \rho \cdot c}{2 \cdot \lambda}} \cdot 4 \cdot \lambda \cdot d \cdot \Delta T$$

Anlagentechnische Verluste
Anlagenwirkungsgrad
Schlauchpaket
Kühlung

Wärmestrahlung

$$P = \alpha \cdot A \cdot \sigma \cdot T^4$$

Konvektion an die Umgebung

Erwärmen auf Schmelztemperatur

$$P = c \cdot \rho \cdot d \cdot 2 \cdot r_0 \cdot \Delta T_S \cdot v_0$$

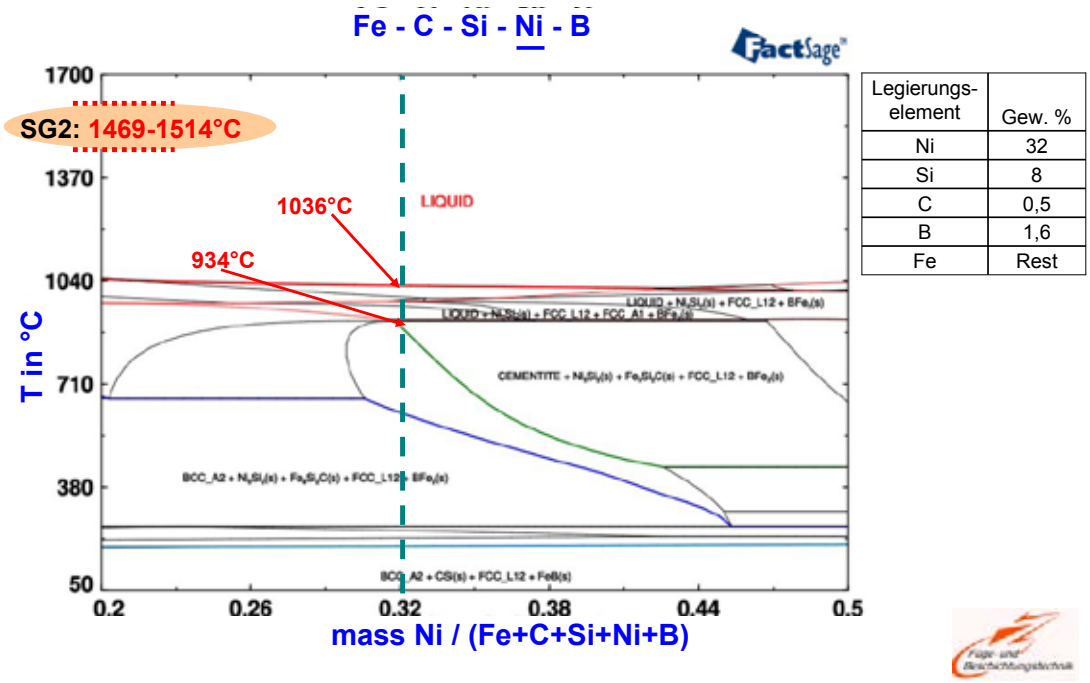
Aufschmelzen

$$P = q \cdot \rho \cdot d \cdot 2 \cdot r_0 \cdot v_0$$

1. Verringerung der Prozesstemperaturen und Schmelzbadvolumina
2. Verbesserung des thermischen Wirkungsgrades
3. Energieeffiziente Anlagen- und Systemtechnik

Ansätze

Forschungs- und Anwendungszentrum
Füge- und Beschichtungstechnik
wird von der Europäischen Union kofinanziert (Europäischer Fonds für regionale Entwicklung)
Investition in Ihre Zukunft!

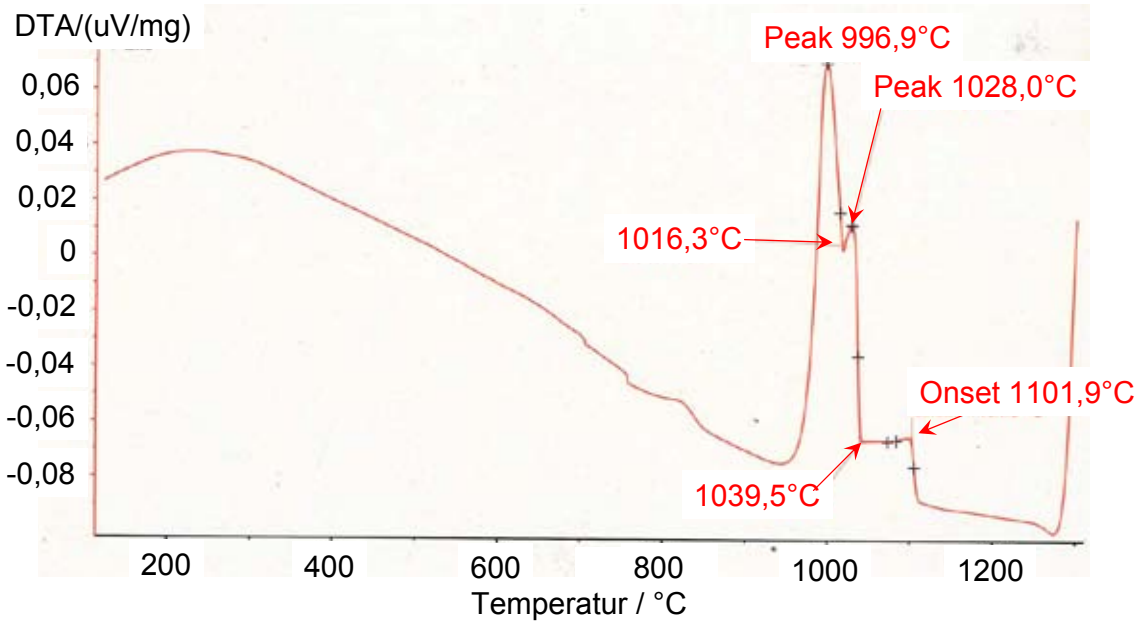


Legierungs-element	Gew. %
Ni	32
Si	8
C	0,5
B	1,6
Fe	Rest

Entwicklung niedrig schmelzender Fe-Basis-Lote

Forschungs- und Anwendungszentrum
Füge- und Beschichtungstechnik
wird von der Europäischen Union kofinanziert (Europäischer Fonds für regionale Entwicklung)
Investition in Ihre Zukunft!

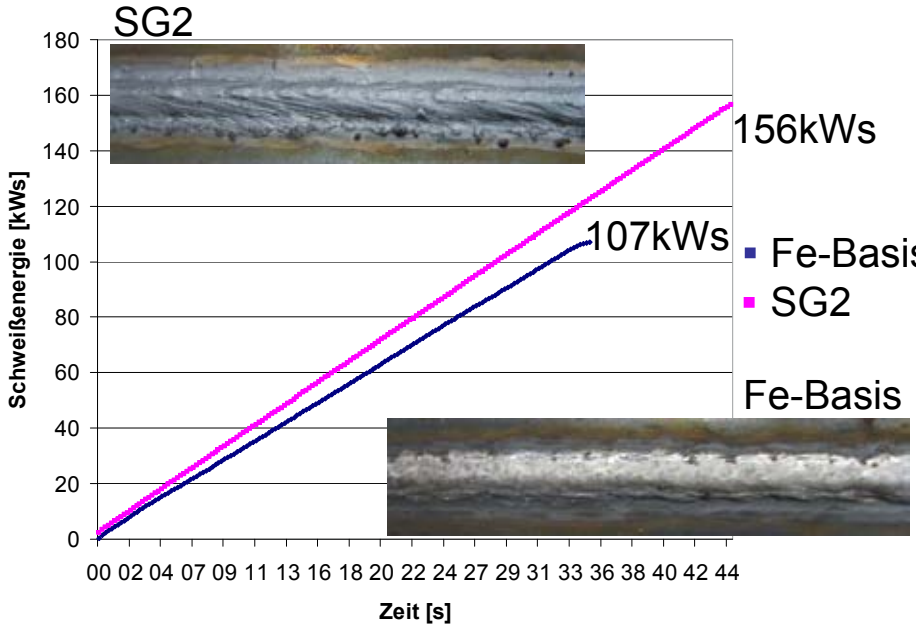
Abkühlkurve für ZW auf Fe-Basis (vorgeschmolzen)



Differenzthermoanalyse (DTA)

Forschungs- und Anwendungszentrum
Füge- und Beschichtungstechnik
wird von der Europäischen Union kofinanziert (Europäischer Fonds für regionale Entwicklung)
Investition in Ihre Zukunft!

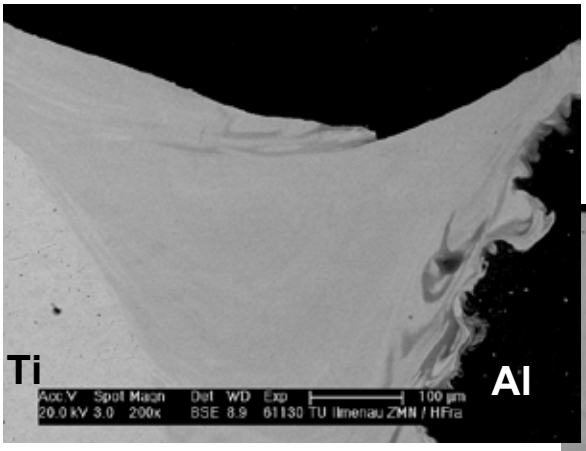
Vergleich der benötigten Schweißenergie für Laborschweißungen



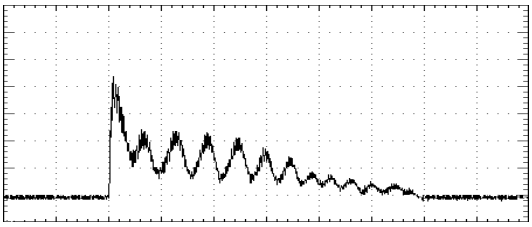
- GW DC01
- t=2mm
- Stumpfstoß
- I-Naht
- Ar 4.6
- L=300mm
- Ø 1,2mm

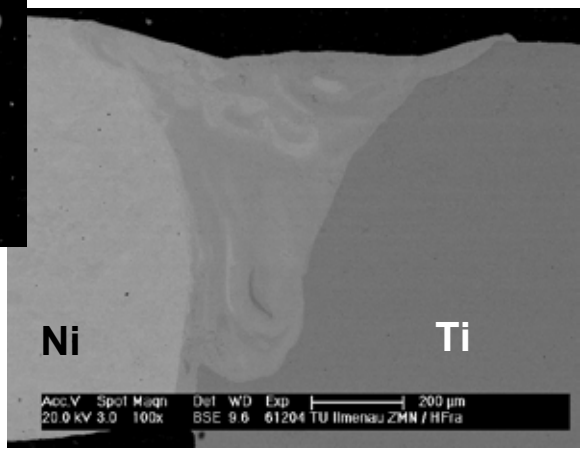
Schweißenergie

Forschungs- und Anwendungszentrum
Füge- und Beschichtungstechnik
wird von der Europäischen Union kofinanziert (Europäischer Fonds für regionale Entwicklung)
Investition in Ihre Zukunft!



Pulsformmodulation

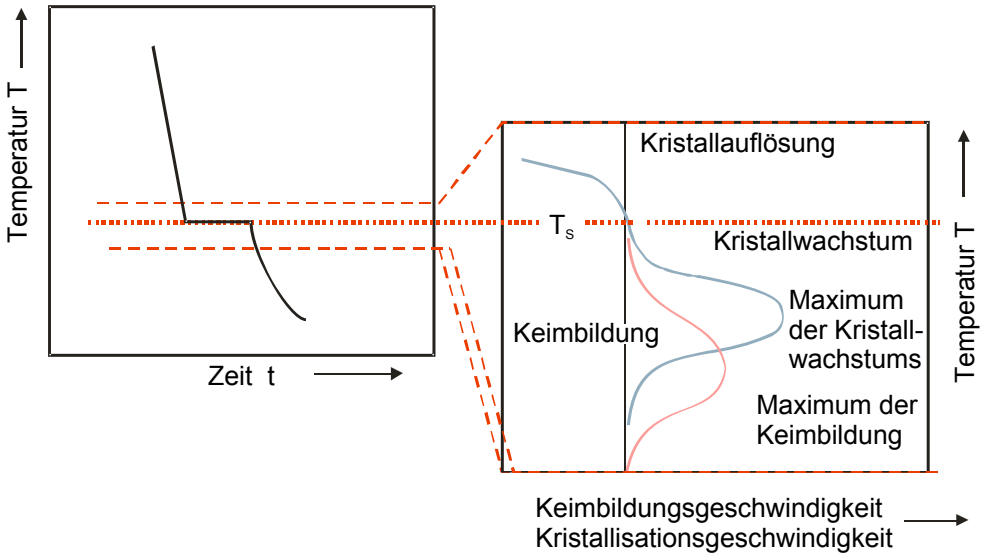




Mischverbindungen Ti-Al, Ti-Ni

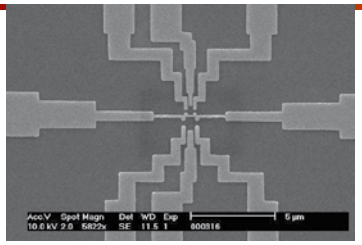
Forschungs- und Anwendungszentrum
Füge- und Beschichtungstechnik
wird von der Europäischen Union kofinanziert (Europäischer Fonds für regionale Entwicklung)
Investition in Ihre Zukunft!

Keimbildung in Abhängigkeit der Schmelzbadunterkühlung

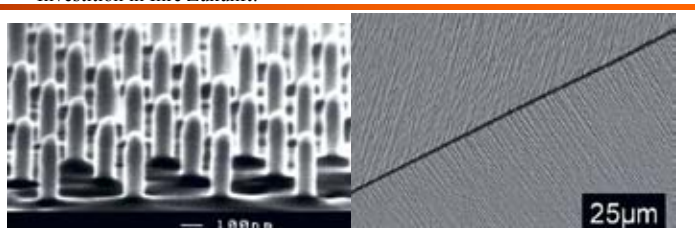


Metallurgischer Erklärungsansatz

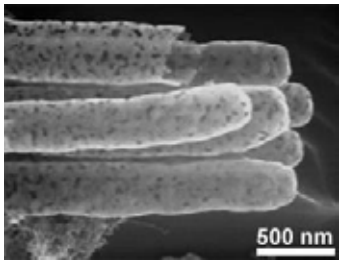
Forschungs- und Anwendungszentrum
Füge- und Beschichtungstechnik
wird von der Europäischen Union kofinanziert (Europäischer Fonds für regionale Entwicklung)
Investition in Ihre Zukunft!



Single Electron Transistor
(Fakultät für Physik, Uni Tübingen)



Nanostrukturen für optische Anwendungen
(Fronius Magazin 02/2004, Fronius Int. GmbH)



Inorganic nanotubes
(Max-Planck-Institut für Mikrostrukturphysik Halle)



wasser- und schmutz-abweisende Schichten (Lotuseffekt)
(BASF AG, www.basf.de)

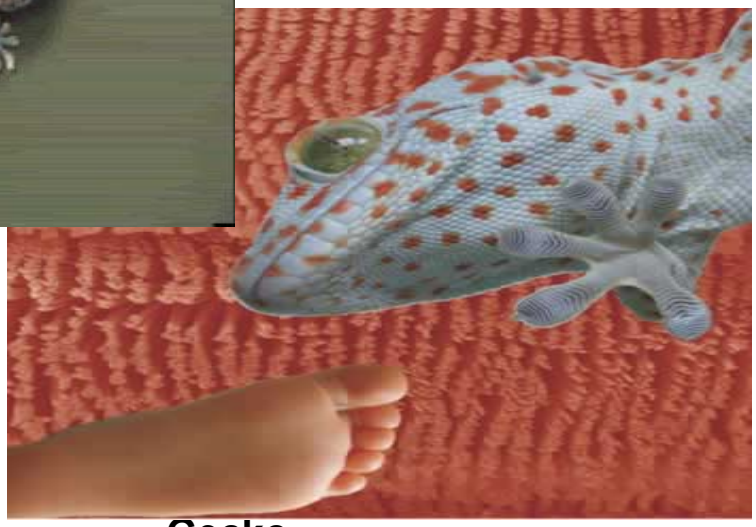


kratzfeste Schichten durch vernetzte Nanopartikel
(Mercedes-Benz)

Nanotechnologie

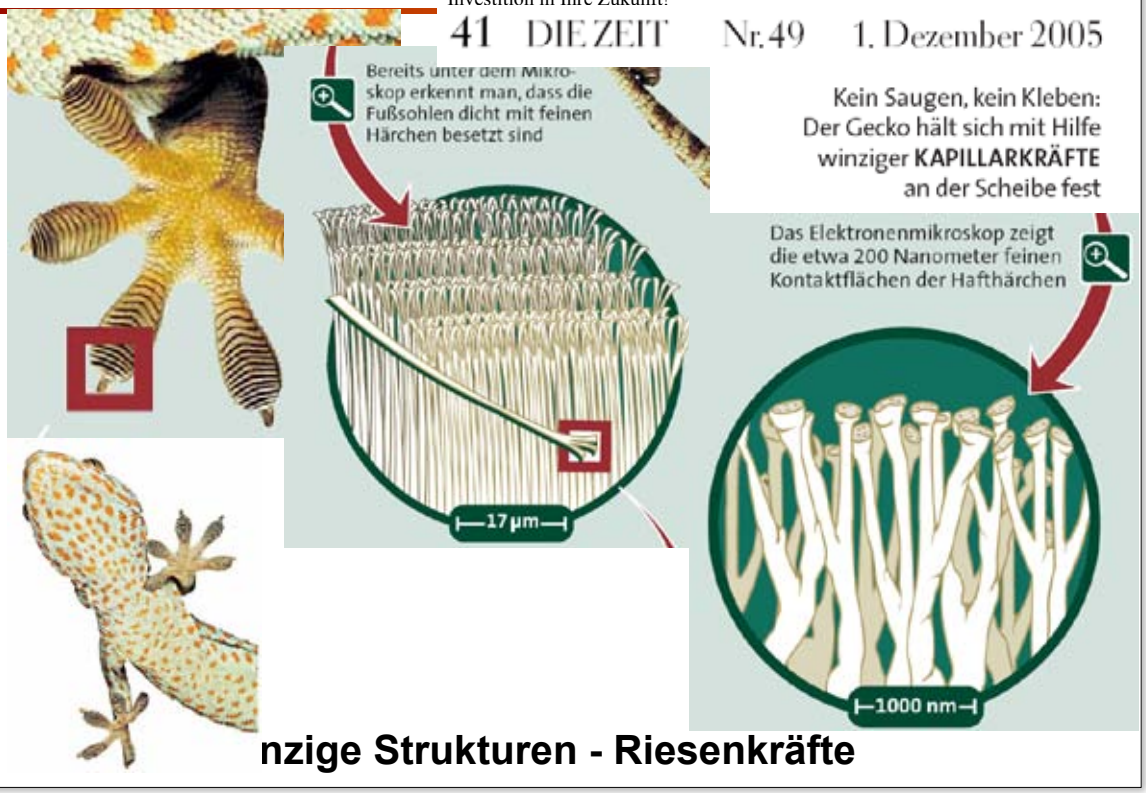
Forschungs- und Anwendungszentrum
Füge- und Beschichtungstechnik
wird von der Europäischen Union kofinanziert (Europäischer Fonds für regionale Entwicklung)
Investition in Ihre Zukunft!





Gecko

Forschungs- und Anwendungszentrum
Füge- und Beschichtungstechnik
wird von der Europäischen Union kofinanziert (Europäischer Fonds für regionale Entwicklung)
Investition in Ihre Zukunft!



nzige Strukturen - Riesenkräfte

Forschungs- und Anwendungszentrum
Füge- und Beschichtungstechnik
wird von der Europäischen Union kofinanziert (Europäischer Fonds für regionale Entwicklung)
Investition in Ihre Zukunft!

Nanotechnologie beschreibt die Herstellung, Untersuchung und Anwendung von Strukturen, molekularen Materialien, inneren Grenz- und Oberflächen mit mindestens einer kritischen Dimension oder mit Fertigungstoleranzen (typischerweise) unterhalb 100 Nanometer. Entscheidend ist dabei, dass **allein aus der Nanoskaligkeit der Systemkomponenten neue Funktionalitäten und Eigenschaften** zur Verbesserung bestehender oder Entwicklung neuer Produkte und Anwendungsoptionen resultieren. Diese **Effekte** und Möglichkeiten sind überwiegend im **Verhältnis von Oberflächen- zu Volumenatomen** begründet

(Formulierungsgrundlage BMBF, 2004, nach W. Luther, N. Malanowski und andere: Nanotechnologie als wirtschaftlicher Wachstumsmarkt, Innovations- und Technikanalyse, im Auftrag des BMBF)

Beispiel

Ein Würfel der Kantenlänge 10 nm enthält ca.1000 Moleküle, von denen 50 % an der Oberfläche sitzen
ein Würfel der Kantenlänge 1 µm enthält 10^9Moleküle, von denen 0,6% an der Oberfläche sitzen

Definition Nanotechnologie

Forschungs- und Anwendungszentrum
Füge- und Beschichtungstechnik
wird von der Europäischen Union kofinanziert (Europäischer Fonds für regionale Entwicklung)
Investition in Ihre Zukunft!

Wie sind Größeneffekte für die Fügetechnik nutzbar?

Korngröße / Diffusionsgeschwindigkeit

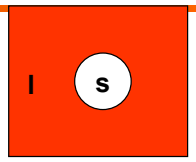
Partikeldurchmesser / Schmelztemperatur

Schichtdicke / Schmelztemperatur

Größeneffekte in der Fügetechnik

Forschungs- und Anwendungszentrum
Füge- und Beschichtungstechnik
wird von der Europäischen Union kofinanziert (Europäischer Fonds für regionale Entwicklung)
Investition in Ihre Zukunft!

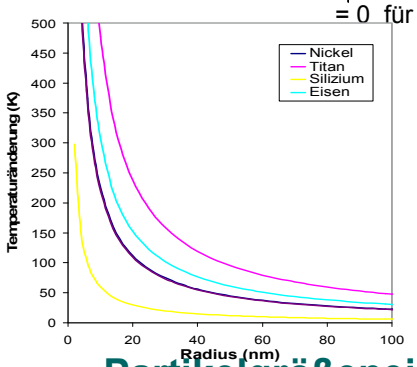
2. HS der Thermodynamik



$$\underbrace{dS = \frac{dQ}{T}}_{\text{Entropie}} \qquad \underbrace{dU}_{\text{innere Energie}} = \underbrace{dQ}_{\text{Wärme}} + \underbrace{\sigma \frac{dA}{dm}}_{\text{Oberflächenenergie einer Partikeloberfläche dA abhängig von der Masse dm}}$$

$$dU - dS \cdot T - \underbrace{\sigma \frac{dA}{dm}}_{=0 \text{ für } T = T_S} = 0 \Rightarrow dS = \frac{dU}{T_S} = \frac{L}{T_S}$$

L Latente Wärme
T_S Schmelztemperatur



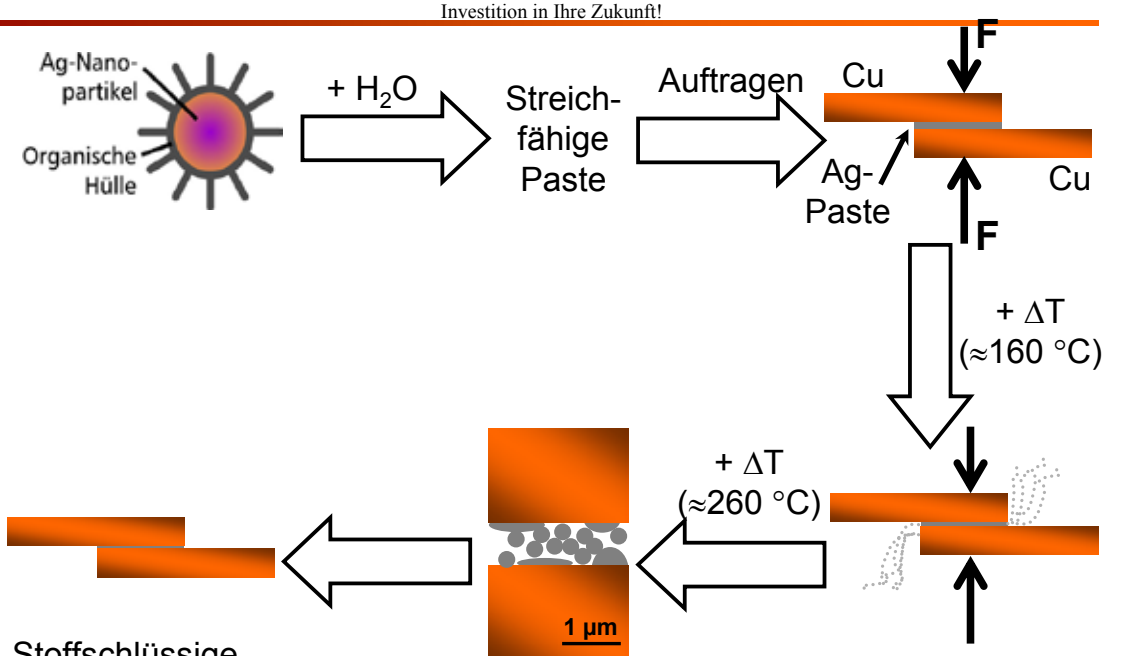
$$\Rightarrow \underbrace{(T_S - T)}_{=\Delta T} / T_S = (\sigma/L)\underbrace{(dA/dm)}_{=2/\rho \cdot r}$$

$$\Rightarrow \boxed{\Delta T = (T_S - T) = \frac{2 \cdot \sigma \cdot T_S}{\rho \cdot L} \cdot \frac{1}{r}}$$

σ spezifische Oberflächenenergie
r Radius eines schmelzenden Partikels
ρ Partikeldichte

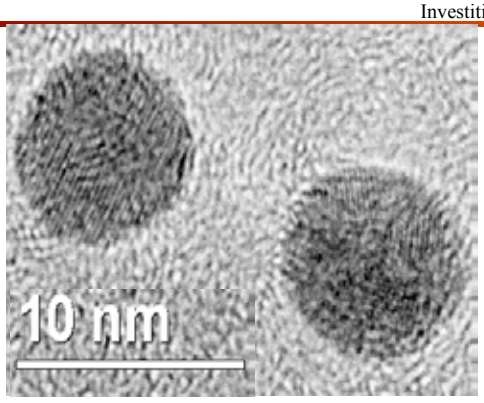
Partikelgrößeneinfluss auf die Schmelztemperatur

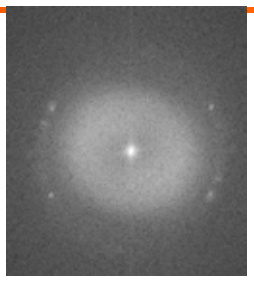
Forschungs- und Anwendungszentrum
Füge- und Beschichtungstechnik
wird von der Europäischen Union kofinanziert (Europäischer Fonds für regionale Entwicklung)
Investition in Ihre Zukunft!



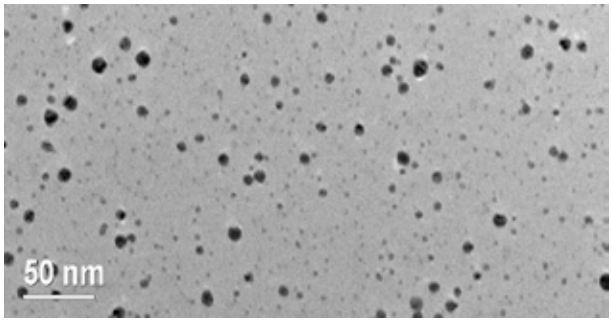
Verfahrensablauf

Forschungs- und Anwendungszentrum
Füge- und Beschichtungstechnik
wird von der Europäischen Union kofinanziert (Europäischer Fonds für regionale Entwicklung)
Investition in Ihre Zukunft!





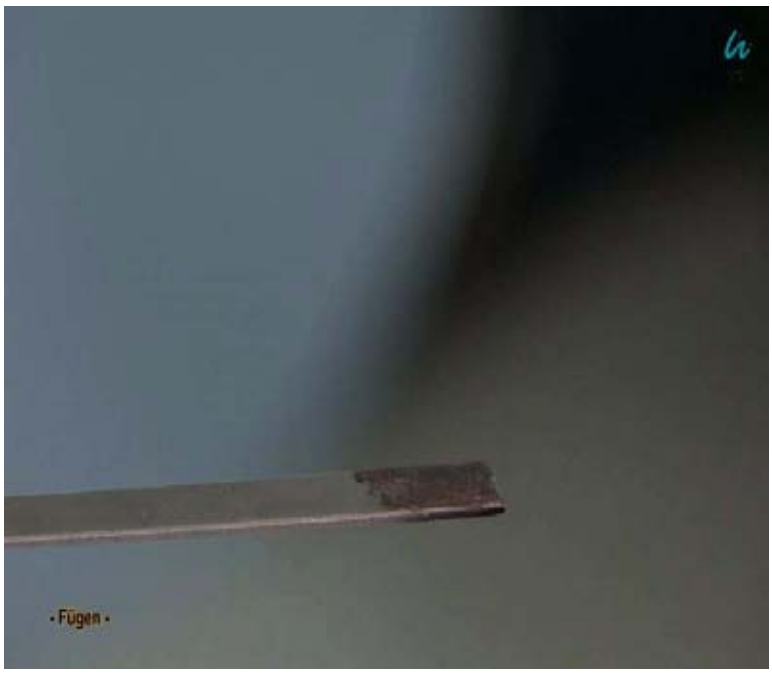
HR-TEM
Silbernanopartikel mit kristalliner Struktur



Partikelgrößen-verteilung (∅ 3-15 nm)

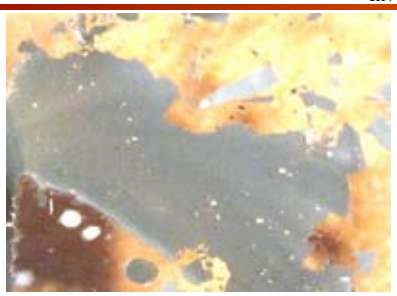
Strukturanalyse (Nanopartikel)

Forschungs- und Anwendungszentrum
Füge- und Beschichtungstechnik
wird von der Europäischen Union kofinanziert (Europäischer Fonds für regionale Entwicklung)
Investition in Ihre Zukunft!



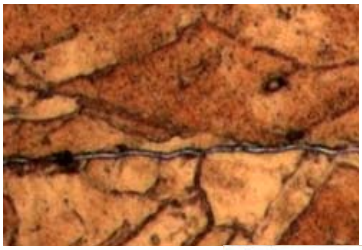
Benetzungsversuch auf Titan

Forschungs- und Anwendungszentrum
Füge- und Beschichtungstechnik
wird von der Europäischen Union kofinanziert (Europäischer Fonds für regionale Entwicklung)
Investition in Ihre Zukunft!



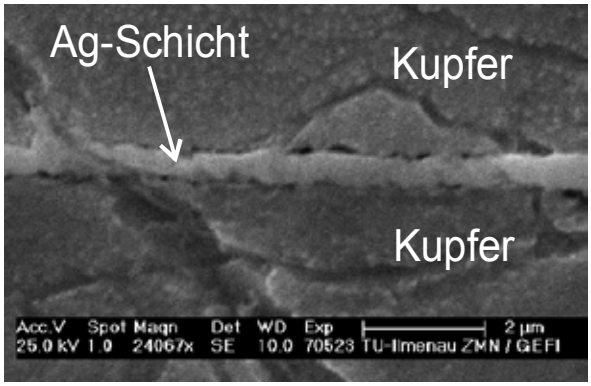
Silberpartikel auf Glasoberfläche (T ≈ 150 °C)

REM-Analyse gefügter Kupferbauteile



Licht-mikroskopie

20 µm



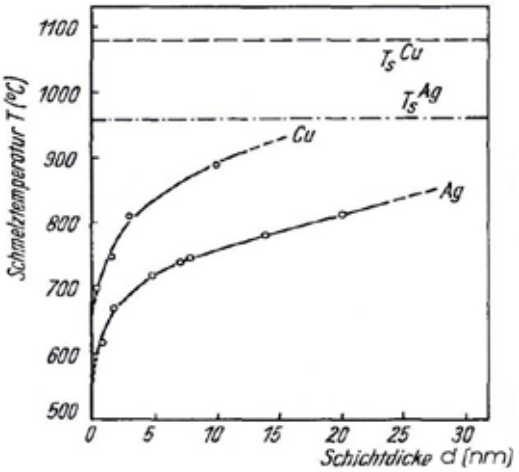
Fügen mit metallorganischen Nanopartikeln

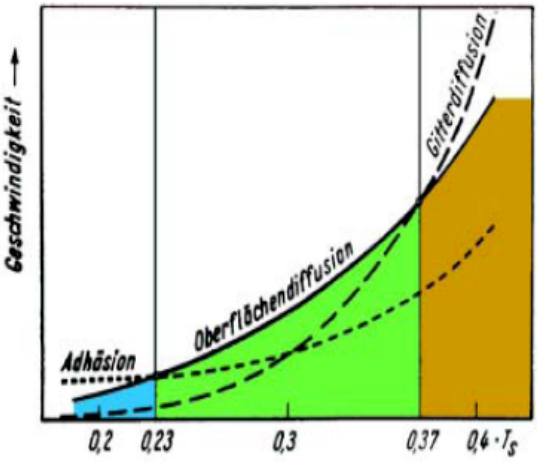
Forschungs- und Anwendungszentrum
Füge- und Beschichtungstechnik
wird von der Europäischen Union kofinanziert (Europäischer Fonds für regionale Entwicklung)
Investition in Ihre Zukunft!

Für dünne Schichten gilt:

$$T_S(d) = T_S \cdot \exp\left[-\frac{2\sigma v}{Ld}\right]$$

je dünner die Schichten, desto geringer ihre Schmelztemperatur
je geringer die Schmelztemperatur umso höher die Diffusionsgeschwindigkeit

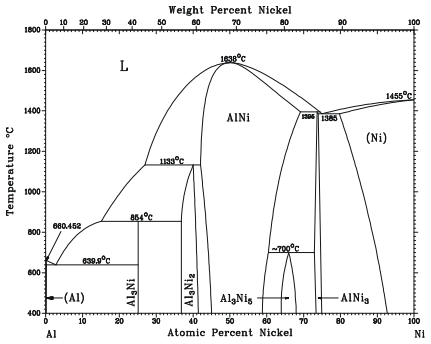


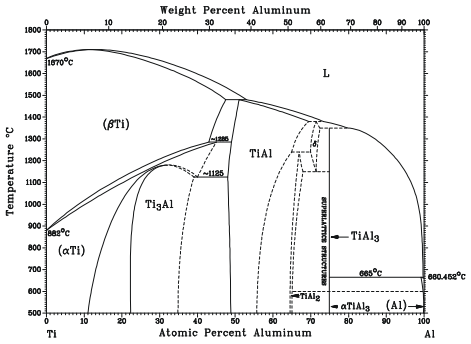


Gladkich N. T., et al., phys. Stat. Sol. 15, 181 (1966)

Schichtdickeneinfluss auf die Schmelztemperatur

Forschungs- und Anwendungszentrum
Füge- und Beschichtungstechnik
wird von der Europäischen Union kofinanziert (Europäischer Fonds für regionale Entwicklung)
Investition in Ihre Zukunft!





System Ni-Al

Phase	Bildungsenthalpie (bei T=273 K)
AlNi	-59,2 kJ/mol
$AlNi_3$	-37,8 kJ/mol
Al_3Ni	-37,6 kJ/mol
Al_3Ni_2	-56,5 kJ/mol
Al_3Ni_5	-46,0 kJ/mol

System Ti-Al

Phase	Bildungsenthalpie (bei T=273 K)
Ti_3Al	-25,0 kJ/mol
TiAl	-37,7 kJ/mol
$TiAl_3$	-36,6 kJ/mol

Exotherme Reaktionen

Forschungs- und Anwendungszentrum
Füge- und Beschichtungstechnik
wird von der Europäischen Union kofinanziert (Europäischer Fonds für regionale Entwicklung)
Investition in Ihre Zukunft!

Prozessschritte

1. Herstellung von Folien mit Nanolagen Ti / Al
2. Einlegen der Folie zwischen die zu fügenden Bauteile
3. Zusammenpressen der Bauteile
4. Start einer exothermen Reaktion am Bauteilrand
5. Selbst fortschreitende exotherme Reaktion läuft durch die Fügezone

Vorteil

Folie wird durch exotherme Reaktion schmelzflüssig und Schmelze benetzt die „kalte“ Bauteiloberfläche
Auf Grund der hohen Prozessgeschwindigkeit und niedrigen Wärmekapazität in der Fügezone bleiben die Bauteile „kalt“

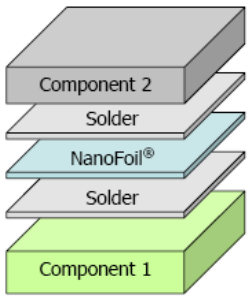
Fügen bei relativ niedrigen Temperaturen
→ Minimierung thermisch bedingter Gefügeveränderungen

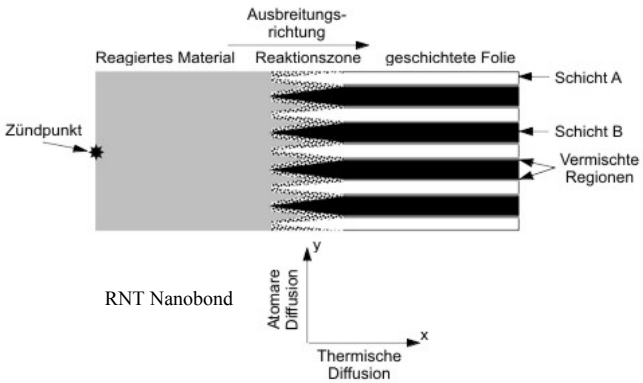
Problem:

Folienherstellung
Kontrollierte Beherrschung der Reaktion und der Benetzung

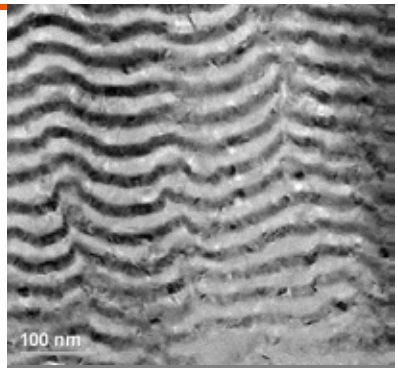
Strategie für einen Fügeprozess

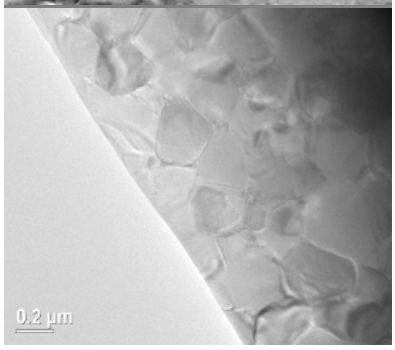
Forschungs- und Anwendungszentrum
Füge- und Beschichtungstechnik
wird von der Europäischen Union kofinanziert (Europäischer Fonds für regionale Entwicklung)
Investition in Ihre Zukunft!





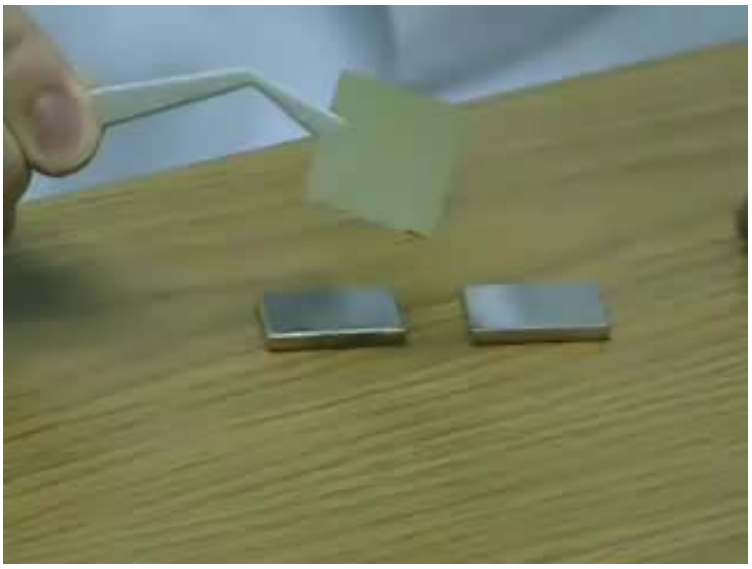
RNT Nanobond





Reaktive Nanotechnologie

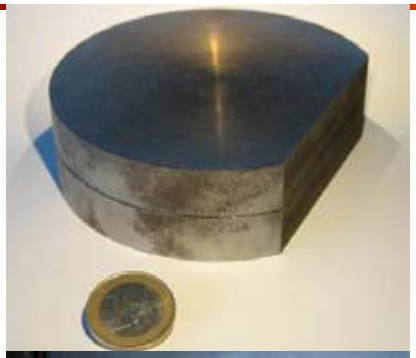
Forschungs- und Anwendungszentrum
Füge- und Beschichtungstechnik
wird von der Europäischen Union kofinanziert (Europäischer Fonds für regionale Entwicklung)
Investition in Ihre Zukunft!



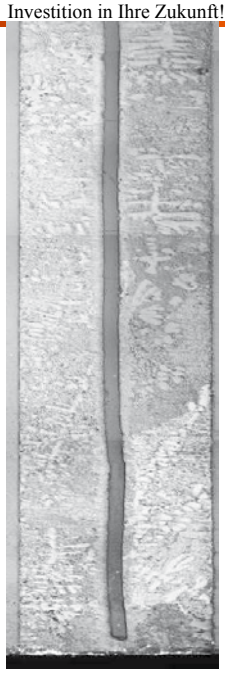
Nanobond®-Verfahren; RNT Reactive NanoTechnologies

Reaktive Nanotechnologie

Forschungs- und Anwendungszentrum
Füge- und Beschichtungstechnik
wird von der Europäischen Union kofinanziert (Europäischer Fonds für regionale Entwicklung)
Investition in Ihre Zukunft!











Technologische Untersuchungen

Forschungs- und Anwendungszentrum
Füge- und Beschichtungstechnik
wird von der Europäischen Union kofinanziert (Europäischer Fonds für regionale Entwicklung)
Investition in Ihre Zukunft!

Fortschritte in der Werkstoff- und Prozesstechnik bieten völlig neue Möglichkeiten

Fortschritte bei der Entwicklung hochfester Werkstoffe und Material-Mix-Bauweisen sind eine große Herausforderung für die Fügetechnik

Das synergetische Ausnutzen des zeit- und temperaturabhängigen Werkstoffverhaltens mit einer angepassten Energieführung stellt den Schlüssel zu neuen Füge- und Beschichtungsprozessen dar.

Erst das Zusammenführen der Erkenntnisse aus verschiedenen Disziplinen (Physik, Chemie, Werkstoffwissenschaften...) mit Prozesstechnologie und Fertigungs-/ Produktionstechnik wird es ermöglichen, die Grenzen der heutigen Fügetechnik/Produkt-ionstechnik zu erweitern

Die Nutzung von Größeneffekten (Nanostrukturierung/ -technologie) eröffnet völlig neue Möglichkeiten

Zusammenfassung

Dr. Dr. Klaus-Rainer Schulze
Projektleitung und Vertrieb, Schulze-Consulting – Elektronenstrahl-Beratung für Anwender

Elektronenstrahltechnik zum Schweißen, Härten, Bohren – Innovationen in der Produktion heute und morgen



Spektrum der thermischen Materialbearbeitung mit dem Elektronenstrahl (EB)

Verfahren

- **Fügen**
  - **Schweißen**
  - **Löten**
- **Bohren**
- **Oberflächenmodifikation**
  - **Härten**
  - **Legieren**
  - **Einbetten**
  - **Strukturieren**
- **Generieren**

Technik

- **im Vakuum**
- **an Atmosphäre**

Anlagen

- **Universalmaschinen**
- **Sondermaschinen**
- **Fertigungslinien**



Strahltechnik-Historie

- **Elektronenstrahl-Historie**
  - 1879: erstes Anschmelzen von Metallen mit „Katodenstrahlen“
  - **1948**: erste experimentelle Nutzung des Elektronenstrahls als Werkzeug
  - 1958: erste EB-Maschine zum Tiefschweißen (5 mm Zirkalloy-Bleche)
  - seit Jahrzehnten: vielfältigste Anwendungen in allen Industriebereichen
  - seit 1985: Eliminierung des Status als „Sonderschweißverfahren“ weil inzwischen **Stand der Technik** ⇒ Rückgang der allgemeinen Publizität
- **Laserstrahl-Historie**
  - 1960: erste experimentelle Laser (Rubin, He-Ne)
  - **1970**: erste experimentelle Lasernutzung zur Materialbearbeitung
  - nachfolgend zunehmende Nutzung für industrielle Anwendungen
  - breite und starke **öffentliche Förderung** der Lasertechnik
  - größte denkbare **Publizität** des Lasers in der „Informationsgesellschaft“

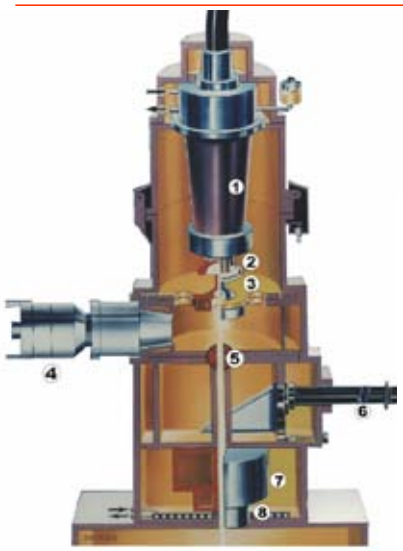


Privates Elektronenstrahlgerät

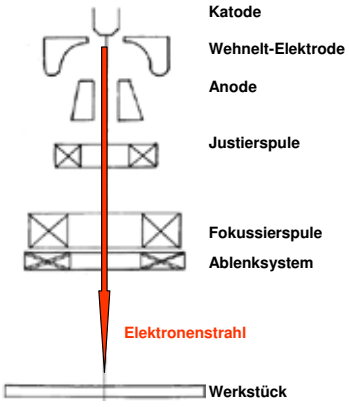


vor der Zeit der Fachbildschirme

EB-Generator (60 kV)



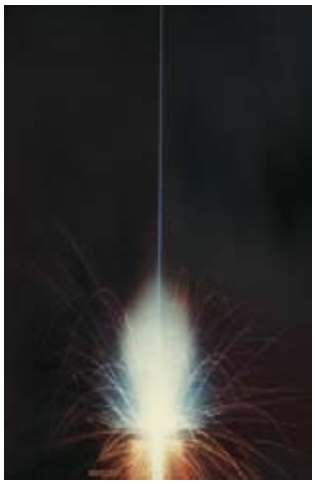
schematisch

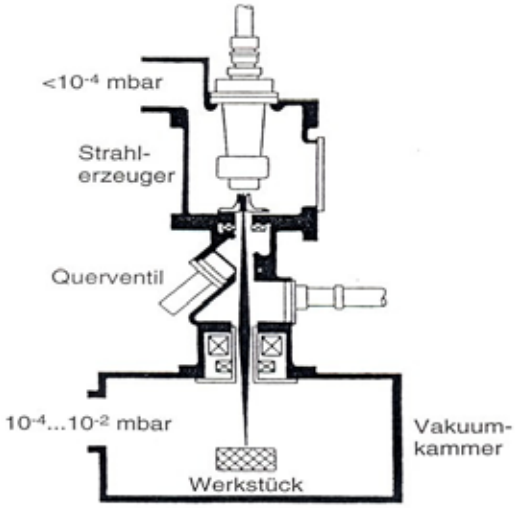




real

Elektronenstrahl-Anwendung im Vakuum





Vergleich Elektronenstrahl - Laserstrahl

Eigenschaft	Elektronenstrahl	Laserstrahl
physikalische Natur	geladene **Partikel**	elektromagnetische **Welle**
Quelle	Katode (W, LaB_6) im Vakuum	Gas, Kristall, Halbleiter, Glas
Erzeugung	thermische Emission + Beschleunigung (**Hochspannung**)	**LASER-Prozess**
Ausbreitung	im **Vakuum**	in **Luft** bzw. in Lichtleitern
Strahlformung	elektrische u. magnetische Felder	stoffliche Linsen und Spiegel
Strahlenergie	Strahlstrom x Hochspannung → kinetische Energie	Anregung, Verstärkung → Feld-/Wellenenergie
Wirkung am Werkstoff	95% Absorption → Wärme Rest: Reflexion, Röntgen unabhängig von Werkstoff und Oberflächeneigenschaften	Absorption und Reflexion stark abhängig von Wellenlänge und Werkstoff sowie Oberflächeneigenschaften
Steckdosenwirkungsgrad	**> 60 %**	**3% …15%**
Sicherheit	Röntgenschutz	Laserlichtschutz

Einsatzbereiche des Elektronenstrahls

Automobilbau
Automobil-Zulieferer
Maschinenbau aller Richtungen
Armaturenbau
Elektrotechnik
Energietechnik
Medizintechnik
Sensortechnik
Nukleartechnik
Forschungseinrichtungen
Luft- und Raumfahrt
u. a. m.

Asien

Europa

Südamerika

Betreiber eigener Anlagen bzw. Lohnfertiger

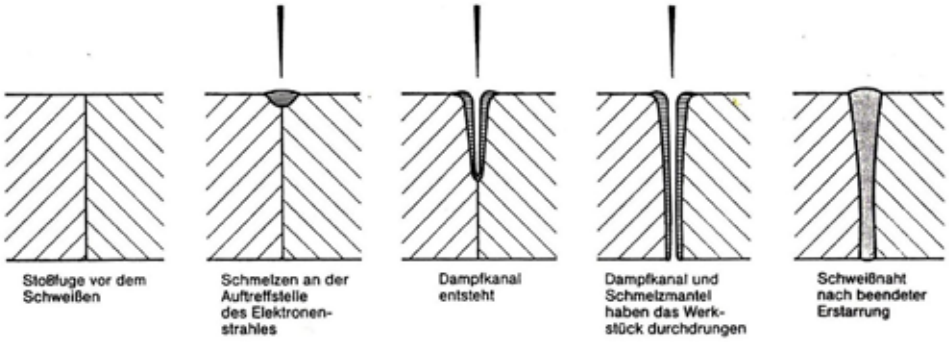


Elektronenstrahl-Schweißen

im Vakuum

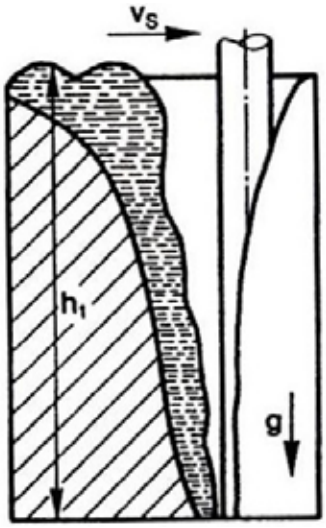


Bildung einer EB-Schweißnaht

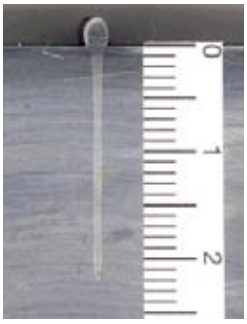


Tiefschweißeffekt



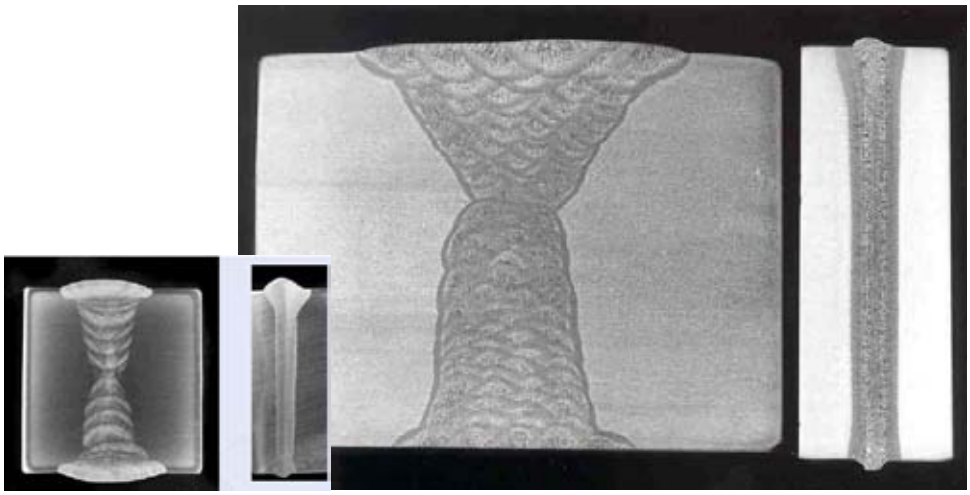


Typische EB-Nahtprofile



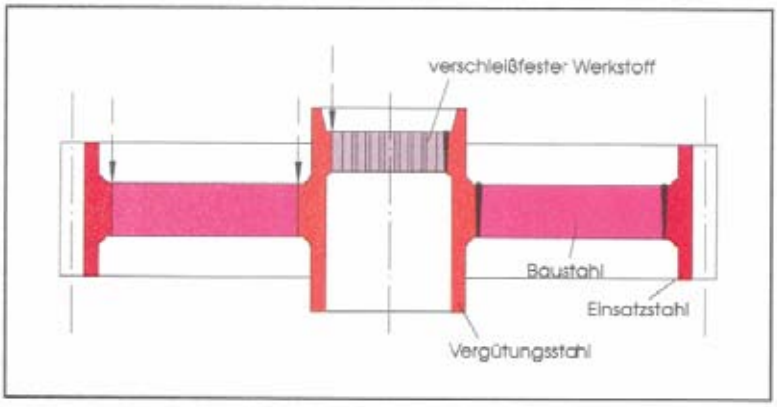


Nahtvergleich Lichtbogen - Elektronenstrahl



30 mm 100 mm

Grundgedanke zum EB-Schweißen



EB-Schweißkonstruktion
aus fertig bearbeiten Einzelteilen
unter Kombination von verschiedenen Materialgüten

EBW an Stahl-Kombinationen

20NiMoCr6-5



16MnCr5





Läufer für Turbolader

Inconel 713 LC + 42CrMo4



vor dem Schweißen fertig geschliffene Welle



EB-Naht



Weitere Beispiele zum EB-Schweißen …







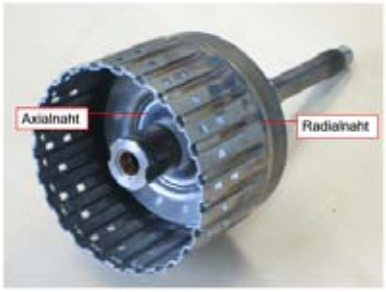






… auch mit verschiedenen Nahtlagen …





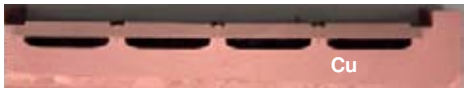


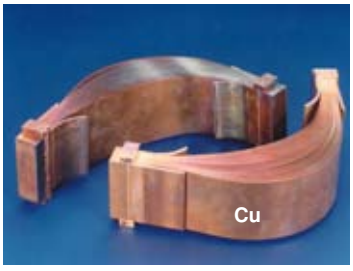


… und aus allen Metallen





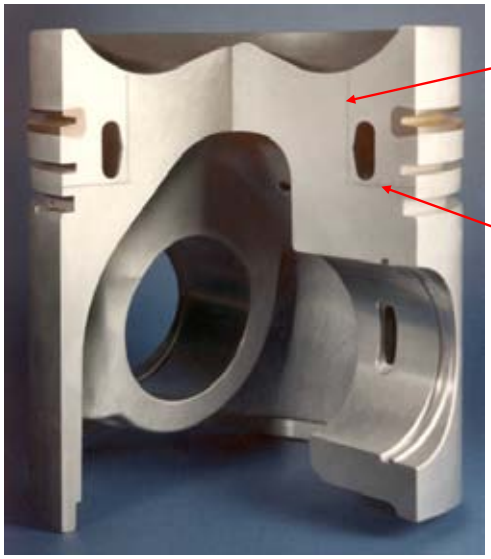








EB-geschweißter Dieselmotorenkolben

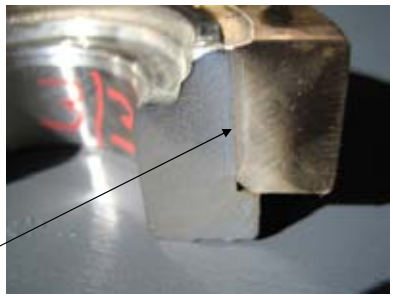


kostengünstige Schneckenräder

Nabe aus Stahl
Ring aus Bronze

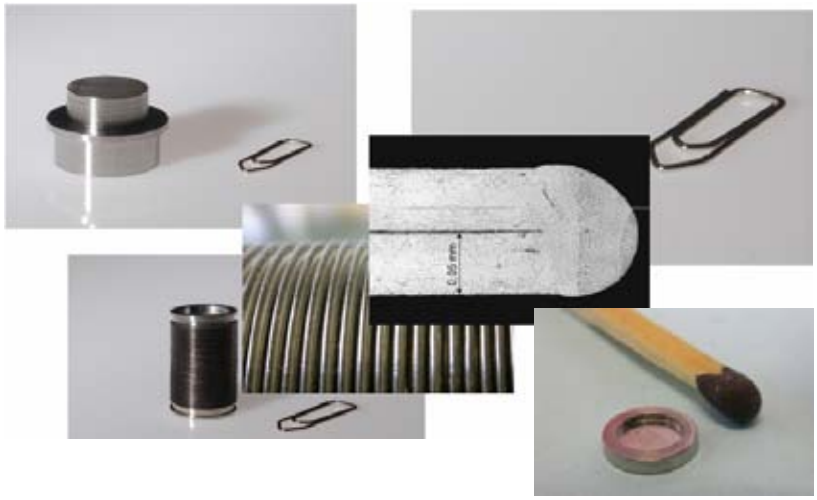






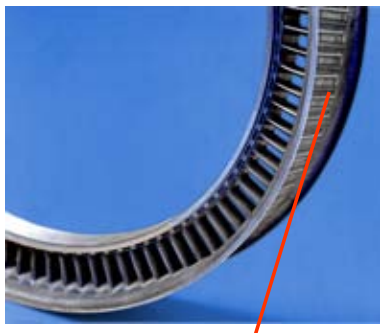
EB-Naht

Mikroschweißungen mit dem Elektronenstrahl

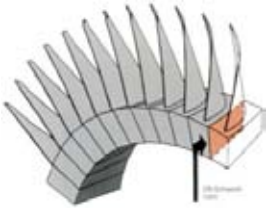


EB-geschweißte Turbinenteile



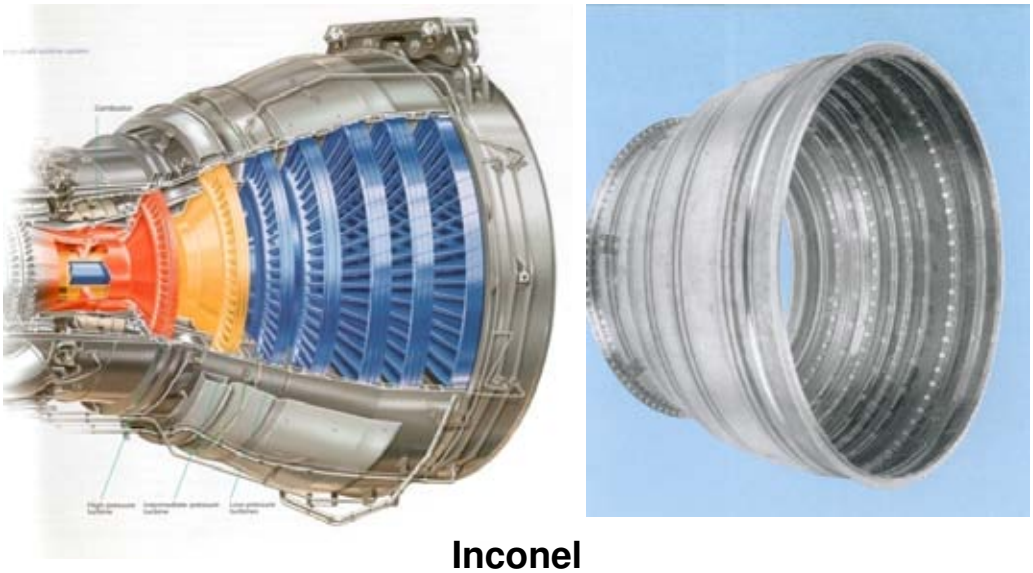


TiAl6V4





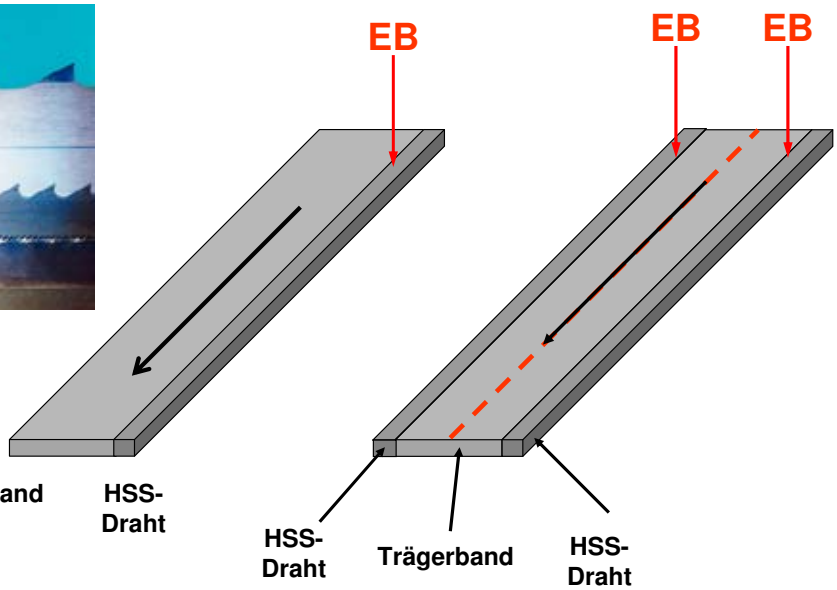
EB-geschweißtes Strahlturbinengehäuse



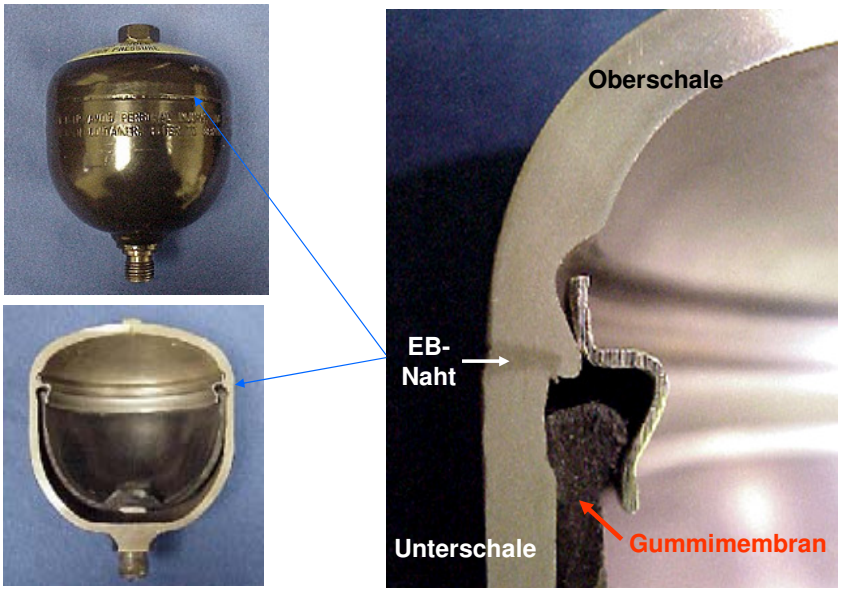
Inconel

Sägeband-Schweißen

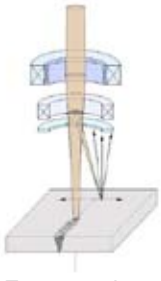


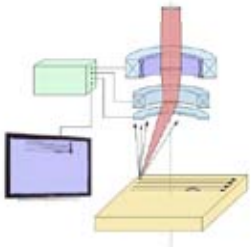


EB-geschweißter Hydraulik-Druckspeicher

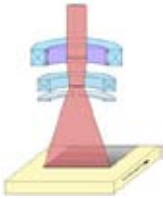


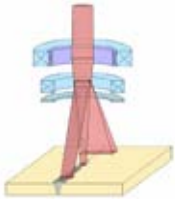
EBO JUMP:
Möglichkeiten mit Strahlablenkung bis zu 1 MHz

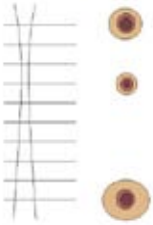

Fugensuche


Bilddarstellung


Mehrbadtechnik


Oberflächenbearbeitung

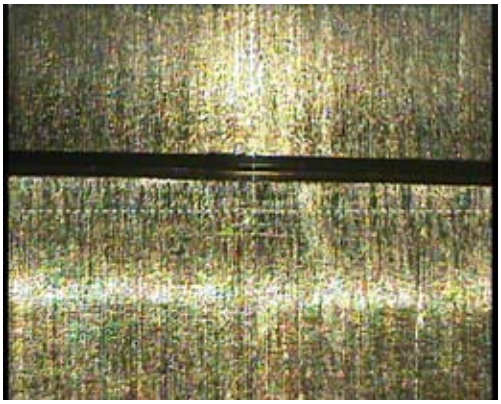

Mehrprozeßtechnik


Strahlvermessung

Fugenverfolgung mit dem Elektroenenstrahl







Druckspeicher

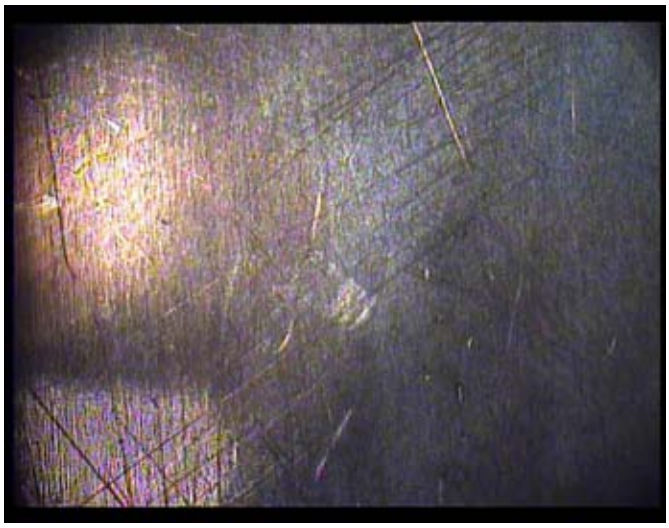
Fuge (vergrößert) im Videobild

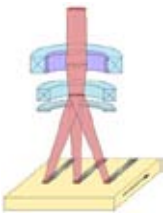
Mehrbad-Technologie: 5 Nähte simultan





Mehrbad-Technologie: 6 Punkte simultan





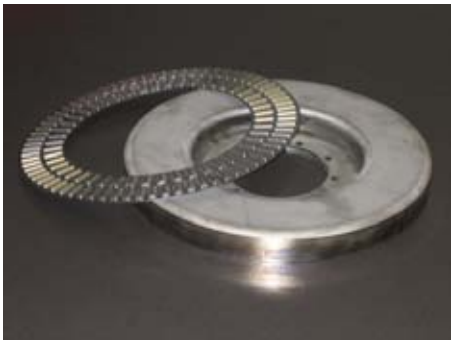
Mehrbad-Technologie: 2 Nähte



Dämpfer-Körper und Lüfterblech



mit Ring als Niederhalter



EB-Schweißmaschinen

und -anlagen

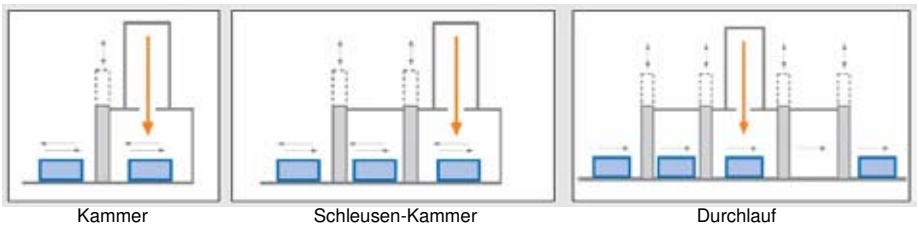


Hauptkomponenten von EB-Maschinen

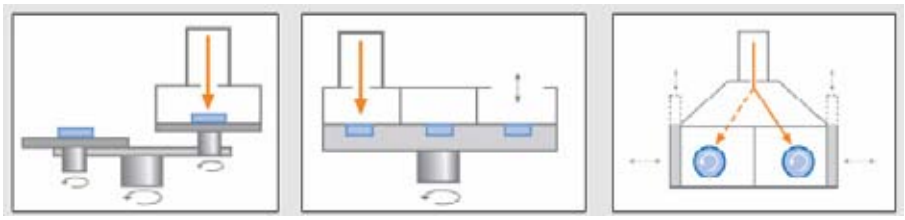
- Strahlgenerator
- Hochspannungsversorgung
- Steuerung
- Beobachtungstechnik
- Arbeitskammer
- Vakuumsystem
- Bewegungseinrichtungen
- Vorrichtungen
- Strahlenschutz
- Pneumatik
- Kühlung



Grundtypen von EB-Maschinen



Kammer | Schleusen-Kammer | Durchlauf



Rund-Takt | Schleusen-Takt | Wechsel-Takt

Großkammer-Maschine I





31 m³ - 150 kV - 30 kW – externer Generator

Großkammer-Maschine II

innenliegender
EB-Generator



Großkammer-Maschine III



630 m³ mit EB-Generator an Gantry-Roboter

Rundtisch-Taktmaschinen

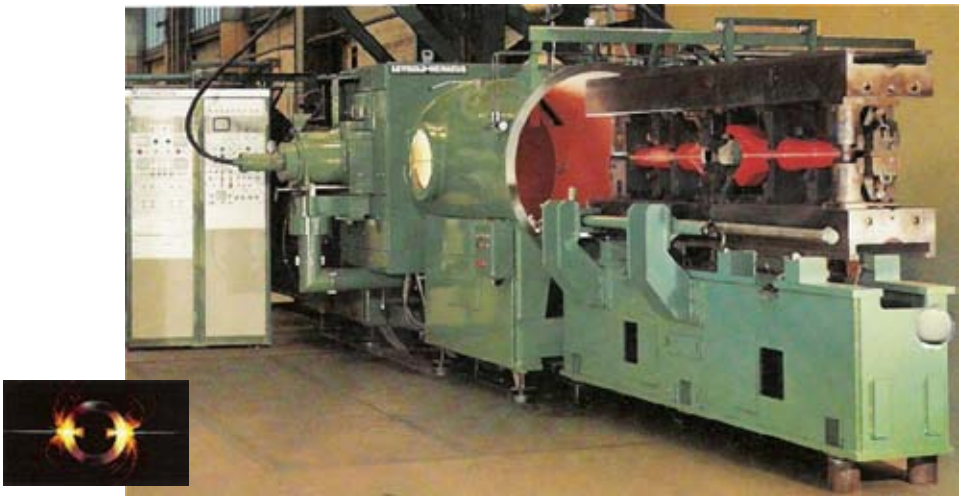


mit offenem Wechseltakt



mit Schleusentechnik

Simultanmaschine mit 2 Generatoren für LKW-Achsen



150 kV, 2 x 25 kW, Kammer 5 m^3, Taktzeit 6 min, Baujahr 1975

Simultanmaschine für Kolben





150 kV, 2 x 15 kW, Hochvakuum, 50 sec Evakuierungszeit

EB-Mikromaschine

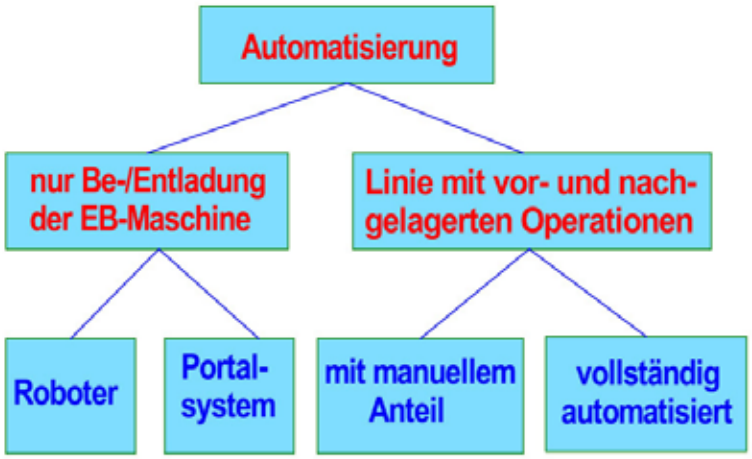


60 kV - 2 kW

EB-Bandschweißmaschine



Verkettung von EB-Maschinen



Verkettung von EB-Maschinen

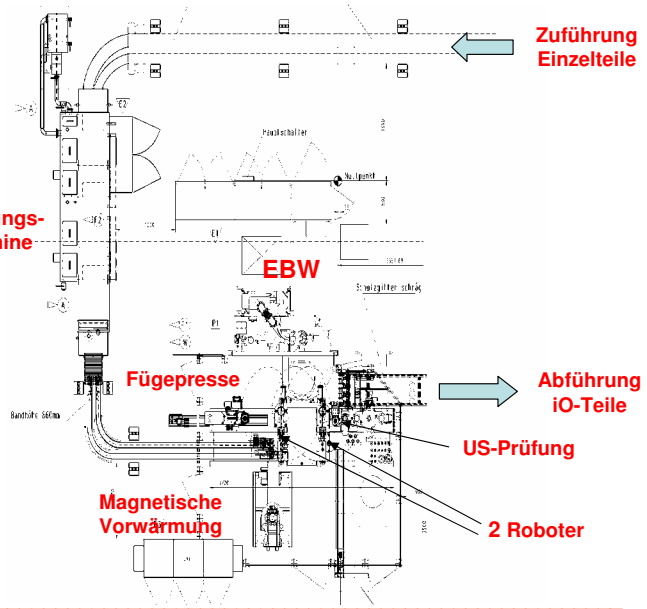
- vollautomatischer Betrieb der EB-Maschine selbst
- automatisches Be- und Entladen mit Handlingsystemen
- Verkettung mit vor- und nachgelagerten Bearbeitungsstationen:
  - Vereinzeln und Zuführen
  - Reinigen (Waschen, Spülen, Trocknen)
  - Montieren bzw. Fügen (ggf. Pressen)
  - Vorwärmen
  - Entmagnetisieren
  - Bürsten
  - Qualitätsprüfung (Ultraschall, optisch, mechanisch)
  - Palettieren
- integrale Sicherheitstechnik für die gesamte Linie/Zelle

Vollverkettete EB-Maschine

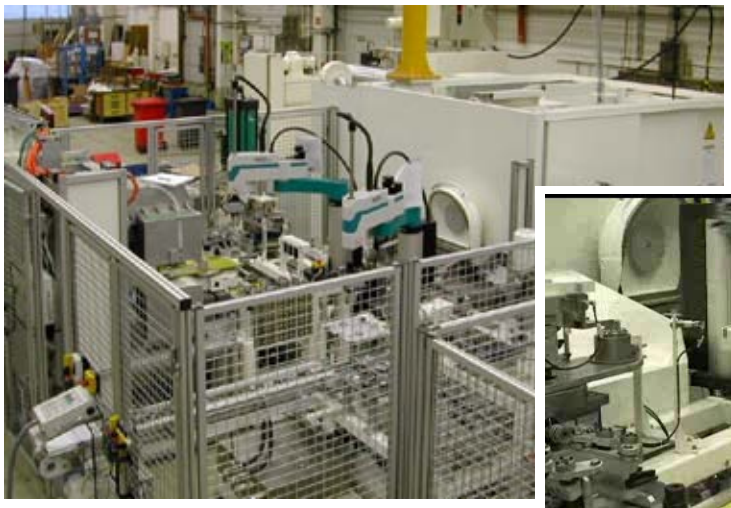


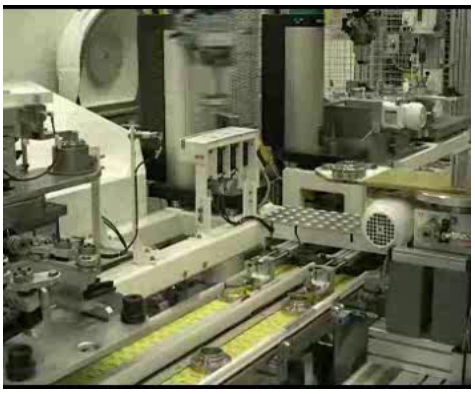






Vollverkettete EB-Maschine

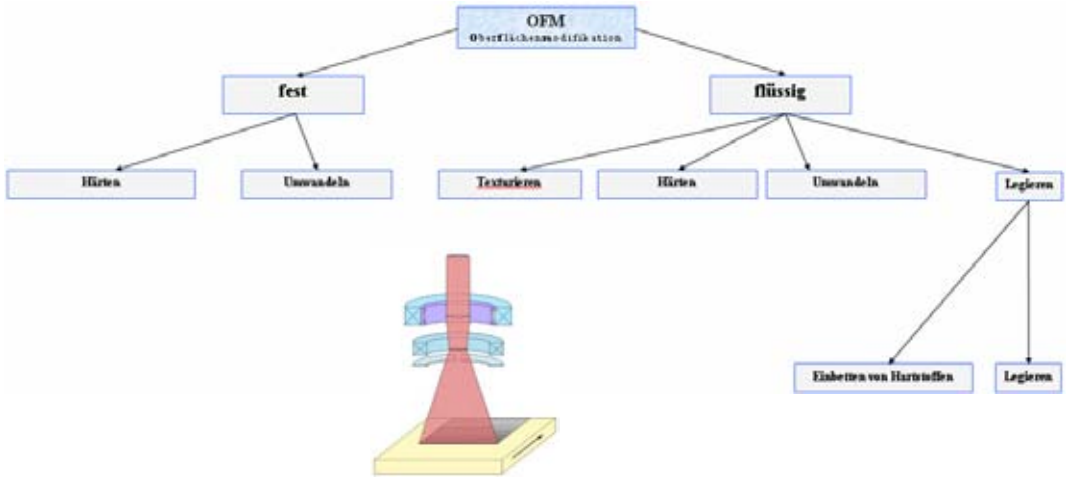




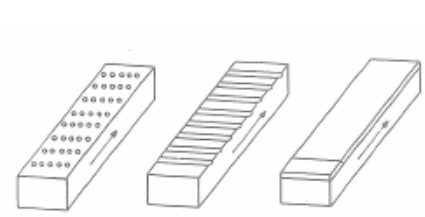
Elektronenstrahltechnologien zur lokalen Oberflächenmodifikation

(Randschichtbehandlung)

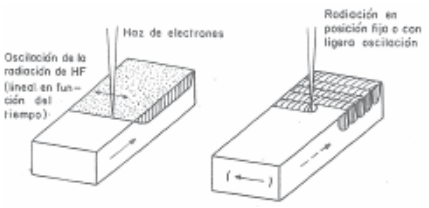
Varianten der EB-OFM



Methoden zur EB-OFM

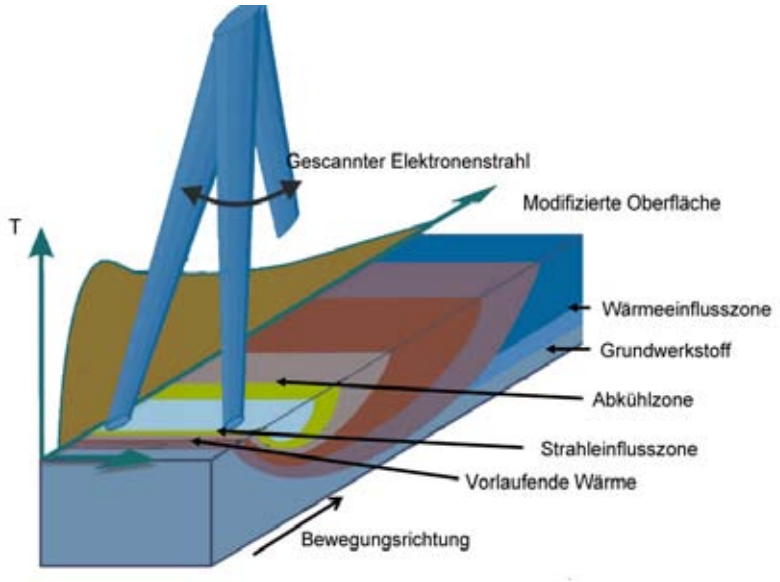


unterschiedliche
OFM-Strukturierung



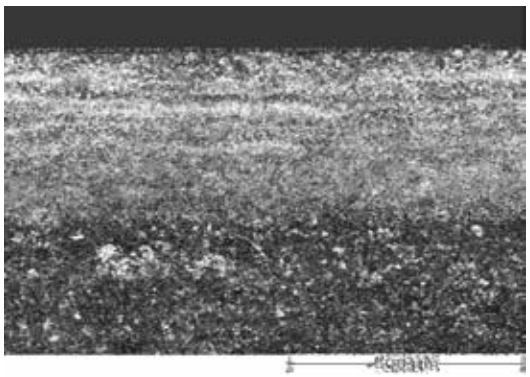
Festphase Flüssigphase

Prinzip der EB-OFM



EB-Härten (Festphase)

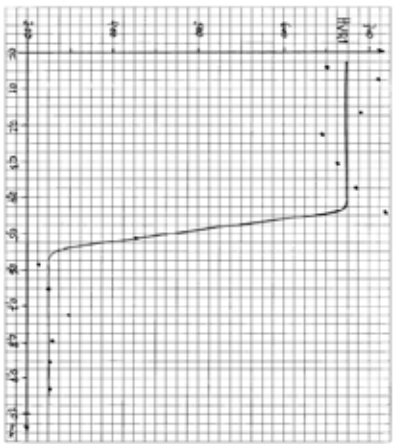
Martensit-Bildung mit maximaler Härtesteigerung



42CrMo4

OF

GW

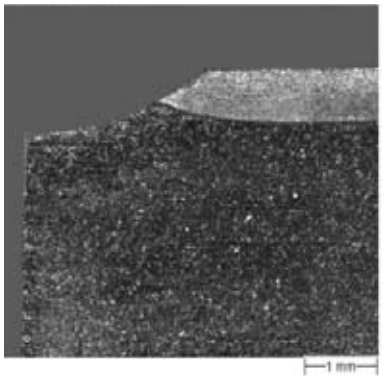


EB-Härten (Festphase)

Welle aus 42CrMo4 mit gehärtetem Lagersitz



in der Härtezone: 680 HV1



im Grundwerkstoff: 320 HV1

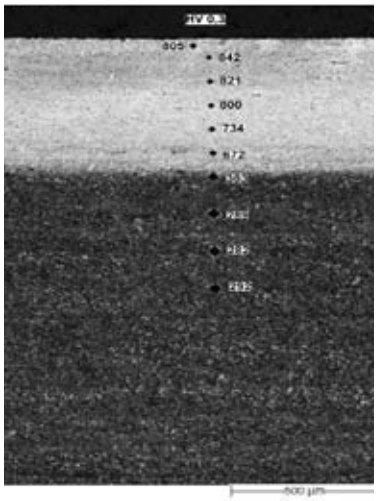
EB-Härten (Festphase)



51CrV

4 ovale Nockenbahnen

Härtetiefe > 0,4 mm

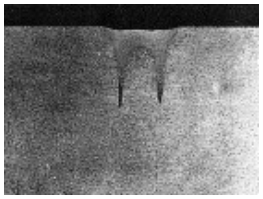


NC-Achsen
im Prozeß:

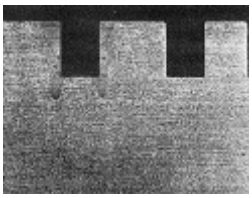
- Rotation
- Fokus
- Ablenkung



EB-Umschmelzveredeln AlSi-Legierung

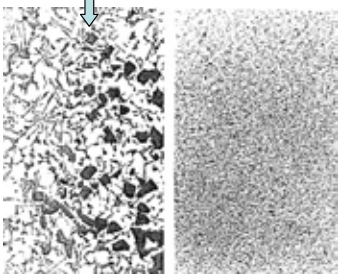


Umschmelzzone

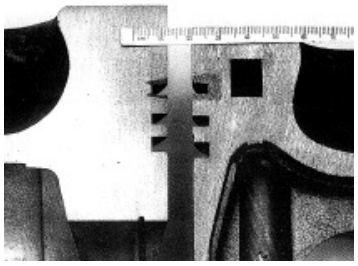


eingedrehte Nut

Ausgangsgefüge



veredeltes Gefüge

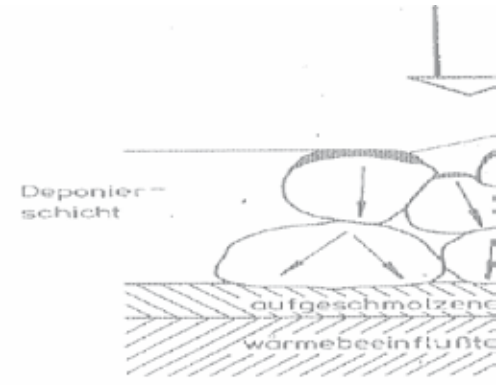


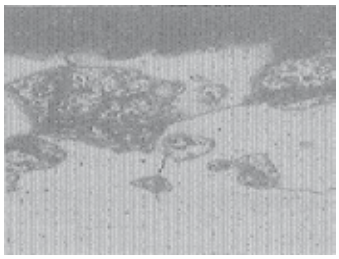
Vergleich
Umschmelzkolben - Ringträgerkolben

Quelle: ZIS Halle, 1986

EB-Umschmelzen von Schichten

EB



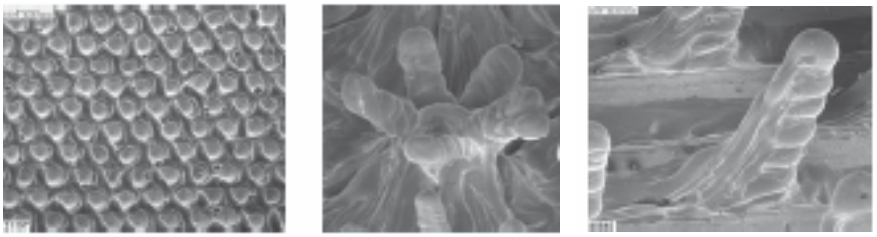


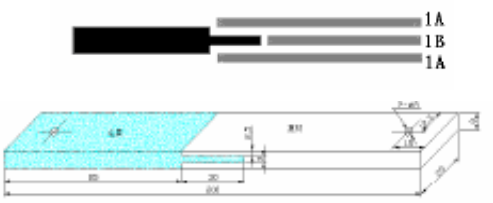
eingebettete Wolframkarbide



angeschmolzene Wolframkarbide

Surface Sculpturing = Oberfächen-Strukturierung



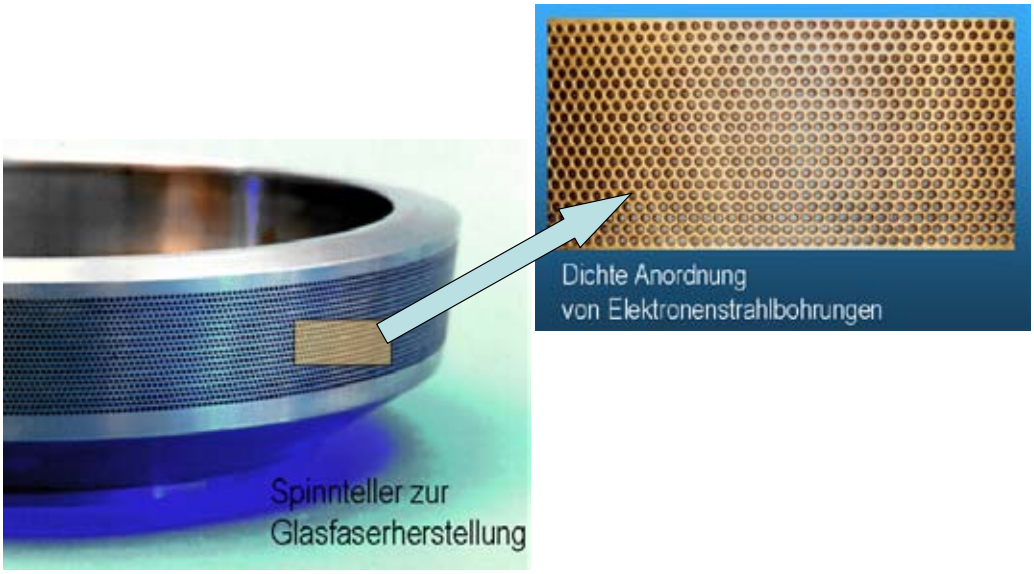




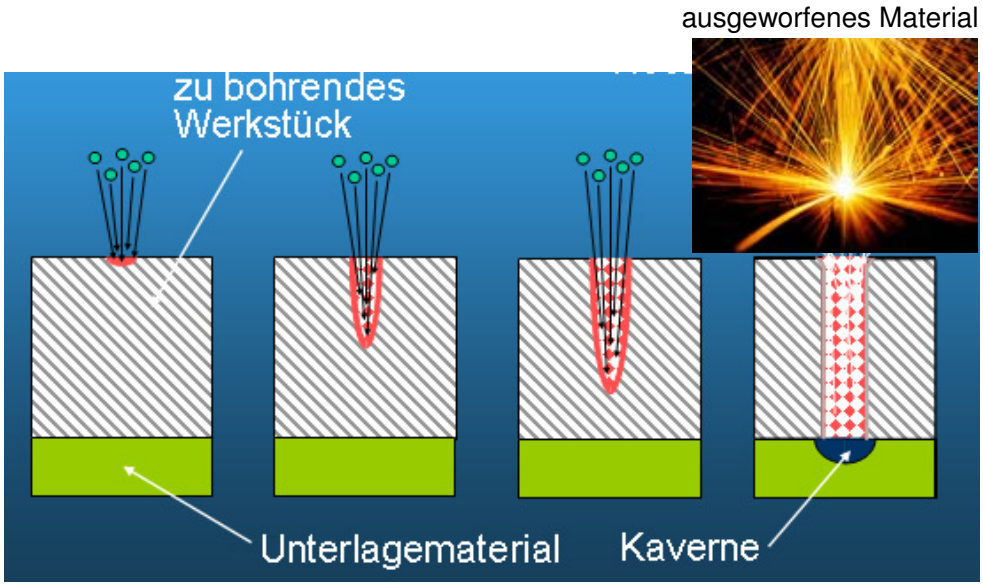
Stahl Plastik

Elektronenstrahl-Bohren

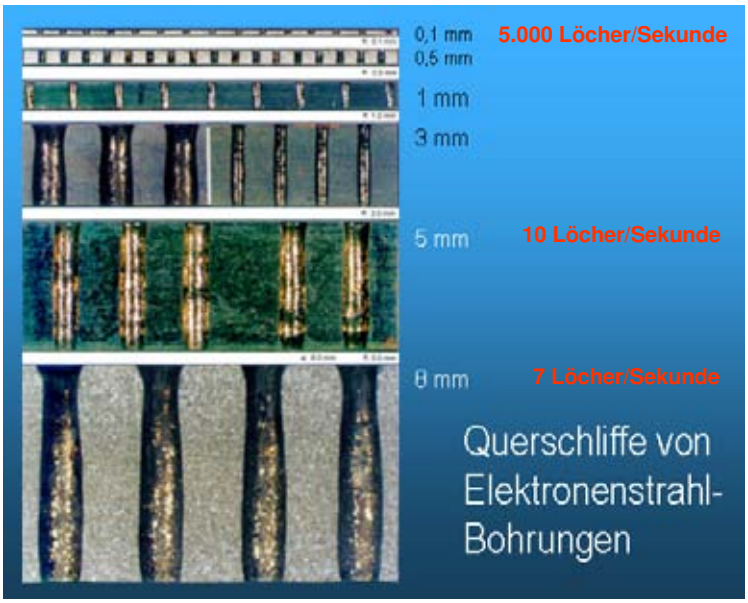
Beispiel EB-Bohren



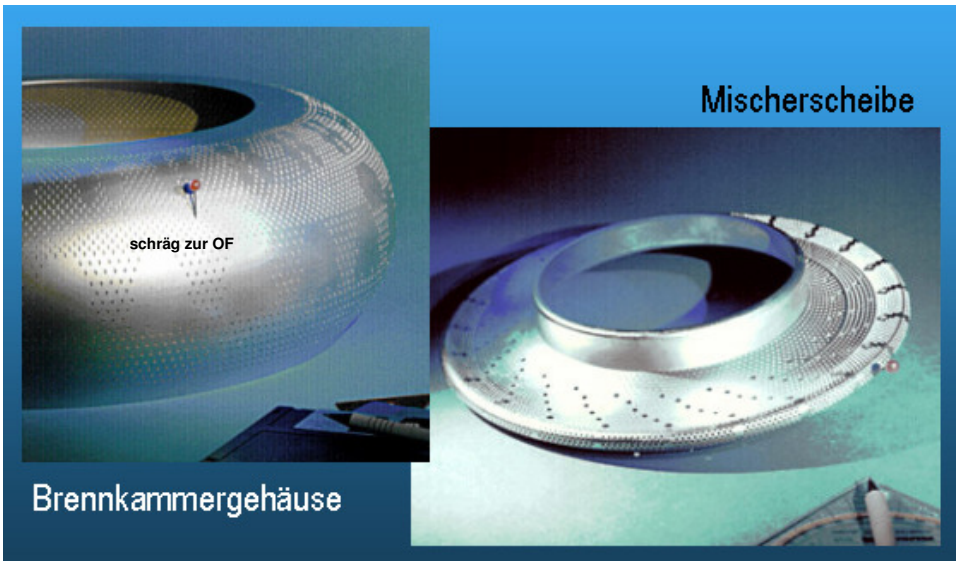
EB-Bohr-Prozeß



EB-Bohrungen

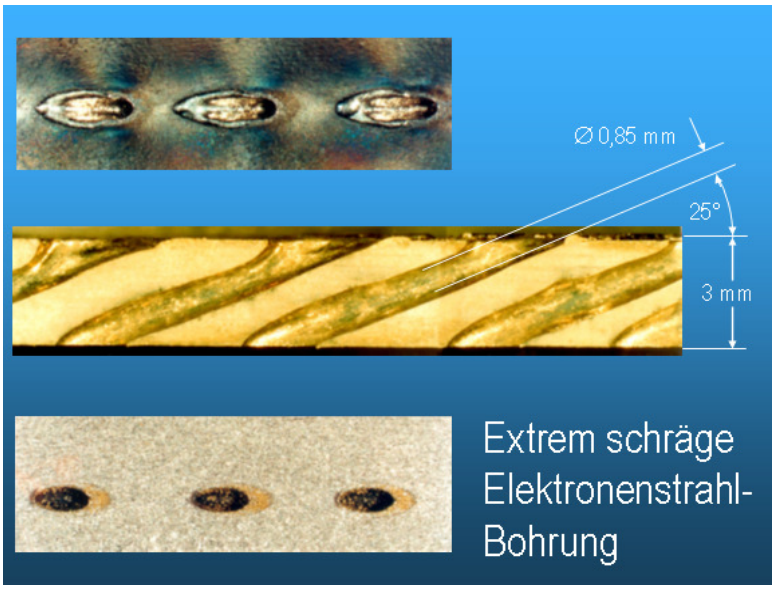


EB-gebohrte Triebwerksteile



EB-Schrägbohrung

Oberseite



Unterseite

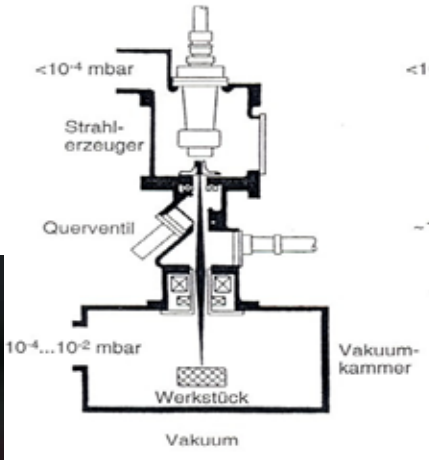
NVEBW

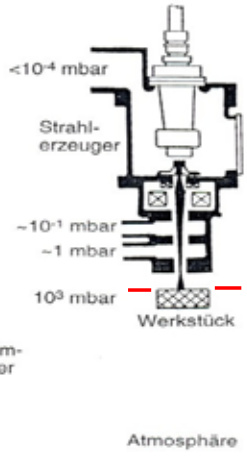
(Nonvacuum Electron Beam Welding)

EB-Schweißen an freier Atmosphäre

EBW im Vakuum und an Atmosphäre



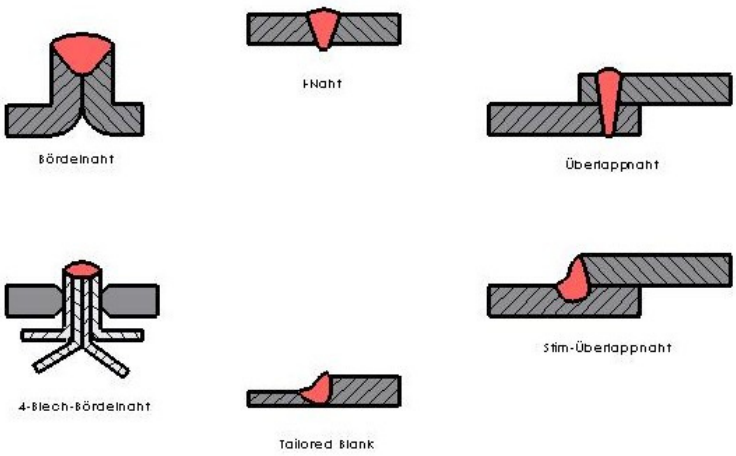






EBW **NVEBW**

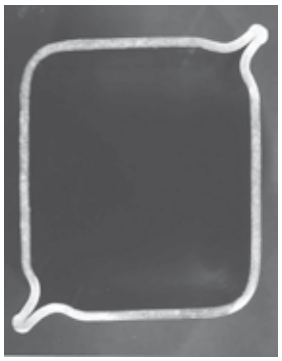
NVEBW : Stoß- u. Nahtgeometrien



breiterer NV-Strahl ⇨ bessere Toleranzverträglichkeit

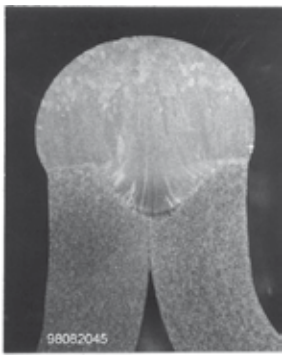
NVEBW: Modulträger für PKW-Cockpit





2 Bördelnähte
an Halbschalen
aus AlMg3
2 x 2,5 mm dick

14 m/min
ohne Zusatzwerkstoff



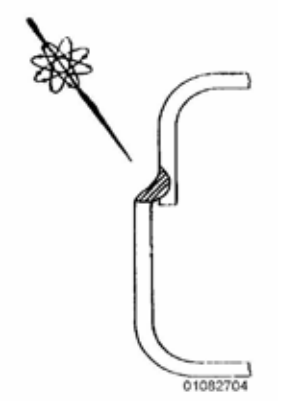
NVEBW-Doppelanlage für Modulträger



Vollautomatisches NVEBW

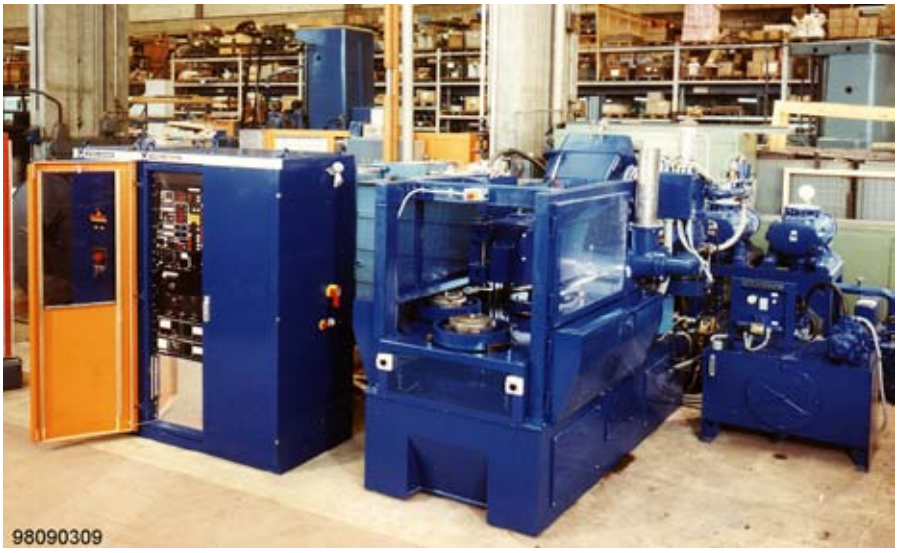


NVEBW: Drehmomentwandler





NVEBW-Maschine für Wandler

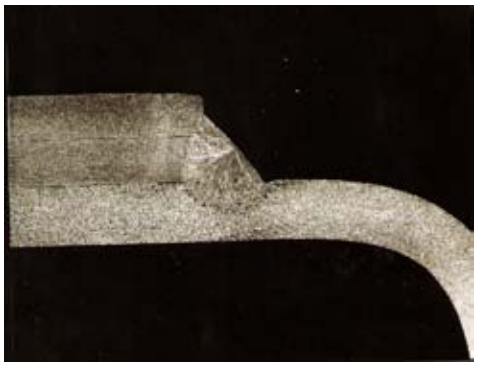


Nonvac-geschweißtes LKW-Rad (Stahl)



Verbindung Felge – Schüssel
hier: mit Nahtunterbrechung

ohne Zusatzdraht geschweißt

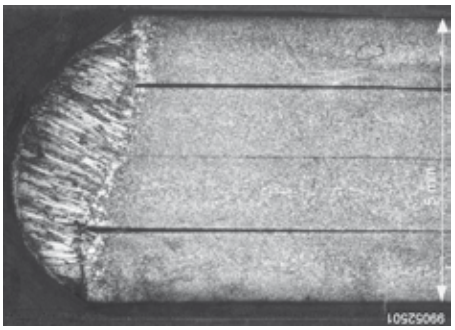


Blechdicken: 2,4 + 3,5 mm
Schweißgeschwindigkeit: **7,6 m/min**
Strahlleistung: 18 kW
ohne ZW

NVEBW-Anlage für Katalysatorengehäuse

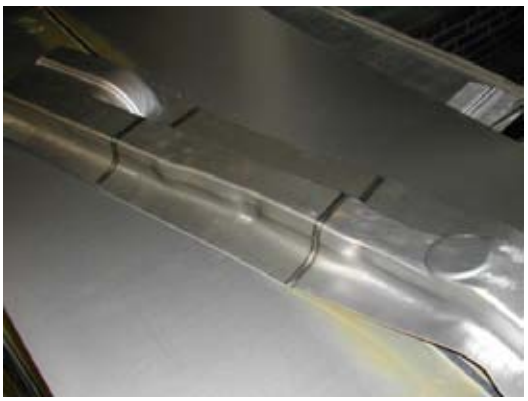


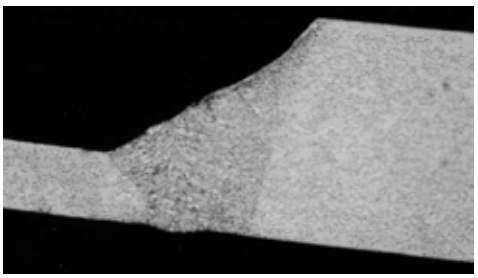
4 Bleche (Edelstahl)
in 1 Lage verschweißt
mit horizontalem Strahl

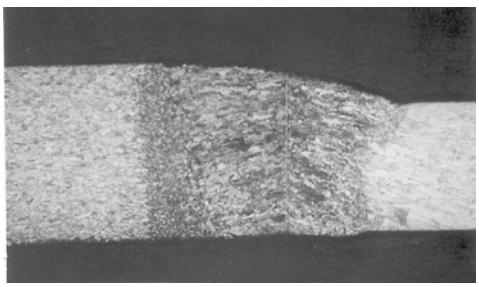


NVEBW: Tailored Blanks

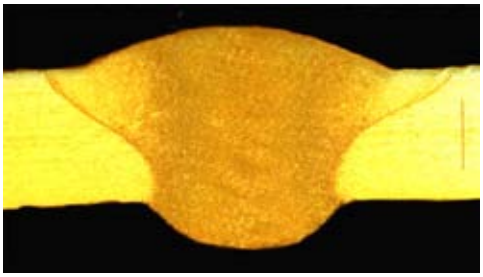
Stahlbleche
verschiedener Dicke u./o. Festigkeit
I-Stoß mit Normalschnitt
ohne Zusatzdraht
mit vertikalem Strahl verschweißt
und danach umgeformt







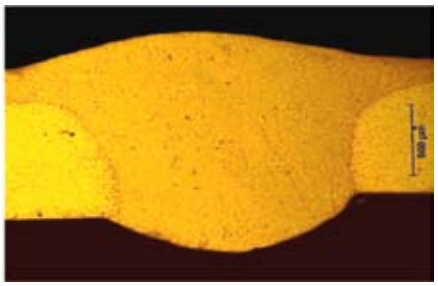
NVEBW: dünne Alu-Bleche mit ZW



AlMg5Mn (1 mm)

+ Draht AlMg4.5Mn

30 m/min



AlMg0.4Si1.2 (1 mm)

+ Draht AlSi12

60 m/min

Zusammenfassung

Vorteile der EB-Technologien

- **Eröffnung neuer konstruktiver Gestaltungsmöglichkeiten**
  - Masse- und/oder volumenreduzierte Gestaltung
  - Belastungsorientierter Werkstoffeinsatz (Kombinationen)
- **Minimaler Wärmeeintrag**
  - Niedrige Streckenenergie
  - Geringer Bauteilverzug
  - Geringe Gefügebeeinflussung
- **Reduzierung der Fertigungsschritte**
  - Fügen und/oder Härten fertig bearbeiteter Einzelteile
  - Einlagiges Schweißen durch Tiefschweißeffekt
- **Qualitätssicherung**
  - Vollautomatischer Anlagenbetrieb
  - Höchste Reproduzierbarkeit und Langzeitstabilität
  - Rein elektrische Parameter-Dokumentation
  - Totaler Schutz der Schweißmetallurgie



EB-Technik: Innovationen für heute und morgen

- **EB-Technik = Schweißen und mehr**
- **günstigste Lösungen für Konstruktion und Fertigung**
- **„maßgeschneiderte“ Verfahren und Anlagen**
- **optimierte Technologien**
- **angepaßte Automatisierung und Verkettung**
- **Nutzung bewährter sowie neuester Komponenten**
- **höchste Effizienz**
- **alles aus einer Hand**
- **langjährige Betreuung**



Ich danke für Ihre Aufmerksamkeit

und stehe für weitere Informationen zur Verfügung:

www.elektronenstrahl-beratung.de

Markus Röhner
Fraunhofer IPK

Innovative Fertigungstechnologien für den MRO-Prozess

Abstract | MRO – Maintenance, Repair and Overhaul hat eine zunehmende betriebs- und volkswirtschaftliche Bedeutung. So können zum Beispiel Korrosion von Werkstoffen, Materialverschleiß oder Vandalismus hohe Kosten verursachen. Vor allem in den Branchen Energie und Verkehr existiert bei Produkten und Gütern mit hohen Investitionskosten und langer Lebensdauer ein hohes technologisches und wirtschaftliches Optimierungspotenzial, das wissenschaftlich bisher wenig bearbeitet wurde. Hier setzt der Fraunhofer-Innovationscluster »Maintenance, Repair and Overhaul in Energie und Verkehr« an.

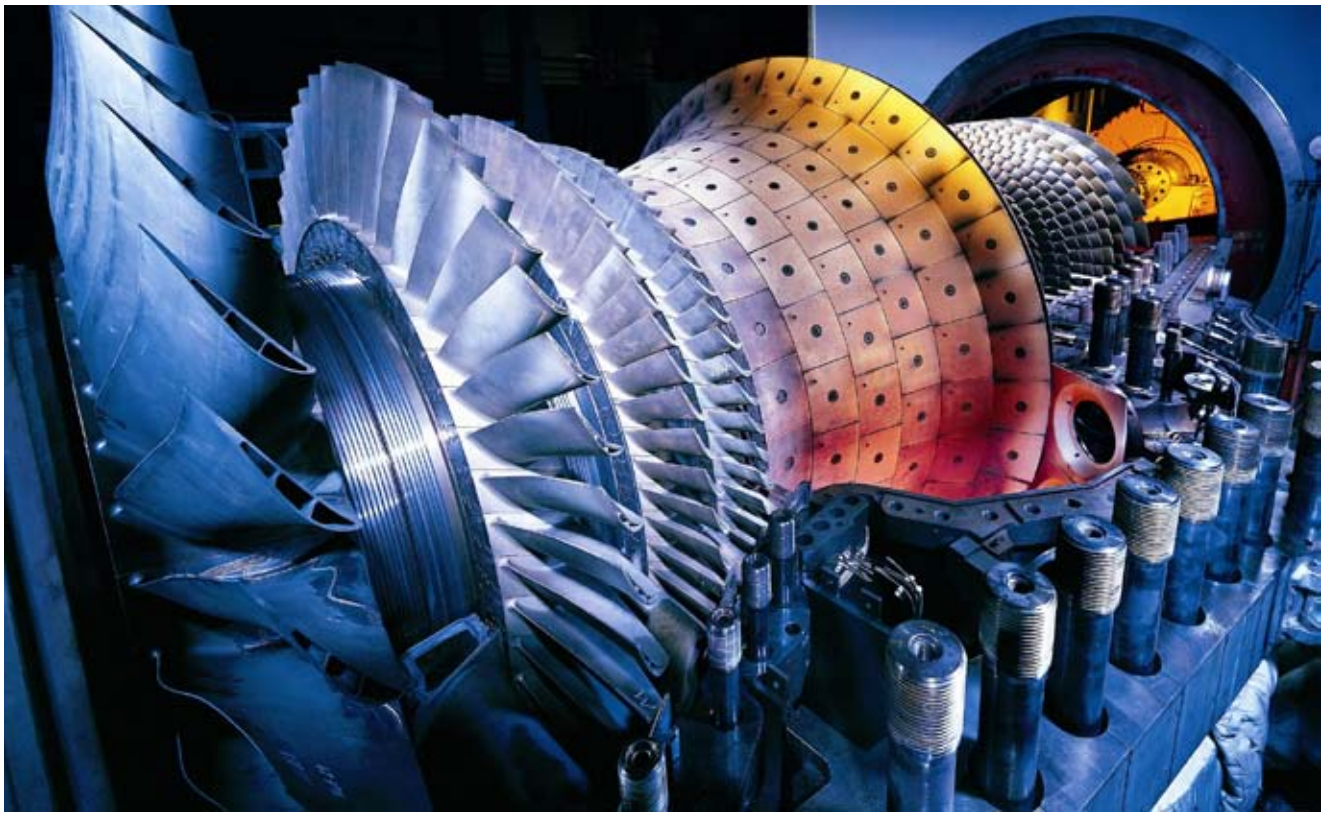
Zielsetzung des Innovationsclusters ist es, in vier Innovationsfeldern ressourcenschonende und energieeffiziente MRO-Prozesse und -Technologien zu erarbeiten und nachhaltig in Unternehmen zu etablieren. In der Clusterinitiative kooperieren sieben Forschungsinstitute und 14 Wirtschaftsunternehmen, darunter auch MTU Maintenance, Siemens und Deutsche Bahn. Die finanzielle Ausstattung in Höhe von rund 15 Mio € über drei Jahre wird von den beteiligten Partnern, der Fraunhofer-Gesellschaft und den Ländern Berlin und Brandenburg bereitgestellt.

Ziel der Clusterinitiative ist es innovative Lösungen für ressourceneffiziente, flexible, wirtschaftliche, sichere und zuverlässige Produkte, Prozesse und Technologien zu erarbeiten und diese nachhaltig in der Hauptstadtregion zu etablieren. Insbesondere stehen hier Lösungen für die effiziente Langzeitnutzung im Fokus, wie sie in MRO-Prozessen notwendig sind.

Die Zuverlässigkeit und Verfügbarkeit einer Maschine oder Anlage ist ein wichtiger Betriebsfaktor. Durch den Einsatz von integrierter Sensortechnik und intelligenten Auswertealgorithmen können Kennzahlen abgeleitet und Aussagen über Betriebssicherheit und resultierende Lebensdauer getroffen werden. Wartungsmaßnahmen können somit besser geplant und Ausfälle verhindert werden. Besonders im öffentlichen Personenverkehr ist Pünktlichkeit eines der Hauptkriterien für Kundenzufriedenheit und für die Auswahl des Transportmittels.
Die Erhöhung der Sicherheit der Passagiere im öffentlichen Personenverkehr und im Flugverkehr hat aufgrund der steigenden Nachfrage einen wichtigen Stellenwert. Korrosion von Werkstoffen, Materialverschleiß oder Vandalismus können hohe Kosten verursachen, die Zuverlässigkeit der Anlage beeinträchtigen und die Sicherheit der Passagiere gefährden. Durch eine gezielte Zustandsüberwachung und Diagnose sowie eine damit verbundene intelligente Planung der MRO-Maßnahmen lassen sich Ausfälle vermeiden und der zuverlässige und sichere Betrieb von Verkehrssystemen und Energieanlagen realisieren.

Die Ressourcenschonung gewinnt zunehmend auch im Bereich der Großanlagen an Bedeutung. Generell werden bei der Neufertigung mehr Ressourcen wie Energie, Rohstoffe und Kapital benötigt als durch Instandsetzung. Voraussetzung hierfür ist, dass die MRO-Prozesse selbst effizient ablaufen und dass Instandsetzungs- mit Modernisierungsmaßnahmen miteinander gekoppelt werden.

Gegründet wurde der Cluster in der Hauptstadtregion Berlin/Brandenburg, welche zu den großen Energie- und Verkehrsregionen Europas zählt. Bereits jetzt ist die Hauptstadtregion deutschlandweit führend im Bereich der Produktion sowie Wartung und Instandhaltung. Durch den Aufbau neuer Kooperationen soll somit die Wirtschaftkraft der Region nachhaltig gestärkt und International etabliert werden.



MRO-Innovationsfelder

Die Innovationsfelder Reinigung und Reparatur sind Kernbestandteile von Maintenance, Repair and Overhaul. Die Zustandserfassung & -diagnose sowie MRO-Planung und digitale Unterstützung bilden den Rahmen der MRO-Tätigkeiten. Zwischen allen Innovationsfeldern existieren Schnittstellen, so dass in konkreten Projekten mit den beteiligten Partnern Technologien zur Optimierung von MRO-Prozessen nach individuellen Kundenanforderungen erarbeitet und am Markt etabliert werden.

Zustandserfassung und -diagnose

Die Zustandserfassung und -diagnose umfasst die kontinuierliche, systemintegrierte Erfassung des aktuellen Anlagen- und Komponentenzustandes. In besonderem Maße sicherheitsrelevant ist hier die Rissprüfung sowie zunehmend die Durchdringung mit leistungselektronischen Systemen. Innovative Prüfverfahren sollen entwickelt werden, um den Zustand der Anlagen zu erfassen, den optimalen Wartungszeitpunkt abzuleiten und die Restlaufzeit abzuschätzen. Condition Monitoring liefert zukünftig wichtige Informationen über den Zustand der Anlagen. Es trägt dazu bei, die Lebensdauer besser auszuschöpfen, Wartungsintervalle zu verlängern, Ausfälle aufgrund ungeplanter Wartungsarbeiten zu vermeiden und damit die Gesamtverfügbarkeit von Anlagen zu erhöhen.

MRO-Planung und digitale Unterstützung

Die Effizienz der Planung und Durchführung von MRO-Prozessen kann durch digitale Unterstützung wesentlich gesteigert werden. Um die Potenziale virtueller Technologien in der Praxis auszuschöpfen, müssen Methoden und Werkzeuge für verschiedene Handlungsfelder im MRO-Bereich entwickelt werden. Beispielsweise können schnelle Zugriffe auf wichtige Lebenszyklen- und MRO-Informationen sichergestellt, Schnittstellenkonflikte zwischen verschiedenen Multiplayer-Systemen beseitigt oder Fernwartungsarbeiten mit mobilen Telekooperationsgeräten über schmalbandige Verbindungen ermöglicht werden. Darüber hinaus können auch Papierzeichnungen und komplexe Produkte mit geringem Aufwand in 3-D-Modelle überführt werden. Ein weiteres Thema ist die Kostensenkung durch systematische und bedarfsorientierte MRO-Planung und -Unterstützung sowie durch die schnelle Reaktion bei wechselnden Produktzuständen. Weiterhin können Maschinenstillstandzeiten mit einer globalen MRO-Bestandssteuerung für Ersatzteile mini-

miert werden. Nicht zuletzt lassen sich Schulungszeiten verkürzen und MRO-Prozesse schneller und fehlerfrei durchführen.

Reinigung

Die Reinigung von Maschinen und Anlagen nimmt eine zentrale Stellung im MRO-Prozess ein. Dabei sind sowohl die Reinigungsverfahren als auch die Anwendungsbereiche breit gefächert. Die präventive Reinigung ist zur Bewahrung der Funktion oder des Wirkungsgrades notwendig. Kostspielige Ausfälle und Reparaturen von Maschinen und Anlagen werden vermieden beziehungsweise reduziert. Reinigung als Reparatur- oder Fertigungsverfahren ist vor allem bei der Entfernung von Funktionsschichten erforderlich. Flexible und ökoeffiziente Verfahren sollen entwickelt und etabliert werden.

Reparaturtechnologien

Vorgänge in der Wartung und Instandhaltung sind im Gegensatz zur Neufertigung deutlich schlechter vorhersehbar. So wird die Reparatur von langlebigen Investitionsgütern meistens am Einzelstück vor Ort zu einem vorab unbestimmten Zeitpunkt durchgeführt, während die Fertigung vorwiegend in Serie in einer Produktionshalle zu einem festgelegten Zeitpunkt stattfindet. Dementsprechend wird bei der Bewertung und Entwicklung neuer Reparaturtechnologien eine besonders hohe Flexibilität und Adaptivität des Verfahrens gefordert.

MRO-Prozesskette

Bei heutigen Reparaturprozessketten findet ein Großteil der notwendigen Arbeitsschritte durch manuelle Tätigkeiten statt. Diese treten insbesondere bei der Identifizierung beschädigter Bauteilbereiche, dem Abtrennen dieser Bereiche sowie der Oberflächenveredelung durch Schleifen, Polieren und Entgraten auf. Aufgrund des hohen Anteils manueller Tätigkeiten ist die Reparaturprozesskette gegenwärtig nur in begrenztem Maße plan- und reproduzierbar.

Die mechanische Bearbeitung findet hingegen häufig auf NC-Bearbeitungszentren statt, die ursprünglich für die Neufertigung mit mittleren Losgrößen und hohen Zerspanleistungen entwickelt wurden. Bei Reparaturaufgaben erfordert jedoch jedes Bauteil eine individuelle Bearbeitungsstrategie. Die Produktivität solcher kapitalintensiven Maschinen lässt sich aufgrund hoher Rüst- und Einfahrzeiten in Verbindung mit geringen Mengen abzutrennenden Materials bei weitem nicht ausschöpfen. Vor diesem Hintergrund ist der Einsatz von NC-Bearbeitungszentren aus wirtschaftlicher Sicht kaum zu rechtfertigen.

Das Gesamtziel des Projektes ist daher die Verbesserung der Wirtschaftlichkeit und Planbarkeit von Reparaturen im Turbinensegment. Als innovativer Ansatz dient eine teilautomatisierte robotergestützte Reparaturzelle, in der alle notwendigen Arbeitsschritte integriert durchgeführt werden können. Die notwendigen Einzeltechnologien werden weiterentwickelt und für die Reparaturzelle bereitgestellt.

Es werden folgende Teilziele angestrebt:

- Bereitstellung eines Technologiebaukastens für die Reparaturprozesse,
- Entwicklung einer integrierten Reparaturzelle auf Roboterbasis,
- Qualifizierung robotergestützter mechanischer Bearbeitung,
- Entwicklung einer Automatisierungslösung für die Reparaturprozesskette.

Reparaturprozesskette



Entschichten Reinigen | Befunden Parametrisieren | Trennen | Reparatur-schweißen | Fräsen | Schleifen Polieren | Verfestigen

Reinigung / Entschichten

Der Einsatz flexibler, problemgerechter und ökoeffizienter Reinigungsverfahren gewinnt zunehmend an Bedeutung. Vielfach wird der Einsatz des Kohlendioxid-Strahlens als Reinigungsverfahren gewünscht, da es ein trockenes, rückstandsfreies und substratschonendes Reinigungsverfahren ist. Dem breiten Einsatz des CO_2-Strahlens in Wartung und Instandhaltung sowie in weiteren Branchen steht bisher entgegen, dass Kohlendioxid ein Werkzeug nicht definierter Qualität und Eigenschaften für alle Anwendungen ist. Zudem fehlt es an bedarfsgerechter, miniaturisierter Anlagentechnik für die Reinigung kleiner Kavitäten mittels Trockeneis- oder CO_2-Schneestrahlen. Dem genannten Bedarf soll mit folgenden Zielstellungen nachgekommen werden.

Bereitstellung eines bedarfsgerechten, härteren Strahlmittels: Ein bedarfsgerechtes CO_2-Strahlmittel soll entwickelt werden, welches je nach Anwendung ausgewählt werden kann. Vorteile eines härteren Trockeneisstrahlmittels mit definierten Eigenschaften sind ein gleichbleibendes Bearbeitungsergebnis bei wiederkehrenden Reinigungsaufgaben, kürzere Bearbeitungszeiten, eine Erweiterung des Anwendungsspektrums und ein gesicherter, objektiv geprüfter Standard.

Bereitstellung einer miniaturisierten Düsentechnik zum Trockeneisstrahlen: Die zu entwickelnde Düsentechnik bietet die Möglichkeit, mittels CO_2-Strahlen kleine Kavitäten und schwer zugängliche Bereiche trocken und rückstandsfrei zu reinigen. Zur Innenreinigung von Rohren oder hinter Anbauten bedarf es Strahldüsen, bei denen das Strahlmittel in einem beliebigen Winkel umgelenkt werden kann. Vorteile dieser miniaturisierten Strahldüsen sind die geringe mögliche Baugröße, die Reduzierung des Strahlmittelverschleißes in der Düse und damit einhergehend eine Steigerung der Reinigungsleistung. Die gewonnen Erkenntnisse lassen sich später auf weitere Düsengeometrien und Anwendungen übertragen, bei denen Strahlmittel in einem beliebigen Winkel umgelenkt werden müssen, wodurch sich neue Anwendungsgebiete für alle Strahlverfahren eröffnen.

Qualifizierung des CO_2-Hochdruckstrahlens: Das Hochdruckstrahlen mit flüssigem Kohlendioxid soll in vergleichbarer Weise zum Wasserhochdruckstrahlen zum Reinigen, Entschichten und Trennen qualifiziert werden. Da sich flüssiges CO_2 in dünnen Hochdruckleitungen problemlos umlenken lässt, ist eine weitere Miniaturisierung der Düsentechnik möglich. Darüber hinaus entfällt die Nutzung teuer Druckluft. Da das Verfahren dieselben Vorteile wie das CO_2-Strahlen aufweist, ist damit ein trockenes und rückstandsfreies Trennen hygroskopischer Verbundwerkstoffe möglich.

Befunden / Parametrisierung

Durch eine teilautomatisiert ablaufende messtechnische Eingangsanalyse soll der Reparaturbedarf festgestellt werden. Das Erfassungssystem besteht aus einer optischen 3-D-Vision Kamera der Firma GOM, die nach dem Streifenlichtprojektionsprinzip funktioniert. Die Messgenauigkeit dieses Systems beträgt 25 µm. Das messtechnische System wird eingesetzt, um definierte Schadensfälle zu erkennen, diese anhand bekannter Kriterien zu bewerten und somit eine Vorauswahl möglicher Reparaturszenarien vorzuschlagen. Die endgültige Bewertung und Festlegung der Reparaturstrategie soll durch menschliche Unterstützung erfolgen. Dazu sind geeignete visuelle Schnittstellen zur Kommunikation zu entwickeln.

Die SOLL-Geometriedaten des zu reparierenden Bereichs sollen automatisiert eingelesen und mit den IST-Geometriedaten verglichen werden. Dabei sind unterschiedliche Methoden zum Abgleich der beiden Geometriedatensätze zu erproben. Beispiele sind die Best-Fit Methode oder das Konturmatching. Die relevanten lokalen Abweichungsstellen werden ausgegeben und zum Export bereitgestellt.

Trennen

Das Wasserstrahlschneiden mit oder ohne abrasiven Zusatz wird in den verschiedensten Bereichen der industriellen Fertigung eingesetzt und etabliert sich aufgrund seiner Eigenschaften zunehmend als Ergänzung zu konventionellen Fertigungsverfahren. Es sollen Strahldüsen auf Basis von Strömungssimulationen entwickelt werden. Dazu werden relevante Prozessparameter identifiziert und geeignete Parametereinstellungen, wie Druck, Strahlabstand und -winkel, Massenstrom und Vorschub, zur Lösung der jeweiligen Strahlaufgabe ermittelt. Das Trennen wird mit einer Maximator JET 3-D-Wasserstrahlanlage mit 6.000 bar Wasserdruck unter Zusatz von abrasiven Partikeln durchgeführt.

Generative Reparaturverfahren

Zur Reparatur von verschlissenen oder beschädigten Teilstellen der Bauteile können entsprechend den Anforderungen verschiedene generative Verfahren eingesetzt werden. Bei der Reparatur von dünnwandigen und komplexen Bauteilen kann das Selektive Laser Melting (SLM) verwendet werden. Dieses Verfahren ermöglicht den generativen Aufbau anspruchsvoller Geometrien mit verschiedenen Materialien. Die aktuellen Forschungsarbeiten zum SLM fokussieren auf die Produktivitätssteigerung und auf die Qualifikation neuer Materialien für die verschiedenen MRO Einsatzgebiete.

Ein bereits im industriellen Einsatz befindliches Verfahren ist das Auftragsschweißen. Heutzutage wird das Auftragsschweißen hauptsächlich manuell eingesetzt. Das IPK investiert aktuell in die Erweiterung der Anlagentechnik um dieses Feld in der MRO Reparaturkette weiter zu entwickeln. Ziel ist die Bereitstellung von Anlagentechnik und Technologien für die automatisierte Reparatur mittels Auftragsschweißen.

Mechanische Bearbeitung

Im Bereich mechanischen Bearbeitung wird eine kraftgesteuerte, iterative Bearbeitungsstrategie angestrebt, durch die die geforderten Bauteilqualitäten auch bei vergleichsweise geringer Steifigkeit des Roboters erreicht werden können. Die geringe Steifigkeit und damit verbundene Nachgiebigkeit von Robotern weist gegenüber starren, weggebundenen Maschinen ein geringeres Beschädigungsrisiko der Bauteile auf.

Für die effektive Durchführung der Bearbeitungsaufgaben ist die steuerungstechnische Anpassung der Roboternachgiebigkeit wie effektive Trägheit, Dämpfung und Steifigkeit während des Bearbeitungsprozesses erforderlich. Es werden Methoden zur Planung, Programmierung und Steuerung einer aktiven Roboternachgiebigkeit für Reparaturaufgaben entwickelt. Die Integration in eine Robotersteuerung beinhaltet die Entwicklung von Schnittstellen zu Regelungsalgorithmen, die diese Nachgiebigkeit realisieren.

Die ermittelten prozessbezogenen, technologischen Vorgaben für die Bahnplanung, wie auftretende Prozesskräfte, Vorschübe und Drehzahlen, bilden die Ausgangsbasis für die Planung und Optimierung der Roboterbewegung. Dies beinhaltet folgende Aspekte: Planung der Roboterkonfiguration und Berücksichtigung der Erreichbarkeit; Vermeidung von Kollisionen, Beweglichkeit und Steifigkeit; Generierung von Robotertrajektorien; Untersuchungen zu lokalen Anpassungen des iterativen Bearbeitungsplans im Robotersteuerungssystem; Umsetzung und Erprobung der entwickelten Verfahren.

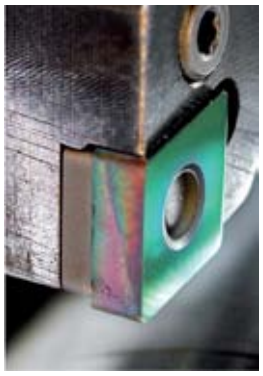
Beim Roboterfräsen haben Werkstoffinhomogenitäten und andere Randbedingungen starken Einfluss auf das Verschleißverhalten des Fräswerkzeugs und die Bearbeitungskräfte. Ein reproduzierbares, zufriedenstellendes Bearbeitungsergebnis ist nur durch stabile Prozessführung zu erreichen. Der damit verbundene Anpassungsbedarf des Bearbeitungsprozesses wird für verschiedene Werkzeuge analysiert.

Bei der Feinbearbeitung soll besonders das Abtrennverhalten in Abhängigkeit von Verweilzeit, Anpresskraft und Schnittgeschwindigkeit untersucht werden. Hierbei soll auch der Verschleiß der Werkzeuge berücksichtigt werden.

Zur Durchführung der beschriebenen Aufgaben stehen zwei Industrieroboter mit einer Positionier- und Wiederholgenauigkeit von 0,5 mm und 0,05 mm zur Verfügung. Wahlweise kann das Bauteil oder die StepTec Frässpindel mit max. 24.000 1/min, 25 kW, 35 Nm, geführt werden. Die Kräfte werden mit einer Schunk 6-D-Kraft-Momenten Sensor am Roboterflansch gemessen.

Dipl.-Ing. Markus Röhner

Innovative Fertigungstechnologien für den MRO-Prozess






Fraunhofer IPK
INSTITUT PRODUKTIONSANLAGEN UND KONSTRUKTIONSTECHNIK

IWF
INSTITUT WERKZEUGMASCHINEN UND FABRIKBETRIEB
TECHNISCHE UNIVERSITÄT BERLIN

MRO in Energie und Verkehr
Struktur

- **Ziele und Struktur des Innovationsclusters**
- **Innovationsfelder**
- **Reparaturbaukasten zur Automatisierung von MRO-Prozessen**

Fraunhofer IPK
INSTITUT PRODUKTIONSANLAGEN UND KONSTRUKTIONSTECHNIK

IWF
INSTITUT WERKZEUGMASCHINEN UND FABRIKBETRIEB
TECHNISCHE UNIVERSITÄT BERLIN

MRO in Energie und Verkehr

Ziele und Struktur

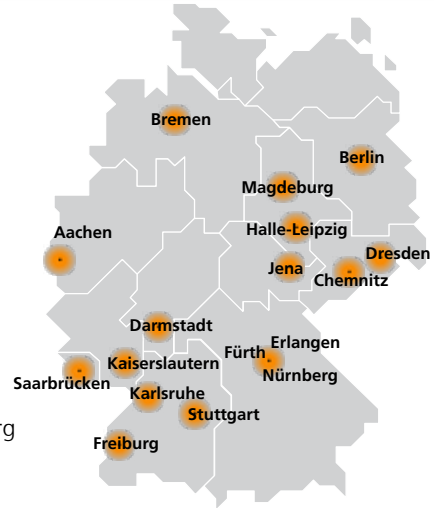
Fraunhofer-Innovationscluster MRO

Fraunhofer IPK
INSTITUT PRODUKTIONSANLAGEN UND KONSTRUKTIONSTECHNIK

IWF
INSTITUT WERKZEUGMASCHINEN UND FABRIKBETRIEB TECHNISCHE UNIVERSITÄT BERLIN

Aktuelle Innovationscluster (Auswahl)

- **»Digitale Produktion«** in Stuttgart
- **»Mechatronischer Maschinenbau«** in Chemnitz
- **»Optische Technologien«, Jena Optical Innovations (JOIN)**
- **»Personal Health«** in der Region Erlangen/Nürnberg/Fürth
- **»Nano for Production«** in Dresden
- **»Automotive Quality Saar«** in Saarbrücken
- **»Digitale Nutzfahrzeugtechnologie«** in Kaiserslautern
- **»Polymertechnologie«** in Halle-Leipzig
- **»Future Security BW S⁴«** in Freiburg
- **»MultiMat«** in Bremen
- **»Virtual Development, Engineering & Training«** in Magdeburg
- **»Integrative Produktionstechnik für energieeffiziente Turbomaschinen - TurPro«** in Aachen
- **»Adaptronik«** in Darmstadt
- **»Hybridleichtbau«** in Karlsruhe
- **»Sichere Identität«** in Berlin



»MRO in Energie und Verkehr«
in Berlin-Brandenburg

Fraunhofer IPK
INSTITUT PRODUKTIONSANLAGEN UND KONSTRUKTIONSTECHNIK

IWF
INSTITUT WERKZEUGMASCHINEN UND FABRIKBETRIEB TECHNISCHE UNIVERSITÄT BERLIN

Maintenance, Repair and Overhaul in Energie und Verkehr

Herausforderungen

- Hohe Anforderung an Verfügbarkeit und Zuverlässigkeit
- Dezentralisierung von Anlagen
- Steigende Funktionsdichte
- Unterschiedliche Lebensdauer einzelner Komponenten
- Zunehmender Mangel an Ressourcen → Laufzeitverlängerung
- Neue Betreibermodelle

Branchen

Verkehr


Nutzfahrzeuge


Schienen-verkehr


Luftfahrt


Triebwerke

Energie


Stationäre Turbinen


Windenergie


Solarenergie

Fraunhofer IPK
INSTITUT PRODUKTIONSANLAGEN UND KONSTRUKTIONSTECHNIK

IWF
INSTITUT WERKZEUGMASCHINEN UND FABRIKBETRIEB TECHNISCHE UNIVERSITÄT BERLIN

Maintenance, Repair and Overhaul in Berlin-Brandenburg



Energiewirtschaft

- Eine der bedeutendsten Berliner Wirtschaftsbranchen
- Größte Gasturbine (340 MW) der Welt in Berlin hergestellt
- 40,5 % aller deutschen Photovoltaik-Module in Berlin-Brandenburg produziert
- 50.000 Beschäftigte in 350 Unternehmen

Luftfahrt

- Exportanteil von 13 % an Brandenburger Gesamtwirtschaft
- Enormes Wachstumspotenzial durch zukünftigen Flughafen BBI
- 16.000 Beschäftigte in 80 Unternehmen

Schienenverkehr

- Führende Bahntechnikregion Europas
- 18.200 Beschäftigte in 115 Unternehmen

Fraunhofer IPK
INSTITUT PRODUKTIONSANLAGEN UND KONSTRUKTIONSTECHNIK

IWF
INSTITUT WERKZEUGMASCHINEN UND FABRIKBETRIEB TECHNISCHE UNIVERSITÄT BERLIN

Ziele des Innovationsclusters MRO

Ziel ist es, ressourcenschonende und energieeffiziente MRO-Prozesse und -Technologien zu erarbeiten und nachhaltig in der Hauptstadtregion zu etablieren.



- **Verfügbarkeit und Zuverlässigkeit** von Energieanlagen, Verkehrssystemen sowie Netzen
- **Wirtschaftlicher Betrieb** von Energieanlagen und Verkehrssystemen
- **Gewährleistung der Sicherheit**
- **Branchenübergreifender Erfahrungsaustausch** über MRO-Anforderungen und -Lösungen durch synergetische Nutzung von Querschnittsthemen

Fraunhofer IPK
INSTITUT PRODUKTIONSANLAGEN UND KONSTRUKTIONSTECHNIK

IWF
INSTITUT WERKZEUGMASCHINEN UND FABRIKBETRIEB TECHNISCHE UNIVERSITÄT BERLIN

Initialpartner des Innovationsclusters MRO

Forschungspartner

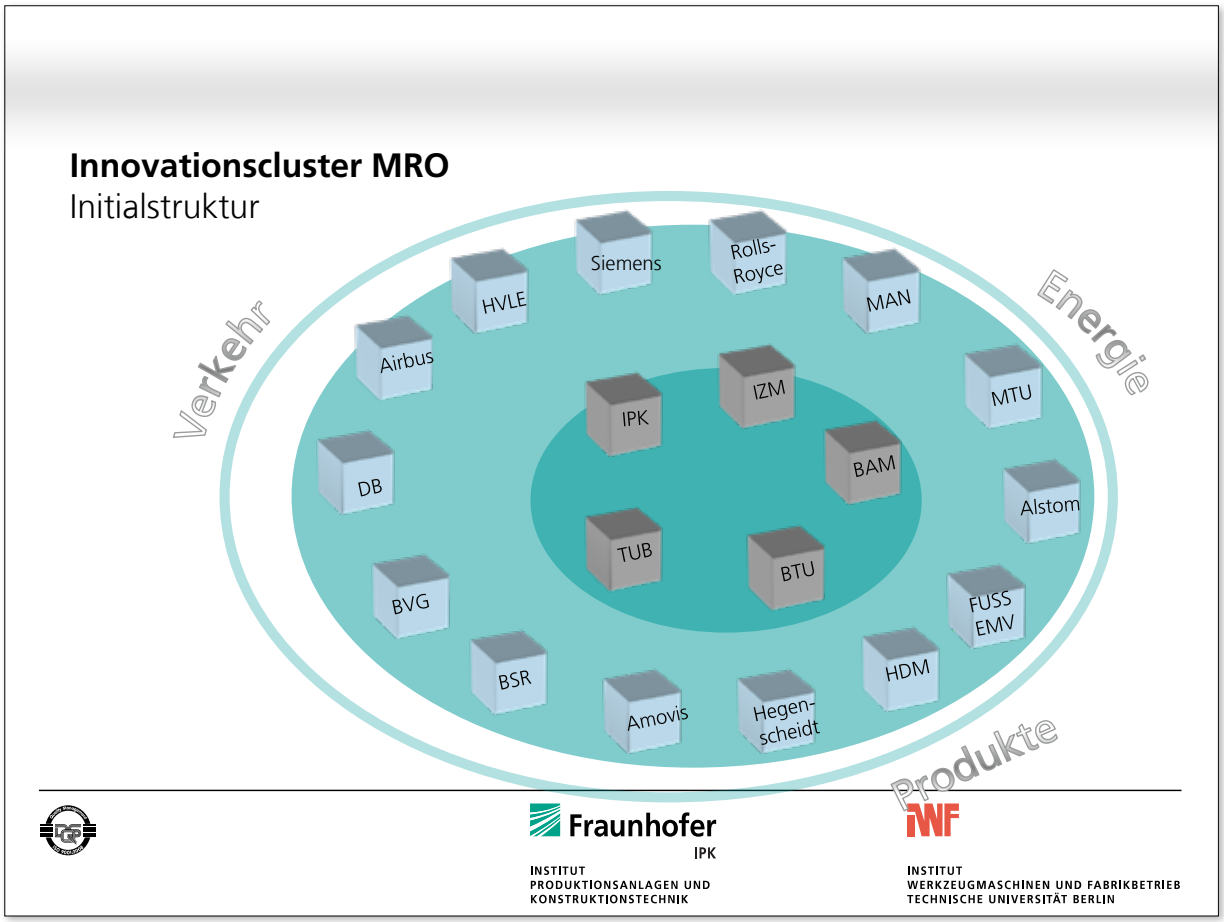
- **Fraunhofer-Gesellschaft**
  - Institut für Produktionsanlagen und Konstruktionstechnik IPK
  - Institut für Zuverlässigkeit und Mikrointegration IZM
- **Technische Universität Berlin**
  - Institut für Werkzeugmaschinen und Fabrikbetrieb IWF
  - Institut für Land- und Seeverkehr ILS
  - Institut für Luft- und Raumfahrt ILR
- **Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung BAM**
- **Brandenburgische Technische Universität Cottbus BTU**

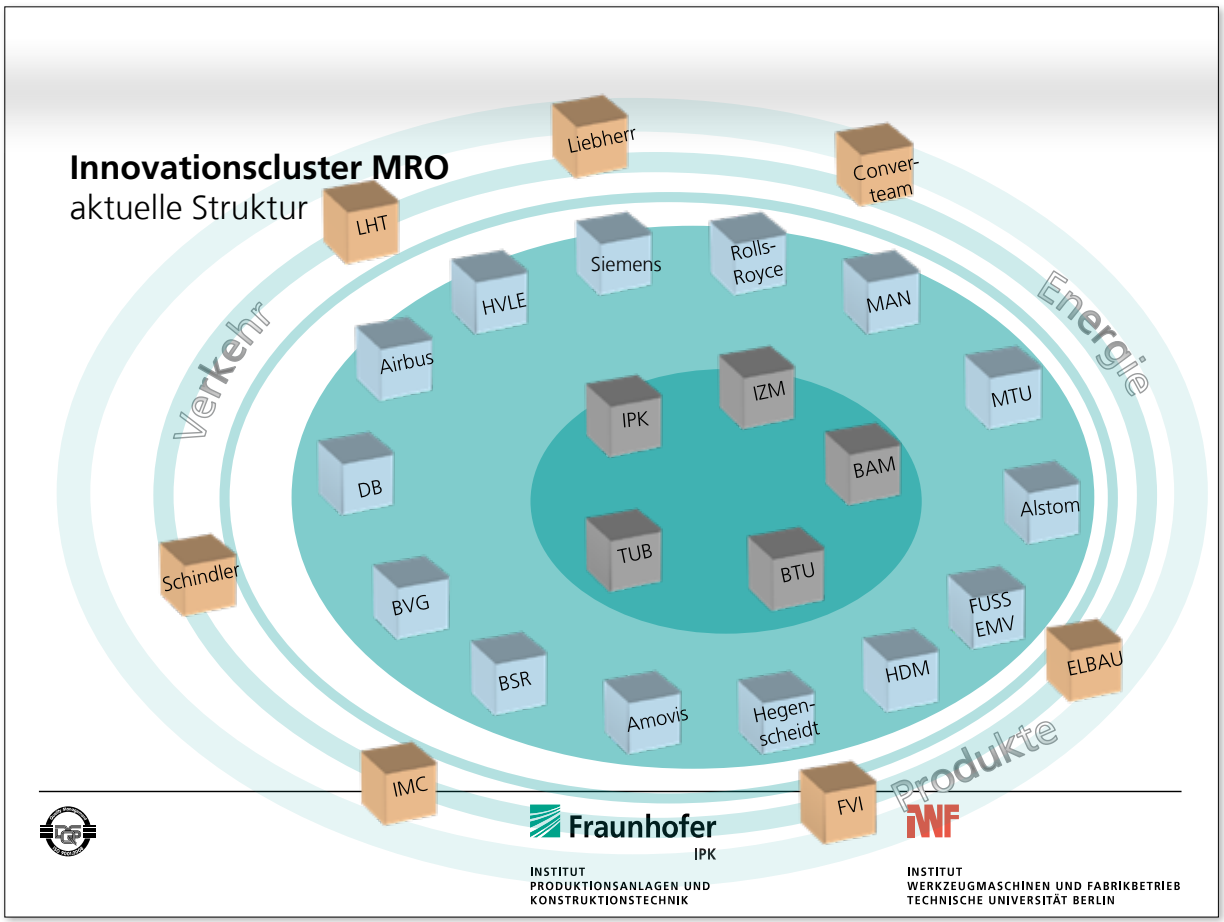
Industriepartner



Fraunhofer IPK
INSTITUT PRODUKTIONSANLAGEN UND KONSTRUKTIONSTECHNIK

IWF
INSTITUT WERKZEUGMASCHINEN UND FABRIKBETRIEB TECHNISCHE UNIVERSITÄT BERLIN


Innovationscluster MRO
Initialstruktur
Verkehr
Energie
Produkte
Siemens
Rolls-Royce
HVLE
MAN
Airbus
IZM
MTU
IPK
DB
BAM
Alstom
TUB
BTU
BVG
FUSS EMV
BSR
HDM
Amovis
Hegen-scheidt
Fraunhofer IPK
INSTITUT PRODUKTIONSANLAGEN UND KONSTRUKTIONSTECHNIK
iWF
INSTITUT WERKZEUGMASCHINEN UND FABRIKBETRIEB TECHNISCHE UNIVERSITÄT BERLIN


Innovationscluster MRO
aktuelle Struktur
Liebherr
Conver-team
LHT
Verkehr
Energie
Produkte
Siemens
Rolls-Royce
HVLE
MAN
Airbus
IZM
MTU
IPK
DB
BAM
Alstom
TUB
Schindler
BTU
BVG
FUSS EMV
ELBAU
BSR
HDM
Amovis
Hegen-scheidt
IMC
FVI
Fraunhofer IPK
INSTITUT PRODUKTIONSANLAGEN UND KONSTRUKTIONSTECHNIK
iWF
INSTITUT WERKZEUGMASCHINEN UND FABRIKBETRIEB TECHNISCHE UNIVERSITÄT BERLIN

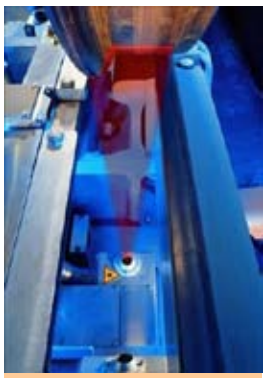
Innovationsfelder

Fraunhofer-Innovationscluster MRO

Fraunhofer IPK
INSTITUT PRODUKTIONSANLAGEN UND KONSTRUKTIONSTECHNIK

IWF
INSTITUT WERKZEUGMASCHINEN UND FABRIKBETRIEB TECHNISCHE UNIVERSITÄT BERLIN

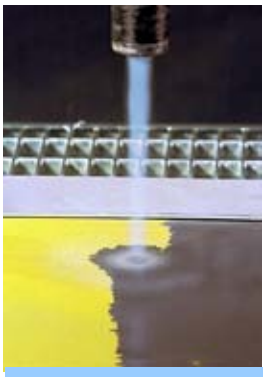
MRO-Innovationsfelder



Zustandserfassung und -diagnose



MRO-Planung und digitale Unterstützung



Reinigung

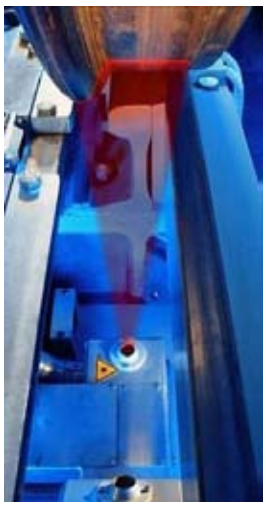


Reparatur-technologien

Fraunhofer IPK
INSTITUT PRODUKTIONSANLAGEN UND KONSTRUKTIONSTECHNIK

IWF
INSTITUT WERKZEUGMASCHINEN UND FABRIKBETRIEB TECHNISCHE UNIVERSITÄT BERLIN

Innovationsfeld Zustandserfassung und -diagnose



Herausforderungen

- Vermeidung unbeabsichtigter Stillstände
- Informationsgewinnung für Predictive Maintenance
- Nutzung vorhandener Daten oder zusätzlicher Sensorik
- Autonome Systeme zur Vor-Ort Überwachung

Projekte

- Intelligentes Condition Monitoring
- Condition Monitoring für Leistungselektronik in der Fotovoltaik
- Multisensorielle Radlaufflächenprüfung

Anwendungsbereiche

- Performance Monitoring
- Verschleißüberwachung

Fraunhofer IPK
INSTITUT PRODUKTIONSANLAGEN UND KONSTRUKTIONSTECHNIK

IWF
INSTITUT WERKZEUGMASCHINEN UND FABRIKBETRIEB TECHNISCHE UNIVERSITÄT BERLIN

Innovationsfeld MRO-Planung und digitale Unterstützung



Herausforderungen

- MRO-gerechte Produktentwicklung und Prozessplanung
- MRO-gerechtes Fabrik- und Netzwerkdesign
- Reverse Engineering von Bauteilen
- Globale MRO-Bestandssteuerung und Produktionsstrukturen

Ansätze

- Reverse Engineering für MRO
- Produktdigitalisierung zur Instandhaltungsplanung
- Adaptive MRO-Prozessplanung

Anwendungsbereiche

- Planung und Optimierung von MRO-Abläufen
- Reverse Engineering von Turbinen
- MRO-gerechte Prozess- und Fabrikplanung

Fraunhofer IPK
INSTITUT PRODUKTIONSANLAGEN UND KONSTRUKTIONSTECHNIK

IWF
INSTITUT WERKZEUGMASCHINEN UND FABRIKBETRIEB TECHNISCHE UNIVERSITÄT BERLIN

Innovationsfeld Reinigung



Herausforderungen

- Trockene und Rückstandsfreie Reinigungsverfahren gefordert
- Keine Anlagentechnik zur Reinigung kleiner Kavitäten vorhanden
- Trockeneishärte schränkt Anwendungsgebiete ein

Ansätze

- CO_2-Strahlen erfüllt die Anforderungen
- Entwicklung miniaturisierter Anlagentechnik zur Reinigung ohne Demontage mittels CO_2-Strahlen
- Herstellung eines bedarfsgerechten CO_2-Strahlmittels
- Qualifizierung des Hochdruck-CO_2-Schneestrahlens

Anwendungsbereiche

- Rohr-Innenreinigung in Verkehrsmitteln
- Schnelleres, wirtschaftlicheres Entschichten und Reinigen
- Trockenes Trennen hygroskopischer Verbundwerkstoffe

Fraunhofer IPK
INSTITUT PRODUKTIONSANLAGEN UND KONSTRUKTIONSTECHNIK
IWF
INSTITUT WERKZEUGMASCHINEN UND FABRIKBETRIEB TECHNISCHE UNIVERSITÄT BERLIN

Innovationsfeld Reparaturtechnologien



Herausforderungen

- Einsatzabhängige Ausgangsbedingungen und schnelle Reaktionszeiten bei Losgröße 1
- Fehlende Flexibilität der MRO-Prozesse und -Technologien
- Bisher hauptsächlich manuelle Tätigkeiten
- Hohe Prozesssicherheit einzelner Reparaturschritte gefordert

Ansätze

- Automatisierung der MRO-Prozesskette durch optische Erfassung und kraftgesteuerte Prozessschritte
- Flexibler und effizienter Einsatz von MRO-Betriebsmitteln

Anwendungsbereiche

- Automatisierung von MRO-Prozessketten
- Neuartige Technologien für MRO-Prozesse

Fraunhofer IPK
INSTITUT PRODUKTIONSANLAGEN UND KONSTRUKTIONSTECHNIK
IWF
INSTITUT WERKZEUGMASCHINEN UND FABRIKBETRIEB TECHNISCHE UNIVERSITÄT BERLIN

MRO in Energie und Verkehr

Automatisierung von MRO-Arbeiten

Fraunhofer-Innovationscluster MRO

Fraunhofer IPK
INSTITUT PRODUKTIONSANLAGEN UND KONSTRUKTIONSTECHNIK

IWF
INSTITUT WERKZEUGMASCHINEN UND FABRIKBETRIEB TECHNISCHE UNIVERSITÄT BERLIN

Automatisierung von MRO-Prozessen

Herausforderung

- Einsatzabhängige Ausgangsbedingungen und schnelle Reaktionszeiten bei Losgröße 1
- Geringe Prozesssicherheit einzelner Reparaturschritte

Ansatz

- Bereitstellung eines Technologiebaukastens für die gesamte Reparaturprozesskette
- Robotergeführte Bearbeitung mit der Funktionalität von Werkzeugmaschinen und iterativer Bearbeitung bis zur geforderten Genauigkeit

Reparaturprozesskette



Entschichten Reinigen | Befunden Parameterisieren | Trennen | Reparatur-schweißen | Fräsen | Schleifen Polieren | Verfestigen

Fraunhofer IPK
INSTITUT PRODUKTIONSANLAGEN UND KONSTRUKTIONSTECHNIK

IWF
INSTITUT WERKZEUGMASCHINEN UND FABRIKBETRIEB TECHNISCHE UNIVERSITÄT BERLIN

Reinigen / Entschichten



Inhalte

- Auswahl von anwendungsgerechten Reinigungsverfahren
- Entwicklung von bauteilgerechter Anlagentechnik
- Untersuchungen zur Eignung der Verfahren
- Kinematikstudien für den Verfahrensablauf
- Simulation des Prozesses
- Erstellung einer Reinigungsaufgabe-Verfahren-Datenbank

Anlagentechnik

- Druckstrahlanlagen für Wasser, CO_2 und andere Strahlmittel
- 6-Achs-*KUKA* Roboter zur automatisierten Bearbeitung
- Schallschutzkabine mit Absaugung
- Strahldruck bis 15 bar realisierbar

Fraunhofer IPK
INSTITUT PRODUKTIONSANLAGEN UND KONSTRUKTIONSTECHNIK

IWF
INSTITUT WERKZEUGMASCHINEN UND FABRIKBETRIEB TECHNISCHE UNIVERSITÄT BERLIN

Befundung und Ableitung der Prozesskette



Inhalte

- Ermittlung und Digitalisierung der IST-Geometrie auch bei stark reflektierenden Bauteilen
- SOLL-IST Vergleich
- Generierung der Prozesskette
- NC-Bahngenerierung für den Roboter
- Anpassung der Bearbeitungsparameter basierend auf den Schnittbedingungen

Anlagentechnik

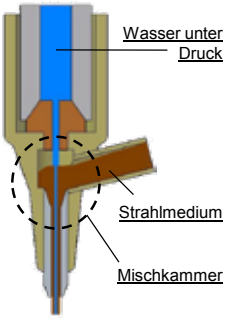
- *GOM* Streifenlicht 3D-Vision System
  - Messgenauigkeit 0,025mm
- CAM Software (*Easyrob, SIM-Station, Mastercam*)

Fraunhofer IPK
INSTITUT PRODUKTIONSANLAGEN UND KONSTRUKTIONSTECHNIK

IWF
INSTITUT WERKZEUGMASCHINEN UND FABRIKBETRIEB TECHNISCHE UNIVERSITÄT BERLIN

Trennen





Inhalte

- Druckluft-/Schlammstrahlen
- Nass-/Suspensions-/Unterwasserstrahlen
- Simulation des Strahls bzw. Strahlprozesses
- Düsenentwicklung

Anlagentechnik

- *Maximator JET* 3D-Wasserstrahlanlage
  - 6-Achs-Stäubli Roboter
  - 6.000 bar Wasserdruck
  - 2,5 l/min Wassermassenstrom
  - max. 500 g/min Abrasivmassenstrom

Fraunhofer IPK
INSTITUT PRODUKTIONSANLAGEN UND KONSTRUKTIONSTECHNIK

IWF
INSTITUT WERKZEUGMASCHINEN UND FABRIKBETRIEB TECHNISCHE UNIVERSITÄT BERLIN

Laser-Pulver-Auftragschweißen





Inhalte

- Aufschweißen eines Zusatzwerkstoffes mittels Laserstrahlung
- Verfahrensmerkmale:
  - Minimale Wärmebelastung, kleine Wärmeeinflusszone
  - Sehr geringe Verzuge, gute Maßhaltigkeit
  - Geringe Nacharbeit durch endformnahen Auftrag
  - Extrem dünne Schichten möglich (0,2 bis 0,5 mm)

→ Sehr gute Eignung für aktuelle technische Herausforderungen

Anlagentechnik

- Laser-Pulver-Auftragschweissanlage ist in der Beschaffung

Fraunhofer IPK
INSTITUT PRODUKTIONSANLAGEN UND KONSTRUKTIONSTECHNIK

IWF
INSTITUT WERKZEUGMASCHINEN UND FABRIKBETRIEB TECHNISCHE UNIVERSITÄT BERLIN

Roboterfräsen



Inhalte

- Planung der Roboterkonfiguration unter Berücksichtigung der Erreichbarkeit, Beweglichkeit und Steifheit
- Generierung von Robotertrajektorien
- Lokale Anpassung des iterativen Bearbeitungsplans
- Erprobung der entwickelten Verfahren

Anlagentechnik

- *Comau NH3-220* Roboter
  - Positioniergenauigkeit ~ 0,5 mm
  - Wiederholgenauigkeit ~ 0,05 mm
- *StepTec* Frässpindel, max. 24.000 1/min, 25 kW, 35 Nm
- *Schunk* 6D-Kraft-Momenten Sensor am Roboterflansch

Fraunhofer IPK
INSTITUT PRODUKTIONSANLAGEN UND KONSTRUKTIONSTECHNIK

IWF
INSTITUT WERKZEUGMASCHINEN UND FABRIKBETRIEB TECHNISCHE UNIVERSITÄT BERLIN

Roboterbasierte Feinbearbeitung





Inhalte

- Realisierung einer kraftgesteuerten Bearbeitung zur Erzielung hoher Genauigkeiten
- Berücksichtigung bzw. Kompensation des Werkzeugverschleißes
- Programmierung von konstanter Verweildauer an allen Bearbeitungspunkten zur Erzielung gleichmäßiger Abtrennraten

Anlagentechnik

- *Comau NH3-330* Roboter
  - Positioniergenauigkeit ~ 0,5 mm
  - Wiederholgenauigkeit ~ 0,05 mm
- *StepTec* Frässpindel, max. 24.000 1/min, 25 kW, 35 Nm
- *Schunk* 6D-Kraft-Momenten Sensor am Roboterflansch

Fraunhofer IPK
INSTITUT PRODUKTIONSANLAGEN UND KONSTRUKTIONSTECHNIK

IWF
INSTITUT WERKZEUGMASCHINEN UND FABRIKBETRIEB TECHNISCHE UNIVERSITÄT BERLIN

Zusammenfassung



- Komplete Prozesskette wird erschlossen
- Prozesssicherheit wird erhöht
- Dokumentation wird vereinfacht
- Reduzierung des Beschädigungsrisikos durch Kraftsteuerung
- Flexible Anpassung auf unterschiedliche Bauteile

Fraunhofer IPK
INSTITUT PRODUKTIONSANLAGEN UND KONSTRUKTIONSTECHNIK

iwf
INSTITUT WERKZEUGMASCHINEN UND FABRIKBETRIEB TECHNISCHE UNIVERSITÄT BERLIN

Kontakt



Geschäftsstelle MRO

Produktionsanlagen und Konstruktionstechnik IPK
Pascalstraße 8-9
10587 Berlin

Institutsleitung
Prof. Dr. h. c. Dr.-Ing. Eckart Uhlmann
Telefon: +49 (0) 30/ 3 90 06-1 00
eckart.uhlmann@ipk.fraunhofer.de

Leiter der Geschäftsstelle
Dipl.-Ing. Markus Röhner
Telefon: +49 (0) 30/ 3 90 06-2 79
Telefax: +49 (0) 30/ 3 91 10-37
markus.roehner@ipk.fraunhofer.de

Fraunhofer IPK
INSTITUT PRODUKTIONSANLAGEN UND KONSTRUKTIONSTECHNIK

iwf
INSTITUT WERKZEUGMASCHINEN UND FABRIKBETRIEB TECHNISCHE UNIVERSITÄT BERLIN

Prof. Gerd Witt, Dr. Jan T. Sehrt, Andreas Wegner
Lehrstuhl für Fertigungstechnik, Universität Duisburg-Essen

Rapid Technologien – auf dem Weg zur Serienfertigung?

Abstract | Der Markt für Rapid Technologien ist in den letzten Jahren aufgrund der zahlreichen Vorteile deutlich gewachsen. Neben der Einführung neuer Technologien haben bereits etablierte Verfahren einen höheren Reifegrad erreicht. Das Potential zur Kleinserienproduktion hochkomplexer Bauteile mit generativen Fertigungsverfahren stößt auf steigendes Interesse in den unterschiedlichsten Industriebranchen. Dennoch gibt es bislang nur wenige erfolgreiche Anwendungen des Rapid Manufacturing. Dies liegt neben den teilweise übertriebenen Erwartungen an die relativ junge Technologie vor allem aber an ihrer Herkunft aus dem Prototypenbau. Bei diesem können viele Einschränkungen bei der Bauteilqualität und der Prozessrobustheit hingenommen werden, wenn das Ziel nur Modelle oder Prototypen sind und keine Serienbauteile im Endeinsatz. Von den insgesamt zehn verschiedenen Verfahrensvarianten wurden zwei, das Laser-Sintern und das Strahlschmelzen, seitens Industrie und Forschung als mögliche Rapid Manufacturing Verfahren identifiziert. Diese bieten das größte Potential die Anforderungen an die Herstellung von Endprodukten in naher Zukunft zu erfüllen. Jedoch gilt es auch hier noch einige Hürden beispielsweise bezüglich der Verbesserung der Bauteilqualität und der Prozesssicherheit zu überwinden. Im Folgenden soll der aktuelle Stand der Technologien beleuchtet, Handlungsfelder aufgezeigt und der Beitrag des Lehrstuhles für Fertigungstechnik zum Rapid Manufacturing dargestellt werden. In langjähriger Forschungsarbeit wurden am Lehrstuhl seit 1998 verschiedene Themen mit Fokus auf Fortschritte auf dem Weg zum Rapid Manufacturing bearbeitet. Dazu zählen Themen im Bereich der RM-gerechten Bauteilgestaltung und Prozessvorbereitung, dem Prozessverständnis und der Prozessoptimierung, der Optimierung der Bauteilqualität sowie neuer Applikationen. Darüber hinaus entstand unter Leitung von Professor Witt die erste Richtlinie weltweit für generative Fertigungsverfahren, die VDI 3404, welche aktuell in eine EN-ISO-Norm überführt wird.

Keywords | *Rapid Technologien, Rapid Manufacturing, Laser-Sintern, Strahlschmelzen, Applikation*

Rapid Technologien – auf dem Weg zur Serienfertigung?

Prof. Dr.-Ing. habil. Gerd Witt
Dr.-Ing. Jan T. Sehrt
Dipl.-Ing. Andreas Wegner

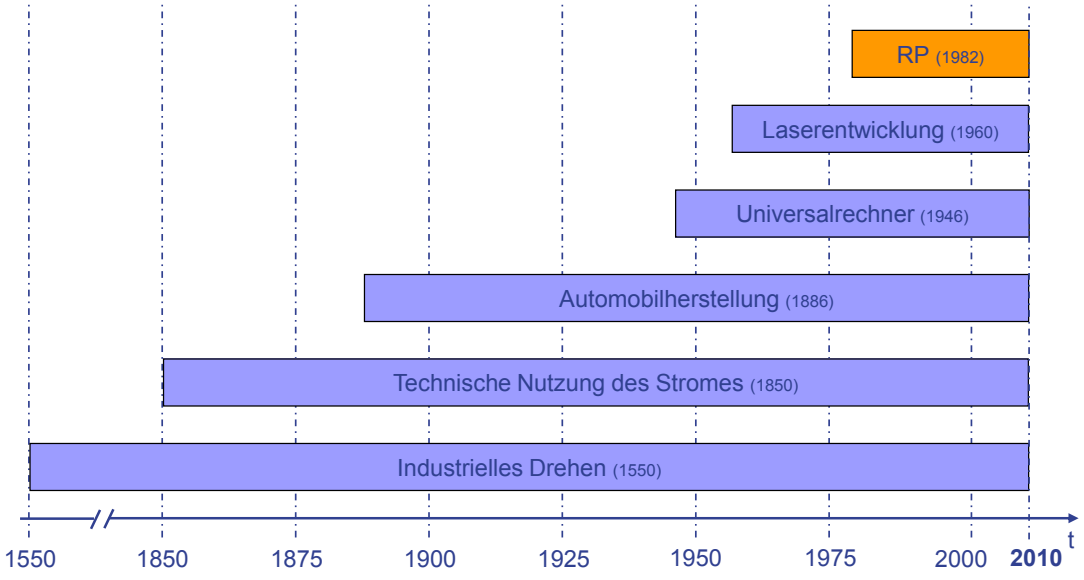
Fertigungstechnik
Universität Duisburg-Essen

Gliederung

- Einleitung
- Grundprinzipien der Rapid Technologien
- Heutiger Stand
- Zukünftige Anforderungen - Handlungsfelder
- Forschungsaktivitäten am RTC Duisburg in Kooperation mit der Wirtschaft und Wissenschaft
- Zusammenfassung

Einleitung

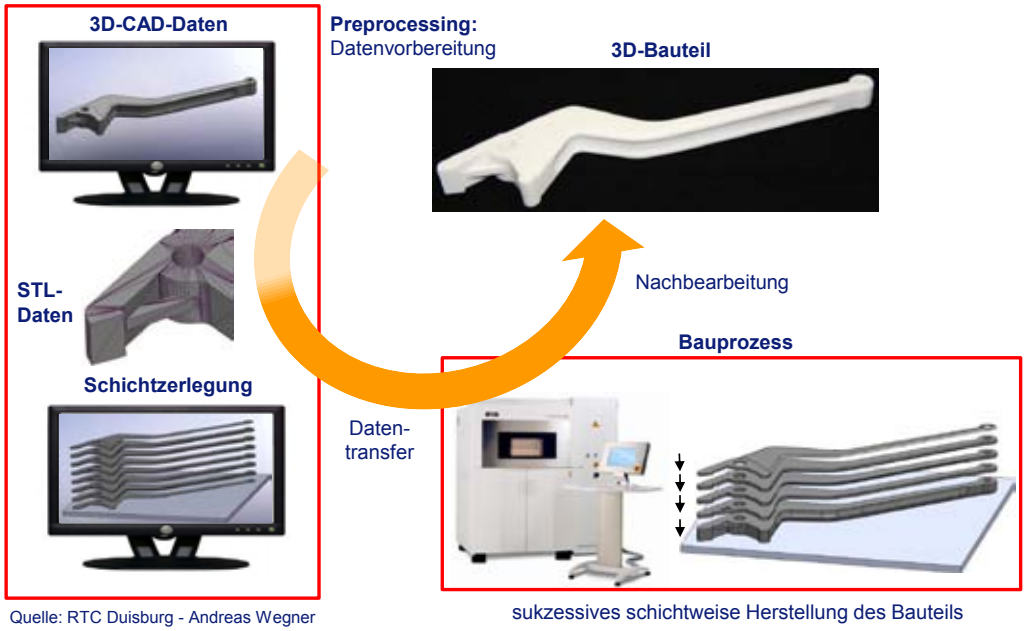
Historische Entwicklung



3 >>>>

Einleitung

Prinzipieller Verfahrensablauf



Quelle: RTC Duisburg - Andreas Wegner

4 >>>>

Grundprinzipien der Rapid Technologien

Laser-Sintern

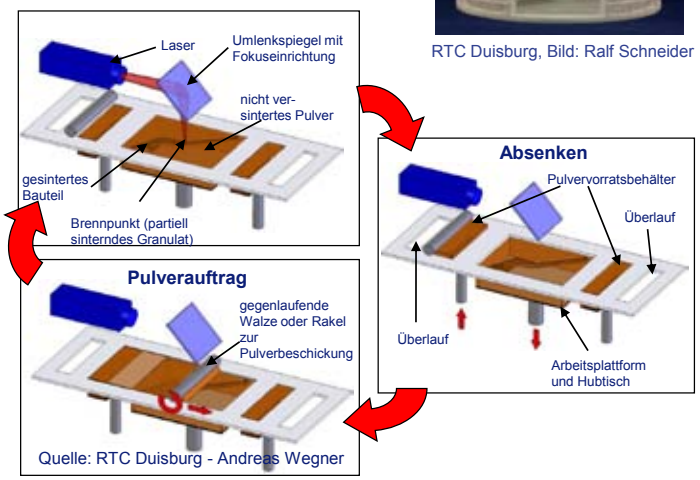
- Direkte Herstellung von Kunststoffbauteilen aus pulverförmigem Ausgangsmaterial
- Herstellerneutrale Bezeichnung nach VDI 3404 „Laser-Sintern“ (12/2009)
- Eines der ersten generativen Verfahren
- Erste Serienanwendungen



RTC Duisburg, Bild: Ralf Schneider



RTC Duisburg, Bild: Ralf Schneider



Quelle: RTC Duisburg - Andreas Wegner

5 >>>>

Grundprinzipien der Rapid Technologien

Strahlschmelzen

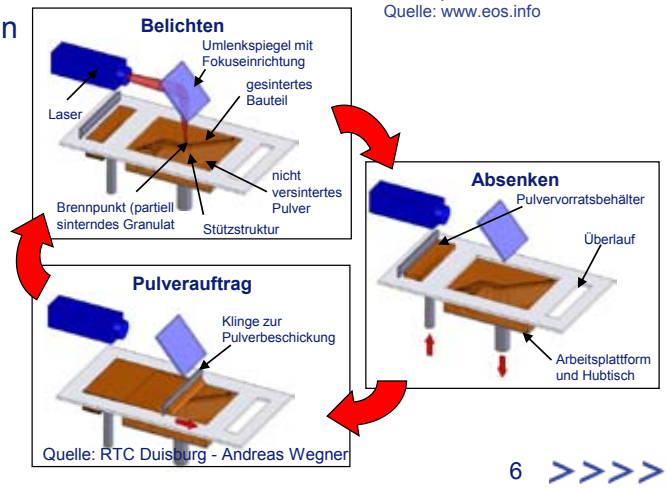
- Direkte Herstellung von metallischen Bauteilen aus pulverförmigem Ausgangsmaterial
- Herstellerneutrale Bezeichnung nach VDI 3404 „Strahlschmelzen“ (12/2009)
- Junge Technologie - seit 1999 ein-komponentige Standardmaterialien
- Bisherige typische Anwendungen beschränken sich heute auf Nischenmärkte



Knieimplantat
Quelle: www.eos.info



RTC Duisburg, Bild: Ralf Schneider

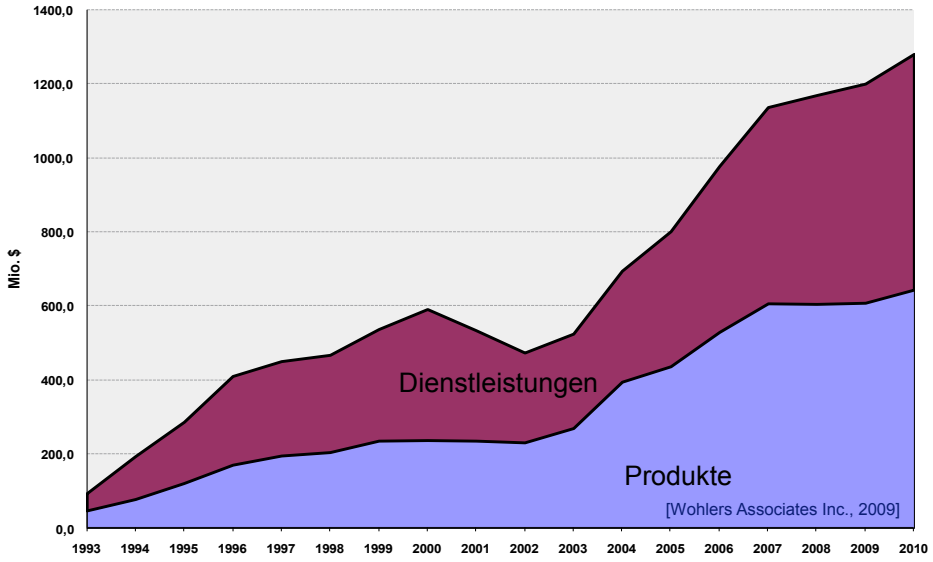


Quelle: RTC Duisburg - Andreas Wegner

6 >>>>

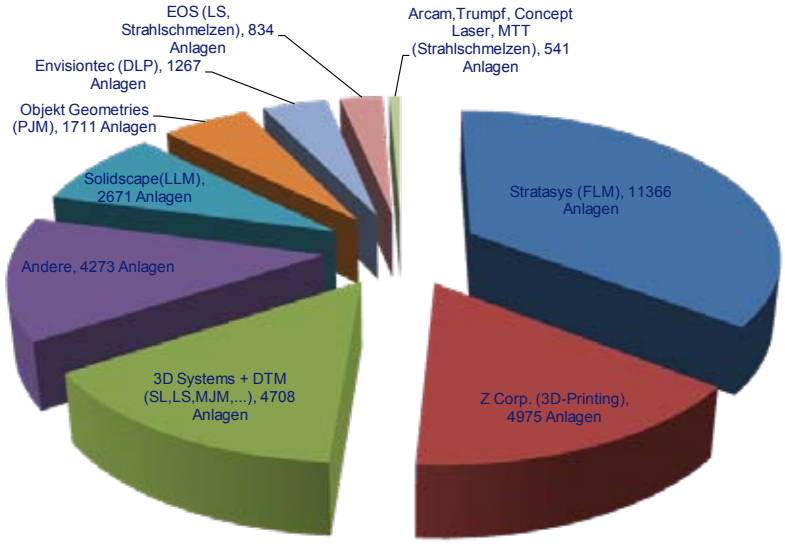
Heutiger Stand

Industrielles Wachstum: Weltweiter Jahresumsatz für RP-Produkte und RP-Dienstleistungen



Heutiger Stand

Weltweiter Verkauf von RP-Systemen



[Wohlers Associates Inc., 2009]

- ⇨ Es gibt ca. 29 Systemhersteller
- ⇨ Ca. 5060 Maschinen wurden im Jahr 2008 verkauft
- ⇨ Es sind ca. 32014 Anlagen im Einsatz

Heutiger Stand

Generative Fertigungsverfahren – Bedeutung für die Zukunft

Rahmenbedingungen:
- Stärkere Konkurrenz und größerer Wettbewerbsdruck durch die Globalisierung
- Kürzere Produktlebenszyklen → kürzere Produktentwicklungszeiten
- Individualisierte Produkte → Kleinserien bis zur Stückzahl 1
- Ressourcenverknappung

Herausforderungen für die Produktion der Zukunft:
- Herstellung individueller Produkte in kleinen Stückzahlen
- Geringerer Ressourcenverbrauch
- Innovative Produktionsverfahren mit kurzen Prozessketten

Eine Möglichkeit hierzu bilden die generativen Fertigungsverfahren durch eine materialsparende und kundenindividuelle Produktion

Abele, E.: Herausforderungen für die Produktion(sforschung) 2020

Heutiger Stand

Deutsche Gremien

- Rapid Manufacturing Plattform Deutschland (http://www.rm-plattform.de)
  - Entwicklung und Anwendung generativer Fertigungstechnologien durch den strategischen Zusammenschluss von Anwendern, Anlagenherstellern, Forschungs- und Ausbildungsinstitutionen
  - Untergliederung in drei Arbeitskreise:
    1. Technologie: Weiterentwicklung der generativen Fertigungstechnologien
    2. Bildung: Aus- und Weiterbildung im Bereich der generativen Fertigungstechnologien
    3. Standards: Normung und Standardisierung der generativen Fertigungstechnologie (VDI Fachausschuss)
- Gemeinsame Forschungs- und Technologieplattform von DVS und VDI
- Mitteldeutsches Netzwerk Rapid Prototyping – enficos
- Fraunhofer-Allianz Generative Fertigung

Heutiger Stand

Formen- und Werkzeugbau

- Fertigung von Werkzeugen und Werkzeugeinsätzen durch Strahlschmelzen
- Geometriefreiheit v. a. für die Gestaltung komplexer Kühlkanäle und -strukturen
- Deutlich kürzere Kühlzeiten (z. B. Spritzguss) durch optimierte Werkzeugauslegung
- Verringerung des Verzugs durch homogene Temperaturverteilung

Beispiel: Strahlgeschmolzener Kühlkerneinsatz für eine 2K-Spritzgussform



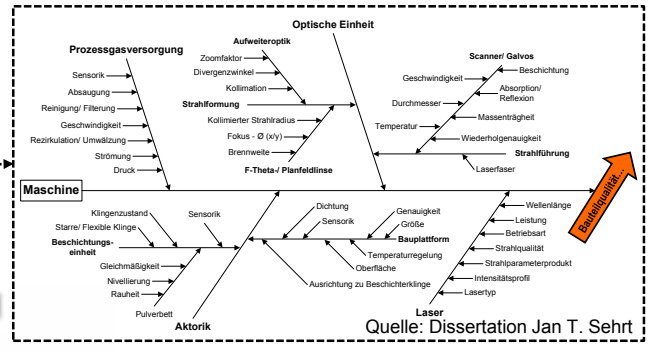
Quelle: *LBC LaserBearbeitungsCenter GmbH, Rapid.Tech 2008*

11 >>>>

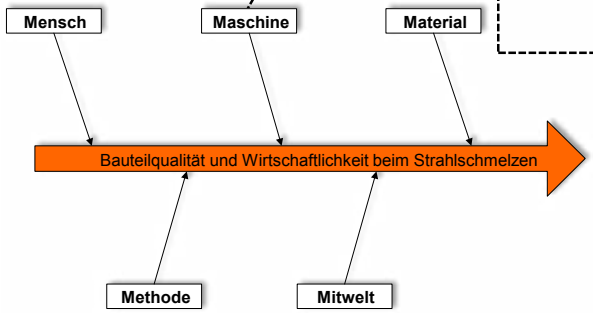
Zukünftige Anforderungen

Herausforderungen und Handlungsfelder beim RM

- Beherrschung der Vielzahl an Einflussgrößen -> QS
- Zunehmende Automatisierung
- Reproduzierbarkeit
- Standardisierung
- Wirtschaftlichkeit



Quelle: Dissertation Jan T. Sehrt

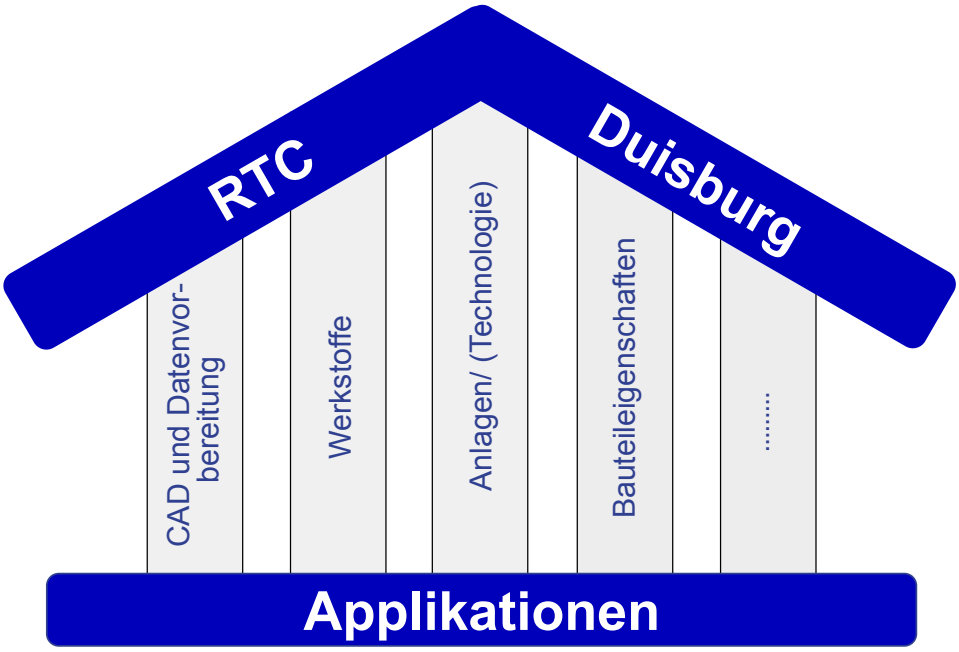


- Erweiterung der Materialvielfalt
- Erhöhung Bekanntheitsgrad (Lehre)
- Verbesserung der Oberfläche
- Rapid Manufacturing Anwendungen
- Konstruktionsrichtlinien
- …

12 >>>>

Forschungsaktivitäten am RTC Duisburg

Forschungsbereiche



13 >>>>

Forschungsaktivitäten am RTC Duisburg

Ausstattung RTC Duisburg

Formiga P 100 bestellt!



14 >>>>

Forschungsaktivitäten am RTC Duisburg

RM-gerechtes Gestalten

Filmscharniere
Auslegung in Analogie zum Spritzguss auf Basis der Bruchdehnung



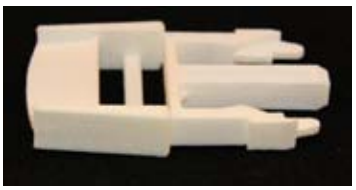
Stangenscharniere
Austellen von Konstruktionsregeln



Federn
Kennlinien lasergesinterter Federn



Schnappverbindungen
Belastungsgerechte Auslegung

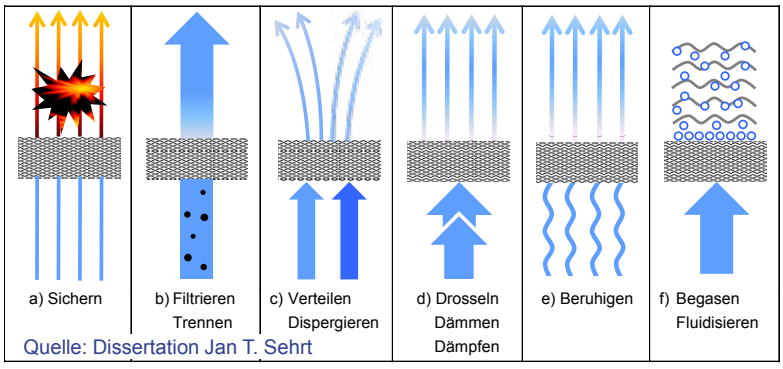


15 >>>>

Forschungsaktivitäten am RTC Duisburg

Funktionsintegration: Definiert poröse Strukturen - Filter

Hauptfunktionen von Filterelementen



Quelle: Dissertation Jan T. Sehrt





Vorteile strahlgeschmolzener metallischer Filter

- große Vielfalt und gute Einstellmöglichkeit von Porosität und Durchströmbarkeit
- hohe Festigkeit in Verbindung mit Duktilität
- Unempfindlichkeit gegen schlagende Beanspruchung
- hohe Temperaturbeständigkeit und Wärmeleitfähigkeit
- gute Korrosionsbeständigkeit

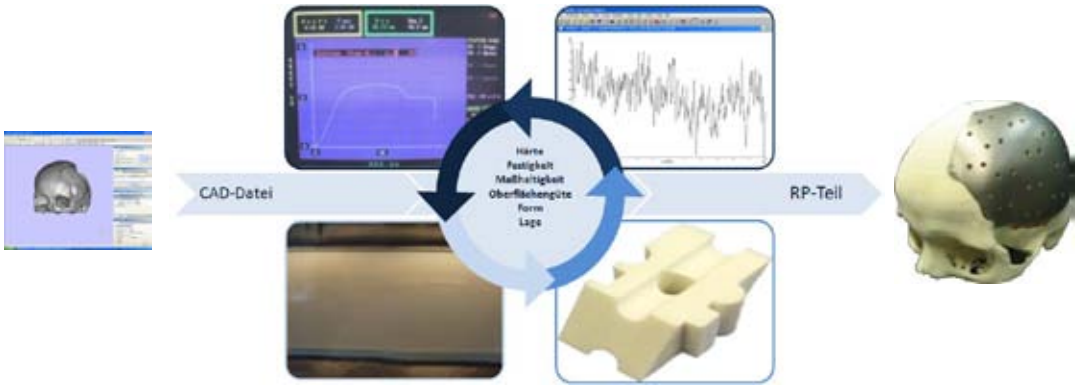
16 >>>>

Forschungsaktivitäten am RTC Duisburg

Prozessverständnis beim Laser-Sintern und Strahlschmelzen

- Kenntnisse über die Zusammenhänge zwischen Prozessparametern und Bauteileigenschaften
- Verständnis für Bauteilfehler und Prozessabbrüche
- Auffinden der Haupteinflussgrößen
- Wissen über Bauteilorientierung und Stützkonstruktionen

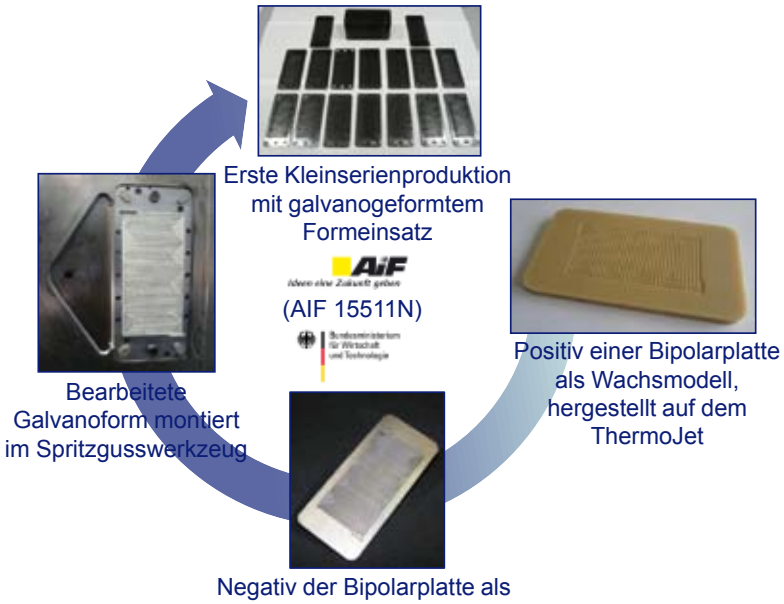
→ Optimierung der Prozessführung und der Bauteilqualität
→ Grundlage für Simulation und Prognose



17 >>>>

Forschungsaktivitäten am RTC Duisburg

Galvanogeformte Spritzgusswerkzeuge

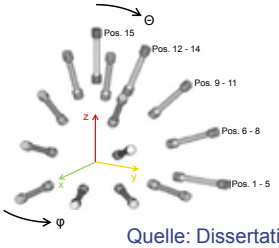


18 >>>>

Forschungsaktivitäten am RTC Duisburg

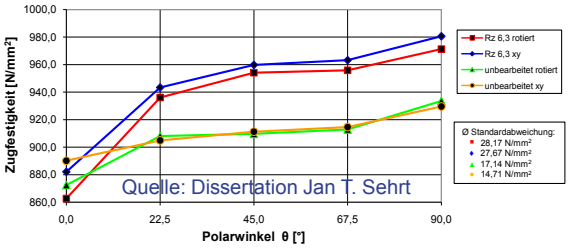
Mechanische Eigenschaften beim Strahlschmelzen (Werkstoffprüfung)

Statische Festigkeitsuntersuchungen ⇒ Anisotropie





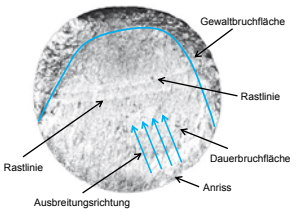
Quelle: Dissertation Jan T. Sehrt



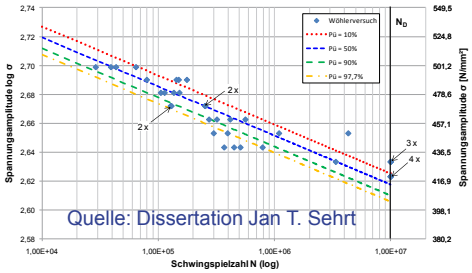
Quelle: Dissertation Jan T. Sehrt

Dynamische Festigkeitsuntersuchungen ⇒ Biegewechselfestigkeit





Quelle: Dissertation Jan T. Sehrt

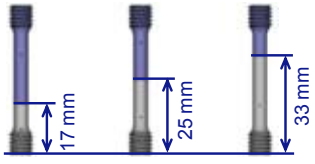


Quelle: Dissertation Jan T. Sehrt

Forschungsaktivitäten am RTC Duisburg

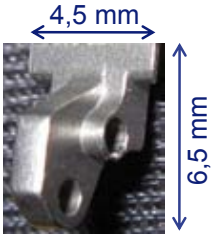
Maulteile von chirurgischen Handinstrumenten (hybrider Aufbau)

Nach den Festigkeitsuntersuchungen der Anbindungsstelle hybrider Zugproben erfolgt der hybride Aufbau auf den zerspanten Rohlingen



Aufbau aus PH 1
Rohling aus Custom 455

Hybride Zugproben



Zerspanter Rohling

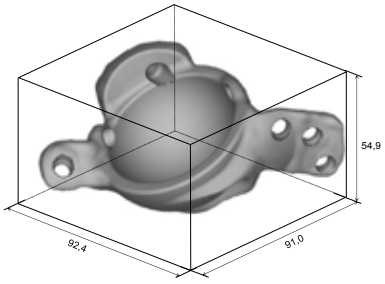


Quelle: Dissertation Jan T. Sehrt

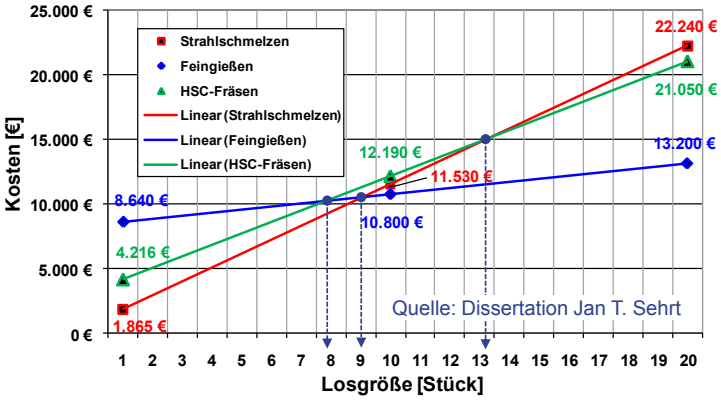
Gebogenes Maulteilpaar

Forschungsaktivitäten am RTC Duisburg

Wirtschaftlichkeitsbetrachtung am Beispiel eines Hüftpfannenimplantats



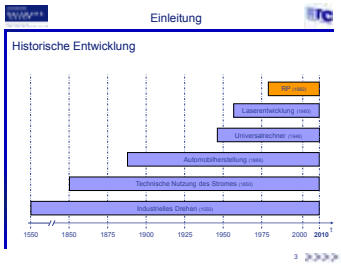
CAD-Modell



Losgrößenabhängige Kosten

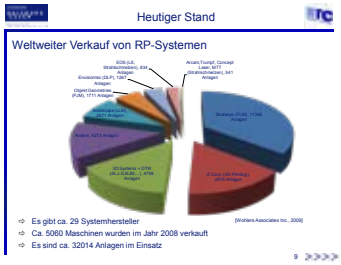
Kooperationspartner des Lehrstuhls

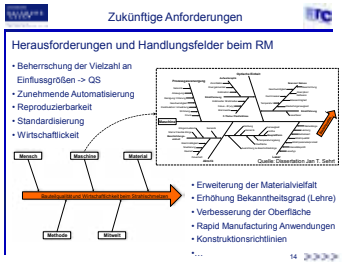
Zusammenfassung

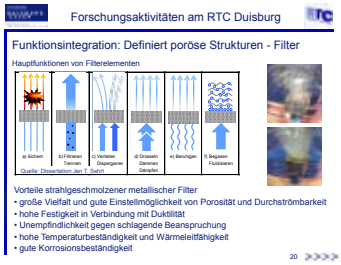












23 >>>>

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit

Kontakt:

Prof. Dr.-Ing. habil. Gerd Witt

Tel.: +49-203-379-3360

gerd.witt@uni-due.de

www.uni-due.de/fertigungstechnik

24 >>>>

Seminar IV

Intellektuelles Kapital als Innovationstreiber

Jan Mach
Geschäftsführender Gesellschafter, Schotte Automotive GmbH & Co.KG

Die Wissensbilanz, strategische Unternehmensentwicklung im Mittelstand

Keywords | *Wissensmanagement, Wissensbilanzierung*



SCHOTTE automotive fasteners

Historie der Schotte Automotive GmbH & Co. KG

- **1949: Gründung der „Werner Schotte-Schrauben GmbH“ in Wuppertal durch Herrn Werner Schotte Senior als Schraubenlieferant für die lokale Industrie und für die Automobilindustrie**
- **2004: Formierung von Spezialbetrieben rund um das Thema Verbindungselemente, sowie Aufbau eines globalen Partnernetzwerks**
- **1993: Neuer Sitz der Hauptverwaltung in Hattingen, Deutschland**
- **1999: Gründung der Schotte Automotive GmbH & Co. KG (Focus auf global operierende Automobilzulieferer)**
- **2007: Übernahme des Unternehmens im Zuge einer klassischen Nachfolgeregelung durch Herrn Dipl.-Ing. Jan. M. Mach**

SCHOTTE automotive fasteners

Unternehmensprofil















SCHOTTE automotive fasteners

Anlass I. zum Einsatz der Wissensbilanz

1. Schnelles Umsatzwachstum zwischen 2006 und 2008 von 100% Gefangen zwischen Rating, Wachstumsfinanzierung und „weichen Erfolgsfaktoren“

2. Notwendigkeit die Organisationsstruktur anzupassen Schwerpunkt Prozessoptimierung, Schnittstellenintegration und IT-Struktur in 2009 innerhalb des OPEX-Programmes, Projekt Dagobert zur Fixkostenreduktion (110 Maßnahmen umgesetzt, abgeleitet aus 53 Mitarbeitervorschlägen)

3. Von Investors in People (IIP) Leitfaden zur strategischen Personalentwicklung zu InCas und der Wissensbilanz.

SCHOTTE automotive fasteners

Anlass II.

Die von heutigen globalen Märkten geforderte Veränderungs- und Anpassungsgeschwindigkeit eines Unternehmens und somit seine Zukunftsfähigkeit ist nur mit mündigen und selbstbewussten Menschen möglich.

Menschen mit Spaß an Veränderung!

SCHOTTE automotive fasteners

Dow Jones Industrial Average 1900-2010



Amplitude und Frequenz von Veränderungen nehmen zu:

Reaktionsgeschwindigkeit
und Anpassungsfähigkeit werden immer wichtiger!

SCHOTTE automotive fasteners

Die Trainerfragen!

Wie groß ist das Potential der Mannschaft,
heute, morgen, übermorgen?
Reichen die Fähigkeiten heute für übermorgen?

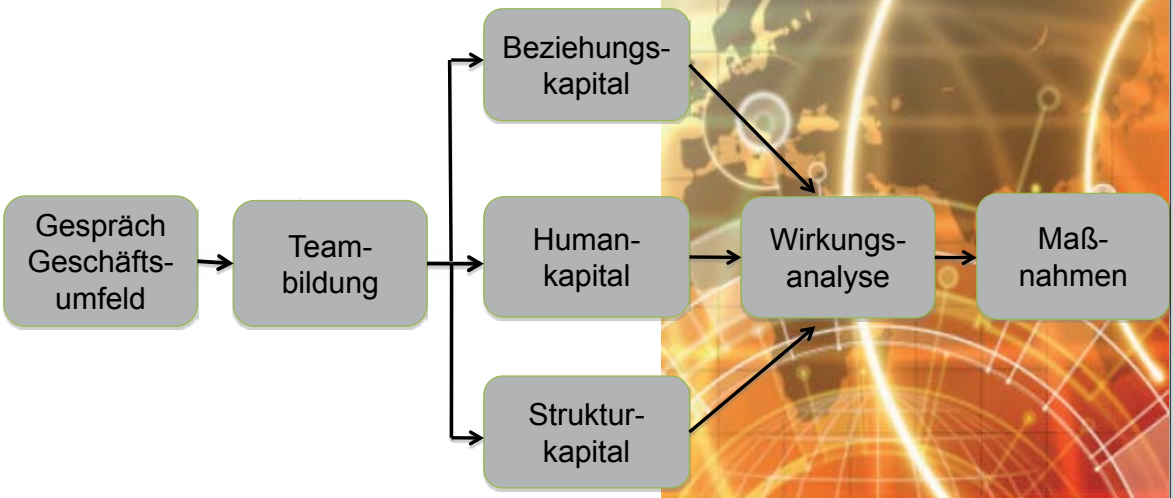
Wie aktivieren wir das Potential der Mannschaft?

Analysen zur zukünftigen Entwicklung basieren meist auf Daten aus der Vergangenheit, Sie stellen somit lediglich das Zukunftspotential dar!

Viel interessanter ist die Frage nach der Zukunftsfähigkeit!

SCHOTTE automotive fasteners

Incas-Grundlagen-Wiederholung



Wissensbilanz = Top Down + Bottom up-Prozess

SCHOTTE automotive fasteners

Incas Kommentar

Diese Methode beschäftigt sich im Wesentlichen mit der detaillierten Analyse des im Unternehmen befindlichen sogenannten Intellektuellen Kapitals. Darunter wird im Wesentlichen das Strukturkapital (Hardware,Software usw.), das Humankapital (Qualifikation, Motivation der Mitarbeiter usw.) sowie das Beziehungskapital (Beziehung zu Kunden, Lieferanten und weiteren Stakeholdern) verstanden. Wie in der Abbildung dargestellt, kann die Wissensbilanz separat durchgeführt werden oder im Rahmen der SWOT-Analyse in die Stärken Schwächen-Analyse einfließen (siehe gestrichelte Linie).

SCHOTTE automotive fasteners

PDCA-Konzept und Grundlagen

P: Entwicklung von Maßnahmen und Zielen zu Organisationsverbesserung *(Plan)*

D: Umsetzung der Maßnahmen in der Organisation durch Verantwortliche *(Do)*

C: Kontrolle und Bewertung der Ergebnisse auf Zielwirksamkeit *(Check)*

A: Einleitung nötiger Korrekturmaßnahmen auf Grundlage des Check-Ergebnisses *(Act)*

Kommunikation; Transparenz; Vertrauen

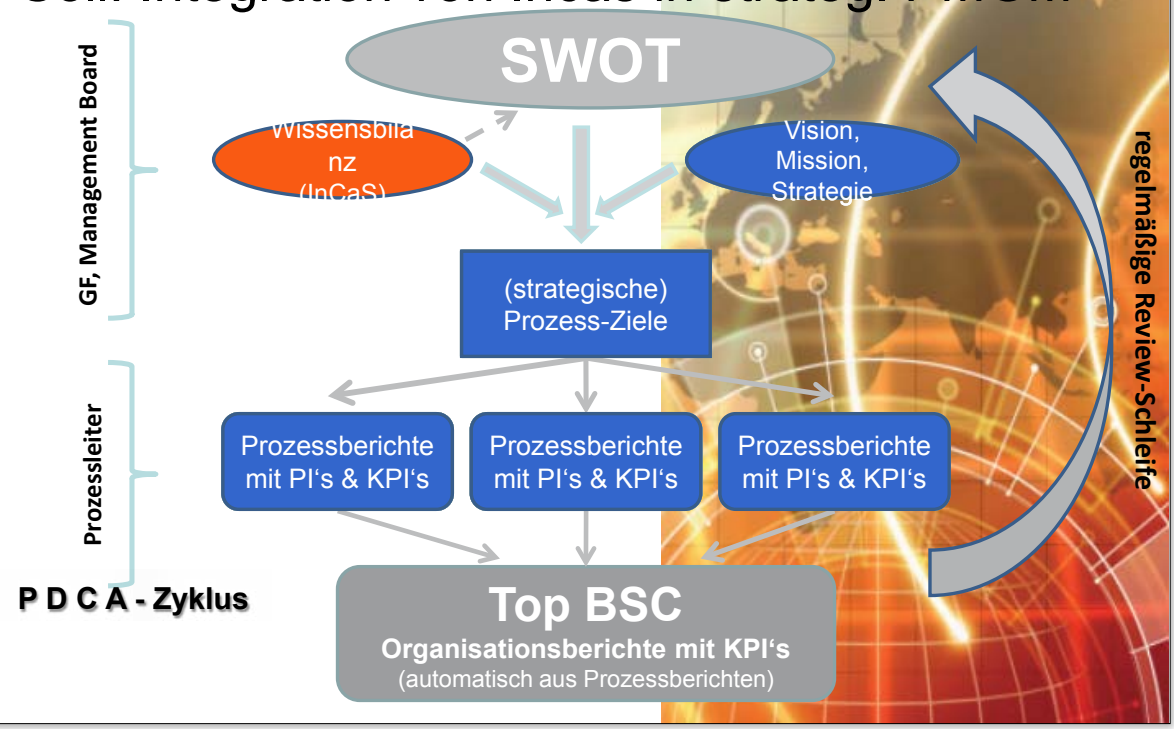
SCHOTTE automotive fasteners

IST: Elemente des strategischen Management



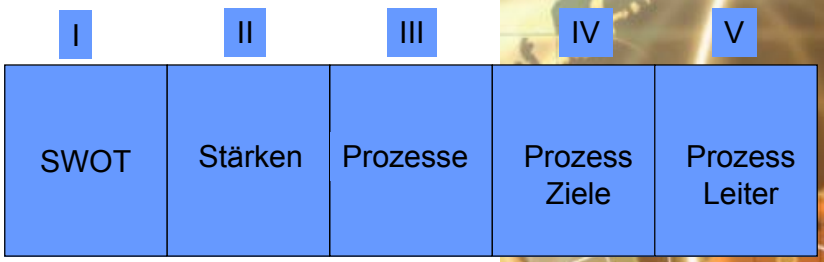
SCHOTTE automotive fasteners

Soll: Integration von Incas in strateg. PMGM



SCHOTTE automotive fasteners

Organisationsoptimierung



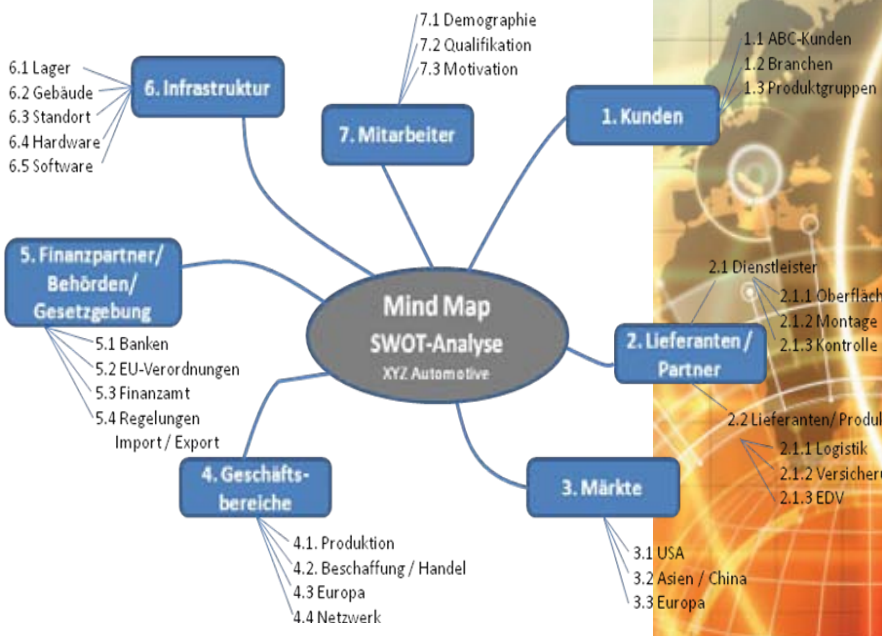
Ablaufoptimierung

Prozess-"Streamlining"

HR-Potential, Mannschaftsqualifikation, Incas

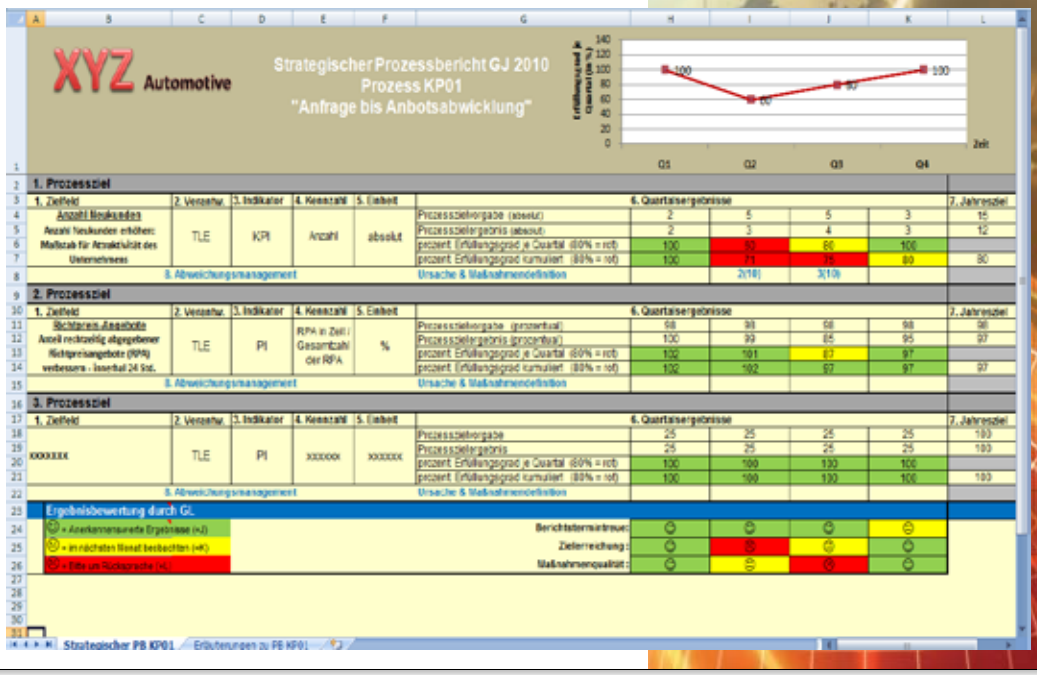
SCHOTTE automotive fasteners

Details-Faktoren SWOT-Analyse



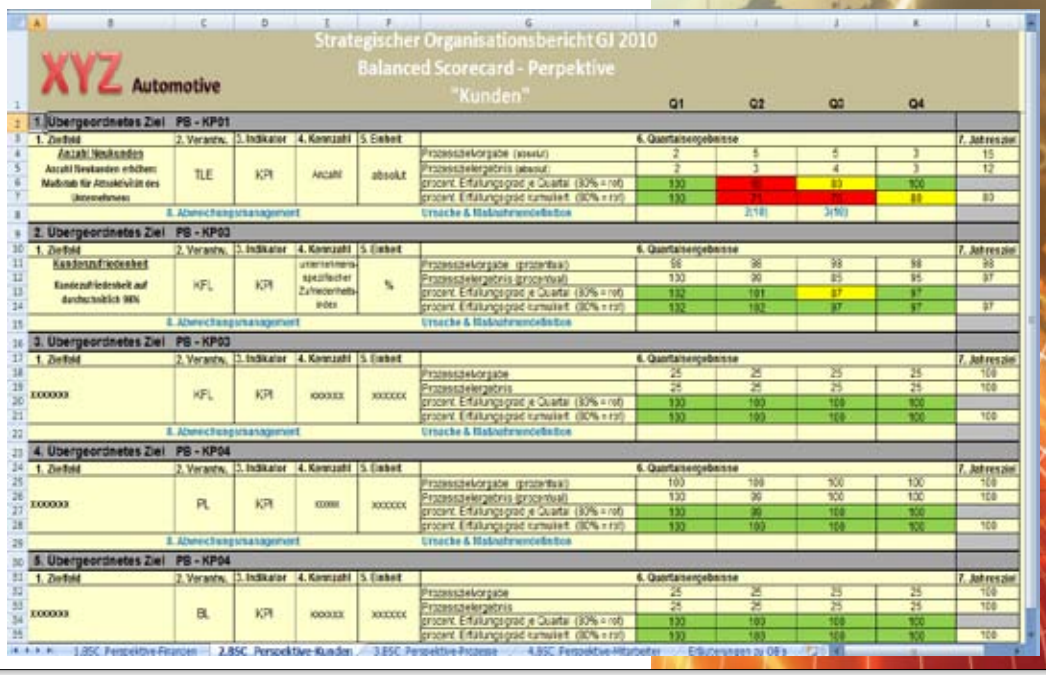
SCHOTTE automotive fasteners

Strategischer Prozessbericht (Messen)



SCHOTTE automotive fasteners

Strateg. Orga-Bericht – BSC-Perspekt. „Kunden“



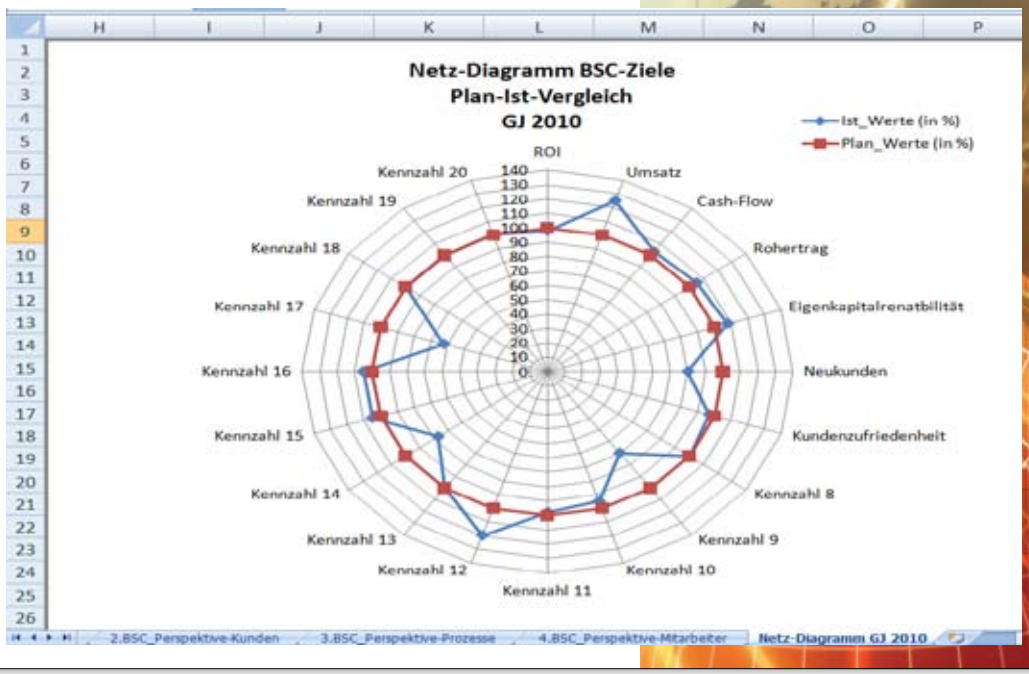
Strategischer Organisationsbericht GJ 2010
Balanced Scorecard - Perpektive
"Kunden"
XYZ Automotive

1. Übergeordnetes Ziel	PB - KP01						Q1	Q2	Q3	Q4	
1. Zielfeld	2. Verantw.	3. Indikator	4. Kennzahl	5. Einheit		6. Quartalsergebnisse					7. Jahreszahl
Anzahl Neukunden	TLE	KPI	Anzahl	absolut	Prozessvorgabe (absolut)		2	5	5	3	15
					Prozessergebnis (absolut)		2	3	4	3	12
					prozent. Erfüllungsgrad je Quartal (80% = rot)		100	60	80	100	
					prozent. Erfüllungsgrad kumuliert (80% = rot)		100	71	75	80	80
	8. Abweichungsmanagement				Ursache & Maßnahmendefinition			3(10)	3(10)		
2. Übergeordnetes Ziel	PB - KP03										
1. Zielfeld	2. Verantw.	3. Indikator	4. Kennzahl	5. Einheit		6. Quartalsergebnisse					7. Jahreszahl
Kundenzufriedenheit	KFL	KPI	unternehmensspezifischer Zufriedenheitsindex	%	Prozessvorgabe (prozentual)		96	96	96	96	96
					Prozessergebnis (prozentual)		100	99	95	95	97
					prozent. Erfüllungsgrad je Quartal (80% = rot)		104	103	97	97	
					prozent. Erfüllungsgrad kumuliert (80% = rot)		104	104	97	97	97
	8. Abweichungsmanagement				Ursache & Maßnahmendefinition						
3. Übergeordnetes Ziel	PB - KP03										
1. Zielfeld	2. Verantw.	3. Indikator	4. Kennzahl	5. Einheit		6. Quartalsergebnisse					7. Jahreszahl
xxxxxx	KFL	KPI	xxxxx	xxxxxx	Prozessvorgabe		25	25	25	25	100
					Prozessergebnis		25	25	25	25	100
					prozent. Erfüllungsgrad je Quartal (80% = rot)		100	100	100	100	
					prozent. Erfüllungsgrad kumuliert (80% = rot)		100	100	100	100	100
	8. Abweichungsmanagement				Ursache & Maßnahmendefinition						
4. Übergeordnetes Ziel	PB - KP04										
1. Zielfeld	2. Verantw.	3. Indikator	4. Kennzahl	5. Einheit		6. Quartalsergebnisse					7. Jahreszahl
xxxxxx	PL	KPI	xxxxx	xxxxxx	Prozessvorgabe (prozentual)		100	100	100	100	100
					Prozessergebnis (prozentual)		100	90	100	100	100
					prozent. Erfüllungsgrad je Quartal (80% = rot)		100	90	100	100	
					prozent. Erfüllungsgrad kumuliert (80% = rot)		100	100	100	100	100
	8. Abweichungsmanagement				Ursache & Maßnahmendefinition						
5. Übergeordnetes Ziel	PB - KP04										
1. Zielfeld	2. Verantw.	3. Indikator	4. Kennzahl	5. Einheit		6. Quartalsergebnisse					7. Jahreszahl
xxxxxx	BL	KPI	xxxxx	xxxxxx	Prozessvorgabe		25	25	25	25	100
					Prozessergebnis		25	25	25	25	100
					prozent. Erfüllungsgrad je Quartal (80% = rot)		100	100	100	100	
					prozent. Erfüllungsgrad kumuliert (80% = rot)		100	100	100	100	100

1.BSC_Perspektive-Finanzen | 2.BSC_Perspektive-Kunden | 3.BSC_Perspektive-Prozesse | 4.BSC_Perspektive-Mitarbeiter | Erläuterungen zu OEs

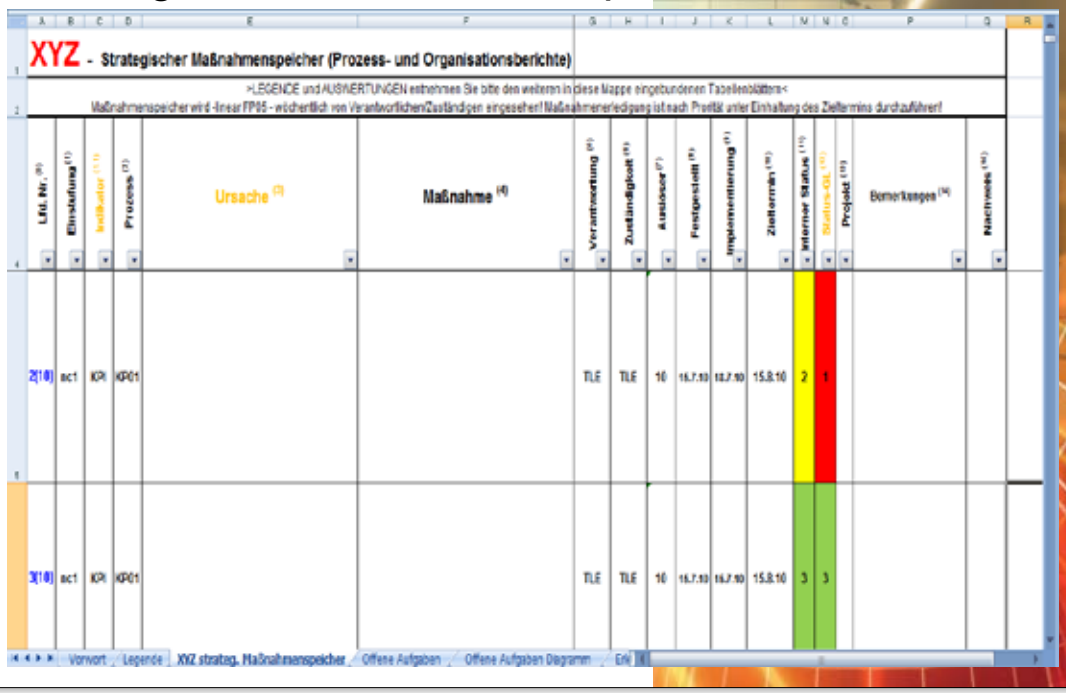
SCHOTTE automotive fasteners

Plan-Ist-Überblick



SCHOTTE automotive fasteners

Strategischer Maßnahmenspeicher



XYZ - Strategischer Maßnahmenspeicher (Prozess- und Organisationsberichte)

>LEGENDE und AUSWERTUNGEN entnehmen Sie bitte den weiteren in diese Mappe eingebundenen Tabellenblättern<

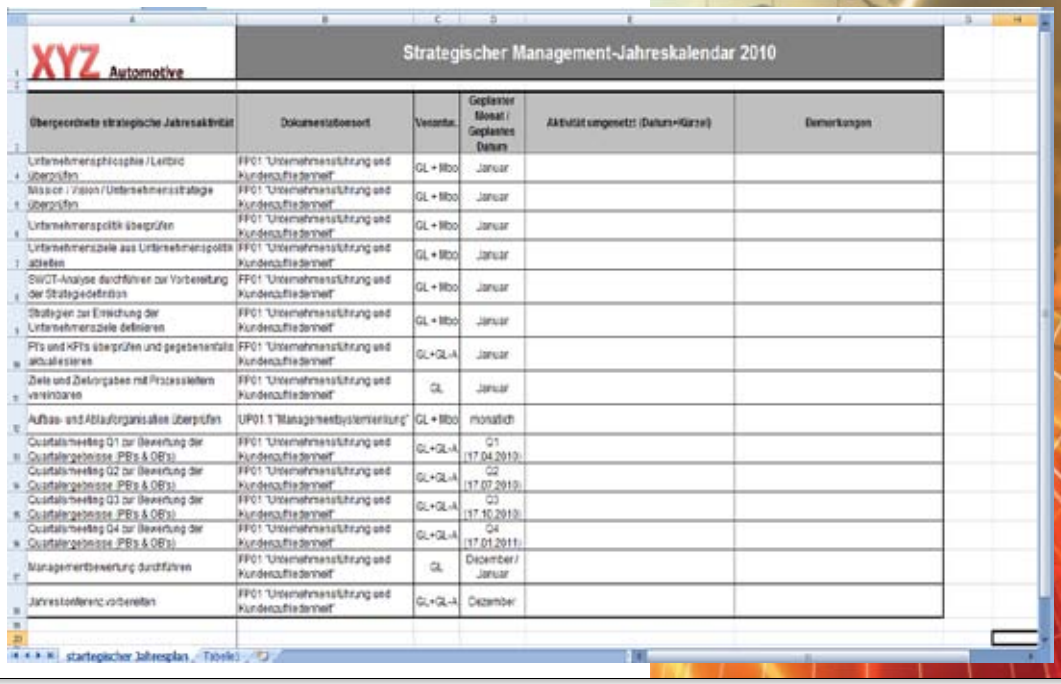
Maßnahmenspeicher wird linear FP05 - wöchentlich von Verantwortlichen/Zuständigen eingesehen! Maßnahmenerledigung ist nach Priorität unter Einhaltung des Zieltermins durchzuführen!

Lfd. Nr.	Einstufung	Indikator	Prozess	Ursache	Maßnahme	Verantwortung	Zuständigkeit	Auslöser	Festgestellt	Implementierung	Zieltermin	Interner Status	Status-GL	Projekt	Bemerkungen	Nachweis
2(10)	ac1	KPI	KP01			TLE	TLE	10	15.7.10	15.7.10	15.8.10	2	1			
3(10)	ac1	KPI	KP01			TLE	TLE	10	15.7.10	15.7.10	15.8.10	3	3			

Vorwort | Legende | XYZ strateg. Maßnahmenspeicher | Offene Aufgaben | Offene Aufgaben Diagramm | EN

SCHOTTE automotive fasteners

Strategischer Management-Jahreskalender

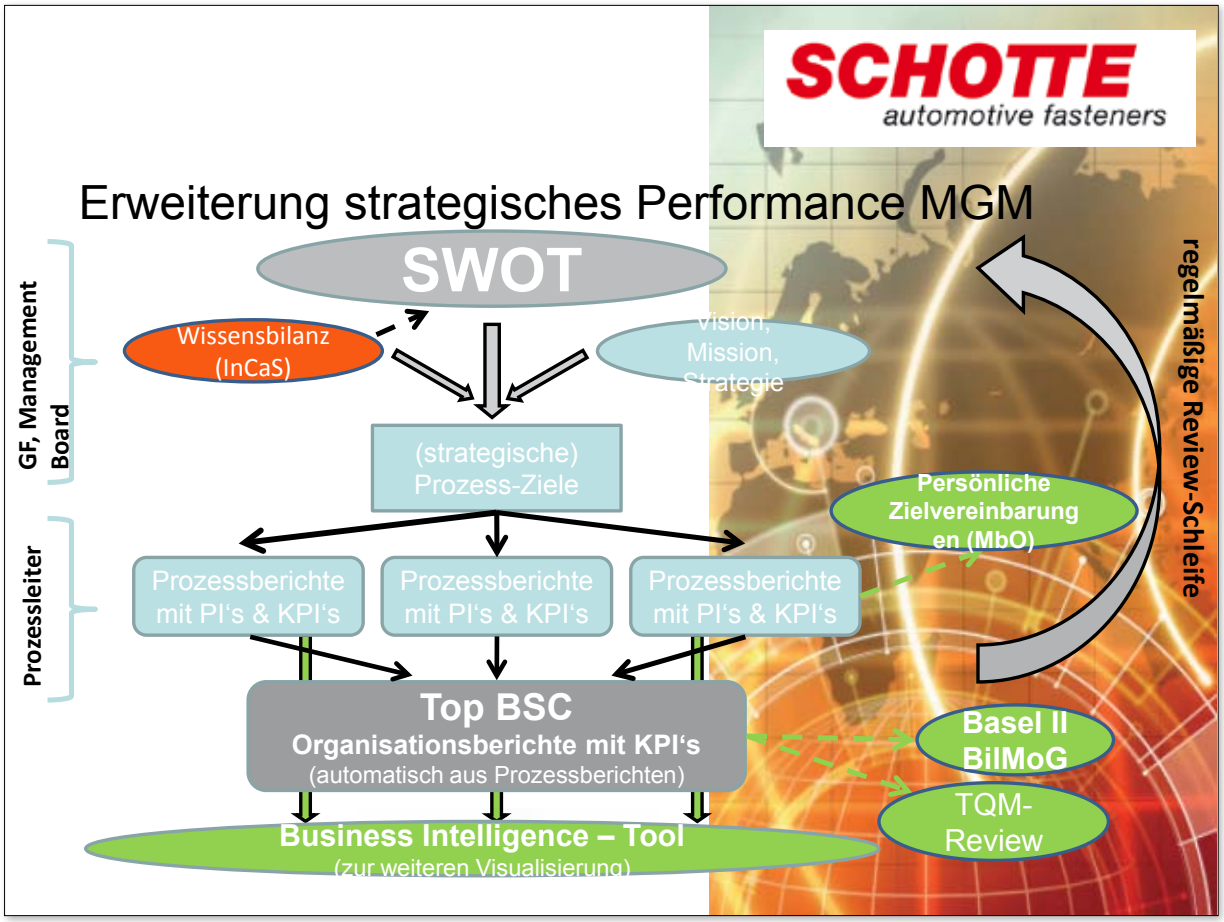


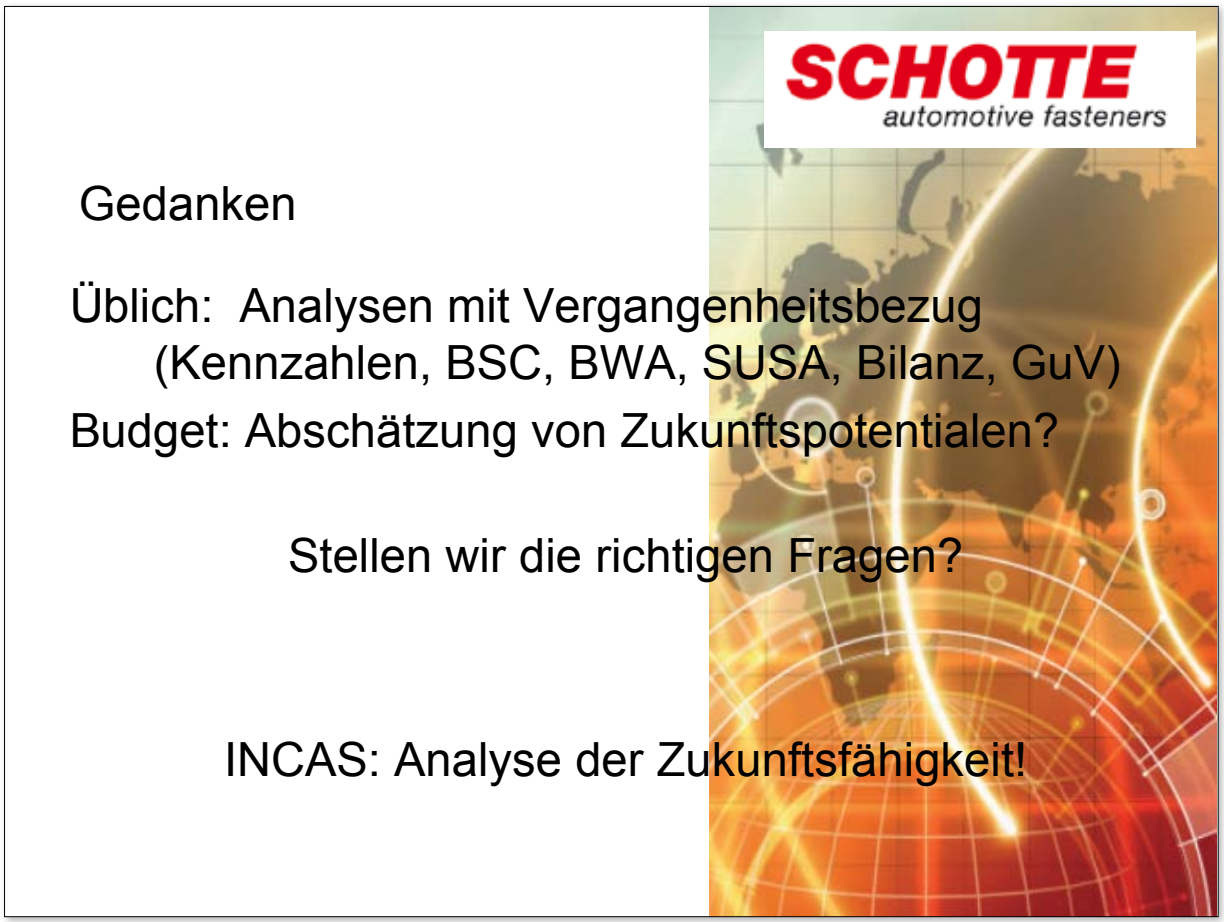
XYZ Automotive

Strategischer Management-Jahreskalender 2010

Übergeordnete strategische Jahresaktivität	Dokumentationsort	Verantw.	Geplanter Monat / Geplantes Datum	Aktivität umgesetzt (Datum+Kürzel)	Bemerkungen
Unternehmensphilosophie / Leitbild überprüfen	FP01 "Unternehmensführung und Kundenzufriedenheit"	GL + Mbo	Januar		
Mission / Vision / Unternehmensstrategie überprüfen	FP01 "Unternehmensführung und Kundenzufriedenheit"	GL + Mbo	Januar		
Unternehmenspolitik überprüfen	FP01 "Unternehmensführung und Kundenzufriedenheit"	GL + Mbo	Januar		
Unternehmensziele aus Unternehmenspolitik ableiten	FP01 "Unternehmensführung und Kundenzufriedenheit"	GL + Mbo	Januar		
SWOT-Analyse durchführen zur Vorbereitung der Strategiedefinition	FP01 "Unternehmensführung und Kundenzufriedenheit"	GL + Mbo	Januar		
Strategien zur Erreichung der Unternehmensziele definieren	FP01 "Unternehmensführung und Kundenzufriedenheit"	GL + Mbo	Januar		
PI's und KPI's überprüfen und gegebenenfalls aktualisieren	FP01 "Unternehmensführung und Kundenzufriedenheit"	GL+GL-A	Januar		
Ziele und Zielvorgaben mit Prozesseltern vereinbaren	FP01 "Unternehmensführung und Kundenzufriedenheit"	GL	Januar		
Aufbau- und Ablauforganisation überprüfen	UP01 1 "Managementbewertung"	GL + Mbo	monatlich		
Qualitätsmeeting Q1 zur Bewertung der Quartalsergebnisse (PB's & OB's)	FP01 "Unternehmensführung und Kundenzufriedenheit"	GL+GL-A	Q1 (17.04.2010)		
Qualitätsmeeting Q2 zur Bewertung der Quartalsergebnisse (PB's & OB's)	FP01 "Unternehmensführung und Kundenzufriedenheit"	GL+GL-A	Q2 (17.07.2010)		
Qualitätsmeeting Q3 zur Bewertung der Quartalsergebnisse (PB's & OB's)	FP01 "Unternehmensführung und Kundenzufriedenheit"	GL+GL-A	Q3 (17.10.2010)		
Qualitätsmeeting Q4 zur Bewertung der Quartalsergebnisse (PB's & OB's)	FP01 "Unternehmensführung und Kundenzufriedenheit"	GL+GL-A	Q4 (17.01.2011)		
Managementbewertung durchführen	FP01 "Unternehmensführung und Kundenzufriedenheit"	GL	Dezember / Januar		
Jahreskonferenz vorbereiten	FP01 "Unternehmensführung und Kundenzufriedenheit"	GL+GL-A	Dezember		

strategischer Jahresplan | Tabelle1


SCHOTTE
automotive fasteners
Erweiterung strategisches Performance MGM
SWOT
Wissensbilanz (InCaS)
Vision, Mission, Strategie
GF, Management Board
(strategische) Prozess-Ziele
Persönliche Zielvereinbarungen (MbO)
regelmäßige Review-Schleife
Prozessleiter
Prozessberichte mit PI's & KPI's
Prozessberichte mit PI's & KPI's
Prozessberichte mit PI's & KPI's
Top BSC
Organisationsberichte mit KPI's
(automatisch aus Prozessberichten)
Basel II
BilMoG
TQM-Review
Business Intelligence – Tool
(zur weiteren Visualisierung)


SCHOTTE
automotive fasteners
Gedanken
Üblich: Analysen mit Vergangenheitsbezug
(Kennzahlen, BSC, BWA, SUSA, Bilanz, GuV)
Budget: Abschätzung von Zukunftspotentialen?
Stellen wir die richtigen Fragen?
INCAS: Analyse der Zukunftsfähigkeit!

Fazit

Repräsentative Aussagen

Ergebnisse in kurzer Zeit – klar überschaubarer Invest

Wertschätzung fördert Motivation

....

Kommentar

Mit zunehmender Globalisierung, steigendem Wettbewerbsdruck und sich immer schneller ändernden Markt- und Umweltbedingungen, wird es zukünftig auch für gut positionierte Unternehmen immer schwieriger sich auf dem Markt zu behaupten. Vor allem die Volatilität der Märkte ist eine wesentliche Herausforderung. Um diesen Herausforderungen gewachsen zu sein, ist das Management angehalten, sich regelmäßig und systematisch mit eigenen Potenzialen und relevanten Umwelteinflüssen auseinanderzusetzen, erfolgversprechende Strategien zu entwickeln und diese auch messbar zu machen, um richtige Entscheidungen treffen zu können.

Kommentar

Einige in der Literatur oft beschriebene nützliche Methoden, die sich mit zuvor genannten Anforderungen beschäftigen, sind u.a. die SWOT Analyse oder die Balanced-Scorecard, als moderne Management-Instrumente im Rahmen strategischer Analyse-, Planungs- und Kontrollaktivitäten.
Diese sollten aus unserer Erfahrung mit einer Wissensbilanz kombiniert werden um nachhaltige und strategisch richtige Entscheidungen zu treffen.
Eine umfängliche Analyse ist nur unter Berücksichtigung der weichen Erfolgsfaktoren möglich um eine Aussage zur Zukunftsfähigkeit eines Unternehmens treffen zu können!

Kontakt

Schotte Automotive GmbH & Co. KG
Heiskampstr. 31
45527 Hattingen
++49-2324-9340-5
info@schotteautomotive.de
www.schotteautomotive.de

Friedhelm Holzapfel
Personalleiter, EnBW Regional AG

Intellektuelles Kapital als Innovationstreiber – Wissensbilanz bei der EnBW

Keywords | *Wissensmanagement, Wissensbilanzierung*



Gliederung

1. **Die EnBW, ihr Umfeld und ihr integrierter Wissensmanagement-Ansatz**
2. Bewertung des intellektuellen Kapitals mit Hilfe der Wissensbilanz
3. Anwendung der Wissensbilanz bei EnBW
4. Erfahrungen und Ausblick

2

Kurzportrait der EnBW Energie Baden-Württemberg AG

Fakten

- 3. größter Energieversorger in Deutschland
- Sitz: Karlsruhe
- Umsatz*: 15.564 Mio. €
- EBIT*: 1.889 Mio. €
- Mitarbeiter*: 20.914



* Geschäftsbericht 2009

3

Die Bedeutung von Wissensmanagement für Energieversorgungsunternehmen

EnBW

Steigende Dynamik und Komplexität im Umfeld. Unter anderem getrieben durch:

- Liberalisierung der Energiemärkte
- Verknappung fossiler Energieträger
- Rapide steigender Energieverbrauch weltweit
- Demographischen Wandel
- Wachsende politische Spannungsfelder
- Nutzung neuer Technologien
- Anforderungen aus dem Klimaschutz

Die Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter sind der Schlüssel um diesen Herausforderungen kompetent und erfolgreich zu begegnen.

Ihr Wissen ist ein zentraler Erfolgsfaktor!

4

Energieversorgungsunternehmen sind geprägt von sehr heterogenen Geschäftsaktivitäten

EnBW

Darstellung am Beispiel des Geschäftsfelds Strom der EnBW:

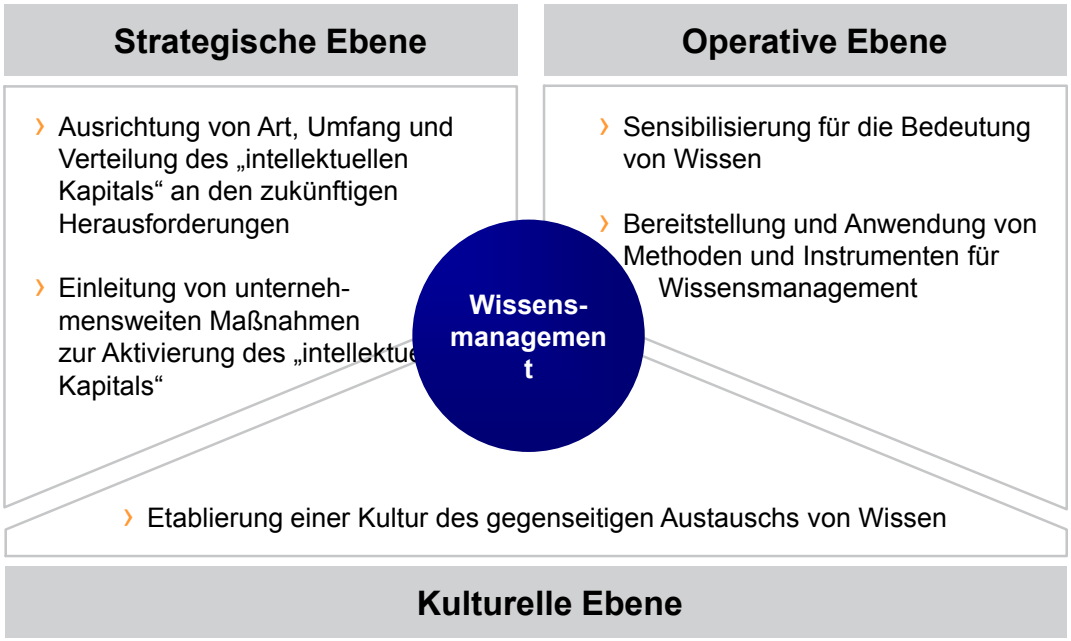


Zentrale Koordination und Unterstützung aber eigenverantwortliche und dezentrale Umsetzung von Wissensmanagement.

5

Der integrierter Ansatz von EnBW bei der Umsetzung von Wissensmanagement

EnBW



6

Gliederung

EnBW

1. Die EnBW, ihr Umfeld und ihr integrierter Wissensmanagement-Ansatz
2. **Bewertung des intellektuellen Kapitals mit Hilfe der Wissensbilanz**
3. Anwendung der Wissensbilanz bei EnBW
4. Erfahrungen und Ausblick

7

Bewertung des intellektuellen Kapitals nach der Methode „Wissensbilanz – Made in Germany“

EnBW

- Die „Wissensbilanz – Made in Germany“ ist das Ergebnis eines Förderprojektes des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie (BMWi) im Rahmen der Initiative „Fit für den Wissenswettbewerb“.
- Funktionen der „Wissensbilanz - Made in Germany“:
  - Unternehmenssteuerung und Organisationsentwicklung (interne Perspektive)
  - Außendarstellung (externe Perspektive)

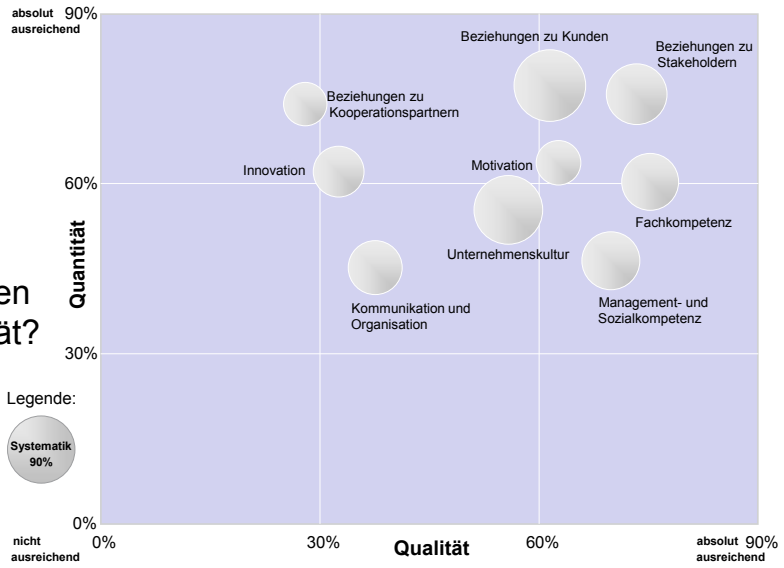


8

Ermittlung und Darstellung von Verbesserungspotenzialen

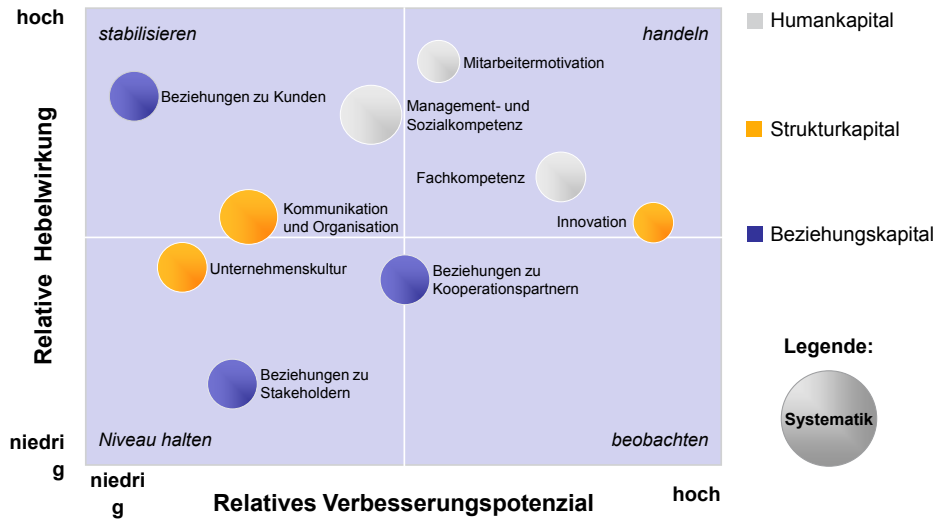
EnBW

- Welches sind die wichtigsten Einflussfaktoren in Human-, Struktur- und Beziehungskapital?
- Wie steht es um deren Qualität und Quantität?
- Wie systematisch managen wir die Einflussfaktoren?



9

Darstellung der Handlungsfelder im Prioritäten-Portfolio



10

Gliederung

1. Die EnBW, ihr Umfeld und ihr integrierter Wissensmanagement-Ansatz
2. Bewertung des intellektuellen Kapitals mit Hilfe der Wissensbilanz
3. **Anwendung der Wissensbilanz bei EnBW**
4. Erfahrungen und Ausblick

11

Historie der „Wissensbilanz – Made in Germany“ bei EnBW

EnBW

- Start 2005, seitdem regelmäßige Wiederholung, insgesamt 42 Wissensbilanzen erstellt.
- Durchführung in zwölf Kernkonzerngesellschaften.
- Zusammenführung der Einzelergebnisse auf Konzernebene und Publikation der konsolidierten Ergebnisse im Geschäftsbericht (*Außendarstellung*).
- Ableitung konkreter Maßnahmen zur Optimierung des intellektuellen Kapitals (*Unternehmenssteuerung und Organisationsentwicklung*).



12

Die Erstellung von Wissensbilanzen erfolgt regelmäßig in allen Kernkonzerngesellschaften der EnBW

EnBW

- Im Geschäftsfeld STROM in ungeraden Jahren
- Im Geschäftsfeld GAS sowie in den Service-Gesellschaften in geraden Jahren

EnBW

Erzeugung	Handel	Transport	Verteilung	Vertrieb
EnBW Kraftwerke AG EnBW Erneuerbare Energien GmbH	EnBW Trading GmbH	EnBW Transportnetze AG Gasversorgung Süddeutschland GmbH	EnBW Regional AG EnBW Gas GmbH Erdgas Südwest GmbH	EnBW Vertriebs- u. Service-gesellschaft mbH

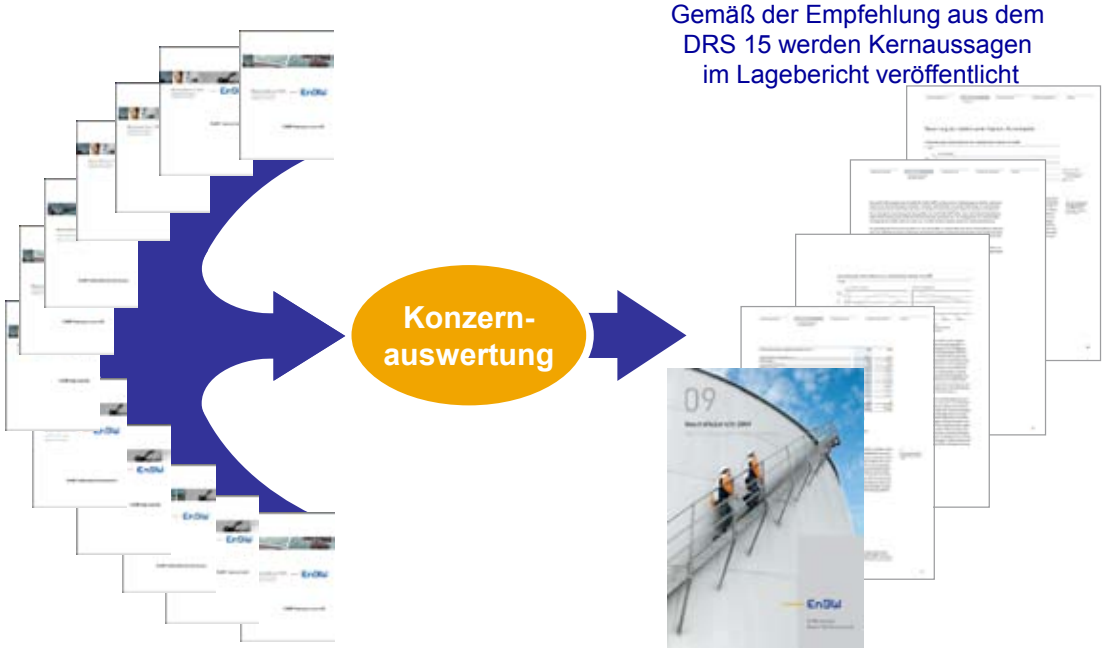
EnBW Systeme, Infrastruktur, Support GmbH
EnBW Energy Solutions GmbH
EnBW Akademie GmbH

13

Erstellung einer Konzerauswertung, deren Kernaussagen im Geschäftsbericht veröffentlicht werden

EnBW

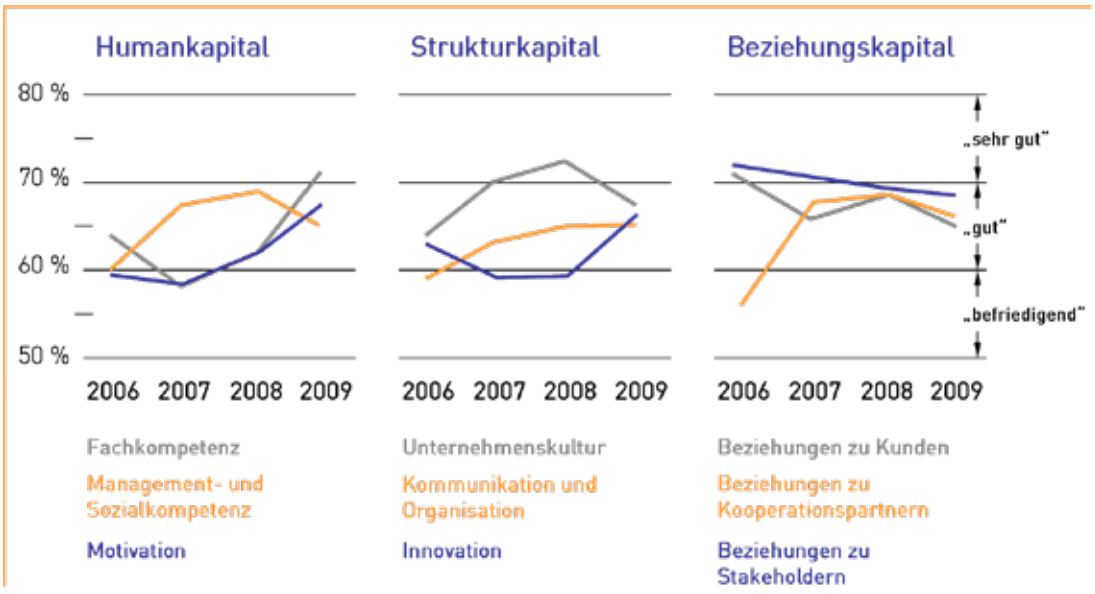
Gemäß der Empfehlung aus dem DRS 15 werden Kernaussagen im Lagebericht veröffentlicht



14

Entwicklung der einzelnen Einflussfaktoren seit 2006 (ermittelt im rollierenden Verfahren*)

EnBW



* In den Gesellschaften des Geschäftsfeldes STROM erfolgt die Bewertung des intellektuellen Kapitals immer in den ungeraden Jahren, in den Gesellschaften der Geschäftsfeldes GAS sowie den Service-Gesellschaften in den geraden Jahren. Die Ergebnisse des aktuellen und des Vorjahres werden zu einem konzernweiten Überblick konsolidiert (bestehend aus den Ergebnissen der Bewertung des intellektuellen Kapitals in 13 Kernkonzerngesellschaften). Dieser auf der Ebene der Geschäftsfelder praktizierte Zweijahresrhythmus hat seine Ursache insbesondere in der Veränderungsgeschwindigkeit bei der Verbesserung des „intellektuellen Kapitals".

15

Ablauf der Wissensbilanzierung in einer Konzern-gesellschaft der EnBW

EnBW

Geschäftsmodell → **Intellekt. Kapital** → **Bewertung** → **Wirkung** → **Auswertung** → **Maßnahmen** → **„Wissensbilanz“**

Beschreibung von Strategie, Vision, Geschäftsprozessen und -umfeld sowie Definition von Geschäftserfolgen

Festlegung der Einflussfaktoren des intellektu-ellen Kapitals

Bewertung der Einflussfaktoren nach Qualität, Quantität und Systematik

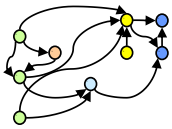
Ermittlung der Einflussfaktoren mit der größten Hebelwirkung

Priorisierung der Einflussfaktoren gemäß ihrem Verbesserungs-potenzial und ihrer Hebel-wirkung

Definition geeigneter Maßnahmen zur Optimierung der priorisierten Einflussfaktoren

Erstellung eines Abschluss-berichtes

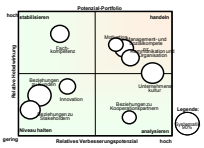










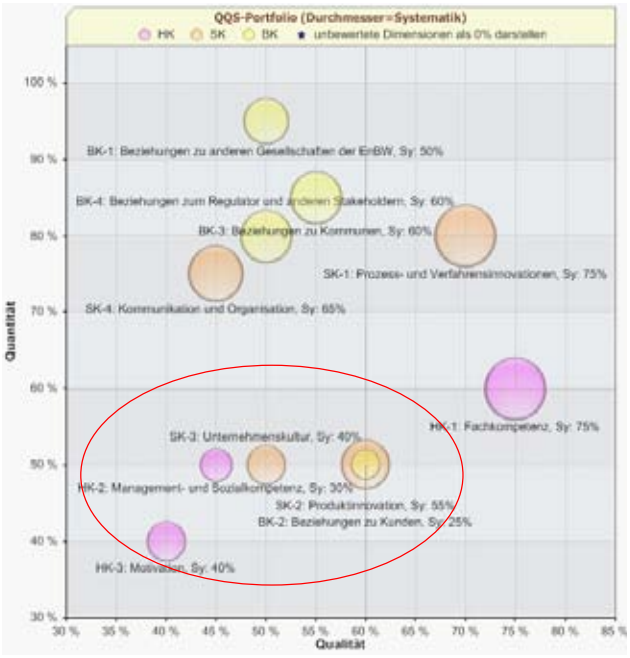




16

Bewertungsübersicht QQS-Portfolio: Intellektuelles Kapital

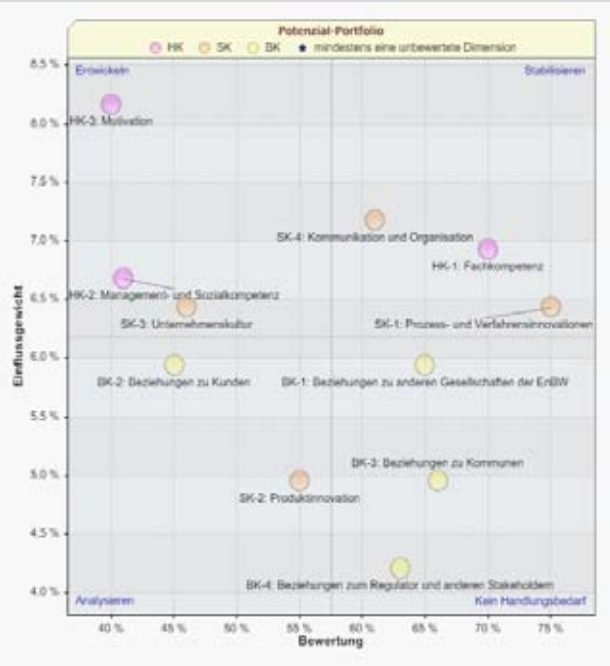
EnBW



Im QQS-Portfolio (Quantität-Qualität-Systematik) sind alle Einflussfaktoren des Intellektuellen Kapitals mit ihren jeweiligen Bewertungen eingetragen. Auf der x-Achse die Bewertung der Qualität, auf der y-Achse die Bewertung der Quantität. Die Größe des Kreises zeigt den Grad der Systematik an, mit der der Faktor bereits entwickelt wird. Die Abbildung zeigt damit gut die relativen Stärken und Schwächen im Intellektuellen Kapital der Gesellschaft auf.

17

Zusammenführung aller Ergebnisse im Potenzial-Portfolio

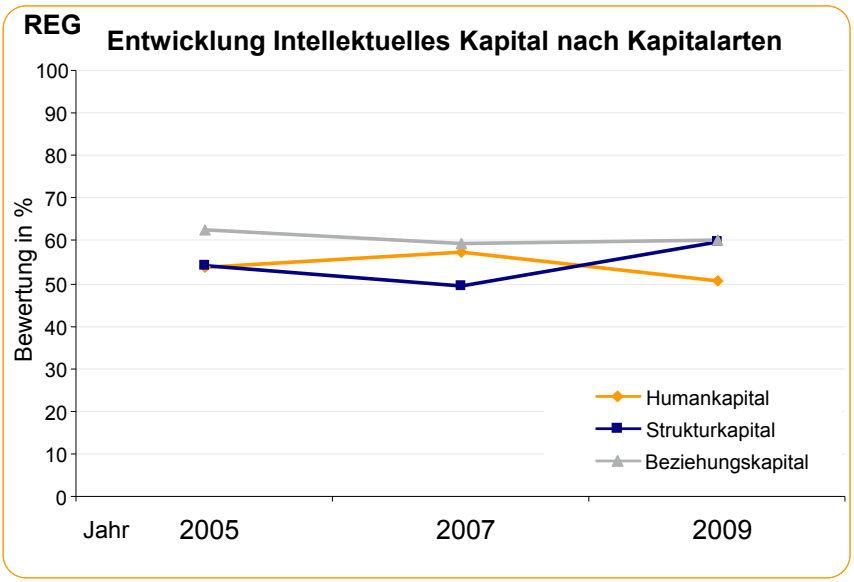


Für die Priorisierung von Handlungsfeldern ist es wichtig, nicht nur die Bewertung von Faktoren zu betrachten, sondern auch deren Hebelwirkung auf den Erfolg des Unternehmens. Dies sind vorrangig solche Faktoren, die neben einem relativ großen Verbesserungspotenzial auch großen Einfluss auf Veränderungen innerhalb der Gesellschaft haben.

Faktoren, die sich links oben befinden, haben eine niedrige Bewertung (Mittelwert aus Quantität, Qualität und Systematik, dargestellt auf der x-Achse) und ein hohes Einflussgewicht (Summe aller aufgenommenen Wirkungen dargestellt auf der y-Achse) und werden daher im Folgenden prioritär betrachtet. Mit dem Potenzial-Portfolio liegen die notwendigen Informationen vor, um Maßnahmen für prioritäre Einflussfaktoren zu diskutieren.

18

Entwicklung des Intellektuellen Kapitals REG 2005-2009
Dargestellt nach Kapitalarten



Legende:
90%-100% = exzellent
80%-89% = optimal
70%-79% = sehr gut
60%-69% = gut
50%-59% = befriedigend
40%-49% = unbefriedigend
30%-39% = mangelhaft
0%-29% = ungenügend

19

Wissensbilanz
Handlungsfelder seit 2005

EnBW

Handlungsfelder 2005	Handlungsfelder 2007	Handlungsfelder 2009
Management und Sozialkompetenz stärken		
		Führungssystem stärken und weiter entwickeln
	Beziehungen zu Kunden ausbauen	Beziehungen zu Kunden optimieren
	Motivation erhöhen	Motivation durch verbesserte Kommunikation und Identifikation
	Produktinnovation verbessern	Maßnahmen zur Produktinnovation fortsetzen
Beziehungen zu EnBW-Gesellschaften verbessern		
Fachkompetenz verbessern		

20

Wissensbilanz 2009
Handlungsfelder – Impulse - Maßnahmen

EnBW

Handlungsfelder	Impulse	Maßnahmen
Motivation durch verbesserte Kommunikation und Identifikation mit dem Unternehmen fördern	› Positive Themen der REG kommunizieren › Best-Practices aus den Bereichen nutzen › Erlebnisse ermöglichen, die zusammenschweißen und Stolz auf die EnBW / REG erzeugen	› Offensive Berichterstattung der REG-Erfolge › Prozesstage zur Prozesstransparenz › Mitarbeiterveranstaltungen › Demographiesteuerung › Kompetenzmanagement
Führungssystem verbessern	› Rolle der einzelnen Führungskräfte schärfen › Führungskräfte evaluieren und qualifizieren › Nachwuchs identifizieren, fördern und heranziehen	› Teamleiterqualifizierung › Energietalente › REGtime › Job Family-Programme › Nachwuchskonferenzen › Führungskonferenzen
Maßnahmen zur Produktinnovation fortsetzen	› Task Force Innovation, Produktmanagement › Innovationsprozess weiter entwickeln › Hochschulkontakte weiter ausbauen	› !mpuls-Meetings › Innovationsworkshops › Network²
Beziehungen zu Kunden verbessern	› Wettbewerbsorientierte Unternehmenskultur › Verhaltensregeln zu Kunden erstellen und Kundenbeziehungsmanagement weiter verbessern	› Projekt Kundenbeziehungen › Kundenbefragung › Qualifizierungsprogramm Vertriebliche Kompetenzen

21

Gliederung

1. Die EnBW, ihr Umfeld und ihr integrierter Wissensmanagement-Ansatz
2. Bewertung des intellektuellen Kapitals mit Hilfe der Wissensbilanz
3. Anwendung der Wissensbilanz bei EnBW
4. **Erfahrungen und Ausblick**

22

Stärken

Die Wissensbilanz – Made in Germany …

- … verschafft regelmäßig einen Überblick über das intellektuelle Kapital in den Konzerngesellschaften und zeigt dessen Entwicklungsverlauf auf.
- … ermöglicht die systematische Ausrichtung des intellektuellen Kapitals auf die Unternehmensstrategie und erfordert somit eine regelmäßige Beschäftigung mit der Zukunft des Unternehmens.
- … zeigt Handlungsfelder auf und unterstützt die Identifikation geeigneter Maßnahmen zur Optimierung.
- … ermöglicht eine umfassendere Darstellung der immateriellen Vermögenswerte für den Kapitalmarkt (über den Geschäftsbericht) und unterstützt damit zugleich die Erfüllung von Empfehlungen u. a. des DRS 15.

23

Schwächen

- Es gibt eine große Abhängigkeit der Bewertungsergebnisse von
  a) der richtigen personellen Zusammensetzung des Bewertungsteams und
  b) der Professionalität der Moderation der Wissensbilanz-Workshops .
- Je größer die Organisation ist, die bewertet werden soll, desto schwieriger wird es mit einem überschaubaren Bewertungs-team (möglichst nicht mehr als 20 Mitglieder) die gesamte Organisation zu repräsentieren.
- Beim Beziehungskapital fehlt die Bewertung durch die externen Kontakte (z. B. Kooperationspartner, Kunden, Stakeholder) selbst.
- Ein Benchmarking unter Zuhilfenahme von Wissensbilanzen ist problematisch (ein geeignetes Verfahren wird gerade entwickelt).

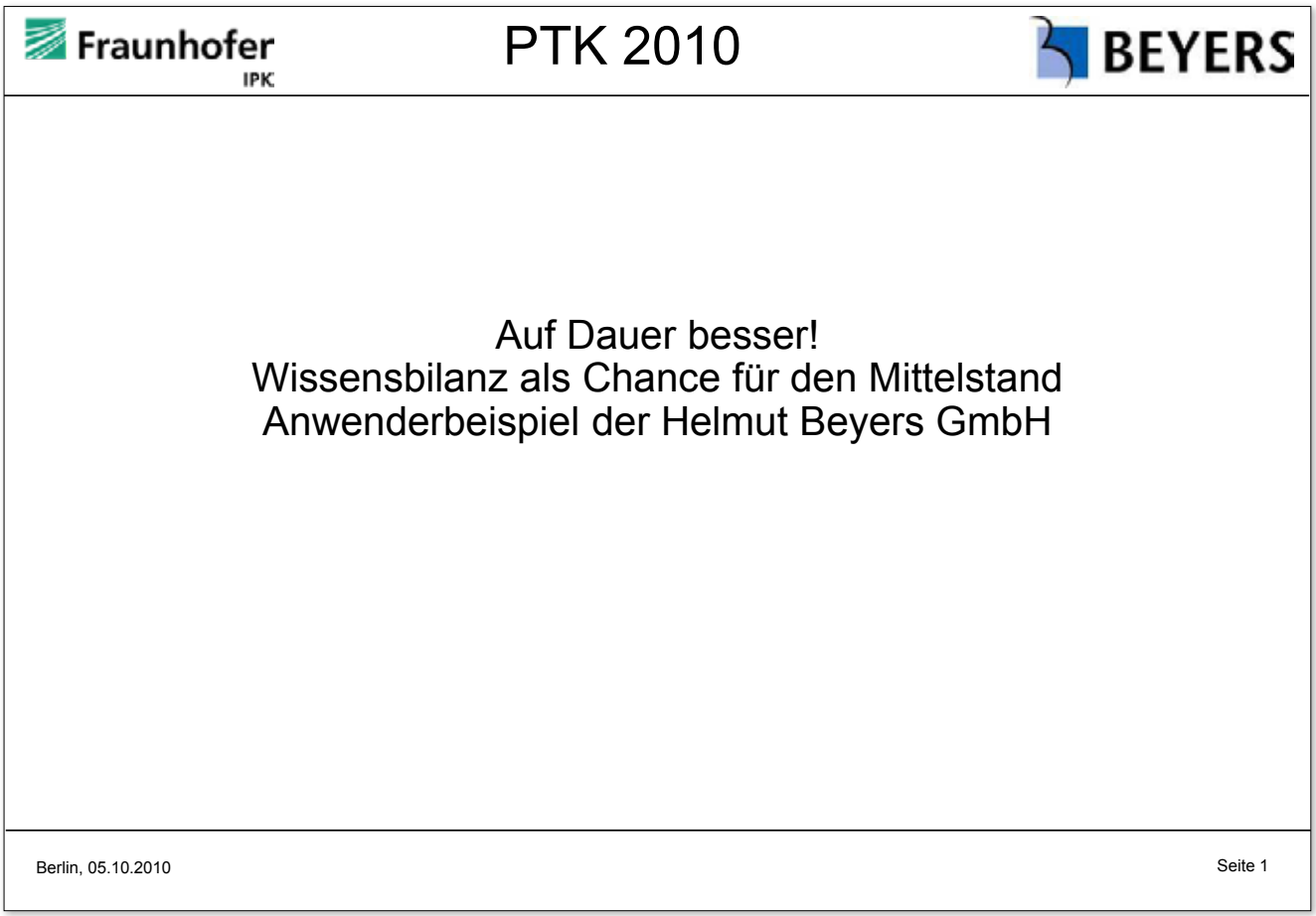
24

Wolfgang Beyers
Geschäftsführer Helmut Beyers GmbH

Auf Dauer besser! – Wissensbilanz als Chance für den Mittelstand

Abstract | Die Helmut Beyers GmbH ist ein mittelständischer Elektronik-Dienstleister. In der Vergangenheit hat sich der direkte Wettbewerb zu Anbietern aus Niedriglohnländern zunehmend verschärft. Das Wissen und die Kompetenzen des Unternehmens und seiner Mitarbeiter stellen daher einen wesentlichen Faktor zur Aufrechterhaltung der Wettbewerbsfähigkeit dar. Ziel ist es, das vorhandene Wissen möglichst effizient in die Unternehmensprozesse einzubringen. Vor diesem Hintergrund hat das Unternehmen das Instrument der Wissensbilanz bereits mehrfach eingesetzt. Die Wissensbilanz zeigt den Wert des Intellektuellen Kapitals für die Zielerreichung und den Geschäftserfolg eines Unternehmens auf. Dabei zeigt sich, welchen Stellenwert diese immateriellen Ressourcen aufweisen, wo die Stärken und Schwächen und wo das größte Entwicklungspotenzial liegt. Im Rahmen des Beitrags werden die Erfahrungen mit dem Einsatz der Wissensbilanz bei der Helmut Beyers GmbH beschrieben.

Keywords | *Wissensmanagement, Wissensbilanzierung*



Fraunhofer IPK

PTK 2010

BEYERS

Wer sind wir ?

- Die Helmut Beyers GmbH ist ein Elektronik-Dienstleister (EMS) mit einem Umsatz von ca. 18 Mio. € in 2008 und 12 Mio. € in 2009.
- Als „Manufaktur“ produzieren wir Baugruppen und Komplettgeräte und bieten alle um dieses Kerngeschäft gruppierte Dienstleistungen (von Entwicklung bis zum Endkundenversand) an.
- Die Produktion wird dabei zumeist von Bestückungsmaschinen vorgenommen. Im Jahre werden über 200 Mio. Bauteile verarbeitet.
- Wir haben am Standort Mönchengladbach 140 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter.
- Wir sind am 01.01.2009 in ein komplett neues Firmengebäude eingezogen.
- Das Unternehmen besteht seit 1985 und befindet sich im Familienbesitz.
- Das Firmenmotto lautet: „Auf Dauer besser“
- Wir sehen uns als mittelständiges Unternehmen.

Fraunhofer IPK

PTK 2010

BEYERS

Wieso gerade Wissensmanagement?

- Die Firma Helmut Beyers GmbH ist bereits seit 1995 nach DIN EN ISO 9001 zertifiziert.
- Trotz einer Weiterentwicklung der Norm ist diese eher für größere Firmen entworfen.
- Wir sind so klein, dass einzelne „Punkte“ die Prozesslandschaft fundamental beeinflussen.
- Ein „Punkt“ kann z.B. ein Mensch, eine Beziehung oder spezielles Wissen sein.
- Wir suchten nach einem System, um außer den Prozessen auch diese „Punkte“ zu finden und zu verbessern.
- Uns wurde das Projekt Wissensmanagement von unserem Zertifizierungsunternehmen empfohlen.
- Uns gefällt das Wissensmanagement, weil es nicht nur prozessbezogen ausgerichtet ist.

Fraunhofer IPK PTK 2010 BEYERS

Wieso ist das Wissensmanagement für uns wichtig ?

- Beyers steht in direktem Wettbewerb zu Anbietern aus Billiglohnländern (LCCs).
- Nur wenn wir besser sind als die Wettbewerber können wir unsere höheren Kosten rechtfertigen.
- Qualität wird heute nicht mehr hinterfragt sondern als gegeben vorausgesetzt.
- Unsere Kunden erwarten Flexibilität und Unterstützung von uns.
- Unsere Kunden werden immer dümmer (produktionstechnisch gesehen).
  Die Anzahl der Einkäufer mit technischem Wissen wird immer geringer.
- Wir müssen für unsere internen Prozesse und unsere Kunden immer mehr Wissen (kostenlos) bereit stellen.
- Da wir praktisch keine eigene Produktentwicklung haben, benötigen wir das Wissensmanagement nicht für den F&E Bereich.
- Wie in den meisten anderen Unternehmen sind fast alle Problemlösungen durch die vorhandenen Mitarbeiter, eine gute Kommunikationsstruktur und geeignete bekannte Tools zu lösen.

Fraunhofer IPK PTK 2010 BEYERS

Herausforderungen beim Wissensmanagement

- Unterschiedliche Studien belegen, dass die Mehrheit der Mitarbeiter und Mitarbeiterinnen in Deutschland der Meinung ist, dass sie eine bessere Leistung bringen und mehr wissen als der Durchschnitt.
- Viele Unternehmen bauen Personal ab und deshalb besteht die Angst den Arbeitsplatz zu verlieren, wenn man entbehrlich ist.
- Die Schlussfolgerung lautet deshalb oft:
  Wenn ich den Kollegen / -innen mein Wissen weiter gebe, schwäche ich meine Position im Unternehmen.
- Ziel eines Unternehmens ist es aber immer, das vorhandene Wissen möglichst effizient in die Prozesse einzubringen.
- Dadurch werden Kosten eingespart und Kunden gewonnen.
- In KMUs werden damit auch Arbeitsplätze gesichert. Für größere Unternehmen muss dies nicht unbedingt gelten.

Fraunhofer IPK

PTK 2010

BEYERS

Wissensmanagement bei Beyers

- Seit 2007 hat die Helmut Beyers GmbH 2 Wissensbilanzen erstellt und plant dies alle zwei Jahre zu wiederholen.
- Es wurden mit dem Projekt PROWIS weitere Elemente des Wissensmanagements etabliert.
- Weitere Projekte (teilweise auch grenzüberschreitend mit den Niederlanden, IBIS) wurden mit der Hochschule Niederrhein realisiert.
- In unserm Hause gibt es eine direkte Anlaufstelle für den Bereich Wissensmanagement, der direkt der Geschäftsführung unterstellt ist.
- Die Krise im letzten Jahr hat uns trotzdem getroffen. Dennoch hat uns unser „Wissen“ dabei geholfen, Entscheidungen nicht nur auf Basis der Finanzbilanz zu treffen.
- Unsere Wissensbilanz hat uns geholfen, die „nicht getroffenen Maßnahmen“ den Banken besser erklären zu können.

Fraunhofer IPK

PTK 2010

BEYERS

Einzelaspekte des Wissensmanagements

- Es gibt viele Aspekte des Wissensmanagement, die bei dieser Veranstaltung vorgestellt werden und die sich bei der Helmut Beyers GmbH widerspiegeln.
- Aus unserer Sicht ganz wichtig ist die Einbeziehung der Mitarbeiter in das Unternehmen.
- Wir als Dienstleister sind nicht von den Geistesblitzen einiger weniger Mitarbeiter oder eines Eigentümers abhängig sondern von einem gut funktionierendem Ganzen.
- Das Unternehmen wird bald 25 Jahre alt und einige Mitarbeiter der ersten Stunde werden uns demnächst verlassen. Wir versuchen zu vermeiden, dass dies zu einem „Wissensverlust“ führt.
- Unabhängig von diesem wichtigen Aspekt möchte ich vertiefend mit ihnen über die Wissensbilanz sprechen und eine sich aus unserer Sicht ergebende Chance, die sich für unser Unternehmen geboten hat uns als innovatives Unternehmen darzustellen.

Fraunhofer IPK PTK 2010 BEYERS

Allgemeines zur Wissensbilanz

- Ausgangspunkt der Methode Wissensbilanz sind die Vision und die Strategie unter Berücksichtigung der Möglichkeiten und Risiken im Geschäftsumfeld. Ein Unternehmen leitet daraus Maßnahmen ab, wie es sich bezüglich der verschiedenen Dimensionen des Intellektuellen Kapitals (Human-, Struktur- und Beziehungskapital) positionieren möchte.
- Das Humankapital erfasst die Kompetenzen, die Fertigkeiten und die Motivation der Mitarbeiter.
- Das Strukturkapital umfasst alle organisatorischen Strukturen und Instrumente zur Regelung der Zusammenarbeit und der Kommunikation.
- Das Beziehungskapital stellt die Beziehungen zu Kunden und Lieferanten sowie weiteren Partnern und der Öffentlichkeit dar.
- Die Wissensbilanz zeigt den Wert des Intellektuellen Kapitals für die Zielerreichung und den Geschäftserfolg der Organisation auf. Dabei zeigt sich, welchen Stellenwert die einzelnen Faktoren haben, wo die Stärken und Schwächen und wo das größte Entwicklungspotenzial liegt.

Berlin, 05.10.2010 Seite 8

Fraunhofer IPK PTK 2010 BEYERS

Wissensblanz in der Helmut Beyers GmbH

- Die erste Wissensbilanz wurde in 2007 erstellt.
- Die Erstellung wurde im Rahmen des Projektes „InCaS“ durchgeführt.
- InCaS („Intellectual Capital Statement - Made in Europe”) wurde im Rahmen des Sechsten Europäischen Forschungsrahmenprogramms durch die Europäische Kommission initiiert.
- Das InCaS Projekt wurde geleitet durch die Europäische Vereinigung der Verbände Kleiner und Mittlerer Unternehmen CEA-PME, Brüssel, und das Fraunhofer IPK, Bereich Unternehmensmanagement, Berlin.
- Das gemeinschaftliche Forschungsprojekt zielt darauf ab die bestehenden internationalen Erfahrungen für den europäischen Mittelstand anwendbar zu machen.
- Dabei waren neben fünf deutschen auch jeweils fünf KMUs aus Frankreich, Polen, Slowenien und Spanien beteiligt.

Berlin, 05.10.2010 Seite 9

Fraunhofer IPK

PTK 2010

BEYERS

Allgemeiner Nutzen der Wissensbilanz

- Im Rahmen von InCaS wurde die Wissensbilanz unter der aktiven Mithilfe der Mitarbeiter erstellt.
- Dies schaffte direkt eine hohe Akzeptanz innerhalb der Belegschaft und half eine der oben genannten Herausforderungen direkt zu überwinden.
- Es wurden Maßnahmen abgeleitet, die unabhängig von den Produktions- und Organisationsabläufen zum Erfolg des Unternehmens beitrugen.
- Wir konnten unser Erscheinungsbild bei unseren Banken verbessern.
- Wir nutzten das Projekt aktiv für unser Marketing.
- Wir haben unsere Kunden davon überzeugen können, dass die Helmut Beyers GmbH der richtige Partner für die Zukunft ist.

Fraunhofer IPK

PTK 2010

BEYERS

Wieso gibt es einen Kundennutzen?

- In unserem Hause wurde im Jahr 2007 eine Diplomarbeit unter dem Titel „Wettbewerbsbeobachtung von KMUs ohne eigene Produkte“ erstellt . [Hochschule Niederrhein, Diplomarbeit Herr Paulo Lourenco Bonanca]
- Hierbei wurde u.a. auch untersucht, wie wir uns als Kunden besser darstellen können.
- Wie eingangs gesagt müssen wir besser sein als der Wettbewerb, da wir nicht preiswerter sein können.
- Aber wir haben kein Produkt. Wir sind wie viele andere Dienstleister in Deutschland darauf angewiesen, dass ein Interessent uns glaubt, dass wir besser sind.
- Im Rahmen der Diplomarbeit wurden unsere Stärken herausgearbeitet.
- Diese waren hohe Flexibilität, gute Logistik, guter After Sales Service und überdurchschnittliches Leistungsangebot.
- Diese sind in einer Marketingbroschüre auch nett anzusehen. Aber wir waren damit nicht zufrieden.

Fraunhofer IPK PTK 2010 BEYERS

Kunden und die Wissensbilanz

- Unsere Stärken finden sich ganz ohne weiteres Zutun auch in der Wissensbilanz wieder.
- Unsere Stärken lassen sich dort objektiv bewerten.
- Unsere Kunden sehen diese und unsere Maßnahmen um diese auszubauen.
- Natürlich sehen unsere Kunden auch unsere Schwächen, aber auch da haben wir die Möglichkeit Wege aufzuzeigen, welche Initiativen wir gestartet haben, um diesen Schwächen zu begegnen.
- Dies passt zu unsere Geschäftspolitik das Unternehmen dem Kunden offen darzustellen (offene Kalkulation) und langfristige Geschäftsbeziehungen zu erhalten.
- Wir haben unseren Kunden die Wissensbilanz vorgestellt.
- Wir haben eine Informationsveranstaltung zusammen mit einer unserer Hausbanken durchgeführt.
- Von unseren A-Kunden haben ca. 60% an dieser Veranstaltung teilgenommen.

Fraunhofer IPK PTK 2010 BEYERS

Die Wissensbilanz als Marketinginstrument

- Die Wissensbilanz erscheint auf den ersten Blick unscheinbar.
- Sie kann aus unsere Sicht nicht genutzt werden, um Neukunden zu gewinnen.
- Sie wird deshalb auch von Wettbewerbern nicht als kritisch angesehen.
- Aus unserer Sicht stellt Sie ein Instrument dar, um unsere A- und B-Kunden von unseren Qualitäten zu überzeugen (Auf Dauer besser!).
- Sie verdeutlicht, dass Sie sich mit der Zukunft Ihres Unternehmens auseinandersetzen.
- Sie können innovative Maßnahmen gezielt herausheben.
- Sie haben damit ein Thema besetzt, dass auch von den Wirtschaftsverbänden ihrer Region als interessant angesehen wird.
- Sie können ihr Unternehmen auf Veranstaltungen dieser Verbände darstellen und auf sich aufmerksam machen ohne Unruhe zu erzeugen.
- Es ermöglicht Ihnen neue Kontakte zu knüpfen.

Fraunhofer IPK

PTK 2010

BEYERS

Fazit

- Wir sehen die Wissensbilanz als ein wesentliches Element des Wissensmanagements für den Mittelstand an.
- Innovationen müssen nicht immer mit neuer Technik verbunden sein. Zeigen sie, dass Sie auch im nicht technischen Bereich innovativ sind.
- Neben vielen anderen positiven Effekten sollte aus unserer Sicht diese Bilanz nicht nur intern genutzt werden.
- Eine Wissensbilanz wirkt nicht sofort. Haben Sie Geduld, es zahlt sich aus unserer Sicht aus.
- Die Wissensbilanz hat bei unserem Unternehmen die Krise auch nicht verhindern können, aber uns geholfen Sie erfolgreich zu überstehen.
- Wir nutzen unsere Wissensbilanz um uns neue Chancen (Gelegenheiten) zu erarbeiten. Versuchen Sie es doch auch einmal.
- Das Geheimnis des Erfolges liegt darin,
  für die Gelegenheit bereit zu sein, wenn sie kommt.
  (Benjamin Disraeli, brit. Politiker und Schriftsteller)

Kai-Uwe Weil
Geschäftsführer ConVoi GmbH

Wissensbilanz im Rating- und Finanzierungsprozess bei Banken

Keywords | *Bankwesen, Rating, Wissensmanagement, Wissensbilanzierung*



Agenda

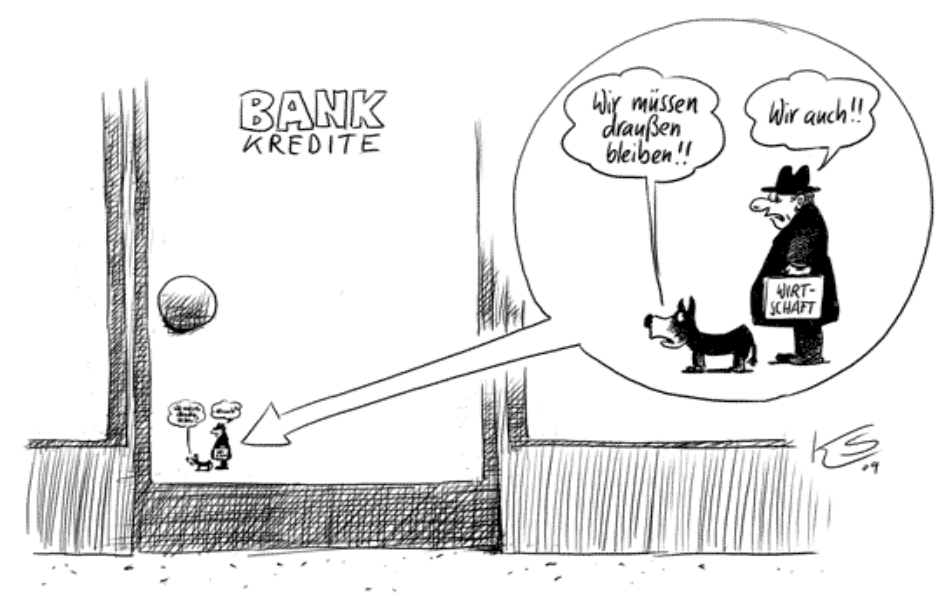
ConVol

1. Die Banken – heute schlimmer denn je?
2. Der Unternehmer und die Bank
3. Was hat die Wissensbilanz mit dem Rating zu tun?
4. Wie kann die Wissensbilanz bei Innovationen nützlich sein?

Die Banken – heute schlimmer denn je?

ConVol

1. Die Banken heute
2. Unternehmer und Bank
3. Wissensbilanz und Rating
4. Wissensbilanz und Innovationen



Die Banken – heute schlimmer denn je?

ConVol

1. Die Banken heute
2. Unternehmer und Bank
3. Wissensbilanz und Rating
4. Wissensbilanz und Innovationen

Aus Sicht der Bank steht der Unternehmer als Kreditnehmer auf drei Säulen

Der Unternehmer	Das Unternehmen	Sicherheiten
- in seiner Person - als kompetenter Unternehmer	- mit seiner Marktstellung - mit seinem Gewinn	- für den Verwertungsfall

- Auf diesen 3 Feldern müssen Sie ihre **„Hausaufgaben“** machen.

Die Banken – heute schlimmer denn je?

ConVol

1. Die Banken heute
2. Unternehmer und Bank
3. Wissensbilanz und Rating
4. Wissensbilanz und Innovationen

- Hier besteht aus der Sicht der Bank eine wechselseitige Abhängigkeit untereinander.
- Für eine Bank können Sicherheiten dann vernachlässigt werden, wenn der Unternehmer und das Unternehmen gut aufgestellt sind.
- Ausreichende Sicherheiten ersetzen die Ertragskraft des Unternehmens und die Kompetenz des Unternehmers schon lange nicht mehr.
- Die Spielräume der Banken in den jeweiligen Feldern sind enger geworden, aber es gibt noch Spielräume.

Die Banken – heute schlimmer denn je?

1. Die Banken heute
2. Unternehmer und Bank
3. Wissensbilanz und Rating
4. Wissensbilanz und Innovationen

- Weiterhin steigende gesetzliche Anforderungen (Haftung für den Vorstand persönlich bisher 5 Jahre, zukünftig 10 Jahre)
- Strenge interne Hierarchie mit genauer Kompetenzfestlegung
- Interne und externe Prüfung, ggf. sogar zusätzlich durch die Bankenaufsicht
- Verantwortlichkeitsprüfung im Falle des Kreditausfalles

Der Unternehmer und die Bank

1. Die Banken heute
2. Unternehmer und Bank
3. Wissensbilanz und Rating
4. Wissensbilanz und Innovationen

Warum man das Rating auch positiv sehen kann

- Basel II „zwingt“ jeden Unternehmer, sich intensiv mit den wirtschaftlichen Eckdaten seines Unternehmens zu beschäftigen.
- Wichtig: Orientierung an klaren Maßstäben und aussagekräftigen Fakten.

Der Unternehmer und die Bank

ConVol

1. Die Banken heute
2. Unternehmer und Bank
3. Wissensbilanz und Rating
4. Wissensbilanz und Innovationen

Strukturen, die für das Unternehmen wichtig sind und beim Rating auf den Prüfstand kommen

4 von 8 Segmente des Ratings beinhalten weiche Faktoren

Aussagen über:

Aktuelle Unternehmensentwicklung
kann die wirtschaftliche Entwicklung zeitnah dargestellt werden, gibt es erhebliche Veränderungen in der Umsatzentwicklung?

Marktsituation
Wie viele Kunden, Umsatzverteilung je Kunde, wie viele Produkte, Gewichtung der Produkte, wie viele neue Produkte in letzter Zeit, Marktstellung

Der Unternehmer und die Bank

ConVol

1. Die Banken heute
2. Unternehmer und Bank
3. Wissensbilanz und Rating
4. Wissensbilanz und Innovationen

Strukturen, die für das Unternehmen wichtig sind und beim Rating auf den Prüfstand kommen

4 von 8 Segmente des Ratings beinhalten weiche Faktoren

Aussagen über:

Unternehmen und Management
Qualität der Geschäftsführung, Führungsmannschaft, Personalentwicklung, Nachfolgeregelung

Unternehmensplanung
Künftige Entwicklung des Unternehmens, Planrechnung, Investitionen

Der Unternehmer und die Bank

1. Die Banken heute
2. Unternehmer und Bank
3. Wissensbilanz und Rating
4. Wissensbilanz und Innovationen

Gewichtung der jeweiligen Ergebnisse beim Rating

- Kennzahlen aus der Bilanzanalyse

ca. 70 Prozent

- Faktoren aus dem Unternehmensumfeld
- Qualität des Managements

ca. 30 Prozent

Wissensbilanz und Rating

1. Die Banken heute
2. Unternehmer und Bank
3. Wissensbilanz und Rating
4. Wissensbilanz und Innovationen

Wo sind die Wissensbilanz und das Rating annähernd deckungsgleich?

- **Humankapital:**
  Faktoren, die die Mitarbeiter näher beschreiben, z.B. Fachkompetenz (Qualifikation und Erfahrung), Führungskompetenz, soziale Kompetenz und Motivation.
- **Management: unter Ratinggesichtspunkten**
  Qualität der Geschäftsführung, Führungsmannschaft, Personalentwicklung, Nachfolgeregelung

Wissensbilanz und Rating

ConVol

1. Die Banken heute
2. Unternehmer und Bank
3. Wissensbilanz und Rating
4. Wissensbilanz und Innovationen

Wo sind die Wissensbilanz und das Rating annähernd deckungsgleich?

- **Strukturkapital:**
  Geht auf Faktoren ein, die in Organisationsstrukturen oder -prozessen festgehalten sind, wie Unternehmenskultur, Kommunikation und Organisation, Produkt- und Verfahrensinnovation.

- **Entwicklung/Organisation unter Ratinggesichtspunkten**
  Umsatzentwicklung, Ertrags- und Liquiditätsplanung, Strategie, Aufbau- u. Ablauforganisation

Wissensbilanz und Rating

ConVol

1. Die Banken heute
2. Unternehmer und Bank
3. Wissensbilanz und Rating
4. Wissensbilanz und Innovationen

Wo sind die Wissensbilanz und das Rating annähernd deckungsgleich?

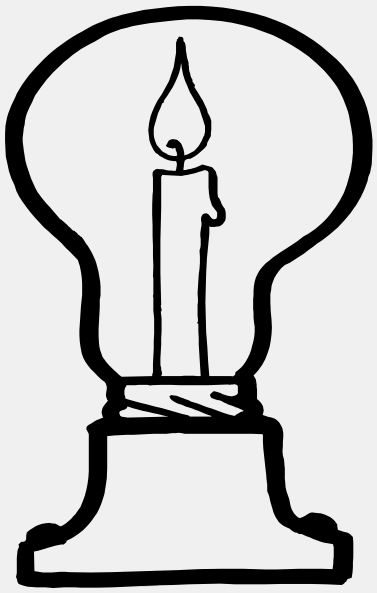
- **Beziehungskapital:**
  Kapital, das aus der Beziehung zu Stake- und Shareholdern – Geschäftspartnern, Investoren, Kunden, Lieferanten u.a. – generiert wird.

- **Markt/Branche/Produkte /Kunden-Bank-Beziehung unter Ratinggesichtspunkten**
  Kunden- u. Lieferantenstruktur, Vertrieb, Marketing, Stellung im Wettbewerb, Unternehmensentwicklung, Branchenrisiken Dauer, Zusammenarbeit, Kontoführung, Informationsverhalten gegenüber der Bank)

Die Wissensbilanz als „Stütze“ bei Innovationsvorhaben

ConVol

1. Die Banken heute
2. Unternehmer und Bank
3. Wissensbilanz und Rating
4. Wissensbilanz und Innovationen



Die Wissensbilanz als „Stütze“ bei Innovationsvorhaben

ConVol

1. Die Banken heute
2. Unternehmer und Bank
3. Wissensbilanz und Rating
4. Wissensbilanz und Innovationen

Was muss ich bei einem Innovationsvorhaben berücksichtigen?

- derzeitig vorhandene Mitarbeiter-kapazitäten
- neue Mitarbeiterkapazität notwendig?
- derzeitiges Know How der Mitarbeiter
- neues Know How notwendig?
- Zeithorizont für die Innovation?

Die Wissensbilanz als „Stütze“ bei Innovationsvorhaben

ConVoi

1. Die Banken heute
2. Unternehmer und Bank
3. Wissensbilanz und Rating
4. Wissensbilanz und Innovationen

Was muss ich bei einem Innovationsvorhaben berücksichtigen?

- passt das Produkt in mein Portfolio?
- den Markt für das neue Produkt einschließlich den Mitwettbewerbern
- Umsetzbarkeit am Markt
- Erfolgskontrolle während der Innovation
- Finanzierungsmöglichkeit

Die Wissensbilanz als „Stütze“ bei Innovationsvorhaben

ConVoi

1. Die Banken heute
2. Unternehmer und Bank
3. Wissensbilanz und Rating
4. Wissensbilanz und Innovationen

Fazit:

- ich benötige ein systematisch aufbauendes flexibles Instrumentarium
- das mich nach der Planung auch bei der Umsetzung begleitet
- mir eine Erfolgskontrolle ermöglicht
- und wenn notwendig für Dritte (z.B. Bank) als nachvollziehbare Entscheidungsgrundlage dienen kann.

Nehmen Sie ihr Geschäft selbst in die Hand ...

... und leben Sie nicht vom Prinzip.....



Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

Kai-Uwe Weil

ConVoi
Collegium für Unternehmensberatung
und Management-Dienste GmbH
Landenbergerstraße 5
73728 Esslingen
Telefon (07 11) 31 09 20-0
Telefax (07 11) 31 09 20-9
Internet www.convoi.de
Email kuw@convoi.de

Prof. Kai Mertins
Fraunhofer IPK

Innovationsimpulse durch Nutzung des Intellektuellen Kapitals

Abstract | Seit Mitte 2009 führt das Fraunhofer IPK in dem vom Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie geförderten Projekt »Wissensbilanz – Made in Germany« eine Studie zum Wissensstandort Deutschland durch. Die Studie hat zum Ziel, den Entwicklungsstand deutscher Unternehmen in der wissensbasierten Wirtschaft zu untersuchen, um daraus Handlungsempfehlungen für Innovationsimpulse der weichen Faktoren (Intellektuelles Kapital) abzuleiten.

1 Einleitung

Durch Veränderungen in den Leistungserstellungsprozessen ist die Bedeutung immaterieller Werte in den Industrieländern deutlich gestiegen. Dieser Wandel von der industriellen Wirtschaft hin zur wissensbasierten Ökonomie findet seinen Ausdruck in zwei grundsätzlichen Strömungen: Einerseits in der Automatisierung von klassischen industriellen Prozessen und/oder deren Verlagerung an Niedriglohnstandorte. Andererseits in der Veränderung der Dienstleistungen und Produkte mit dem Ziel, die Vorteile des hiesigen Standorts mit zwar teuren, aber hoch qualifizierten Fachkräften überwiegen zu lassen.

Diese Entwicklung trifft insbesondere mittelständische Unternehmen, die nicht wie Großunternehmen in der Lage sind, dem steigenden Kostendruck ohne Weiteres durch Volumenwachstum und damit der Nutzung der »Economy of Scale« oder durch Verlagerungen an günstigere Standorte zu begegnen.

Nahe liegende Verbesserungspotenziale aus Automatisierungen und Rationalisierungen sind bei den meisten Unternehmen ausgeschöpft. Zusätzliche Verbesserungen können meist nur noch durch Optimierungen im Management der immateriellen Erfolgsfaktoren, wie den Mitarbeitern, der Zusammenarbeit, den Wissensstrukturen sowie den Beziehungen zu Kunden, Lieferanten und Kooperationspartnern, erzielt werden.

Eine der Folgen daraus ist, dass der Bedarf an Instrumenten zum Management dieses so genannten »intellektuellen Kapitals« immer stärker zunimmt (HOR04). Das intellektuelle Kapital beschreibt dabei alle für die Geschäftstätigkeit wichtigen immateriellen Faktoren und deren Vernetzung untereinander.

Ziel dieses Beitrags ist, den Wissensstandort Deutschland und den Entwicklungsstand hin zur wissensbasierten Wirtschaft aus Sicht der dort ansässigen Unternehmen zu bewerten. Die hier vorgestellten Ergebnisse sollen helfen die folgenden Fragen zu beantworten:

- Wo stehen deutsche Unternehmen auf dem Weg in die wissensbasierte Wirtschaft?
- Welche immateriellen Ressourcen stehen im Mittelpunkt einer wissensbasierten Unternehmensführung?
- Wie unterscheiden sich große und kleine, manager- und eignergeführte Unternehmen bzw. Dienstleistungs- und Produktionsunternehmen hinsichtlich ihrer Strategien zur Stärkung der wissensbasierten Wettbewerbsvorteile?

Zur Beantwortung dieser Fragestellungen wurden Manager und Entscheidungsträger aus Unternehmen in ganz Deutschland mittels einer Online-Umfrage befragt. Die Befragung wurde im Rahmen der vom Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi) geförderten Initiative »Wissensbilanz – Made in Germany« durch den Arbeitskreis Wissensbilanz unter wissenschaftlicher Leitung des Fraunhofer IPK, durchgeführt und durch das Wirtschaftsmagazin Wirtschaftswoche, unterstützt.

2 Studiendesign

Dem Design der vorliegenden Studie liegt die Managementmethode »Wissensbilanz – Made in Germany« zugrunde. Eine Wissensbilanz erfasst und bewertet alle erfolgsrelevanten Faktoren des Intellektuellen Kapitals eines Unternehmens und analysiert deren Wirkungen auf den Geschäftserfolg (BMWi09). Mit Hilfe der Wissensbilanz-Toolbox wurden bis Ende 2009 mehr als 300 Wissensbilanzen in deutschen Unternehmen erstellt. Neben einer Vielzahl von kleinen Unternehmen vertrauen auch Konzerne und große Mittelständler auf das Instrument.

Die Unterscheidung von drei Arten des Intellektuellen Kapitals hat sich mittlerweile als Standard herausgebildet:

Das Humankapital umfasst alle Eigenschaften und Fähigkeiten, welche die einzelnen Mitarbeiter in die Organisation einbringen.

Das Strukturkapital umfasst alle Strukturen, welche die Mitarbeiter einsetzen, um in ihrer Gesamtheit die Geschäftstätigkeit durchzuführen und das Beziehungskapital alle Beziehungen zu externen Gruppen und Personen, welche in der Geschäftstätigkeit genutzt werden.

Auf Basis von 42 erstellten Wissensbilanzen wurde die Harmonisierbarkeit der einzelnen Faktoren des Intellektuellen Kapitals untersucht. Ergebnis ist ein Set von 15 Standardeinflussfaktoren, die 80% des unternehmensspezifischen Intellektuellen Kapitals erfassen (MER07). Dieses empirisch validierte Faktoren-Set bildet die inhaltliche Grundlage der hier dargestellten Befragung.

Die Ergebnisse dieser Studie basieren auf dem Wissensbilanz-Schnelltest, einem Online-Tool, das Unternehmen einen schnellen Überblick über den Status ihres Intellektuellen Kapitals sowie erste Handlungsempfehlungen für das gezielte Management der weichen Faktoren gibt.

Im Zeitraum Juli bis Dezember 2009 wurden über die Internetseiten *www.wissensbilanz-schnelltest.de* und *www.wiwo.de* 2.300 Datensätze erfasst. Die teilnehmenden Unternehmen wurden gebeten, mit Hilfe einer Werteskala von 0 bis 10 einzuschätzen, wie stark Faktoren des Intellektuellen Kapitals ihren Geschäfterfolg beeinflussen und wie gut diese Faktoren in ihren Unternehmen bereits ausgeprägt sind.

3 Stichprobe

Nach Bereinigung der Datensätze konnten 532 Fragebögen zur Auswertung herangezogen werden. Von den 532 Unternehmen antworteten 452 auf die Frage nach ihrer Branche. Dabei gaben 130 (29%) an, aus dem produzierenden Gewerbe zu stammen und 322 (71%) gaben an, dem Dienstleistungsgewerbe anzugehören. 502 Unternehmen machten Angaben zu der Anzahl ihrer Mitarbeiter und 500 zum Jahr der Firmengründung.

Angaben über die Unternehmensgröße (gemessen an Mitarbeiteranzahl)		
Klasse	**Unternehmen (#)**	**Unternehmen (%)**
sehr klein (1 bis 10 Mitarbeiter)	150	29,9%
klein (11 bis 50 Mitarbeiter)	126	25,1%
mittel (51 bis 250 Mitarbeiter)	99	19,7%
groß (251 bis 1000 Mitarbeiter)	54	10,8%
sehr groß (über 1000 Mitarbeiter)	73	14,5%
Summe	502	100%

Angaben über das Unternehmensalter (gemessen an Gründungsjahr)		
Klasse	**Unternehmen (#)**	**Unternehmen (%)**
jung (Gründung ab 2000)	143	28,6%
mittel (Gründung zwischen 1971-1999)	196	39,2%
alt (Gründung bis 1970)	161	32,2%
Summe	500	100%

Abb. 1: Stichprobe nach Unternehmensgröße und -alter

4 Ergebnisse

In einer ersten Auswertung werden hier Antworten auf die drei wichtigsten Fragen gegeben. Die Gesamtstudie zum Wissensstandort Deutschland wird Anfang 2011 veröffentlicht werden.

Wo stehen deutsche Unternehmen auf dem Weg in die wissensbasierte Wirtschaft?
Bereits heute haben die immateriellen Ressourcen einen signifikant höheren Einfluss auf den Geschäftserfolg deutscher Unternehmen als die materiellen Ressourcen wie Maschinen, Anlagen und Gebäude.

Innerhalb der einzelnen Kategorien dieser immateriellen Ressourcen ist das Humankapital am wichtigsten für die befragten Unternehmen. Dabei ist dieser Umstand im Dienstleistungssektor noch deutlicher zu beobachten als im produzierenden Gewerbe. Vor allem die Humankapitalfaktoren »Führungskompetenz« und »Soziale Kompetenz« sind dort nicht nur wichtiger, sondern auch besser ausgeprägt, wie der Gruppenvergleich der gegebenen Antworten zeigt. Die traditionellen, also materiellen und finanziellen Produktionsfaktoren sind hingegen bei den Produktionsunternehmen sowohl wichtiger für den Geschäftserfolg als auch besser ausgeprägt als bei den befragten Dienstleistern.

Dies belegt die wachsende Bedeutung des Dienstleistungssektors als tragende Säule der Wissensgesellschaft in Deutschland. So konnte in der Studie auch nachvollzogen werden, dass Neugründungen großteils im Dienstleistungssektor zu finden sind und damit die Bedeutung des Intellektuellen Kapitals in der Zukunft bei sehr kleinen und jungen Dienstleistungsunternehmen zunehmen wird.

Welche immateriellen Ressourcen stehen im Mittelpunkt einer wissensbasierten Unternehmensführung?
Die wichtigsten Erfolgsfaktoren der wissensorientierten Unternehmensführung kommen, mit einer Ausnahme, konsequenterweise auch aus dem Bereich des Humankapitals: Fachkompetenz, Mitarbeitermotivation, Soziale Kompetenz und Führungskompetenz. Ähnliche Wichtigkeit wie das Humankapital zeigten nur noch die Kundenbeziehungen als wichtigster Faktor des Beziehungskapitals.

Auch die heutige Ausprägung der einzelnen Erfolgsfaktoren, also wie gut der einzelne Faktor bewertet wird, entspricht weitestgehend dieser Reihenfolge.

Wie unterscheiden sich große und kleine, manager- und eignergeführte Unternehmen bzw. Dienstleistungs- und Produktionsunternehmen hinsichtlich ihrer Strategien zur Stärkung der wissensbasierten Wettbewerbsvorteile?
Im Gruppenvergleich lassen sich weitere interessante Unterschiede feststellen: Während Dienstleistungsunternehmen bei ihren externen Beziehungen vor allem auf Kooperationspartner setzen und die Öffentlichkeit als Bezugsgruppe im Fokus haben, sind Produktionsunternehmen stärker auf die Beziehungen zu Lieferanten angewiesen, die sie auch besser managen als die befragten Dienstleister.

Während kleinere Unternehmen noch viel stärker von einzelnen Mitarbeitern – ihrem Humankapital – abhängig sind, steigt die Bedeutung von unternehmensinternen Strukturen und externen Beziehungen mit dem Unternehmenswachstum.

Junge Unternehmen, gegründet ab 2000, sind gegenüber älteren Unternehmen im Bereich Human- und Strukturkapital besser aufgestellt. Dagegen ist die Bedeutung der materiellen Ressourcen für alte Unternehmen (gegründet bis 1970), signifikant größer als in mittel alten Unternehmen (gegründet 1971-1999) und jungen Unternehmen.

Eignergeführte Unternehmen bewerten darüber hinaus die Faktoren des Humankapitals und die meisten Faktoren des Strukturkapitals signifikant besser ein als managementgeführte Unternehmen, was Ihnen bzgl. der wachsenden Bedeutung des Humankapitals in Zukunft einen Vorteil verschaffen könnte.

5 Fazit

Deutsche Unternehmen folgen dem Weg in die wissensbasierte Wirtschaft und haben dabei erkannt, dass die Bedeutung des Intellektuellen Kapitals höher ist als die der materiellen Ressourcen. Insbesondere das Humankapital ist das wichtigste Kapital deutscher Unternehmen. Motivierte und kompetente Mitarbeiter sowie Führungspersönlichkeiten stehen im Fokus der Unternehmen, unabhängig vom Sektor, der Größe oder des Alters. Ferner gilt, dass die Bedeutung der einzelnen Mitarbeiter zunimmt, je kleiner die Organisation ist. Daher sind vor

allem sehr kleine Unternehmen von ihren Mitarbeitern abhängig, um im Wettbewerb zu bestehen.

Vergleicht man die Bedeutung von Fachkräften und qualifiziertem Personal in deutschen Unternehmen mit den demographischen Entwicklungen und dem anhaltenden Fachkräftemangel in Deutschland, ist davon auszugehen, dass sich der Wettbewerb um gutes Personal weiter ausweiten wird. Dabei müssen insbesondere kleinere und mittlere Unternehmen Strategien entwickeln, sich bei der Personalbeschaffung zu behaupten. In diesem Wettbewerb scheinen insbesondere eignergeführte Unternehmen gegenüber managergeführten Unternehmen Vorteile zu haben.
Neben den Mitarbeitern werden auch gute Kundenbeziehungen von deutschen Unternehmen als ein sehr wichtiger Faktor auf dem Weg in die wissensbasierte Wirtschaft gesehen. Im Vergleich dazu stehen laut Studienergebnisse innovative Prozesse, Produkte und Dienstleistungen weniger im Fokus der befragten Unternehmen. Das zeigt, dass sich deutsche Unternehmen vom Image der »Servicewüste Deutschland« emanzipieren wollen. Offen bleibt dabei allerdings, wie die Kundenorientierung in der Praxis verbessert werden soll und welche Wettbewerbsstrategien Unternehmen dafür verfolgt werden.

Literatur

[BMWi09] Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie: Wissensbilanz – Made in Germany, Leitfaden 2.0, Berlin 2009.

[HOR04] Horváth, P.; Möller, K. (Hrsg.): Intangibles in der Unternehmenssteuerung, München 2004.

[MER07] Mertins, K.; Will, M.; Wuscher, S.: Erfolgsfaktoren des intellektuellen Kapitals in mittelständischen Unternehmen, in: Bentele, M.; Hochreiter, R.; Riempp; G. Schütt, P.; Weber, M. (Hrsg.): Mit Wissen – mehr Erfolg! Kongressband zur KnowTech 2007, S.197-205.

[MER05] Mertins, K.; Alwert, K.; Heisig, P. (Hrsg.): Wissensbilanzen – Intellektuelles Kapital erfolgreich nutzen und entwickeln, Springer, Berlin 2005.

Innovationsimpulse durch Nutzung des Intellektuellen Kapitals

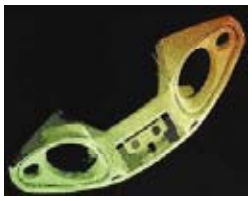
XIII. Internationales Produktionstechnisches Kolloquium
Berlin, 05. Oktober 2010

Prof. Dr.-Ing. Kai Mertins
Direktor Unternehmensmanagement
Fraunhofer IPK
Berlin

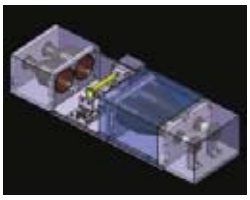
Fraunhofer IPK
INSTITUT FÜR PRODUKTIONSANLAGEN UND KONSTRUKTIONSTECHNIK



Fraunhofer IPK: Geschäftsfelder







- Virtuelle Produktentstehung
- Produktionssysteme
- Automatisierungstechnik
- Medizintechnik
- Unternehmensmanagement
  - Business Exzellenz Methoden
  - Unternehmenslogistik und -prozesse
  - Wissensmanagement (CCWM)

© Fraunhofer IPK, Berlin

Fraunhofer IPK
INSTITUT FÜR PRODUKTIONSANLAGEN UND KONSTRUKTIONSTECHNIK

Wissensbilanz Made in Germany
Fit für den Wissenswettbewerb

Agenda



1 **Innovation und Wissen**

2 Wissensbilanz – Made in Germany

3 Wissensstandort Deutschland

4 Fazit & Herausforderungen

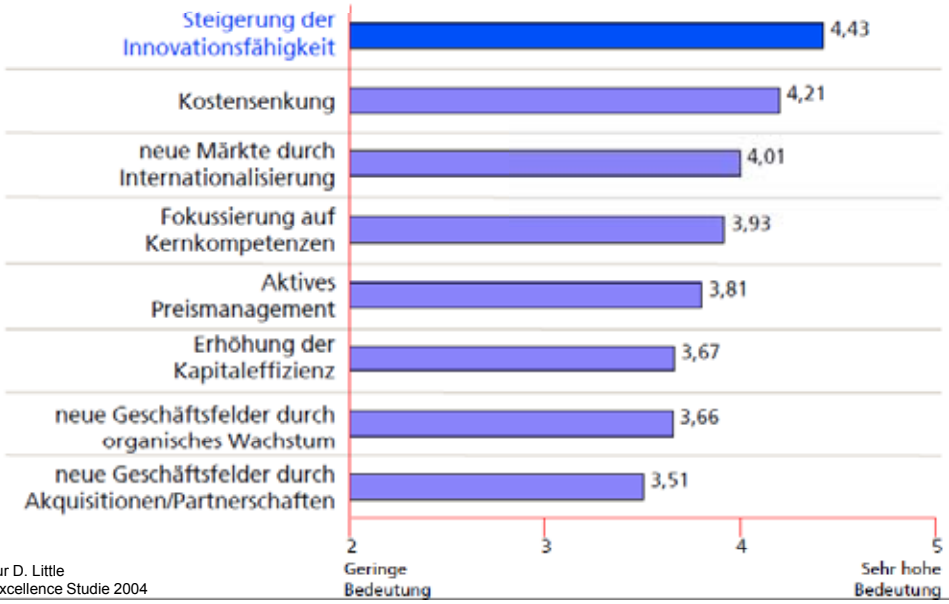
© Fraunhofer IPK, Berlin

Fraunhofer IPK
INSTITUT FÜR PRODUKTIONSANLAGEN UND KONSTRUKTIONSTECHNIK

Wissensbilanz Made in Germany
Fit für den Wissenswettbewerb

Steigerung der Innovationsfähigkeit

Welches sind die wichtigsten Hebel zur Profitabilitäts- und Wachstumssteigerung?



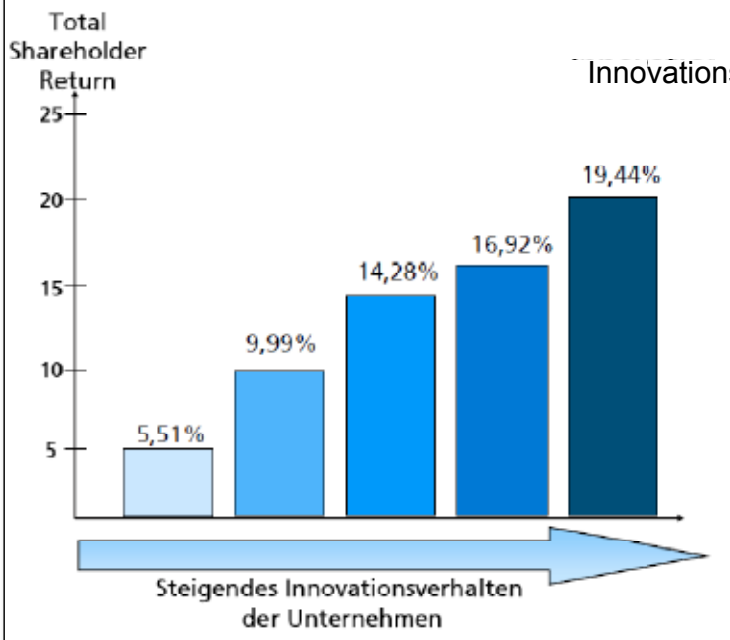
Quelle: Arthur D. Little
Innovation Excellence Studie 2004

© Fraunhofer IPK, Berlin

Fraunhofer IPK
INSTITUT FÜR PRODUKTIONSANLAGEN UND KONSTRUKTIONSTECHNIK

Wissensbilanz Made in Germany
Fit für den Wissenswettbewerb

Innovationen als Schlüssel für nachhaltiges Wachstum – Was sind Innovationen wert?



Innovationsverhalten versus Shareholder Return

- 20% der Fortune 500 Unternehmen verzeichnen den zweifachen Shareholder Return als andere Unternehmen
- eine Studie von Arthur D. Little belegt, dass innovativere Unternehmen einen Höchstsatz für Anteile genießen
- Innovationen haben als Wachstumsfaktor deutlich an Bedeutung gewonnen
- Innovation wird als der kritische Erfolgsfaktor für Unternehmen gesehen

© Fraunhofer IPK, Berlin

Fraunhofer IPK
INSTITUT FÜR PRODUKTIONSANLAGEN UND KONSTRUKTIONSTECHNIK

Wissensbilanz Made in Germany
Fit für den Wissenswettbewerb

Herausforderungen im Wissensmanagement (WM) aus Sicht deutscher Unternehmen



- 92% der deutschen Unternehmen halten Wissensmanagement für wichtig bis sehr wichtig
- 75% sind mit der aktuellen Bewirtschaftung des Produktionsfaktors Wissen nicht zufrieden
- 80% sehen hohen Handlungsbedarf in „strategischer, wissensorientierter Unternehmensplanung“!

➔ Wesentliches Verbesserungspotenzial liegt in der konsequenten Verknüpfung von WM mit der Unternehmensstrategie!

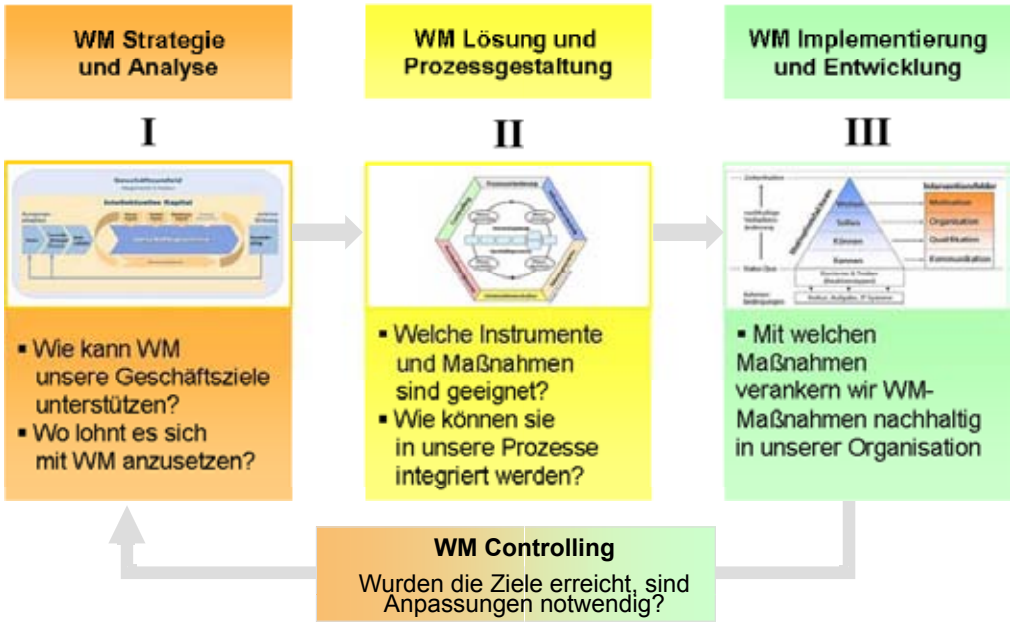
Quelle: **WM-Markstudie „Wissen und Information 2005“**. Fraunhofer Wissensmanagement-Community (2005): Fraunhofer IRB Verlag. (N=540)

© Fraunhofer IPK, Berlin

Fraunhofer IPK
INSTITUT FÜR PRODUKTIONSANLAGEN UND KONSTRUKTIONSTECHNIK

Wissensbilanz Made in Germany
Fit für den Wissenswettbewerb

Ganzheitlicher Ansatz zum Wissensmanagement



© Fraunhofer IPK, Berlin

Fraunhofer IPK
INSTITUT FÜR PRODUKTIONSANLAGEN UND KONSTRUKTIONSTECHNIK

Wissensbilanz Made in Germany
Fit für den Wissenswettbewerb

Agenda



1 Innovation und Wissen
2 **Wissensbilanz – Made in Germany**
3 Wissensstandort Deutschland
4 Fazit & Herausforderungen

© Fraunhofer IPK, Berlin

Fraunhofer IPK
INSTITUT FÜR PRODUKTIONSANLAGEN UND KONSTRUKTIONSTECHNIK

Wissensbilanz Made in Germany
Fit für den Wissenswettbewerb

Die Innovationstreiber deutscher KMU







Humankapital:

- Fachkompetenz
- Soziale Kompetenz
- Mitarbeitermotivation
- Führungskompetenz

Strukturkapital:

- Kooperation und Wissenstransfer
- Führungsinstrumente
- IT und explizites Wissen
- Produktinnovation
- Prozess- und Verfahrensinnovationen
- Unternehmenskultur

Beziehungskapital:

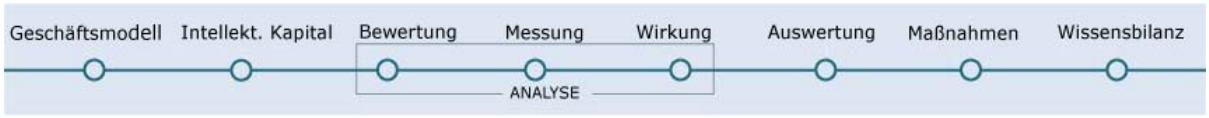
- Kundenbeziehungen
- Lieferantenbeziehungen
- Öffentlichkeitsarbeit
- Beziehungen zu Kapitalgebern, Investoren
- Beziehungen zu Kooperationspartnern

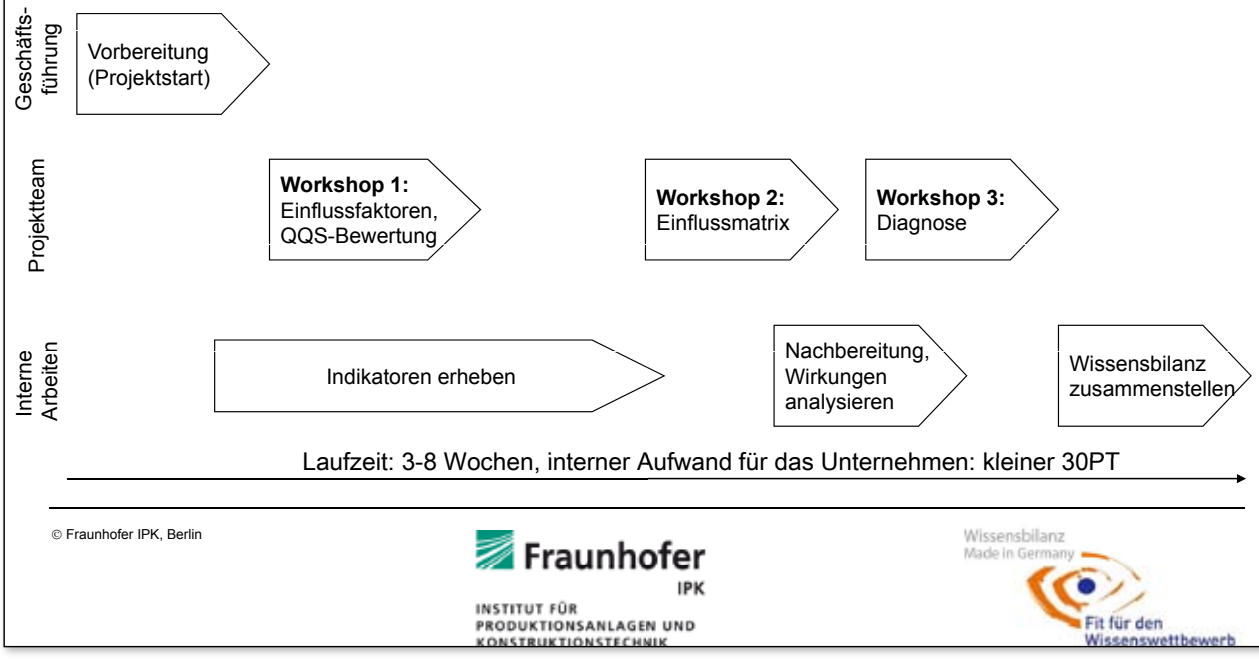
© Fraunhofer IPK, Berlin

Fraunhofer IPK
INSTITUT FÜR PRODUKTIONSANLAGEN UND KONSTRUKTIONSTECHNIK

Wissensbilanz Made in Germany
Fit für den Wissenswettbewerb

Wissensbilanz-Prozess und Projektablauf





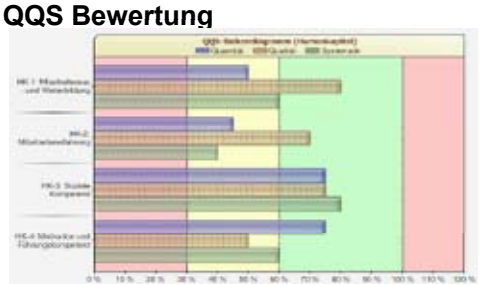
© Fraunhofer IPK, Berlin

Fraunhofer IPK
INSTITUT FÜR PRODUKTIONSANLAGEN UND KONSTRUKTIONSTECHNIK

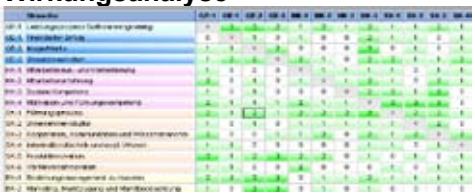
Wissensbilanz Made in Germany
Fit für den Wissenswettbewerb

Bewertung des Intellektuellen Kapitals und Priorisierung von Handlungsfeldern

QQS Bewertung

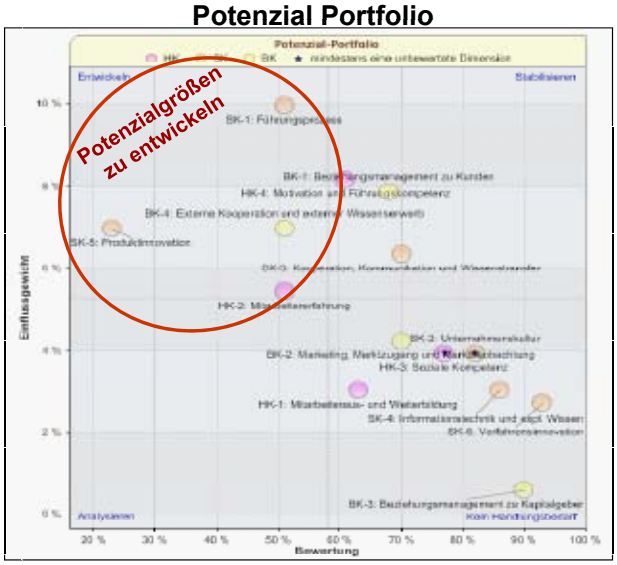


Wirkungsanalyse



Beispiel eines Softwareunternehmens

Potenzial Portfolio

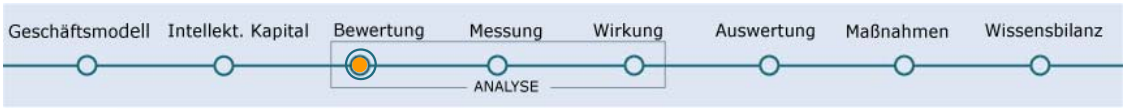


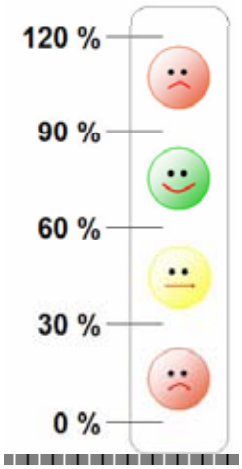
© Fraunhofer IPK, Berlin

Fraunhofer IPK
INSTITUT FÜR PRODUKTIONSANLAGEN UND KONSTRUKTIONSTECHNIK

Wissensbilanz Made in Germany
Fit für den Wissenswettbewerb

Schritt 3: Bewertung der Einflussfaktoren (EF) nach Quantität, Qualität und Systematik (QQS-Bewertung)





120 %... die Qualität, Quantität oder Systematik sind besser oder mehr als erforderlich

90 %... die Qualität, Quantität oder Systematik sind (immer/absolut) ausreichend

60 %... die Qualität, Quantität oder Systematik sind meist ausreichend

30 %... die Qualität, Quantität oder Systematik sind teilweise ausreichend

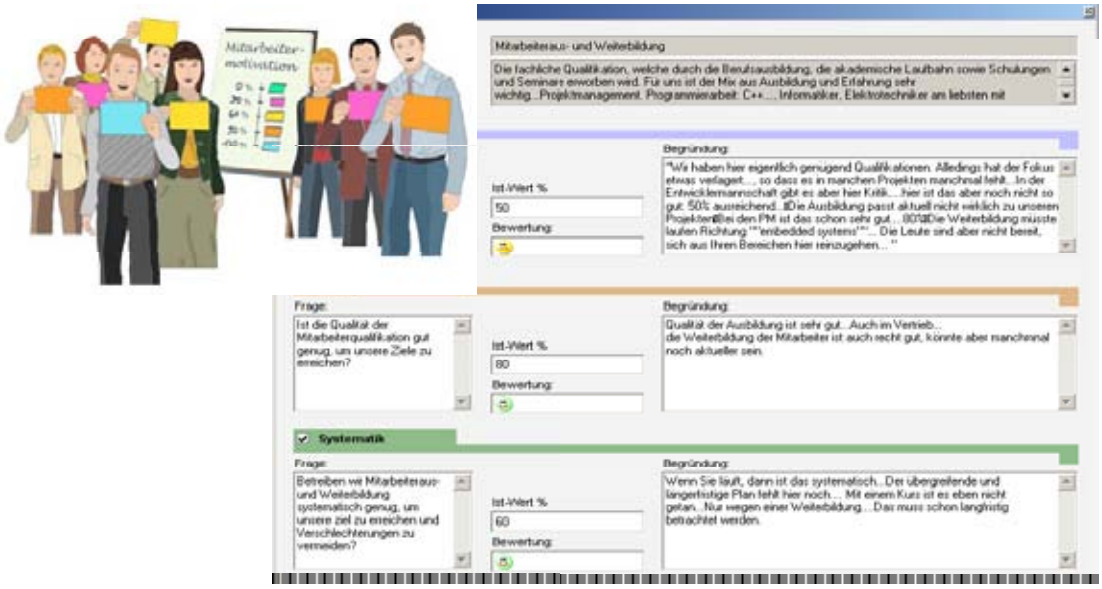
0 %... die Qualität, Quantität oder Systematik sind nicht sinnvoll ermittelbar oder (noch) nicht vorhanden

© Fraunhofer IPK, Berlin

Fraunhofer IPK
INSTITUT FÜR PRODUKTIONSANLAGEN UND KONSTRUKTIONSTECHNIK

Wissensbilanz Made in Germany
Fit für den Wissenswettbewerb

Schritt 3: Bewertung der Einflussfaktoren (EF) nach Quantität, Qualität und Systematik (QQS-Bewertung)

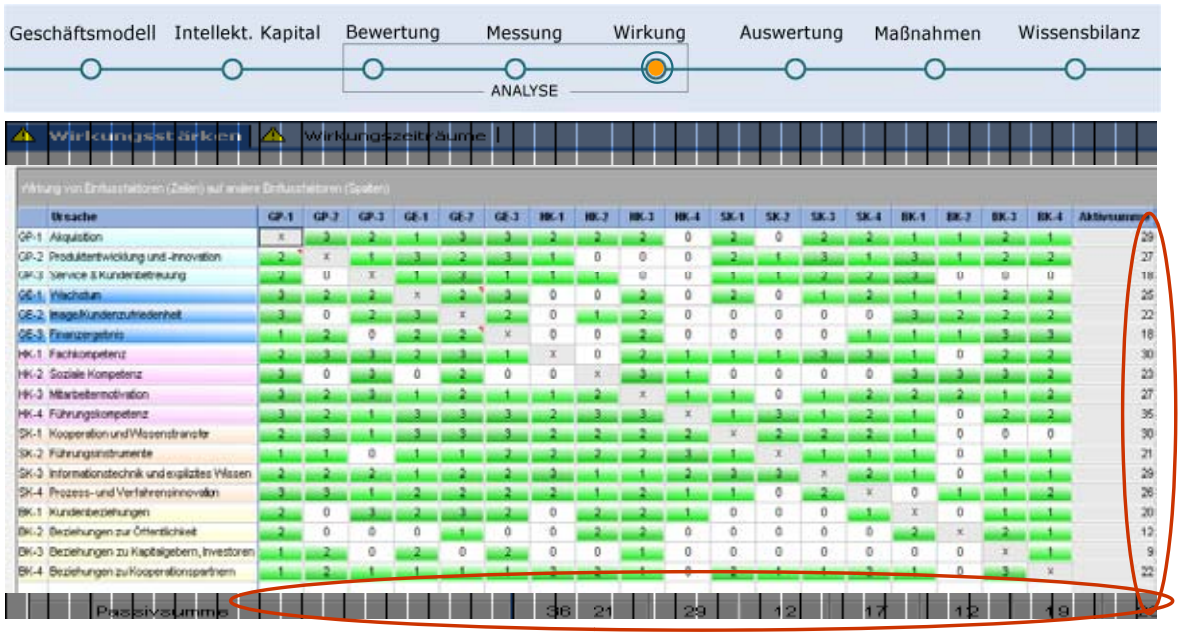


© Fraunhofer IPK, Berlin

Fraunhofer IPK
INSTITUT FÜR PRODUKTIONSANLAGEN UND KONSTRUKTIONSTECHNIK

Wissensbilanz Made in Germany
Fit für den Wissenswettbewerb

Schritt 5: Erarbeitung von Wechselwirkungen (nach Frederick Vester)



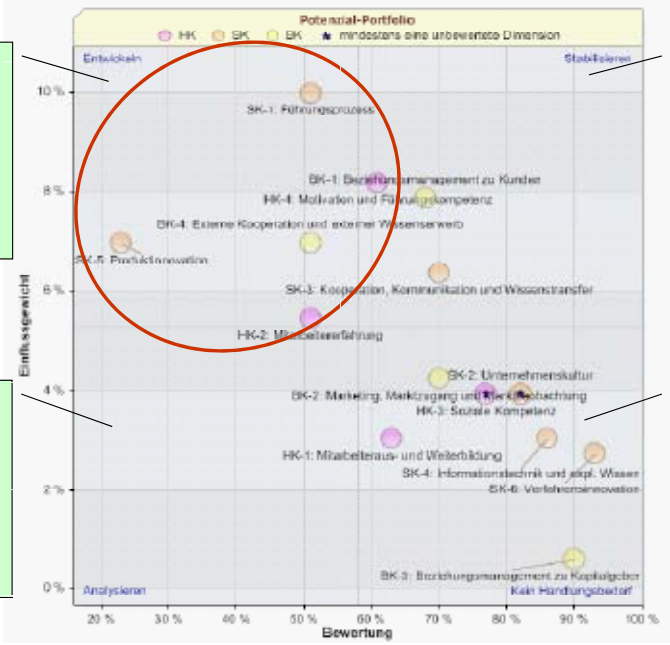
© Fraunhofer IPK, Berlin

Fraunhofer IPK
INSTITUT FÜR PRODUKTIONSANLAGEN UND KONSTRUKTIONSTECHNIK

Wissensbilanz Made in Germany
Fit für den Wissenswettbewerb

Potenzial-Portfolio zur Entscheidungsunterstützung

Sektor „Entwickeln“: Hohes Verbesserungspotenzial, hohes Einflussgewicht → Gezielte Entwicklung der Faktoren mit größter Hebelwirkung (Entwicklungspotenzial)



Sektor „Stabilisieren“: Niedriges Verbesserungspotenzial, hohes Einflussgewicht → auf hohem Niveau halten/ Abrutschen vermeiden (Risikomanagement)

Sektor „Analysieren“: Hohes Verbesserungspotenzial, niedriges Einflussgewicht → im Detail zu untersuchen/ Beobachten

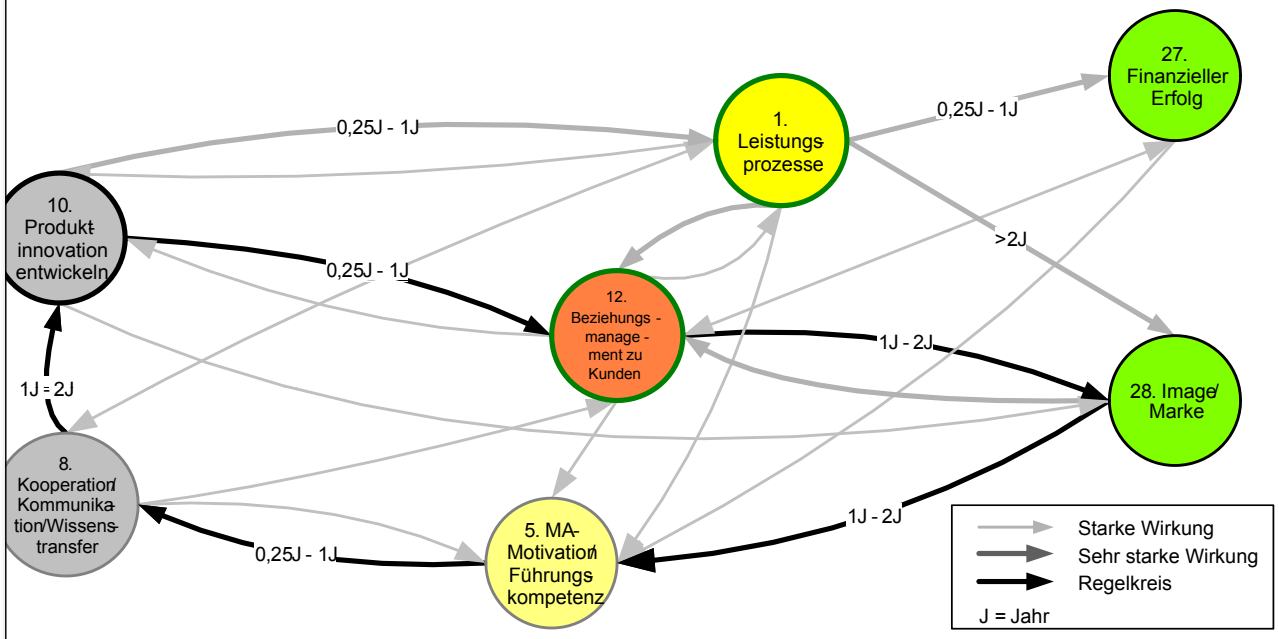
Sektor „Kein Handlungsbedarf“: Niedriges Verbesserungspotenzial, niedriges Einflussgewicht → kein akuter Handlungsbedarf

© Fraunhofer IPK, Berlin

Fraunhofer IPK
INSTITUT FÜR PRODUKTIONSANLAGEN UND KONSTRUKTIONSTECHNIK

Wissensbilanz Made in Germany
Fit für den Wissenswettbewerb

Wirkungsnetze zur gezielten Entwicklung des Intellektuellen Kapitals

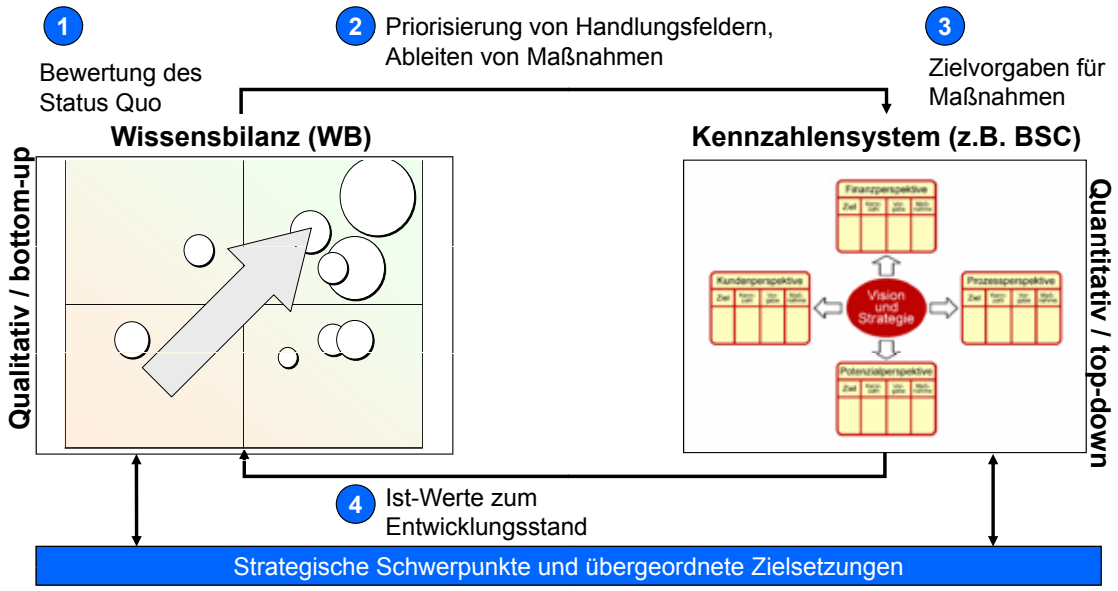


© Fraunhofer IPK, Berlin

Fraunhofer IPK
INSTITUT FÜR PRODUKTIONSANLAGEN UND KONSTRUKTIONSTECHNIK

Wissensbilanz Made in Germany
Fit für den Wissenswettbewerb

Verknüpfung der Wissensbilanz mit Controllinginstrumenten zur Maßnahmensteuerung



© Fraunhofer IPK, Berlin

Fraunhofer IPK
INSTITUT FÜR PRODUKTIONSANLAGEN UND KONSTRUKTIONSTECHNIK

Wissensbilanz Made in Germany
Fit für den Wissenswettbewerb

Wissensbilanz – Nutzen aus Sicht der Anwender

Ausgewählte Referenzen:

EnBW
ZF
OFFIS Institut für Informatik
reinisch
ZF
SACHS
KSC
PASS STANZTECHNIK AG
Präzision in Perfektion
BLUMENBECKER

- Einfache und schnelle Diagnose im Team
- Transparenz über Potenziale im Human-, Struktur- und Beziehungskapital
- Ganzheitliche Sicht auf das Unternehmen bzw. die Organisationseinheit
- Gemeinsames Verständnis über Stärken und Schwächen sowie über bereichsübergreifende Zusammenhänge und Synergiepotenziale
- Partizipatives Erarbeiten von Lösungsvorschlägen für priorisierte Handlungsfelder
- Entscheidungsvorlage mit vollständiger Analyse und aus den Geschäftszielen abgeleiteten Handlungsempfehlungen für das Management

© Fraunhofer IPK, Berlin

Fraunhofer IPK
INSTITUT FÜR PRODUKTIONSANLAGEN UND KONSTRUKTIONSTECHNIK

Wissensbilanz Made in Germany
Fit für den Wissenswettbewerb

Agenda



1 Innovation und Wissen

2 Wissensbilanz – Made in Germany

3 Wissensstandort Deutschland

4 Fazit & Herausforderungen

© Fraunhofer IPK, Berlin

Fraunhofer IPK
INSTITUT FÜR PRODUKTIONSANLAGEN UND KONSTRUKTIONSTECHNIK

Wissensbilanz Made in Germany
Fit für den Wissenswettbewerb

Studie zum Wissensstandort Deutschland



Fragestellungen:

Wo stehen deutsche Unternehmen auf dem Weg in die wissensbasierte Wirtschaft?

Welche immateriellen Ressourcen stehen im Mittelpunkt einer wissensbasierten Unternehmensführung?

© Fraunhofer IPK, Berlin

Fraunhofer IPK
INSTITUT FÜR PRODUKTIONSANLAGEN UND KONSTRUKTIONSTECHNIK

[AK-WB]

Basis der KMU-Studie: allgemeine Strukturdaten

- Insgesamt **N=532 Unternehmen** aus ganz Deutschland
- Größenverteilung der Unternehmen anhand der Mitarbeiteranzahl
  - **29,9% Kleinstunternehmen** (bis 10 Mitarbeiter)
  - **25,1% kleine Unternehmen** (11-50 Mitarbeiter)
  - **19,7% mittlere Unternehmen** (51-250 Mitarbeiter)
  - **10,8% mittelgroße Unternehmen** (251-1.000 Mitarbeiter)
  - **14,5% Großunternehmen** (über 1.000 Mitarbeiter)

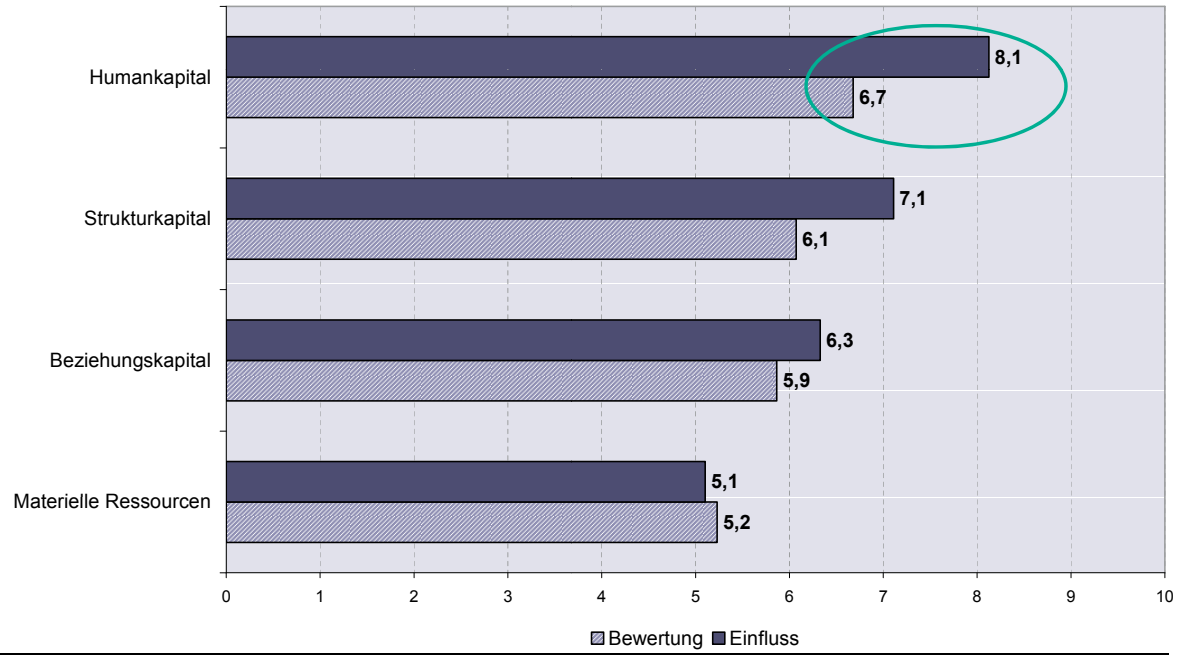
- Verteilung nach Sektoren
  - **Produzierendes Gewerbe: 28,8%**
    Metallbearbeitung, Maschinenbau, Baugewerbe etc.
  - **Dienstleistungsunternehmen: 71,2%**
    IT-Dienstleistungen, wirtschaftliche Dienstleistungen, Gesundheitswesen, Kreditgewerbe, Handwerk etc.

© Fraunhofer IPK, Berlin

Fraunhofer IPK
INSTITUT FÜR PRODUKTIONSANLAGEN UND KONSTRUKTIONSTECHNIK

Wissensbilanz Made in Germany
Fit für den Wissenswettbewerb

Unterschiede zwischen Einfluss und Bewertung des Intellektuellen Kapitals

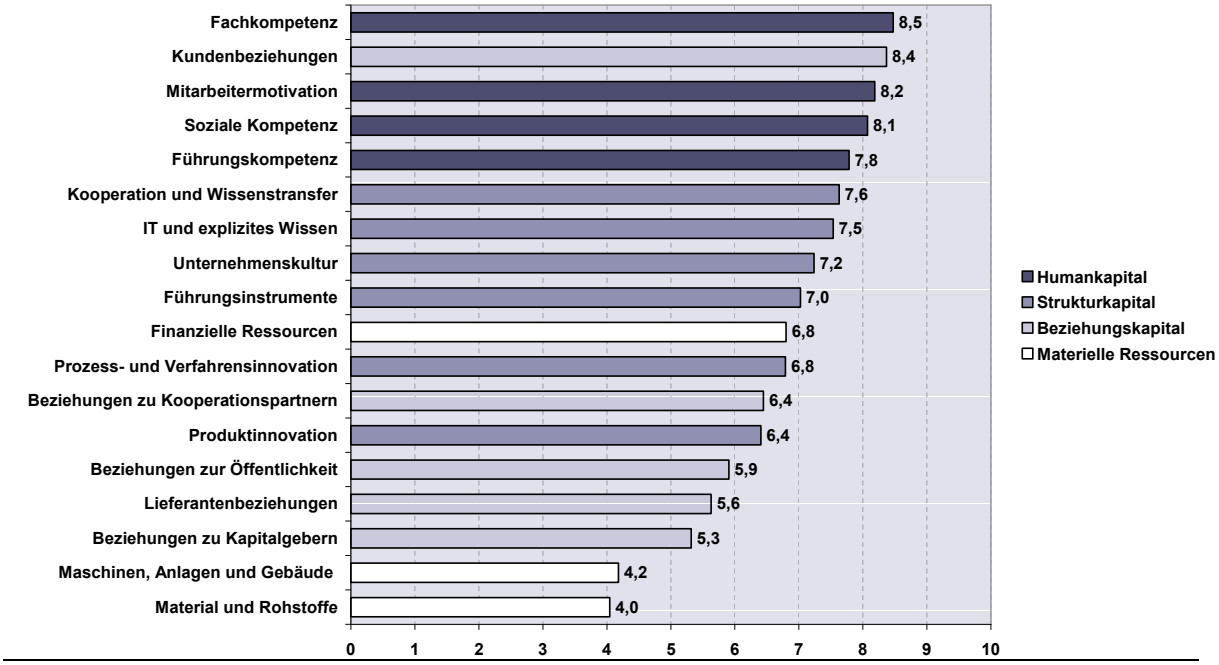


© Fraunhofer IPK, Berlin

Fraunhofer IPK
INSTITUT FÜR PRODUKTIONSANLAGEN UND KONSTRUKTIONSTECHNIK

Wissensbilanz Made in Germany
Fit für den Wissenswettbewerb

Einfluss der Erfolgsfaktoren der wissensbasierten Unternehmensführung



© Fraunhofer IPK, Berlin

Fraunhofer IPK
INSTITUT FÜR PRODUKTIONSANLAGEN UND KONSTRUKTIONSTECHNIK

Wissensbilanz Made in Germany
Fit für den Wissenswettbewerb

Agenda



1 Innovation und Wissen

2 Wissensbilanz – Made in Germany

3 Wissensstandort Deutschland

4 Fazit & Herausforderungen

© Fraunhofer IPK, Berlin

Fraunhofer IPK
INSTITUT FÜR PRODUKTIONSANLAGEN UND KONSTRUKTIONSTECHNIK

Wissensbilanz Made in Germany
Fit für den Wissenswettbewerb

Fazit & Herausforderungen



- Deutsche Unternehmen haben erkannt, dass das **Intellektuelle Kapital für Innovationsimpulse bedeutender** ist als finanzielle und materielle Werte.
- Die Innovationsfähigkeit der deutschen Unternehmen ist geprägt von der **Brain-Power** der beschäftigten **Menschen** („Humankapital“).
- **Größter Handlungsbedarf** besteht in der **nachhaltigen Entwicklung des gesamten Humankapitals** (Fachkompetenzen, Motivation, soziale und Führungskompetenzen), um Innovationen voran zu treiben.
- Das Management der Kundenbeziehungen ist mit der systematischen Generierung und **gezielten Nutzung des Kundenwissens** zu verknüpfen, um marktfähige Innovationen zu unterstützen („Customer Knowledge Management“).
- 15,8% der befragten Unternehmen nutzen bereits die Wissensbilanz zum **Aufbau eines nachhaltigen Managements des Intellektuellen Kapitals.**

© Fraunhofer IPK, Berlin

Fraunhofer IPK
INSTITUT FÜR PRODUKTIONSANLAGEN UND KONSTRUKTIONSTECHNIK

Wissensbilanz Made in Germany
Fit für den Wissenswettbewerb

Danke für Ihre Aufmerksamkeit!



Wissensbilanzen
Intellektuelles Kapital erfolgreich nutzen und entwickeln

Hrsg.: Mertins, K.; Alwert, K. ;Heisig, P.
Beiträge von über 20 namhaften Experten!



Benchmarking
Leitfaden für den Vergleich mit den Besten

Hrsg.: Mertins, K.; Kohl, H.
Mit Beiträgen namhafter Experten!



Wissensmanagement im Mittelstand
Grundlagen – Lösungen – Praxisbeispiele

Hrsg.: Mertins, K.; Seidel, H.
Neuerscheinung 2009

Prof. Dr.-Ing. Kai Mertins

Direktor
Bereich Unternehmensmanagement
Fraunhofer IPK
Pascalstraße 8-9
10587 Berlin

kai.mertins@ipk.fraunhofer.de
☎ +49(0)30 / 390 06 234
+49(0)30 / 393 25 03
www.um.ipk.fraunhofer.de
www.akwissensbilanz.org

© Fraunhofer IPK, Berlin

Fraunhofer IPK
INSTITUT FÜR PRODUKTIONSANLAGEN UND KONSTRUKTIONSTECHNIK

Wissensbilanz Made in Germany
Fit für den Wissenswettbewerb

Prof. Martina Schraudner, Anna Froese
IWF TU Berlin

Impulsvortrag für das Knowledge Café »Innovationsimpulse durch Genderpolitik und Wissensmanagement: immaterielles Vermögen richtig einsetzen«

Abstract | Diversity Management hat sich in den letzten Jahren zu einem integralen Bestandteil moderner Unternehmensführung global agierender Organisationen entwickelt. Auch viele Unternehmen im deutschsprachigen Raum sind diesem Trend gefolgt und haben diesen Management-Ansatz in bestehende Strukturen und Prozesse implementiert. Der Artikel untersucht die Frage, welche Vorteile für Unternehmen durch die bewusste Nutzung von Vielfalt und Unterschiedlichkeit entstehen und welche organisationalen Voraussetzungen dafür notwendig sind. Es wird gezeigt, dass die Steigerung der Innovationsfähigkeit ein Hauptmotiv für die Einführung von Diversity Management ist.
Die Ergebnisse sind im Rahmen des vom Bundesministerium für Bildung und Forschung geförderten Forschungsprojekts »GenderChancen- Nutzung des Potenzials von Frauen im Innovationssystem« entstanden. Ziel dieses Projekts war es, zu zeigen, welche Grundbedingungen in Organisationen dazu beitragen, das Potenzial von Frauen in besonderer Form zu fördern.

Keywords | *Gender Diversity, Diversity Management, Innovationspotenzial von Frauen, Innovationssystem*

1 Einführung und zentrale Begriffe

Diversity Management gewinnt aktuell für Organisationen in Deutschland und der Schweiz vor dem Hintergrund der Globalisierung und der demographischen Entwicklung immer mehr an Relevanz.1 Gesellschaftliche Trends wie das Aufbrechen traditioneller Familienstrukturen, Individualisierung in der Gesellschaft, globale und internationale Vernetzung der Märkte, eine erhöhte soziale Verantwortung der Unternehmen, gesetzliche Veränderungen oder die höhere Beteiligung von Frauen am Erwerbsleben stellen Unternehmen vor neue Herausforderungen.

Unter *Diversity Management* wird die »Planung und Implementierung organisationaler Strukturen und Praktiken sowie die Gestaltung einer Personalpolitik, die die Entfaltung der potenziellen Vorteile von Diversität ermöglicht« verstanden.[2] Das Konzept *Diversity* (deutsch: Vielfalt, Unterschiedlichkeit, Verschiedenartigkeit) bezieht sich einerseits auf *sichtbare* Merkmale von Menschen, z.B. Alter, Geschlecht und ethnische Zugehörigkeit und erfasst gleichzeitig *unsichtbare* Charakteristika wie Religionszugehörigkeit, sexuelle Orientierung sowie Einstellungen und Werte.[3] Diversity Management zielt darauf ab, die Diversität der Belegschaft zu erhöhen und mit vorhandener Unterschiedlichkeit so umzugehen, dass positive Effekte für das Unternehmen, z.B. durch einen Zugang zu neuen Ressourcen oder eine höhere Mitarbeiterzufriedenheit entstehen.[4]

2 Methodik

Um die Effekte und Nutzen dieses Ansatzes aufzuzeigen und anhand empirischer Beispiele zu belegen, untersuchten wir dreizehn Unternehmen[5] hinsichtlich ihrer

1 Vgl. Bassett-Jones (2005), S. 170.
2 Eigene Übersetzung der Definition von Cox (1993), S. 11. Für eine ausführliche Darstellung des Konzepts vgl. Cox (2001) und Cox/Blake (1991) sowie Finke (2006).
3 Vgl. für eine Vielzahl anderer Autoren Krell (2004), S. 42; Vedder (2009), S. 111ff.
4 Für eine ausführliche Diskussion der betriebswirtschaftlichen Effekte vgl. stellvertretend für viele andere Kochan et al. (2003) sowie Wittenberg-Cox/Maitland (2008). Für Beispiele für die Integration von Gender-Aspekten in Forschungs- und Entwicklungsprojekten vgl. Schraudner (2006), S. 5 ff. sowie Schraudner/Lukoschat (2006), S. 6 ff.
5 Davon wurden zwölf Unternehmen in Deutschland und ein Unternehmen in der Schweiz untersucht.

Implementierungs-konzepte für Diversity Management. Die Studie stützt sich auf eine qualitative empirische Erhebung. Im Zeitraum von Oktober 2008 bis Februar 2009 führten wir halb-strukturierte Experteninterviews mit den verantwortlichen Abteilungsleiterinnen und Abteilungsleitern der Diversity-Abteilungen[6] dreizehn großer Unternehmen im deutschsprachigen Raum durch. Im Rahmen der Untersuchung wurden 18 große, namhafte Unternehmen in Deutschland und der Schweiz angeschrieben. Für unsere Good-Practice-Analyse wurden Unternehmen ausgewählt, die durch ihre Aktivitäten oder Öffentlichkeitsarbeit (z.B. auf Konferenzen oder anhand der Unterzeichnung der Initiative »Charta der Vielfalt«) im nationalen Raum im Bereich Diversity Management eine besondere *Sichtbarkeit* erlangt haben. Ausgewählt wurden Unternehmen verschiedener *Branchen* (Dienstleistungs-, Pharma-, IT-, Technologie-, Handel,- Automobilbranche), um eine Bandbreite an Unternehmen verschiedener Hintergründe und Sachziele abbilden zu können. Mit der Novartis AG (Schweiz), der Daimler AG, der Robert Bosch GmbH, Microsoft Deutschland, der Deutschen Lufthansa AG, der Deutschen Bahn AG, der Deutschen Telekom AG, der Commerzbank AG, der Deutschen Bank AG, der Fraport AG, Ikea Deutschland GmbH & Co KG, der KPMG AG Wirtschaftsprüfungsgesellschaft und der Henkel AG konnten 13 namhafte Unternehmungen im deutschsprachigen Raum für die Beteiligung an der Studie gewonnen werden. Abbildung 1 zeigt die Zugehörigkeit der befragten Unternehmen zu verschiedenen Branchen, Abbildung 2 die Verteilung nach Unternehmensgröße. Die meisten untersuchten Unternehmen haben einen Personalbestand von mehr als 100.000 Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern. Die Dienstleistungsbranche ist in der Stichprobe am stärksten repräsentiert.

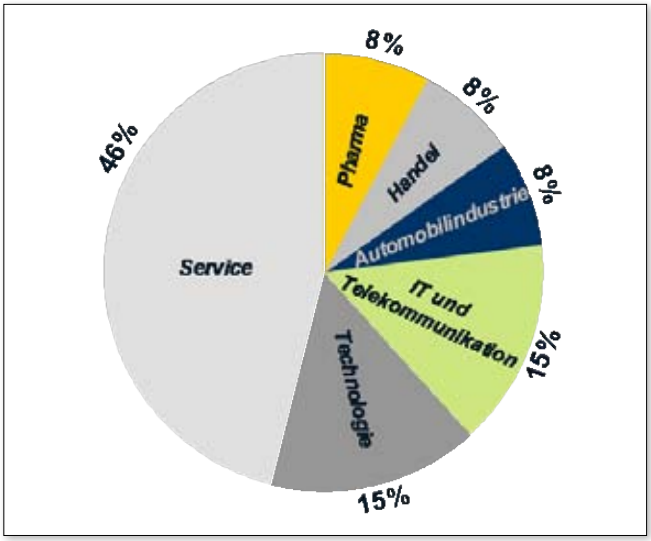


Abbildung 1: Zugehörigkeit der untersuchten Unternehmen zu Branchen, n = 13

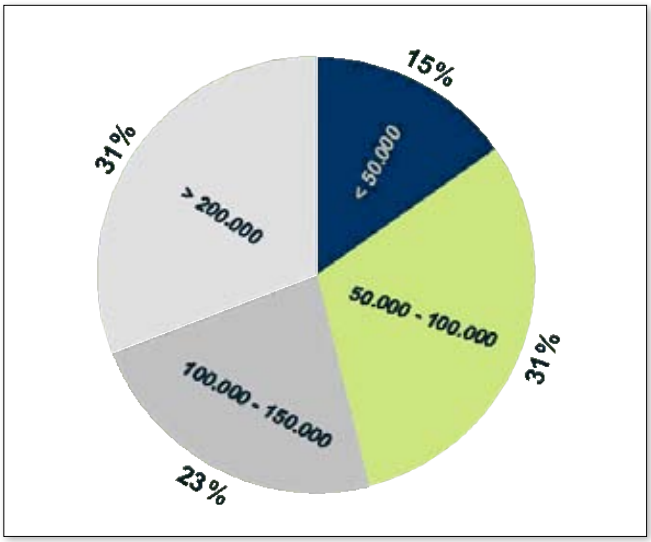


Abbildung 2: Untersuchte Unternehmen nach Unternehmensgröße, n = 13

3 Zielgruppen und Nutzen

Die meisten der befragten Unternehmen etablierten in den Jahren 2001 bis 2005 ein institutionalisiertes Diversity Management. Abbildung 3 bietet eine Übersicht über die adressierten Zielgruppen der befragten Unternehmen.

6 Es wurden die Verantwortlichen in den Diversity-Management-Abteilungen befragt. Ausnahme: Bei der Fraport AG wurde die Beauftragte für Gleichstellungsfragen interviewt.

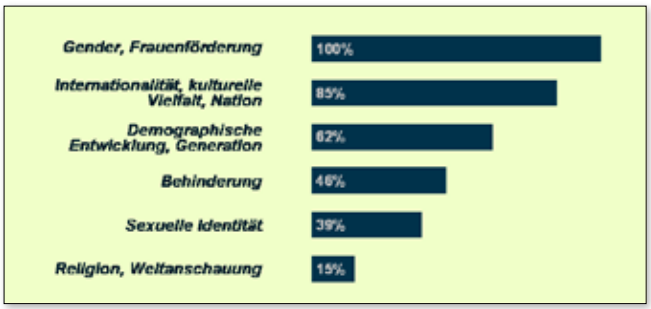


Abbildung 3: Zielgruppen des Diversity Management innerhalb der befragten Unternehmen

Alle befragten Unternehmen gaben an, dass das Thema Diversity an bestehende Strukturen und Kompetenzen im Bereich Geschlechtergleichstellung anschließt (100 Prozent der von uns befragten Unternehmen). Gleichzeitig lässt sich eine Tendenz zur Öffnung des Themas feststellen, die viele neue Zielgruppen einbezieht und Querschnittsthemen auf den Plan bringt.

Abbildung 4 zeigt, welche Nutzenargumente für die befragten Unternehmen relevant und mit welcher Motivation Diversity Management-Strategien verfolgt werden:

Unsere Untersuchung zeigte, dass die befragten Unternehmen proaktiv aus einer marktorientierten Perspektive heraus agieren (für 77 Prozent der Unternehmen ist die Erschließung neuer Märkte/Kundengruppen ein ausschlaggebender Faktor, 92 Prozent wollen ihre Innovationsfähigkeit erhöhen; siehe Abbildung 4). Ebenso wichtig wie die Steigerung der Attraktivität als Arbeitgeber ist die Steigerung der Mitarbeiterzufriedenheit und -motivation (62 Prozent). Für die Mehrheit (54 Prozent) der untersuchten Unternehmen ist Steigerung des Unternehmenserfolgs ein relevanter Faktor. Rechtliche Anforderungen z.B. Allgemeines Gleichbehandlungsgesetz, waren nur für 15 Prozent der Unternehmen ausschlaggebend für die Einführung des Diversity Managements.

Für 92 Prozent der untersuchten Unternehmen ist die Erhöhung der Innovationsfähigkeit ein zentraler Faktor, Diversity Management zu betreiben.
Eine häufig praktizierte Strategie ist es, die Struktur der Kunden im Unternehmen durch die Anpassung der Mitarbeiterstruktur abzubilden.

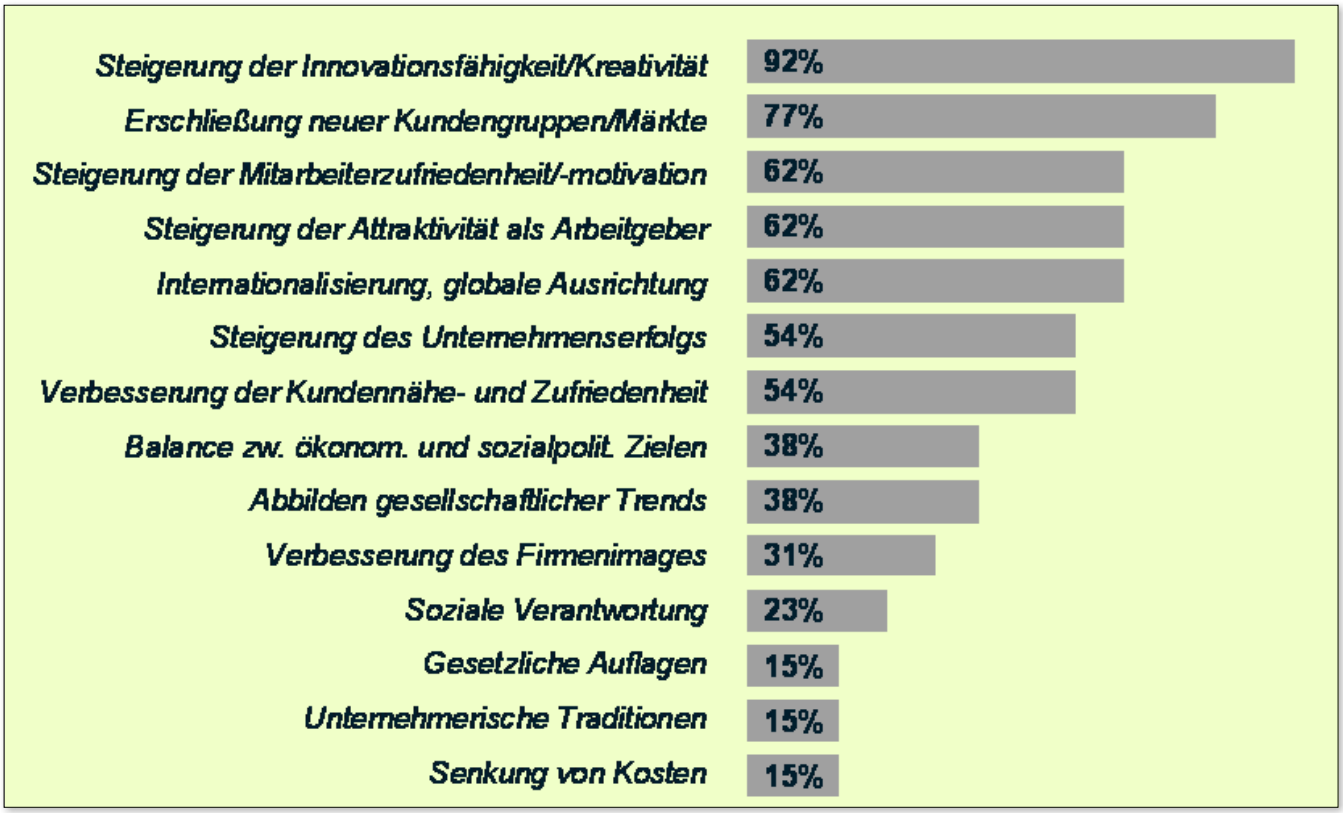


Abbildung 4: Nutzenargumente für Diversity Management, Nennungen der Diversity-Expertinnen und Experten, Mehrfachnennungen möglich

So nutzt beispielsweise die Deutsche Telekom AG, die Vielfalt der Beschäftigten um die Wünsche und Bedürfnisse der Vielfalt ihrer Kundschaft abzubilden und damit bessere Produkte und Dienstleistungen bereitzustellen. In einem Modellprojekt stellte die Deutsche Telekom AG bei der Analyse der Kundenstruktur einiger ihrer Telekom Shops fest, dass die Altersstruktur ihres Verkaufspersonals nicht der Altersstruktur der Kundschaft im Einzugsgebiet entsprach. Durch freiwillige Umbesetzungen der Beschäftigten gelang die Anpassung der Altersstruktur und hierdurch konnte das Kauf- und Umsatzverhalten der Kundschaft positiv beeinflusst werden.

In Dortmund wurde unter einer starken Beteiligung von Auszubildenden befristet ein Telekom Shop mit einem interkulturellen Schwerpunkt eingerichtet. Die Auszubildenden (oft mit eigenem Migrationshintergrund) entwickelten Strategien zur Ansprache von Menschen mit unterschiedlichen ethnischen Hintergründen, z.B. verschiedensprachige Flyer und wirkten bei der Gesamtkonzeption des T-Punkts mit. Dieser T-Punkt erfuhr einen starken Zuspruch, da die Kundinnen und Kunden verschiedener kultureller Wurzeln sich dort angesprochen und sehr gut beraten fühlten. Weitere Angebote für Menschen mit einem unterschiedlichen kulturellen Hintergrund sind z.B. eine englischsprachige Auskunft, eine türkischsprachige Auskunft sowie Angebote für hörgeschädigte oder gehörlose Menschen. Darüber hinaus wurde eine Hotline für sehbehinderte und blinde Menschen eingerichtet.

Innovative Wege stellt sich die Deutsche Telekom auch bei der Erstellung von Bedienungsanleitungen vor. Hier werden gezielt Frauen eingesetzt, um anwendungsorientierte Aspekte von Bedienungsanleitungen in den Vordergrund zu stellen und die Verständlichkeit für Nutzerinnen und Nutzer ohne technische Ausbildung zu erhöhen.

Diversity-Management-Abteilungen werden regelmäßig an Innovationsprojekten beteiligt. So wurde die Diversity-Expertin bei der Deutschen Bahn AG bei einem Innovationsprojekt zu Reisenden »Generation 50 Plus« integriert. Schwerpunkt des Projekts war die Durchführung von Szenario-Analysen zu den künftigen Bedürfnissen der spezifischen Zielgruppe, um diese besser adressieren zu können. Für die Henkel AG ist die Besetzung von internationalen, gemischten Teams in allen Unternehmensbereichen und Funktionen eine wichtige Voraussetzung für die Entwicklung innovativer Produkte und damit für den nachhaltigen wirtschaftlichen Erfolg.

4 Organisatorische Verankerung und Erfolgsfaktoren

Im Rahmen unserer Untersuchung stellten wir fest, dass die Organisationsmodelle der verschiedenen Unternehmen eine hohe Ähnlichkeit aufweisen. Typischerweise ist eine zentrale Diversity-Management-Organisationseinheit im Human-Resources-Zentralbereich i.d.R. als *Stabstelle* (oft auch im Bereich Personalentwicklung) verankert, die flexibel mit Akteuren in den dezentralen Einheiten (Geschäftsbereichen) zusammen wirkt. In der Regel ist die zentrale Einheit direkt bei dem für Personal zuständigen Mitglied des Vorstands oder der Geschäftsführung verortet, an den direkt berichtet wird.

Zu den Aufgaben des Diversity-Management-Zentralbereichs zählen die Erarbeitung verbindlicher Richtlinien, Durchführen von Pilotprojekten, Awareness Building/ Sensibilisierung innerhalb und außerhalb des Unternehmens, Koordinierung und Vernetzung der dezentralen Ansprechpartner in dezentralen Einheiten sowie das Erheben relevanter Kennzahlen. Die Verantwortung für die Durchführung von Programmen, Projekten und Maßnahmen d.h. die tatsächliche Umsetzung des Diversity Management liegt bei den dezentralen Akteuren. Auf diese Weise können auch die regionalen Gegebenheiten und landesspezifischen Regelungen Beachtung finden. Bewusst ist in vielen Unternehmen die Ressourcenausstattung der zentralen Organisationseinheit niedrig gehalten, damit für alle klar erkennbar ist, dass die Hauptverantwortung bei den jeweiligen *dezentralen Einheiten* liegt das Thema nur umgesetzt werden kann, wenn eine hohe Identifikation bei einer breiten Basis vorliegt. Zusammengefasst lässt sich sagen, dass Unternehmen sich ein Zusammenwirken von Top-Down- und Bottom-Up-Ansatz[7] zunutze machen. Das Top-Management unterstützt das Thema als Kommunikator und in einer Vorbild-Rolle und sorgt für eine prominente Verortung.

7 Zum Zusammenwirken von Top-Down und Bottom-Up bei der Einführung von Diversity in Unternehmen vgl. Finke (2006), S. 58ff.

Zur Schaffung einer breiten Verankerung wird die Bildung themenbezogener Netzwerke (z.B. für Schwule und Lesben) unterstützt. Oft werden interne oder externe Beiräte initiiert, die die Zentraleinheit beraten und unterstützen. In der Mehrheit der befragten Unternehmen sind Diversity-Aspekte im Unternehmensleitbild integriert (62 Prozent). Diese bilden die Basis für die Ableitung von personalbezogenen Maßnahmen z.B. Trainings.

Die Mehrheit der befragten Expertinnen und Experten (62 Prozent) bezeichneten das Commitment des Top-Managements sowie die starke Beteiligung einer breiten Basis als wichtige Voraussetzung für eine erfolgreiche und nachhaltige Implementierung des Ansatzes (siehe Abbildung 5).

Abbildung 5: Erfolgsfaktoren für die Verankerung von Diversity Management-Maßnahmen, Mehrfachnennungen möglich

Der Erfolg von Diversity Management ist abhängig von der kontinuierlichen Integration und Beteiligung der relevanten internen und externen Stakeholder und erfordert daher zielgruppenspezifische Kommunikation. Ein großer Teil der Arbeit der Diversity-Experten zielt darauf ab, ein Bewusstsein zu schaffen, für das Thema zu sensibilisieren und Maßnahmen im externen Raum bekannt zu machen (für 46 Prozent der Unternehmen ist es ein wichtiger Erfolgsfaktor). Daher ist eine gute Zusammenarbeit mit den PR-Abteilungen von erfolgskritischer Bedeutung (Faktor »zielgruppengerechte Kommunikation«). Die Mehrheit der untersuchten Unternehmen engagiert sich in unternehmensübergreifenden Netzwerken und Initiativen (38 Prozent bezeichneten dieses Engagement als Erfolgsfaktor). 15 Prozent der untersuchten Unternehmen gaben an, dass eine fördernde Unternehmenskultur ein wichtiger Faktor für die Verankerung von Diversity-Management-Maßnahmen ist. Für 23 Prozent ist eine institutionelle Verankerung ein zentraler Faktor.

5 Ergänzende Untersuchung

Ergänzend werden im Folgenden zentrale Ergebnisse einer weiteren Teiluntersuchung des Projekts »Gender-Chancen« dargestellt, die durch ein Team des Fraunhofer-Instituts für System- und Innovationsforschung durchgeführt wurde. Diese Studie untersuchte die Frage, welche Rahmenbedingungen notwendig sind, damit Frauen besonders erfolgreich sind, d.h. einen hohen Beitrag zum Innovationssystem leisten. Hierfür wurden ausführliche Interviews mit 29 sogenannten Innovationsträgerinnen aus den Bereichen Energietechnik, Produktionstechnik, Life Sciences (Bio- und Nanotechnologie) und zusätzlichen 41 Gesprächen mit Personen aus deren beruflichem Umfeld geführt. Die Identifikation der Innovationsträgerinnen erfolgte anhand einer hohen Anzahl an Patenten und Publikationen in den einschlägigen Patent- und Publikationsdatenbanken. Die Interviewpartnerinnen und Interviewpartner gehören sowohl Unternehmen, Universitäten als auch außeruniversitären Forschungseinrichtungen an.

Zu den wichtigsten fördernden Faktoren zählen aus Sicht der Innovationsträgerinnen drei Faktoren:

- gute Teamarbeit,
- Akzeptanz und Berücksichtigung der eigenen Meinung durch Kolleginnen und Kollegen,
- Wertschätzung der Fachkompetenz durch Kolleginnen und Kollegen.

Die zentralen Voraussetzungen für ein gutes Arbeitsklima und eine hohe Arbeitszufriedenheit stellen aus Sicht der Innovationsträgerinnen die Existenz funktionierender Teamstrukturen sowie eine starke Teamorientierung dar. Das Arbeiten in heterogen zusammen gesetzten Teams (d.h. Teammitglieder verschiedener Nationalitäten und Fachdisziplinen) ermöglicht eine Förderung von Kreativität.[8] Ein zweiter wichtiger Faktor aus Sicht der befragten Innovationsträgerinnen ist die Akzeptanz und Wertschätzung der Meinungen und Leistungen des direkten Umfeldes, d.h. den Mitgliedern der Arbeitsgruppe – inklusive Vorgesetzten. Des Weiteren spielt die Zugehörigkeit zur entsprechenden Fach-Community sowie eine dort gelungene Integration eine Schlüsselrolle.

8 Für Untersuchungen zur Wirkung heterogener Teams auf Kreativität vgl. stellvertretend für viele andere Schruijer/Mostert (1997).

Auch das Vorhandensein positiver weiblicher und männlicher Rollenvorbilder hat die berufliche Entwicklung der Innovationsträgerinnen maßgeblich beeinflusst.

Die Ergebnisse bestätigen die zentrale Bedeutung von Diversität für die Förderung von Kreativität und heben die besondere Wichtigkeit von Teamarbeit insbesondere für weibliche Innovationsträgerinnen hervor.

6 Fazit und Ausblick

Unsere Studie großer Unternehmen im deutschsprachigen Raum hat gezeigt, dass die Unternehmen den internationalen Trend zur Einführung institutionalisierter Diversity Management-Ansätze aufgegriffen und bereits vielfältige Strategien eingeführt haben. Dabei wurde deutlich, dass der Fokus der Diversity-Umsetzung weiterhin auf dem Gender-Aspekt liegt. Einerseits werden hier etablierte und wichtige Strukturen verändert, vertieft oder fortgeführt, wie sie aus der Gleichstellungsarbeit entstanden sind, andererseits wird Gender als Gender Diversity als wichtigster Angriffspunkt auf dem Weg zu einem modernen Unternehmen verstanden. Die zentrale Motivation der Unternehmen ist marktinduziert: im Mittelpunkt steht die Erzielung von Wettbewerbsvorteilen, der Zugriff auf Ressourcen sowie die Vermeidung von Kosten und insbesondere die Erhöhung der Innovationsfähigkeit und Kreativität der Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter.

Das Thema Diversity Management wird als Querschnittsfunktion parallel zu bestehenden Strukturen und Prozessen implementiert und als ganzheitlicher Managementansatz verstanden. Bei der Umsetzung des Diversity Management ist es von zentraler Bedeutung, ein Arbeitsumfeld zu schaffen, in dem eine Pluralität von Meinungen und Arbeitsstilen geachtet und respektiert wird. Neben der Durchführung konkreter Diversity-Maßnahmen und Förderprogramme, z.B. Trainings und Mentoring-Programme ist es wichtig, die Arbeitsbedingungen zu verändern. Wie gezeigt wurde, sind für Frauen eine funktionierende Teamstruktur und ein förderndes soziales und berufliches Umfeld ausschlaggebend.

Es bestand Konsens unter den befragten Expertinnen und Experten, dass das Thema Diversity Management auch in Zeiten der aktuellen ökonomischen Krise einen wichtigen Stellenwert behält und langfristig dazu beitragen wird, die Wettbewerbsfähigkeit der Unternehmen zu stärken. Die meisten untersuchten Unternehmen planen, die Investitionen für Diversity Management in gleicher Höhe fortzuführen. Gleichzeitig gaben alle an, dass der organisationale Wandelprozess und Erfolge im Zusammenhang mit Diversity Management in einer langfristigen Perspektive zu betrachten und zu evaluieren seien.

Literatur

BASSETT-JONES, NIGEL (2005): *The Paradox of Diversity Management, Creativity and Innovation,* in: Creativity & Innovation Management, Vol. 14, No. 2, Oxford, S. 169-175.

COX, TAYLOR (1993): *Cultural Diversity in Organization- Theory, Research & Practice.* San Francisco: Berrett-Koehler Publishers.

COX, TAYLOR (2001): *Creating the Multicultural Organization: A Strategy for Capturing the Power of Diversity.* New York: John Wiley.

COX, TAYLOR H./BLAKE, STACEY (1991): *Managing cultural diversity: implications for organizational competitiveness,* in: Academy of Management Executive, Jg. 5 Nr. 3, S. 45 – 56.

FINKE, MERVE (2006): *Diversity Management: Förderung und Nutzung personeller Vielfalt in Unternehmen.* München/Mering: Hampp.

KOCHAN, THOMAS ET AL. (2003): *The effects of diversity on business performance: report of the diversity network,* in: Human Resource Management, Jg. 42, Nr. 1, S. 3 – 21.

KRELL, GERTRAUDE (2004): *Managing Diversity: Chancengleichheit als Wettbewerbsfaktor,* in: Dies. (Hg.): Chancengleichheit durch Personalpolitik. Wiesbaden: Gabler. S. 41-56.

SCHRAUDNER, MARTINA (2006): *Beispiele für Gender- und Diversity-Aspekte,* in: Bührer, Susanne./Schraudner, Martina. (Hrsg.): Wie können Gender-Aspekte in Forschungsvorhaben erkannt und bewertet werden? Karlsruhe, S. 5–10.

SCHRAUDNER, MARTINA/ LUKOSCHAT, HELGA (2006): *Gender als Innovationspotenzial*- Einleitung, in: Schraudner, Martina/Lukoschat, Helga (Eds.): Gender als Innovationspotenzial in Forschung und Entwicklung, Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag, S. 3-12.

SCHRUIJER, SANDRA G.L./ MOSTERT, I. (1997): *Creativity and Sex Composition: An Experimental Illustration,* European Journal of Work and Organizational Psychology, Vol. 6, Nr. 2, S. 157 – 182.

VEDDER, GÜNTHER (2009): Diversity Management: Grundlagen und Entwicklung im internationalen Vergleich. In: Andresen. Sünne/Koreuber, Mechthild/Lüdke, Dorothea (Hg.): Gender und Diversity: Albtraum oder Traumpaar?. Wiesbaden: VS Verlag, S. 111-132.

WITTENBERG-COX, AVIVAH/MAITLAND, ALISON (2008): *Why Women Mean Business,* San Francisco: Jossey-Bass Publishing.

Impressum

Herausgeber

Prof. Dr.-Ing. Günther Seliger
Institut für Werkzeugmaschinen und Fabrikbetrieb
Technische Universität Berlin
Pascalstr. 8-9
10587 Berlin

Prof. Dr. h. c. Dr.-Ing. Eckart Uhlmann
Fraunhofer-Institut für Produktionsanlagen und Konstruktionstechnik IPK
Pascalstr. 8-9
10587 Berlin

Gestaltung
Anja Gollor, Katharina Strohmeier

© Berlin 2010
urn:nbn:de:0011-n-1415394

Fraunhofer-Institut für Produktionsanlagen und Konstruktionstechnik IPK
Pascalstraße 8-9
10587 Berlin