



Fraunhofer

IPA

FRAUNHOFER-INSTITUT FÜR PRODUKTIONSTECHNIK UND AUTOMATISIERUNG IPA

# Jahresbericht 2009





# **FRAUNHOFER IPA JAHRESBERICHT 2009**

# INHALTSVERZEICHNIS

Editorial	6	<b>Entwicklungsgruppe Digitale Fabrik</b>	10	<b>Robotersysteme</b>	34
Kuratorium	7	Projektbeispiele	11	Kraftgeregelte kooperierende Roboter	35
Kurzprofil Versuchsfelder und Laboratorien	8	<b>Produkt- und Qualitätsmanagement</b>	14	Paralleler Seilroboter IPAnema	36
Organigramm Das Institut in Zahlen	9	Energiemanagement als Instrument zur Steigerung der Energieeffizienz	15	Bidirektionale Seilantriebe in der Servicerobotik	37
		FMEA im Risikomanagement von Pensionskassen	16	DESIRE – die deutsche Serviceroboterinitiative	38
		MATRON – Entwicklung sicherer und zuverlässiger mechatronischer Systeme	17	SMErobot™ – eine europäische Erfolgsgeschichte	41
		Servicequalität durch Wissenstransfer sichern	18	<b>Orthopädie und Bewegungssysteme</b>	44
		<b>Fabrikplanung und Produktionsoptimierung</b>	19	Den menschlichen Gang im Blick	45
		Energiewertstrom zur Optimierung des Energie-Einsatzes in der Produktion	20	<b>Produktions- und Prozessautomatisierung</b>	46
		Restrukturierung der Instandhaltung	21	Das Bioproduktions-Labor in Stuttgart (BioPoLiS) – Neue Heimat für Anlagen- und Gerätetechnik im Bereich der Bioproduktion	47
		Fabrikplanung in der Türkei – Medizintechnik	22	Whole’O’Hand – Neue Ansätze für die assistierte Chirurgie	49
		Produktionsoptimierung SHW Werkzeugmaschinen	24	Assistomosis – Neues Instrument für die assistierte Bypass-Chirurgie	50
		<b>Unternehmenslogistik und Auftragsmanagement</b>	25	Vernetzte Systeme	51
		Netzwerkstabilisierung in der Elektronikindustrie	26	<b>Reinst- und Mikroproduktion</b>	52
		Effiziente PPS durch die ganzheitliche Betrachtung des Auftragsabwicklungsprozesses	28	NANO futures	53
		<b>Refabrikation</b>	30	Ganzheitliches Steuerungssystem für die Laborautomatisierung	54
		Technologieentwicklung im Bereich Powertrain-Remanufacturing	31	µProductionTower – Mikroproduktion in einer neuen Dimension	56
		Technologieentwicklung zum Remanufacturing von Kfz-Mechatronik	32	Reinheit im Weltraum	58
		Variantenbeherrschung in der Austauschteileproduktion	33	Testplattform für die Handhabung dünner Substrate	60

Reinheit von großflächigen Bauteilen inline erfassen	62	<b>Lackiertechnik</b>	<b>84</b>	<b>Daten und Ereignisse 2009</b>	<b>109</b>
Hochsensible Verschleißerkennung für die Integration in Maschinen	64	Online-Sensorik eröffnet neue Lackierkonzepte	85	Ehrungen und Preise 2009	112
Solarkontakt – Optimierung der Zellenkontaktierung in der PV-Modul-Produktion	66	Simulation der Spritzstrahlreinigung	87	Gremien 2009	116
<b>Technische Informationsverarbeitung</b>	<b>67</b>	Wandlungsfähige Pulverbeschichtungstechnik	89	Veranstaltungen 2009	122
3-D-Messdatenverarbeitung	68	<b>Prozessengineering funktionaler Materialien</b>	<b>91</b>	Messen 2009	125
RecycVision – automatische Altgeräteklassifikation	69	Materialentwicklung mit Carbon Nanotubes für Flächenheizungssysteme	92	Erteilte Patente und Offenlegungsschriften 2009	130
Erwärmung macht Risse sichtbar: Inline-Prüfung von Solarzellen	70	Aktuatoren aus Carbon Nanotubes – Künstliche Muskeln für die Mikrosystemtechnik	94	Promotionen 2009 Gastwissenschaftler/ Stipendiaten 2009	132
Energiemonitoring in der Produktion	71	<b>Schichttechnik</b>	<b>96</b>	Fachinformation und Bibliothek	133
Generative Technologien in der Handhabung und Automatisierung	72	SBZ – das selektive Beschichtungszentrum	97	Tagungen, Bücher und Dissertationen	134
2-D-/3-D-Digitaldruck – ein Wachstumsmarkt	73	<b>Anwendungszentrum Rostock</b>	<b>100</b>	Artikel in Fachzeitschriften Peer-reviewed	142
<b>Prüfsysteme</b>	<b>74</b>	<b>Geschäftsbereich Produktions- und Logistikmanagement</b>	<b>104</b>	Weitere Artikel in Fachzeitschriften	143
Tribologische Untersuchung zum Reibverhalten von Kunststoffgeweben für die Papierindustrie	75	<b>Projektgruppe Zilina</b>	<b>107</b>	Buchkapitel und Konferenzbeiträge Peer-reviewed	151
EnPro1 – Multispindel-Holzbearbeitungszentrum	76			Sonstige Artikel	156
Ultraschallprüfanlagen zur Profilstahlprüfung	77			Zeitschriften (Herausgeberschaft)	191
Gepäckhandling – nach wie vor eine körperliche Herausforderung	78			<b>Impressum</b>	<b>193</b>
Mit Infrarotwellen Faserverbundwerkstoffe charakterisieren	80				
Nachweis von Adhäsionsfehlern durch Shearographie und Thermographie	82				



## DAS JAHR 2009 WAR EIN GANZ BESONDERES JAHR

Für das Fraunhofer IPA ist jedes Geschäftsjahr ein wichtiges Jahr. Mit unseren Forschungsaktivitäten und unserer Projektarbeit sind wir seit 50 Jahren ein wichtiger Teil der Innovationslandschaft in Deutschland. Im Rahmen von Forschungsprojekten unterstützen wir Unternehmen bei der Entwicklung und Optimierung ihrer Produkte, Prozesse und Technologien. Uns hat zwar auch die Finanz- und Wirtschaftskrise getroffen. Ein so industrienahes Institut wie das Fraunhofer IPA bekommt hautnah Konjunktur- und Wirtschaftsschwankungen zu spüren. Aber durch unseren Kundennähe sind wir der richtige Partner, Wege und Möglichkeiten der Zukunftssicherung für die Industrie aktiv und kreativ mit zu gestalten.

»Wir produzieren Zukunft« war das Motto unserer Jubiläumswoche Anfang Juli 2009 zu unserem 50. Institutsgeburtstag. Im Mittelpunkt unserer Aktivitäten standen neben der Darstellung der geschichtlichen Entwicklung vor allem die zukünftigen Forschungsschwerpunkte des Instituts. Den über 3000 Gästen zeigten wir innovative Themen und Lösungsansätze für die Fabrik der Zukunft. Gleichzeitig konnte zu diesem Termin unsere Abteilung Reinraumtechnik ihr 25-jähriges Bestehen feiern. Mehr dazu können Sie auf Seite 109 lesen.

Nachdem wir schon Ende 2008 drei Abteilungen mit ihren Forschungsarbeiten der ehemaligen Technologie Entwicklungsgruppe (Fraunhofer TEG) erfolgreich in die Forschungsstruktur des Fraunhofer IPA integriert hatten, haben wir im Herbst letzten Jahres noch das Forschungsinstitut für Pigmente und Lacke in das Fraunhofer IPA einbinden können. Seit November 2009 sind diese Forschungsaktivitäten in der neuen Abteilung »Lacke und Pigmente« am Fraunhofer IPA zusammengefasst. Lesen Sie bitte mehr dazu auf der Seite 110.

Wir wünschen Ihnen beim Lesen des Jahresberichts 2009 interessante und spannende Einblicke in unser breit aufgestelltes Forschungsportfolio. Wir freuen uns auf Anregungen und Anfragen zu einzelnen Themen. Bitte nehmen Sie mit uns Kontakt auf.

Mit freundlichen Grüßen

Prof. Dr.-Ing. Prof. e. h. Dr.-Ing. e. h.  
Dr. h. c. mult. Engelbert Westkämper

Prof. Dr.-Ing. Alexander Verl

---

# KURATORIUM

---

## Vorsitzender des Kuratoriums

Geissinger, Jürgen Dr.-Ing.  
Schaeffler KG  
SZ/HZA  
Industriestr. 1–3  
91074 Herzogenaurach

## Mitglieder des Kuratoriums

Brodtmann, Thilo Dipl.-Kfm.  
VDMA e. V.  
Geschäftsführer  
Lyoner Str. 18  
60528 Frankfurt am Main

Buthmann, Peter Dr.-Ing.  
KSB AG  
Mitglied des Vorstands  
Johann-Klein-Straße 9  
67227 Frankenthal (Pfalz)

Drexel, Peter Dr. Ing. E. h.  
Böblinger Str. 7/1  
71144 Steinenbronn

Dunkler, Olaf Dipl.-Ing.  
Daimler AG  
Werk Rastatt 054 – LOG  
Centerleiter der Logistik  
76432 Rastatt

Graw, Ehrentraud MinR'in Dr. rer. pol.  
Wirtschaftsministerium  
Baden-Württemberg  
Leiterin Referat 23  
Theodor-Heuss-Str. 4  
70174 Stuttgart

Liepert, Bernd Dipl.-Math.  
KUKA AG  
Chief Technology Officer CTO  
Zugspitzstr. 140  
86165 Augsburg

Ohnheiser, Rainer Dr.  
Carl Zeiss AG  
Geschäftsführer  
Carl-Zeiss-Str. 4-54  
73447 Oberkochen

Riehl, Hermann MinRat  
Bundesministerium für Bildung und  
Forschung  
Referatsleiter 512  
Heinemannstr. 2  
53175 Bonn

Siewert, Uwe Dr.  
Dürr Systems GmbH  
Geschäftsführer  
Aircraft and Technology Systems  
Otto-Dürr-Str. 9  
70435 Stuttgart

Wittenstein, Manfred Dr.-Ing. E. h.  
WITTENSTEIN AG  
Vorstandsvorsitzender  
Walter-Wittenstein-Str. 1  
97999 Igersheim

Zahn, Erich Prof. Dr. rer. pol.  
Universität Stuttgart  
Lehrstuhl für Allg. BWL und  
Strategisches  
Management  
Heilbronner Str. 7  
70174 Stuttgart

## Gäste des Kuratoriums

Flegel, Heinrich Prof. Dr.-Ing.  
Daimler AG  
HCP 0535  
Leitung Forschung Produktionstechnik  
70546 Stuttgart

Schraft, Rolf Dieter Prof. Dr.-Ing.  
Hildebrandstr. 11  
70191 Stuttgart

Warnecke, Hans-Jürgen Prof. Dr.-Ing.  
Max-Caspar-Straße 77  
71263 Weil der Stadt

# KURZPROFIL VERSUCHSFELDER UND LABORATORIEN

Organisatorische und technologische Aufgabenstellungen aus dem Produktionsbereich von Industrieunternehmen bilden die Schwerpunkte der Forschungs- und Entwicklungsarbeiten des Fraunhofer-Instituts für Produktionstechnik und Automatisierung IPA. Hinzu kommen auch Aufgabengebiete, die sich aus den Entwicklungen und Veränderungen im Dienstleistungssektor ergeben.

Ziel der Forschungs- und Entwicklungsprojekte ist es, Automatisierungs- und Rationalisierungspotenziale in den Unternehmen aufzuzeigen und auszuschöpfen, um mit kostengünstigeren und umweltfreundlichen Produktionsabläufen sowie verbesserten Produkten unsere internationale Wettbewerbsfähigkeit zu stärken und die Arbeitsplatzsituation zu verbessern.

Verwirklicht wird diese Zielsetzung, indem Methoden, Komponenten und Geräte bis hin zu kompletten Maschinen und Anlagen vom Fraunhofer IPA entwickelt, erprobt und exemplarisch

eingesetzt werden. Dieses Engagement wird zum überwiegenden Teil im Auftrag von Unternehmen durchgeführt. Für vorwettbewerbliche Projekte werden auch Fördermittel aus öffentlichen Forschungsprogrammen genutzt.

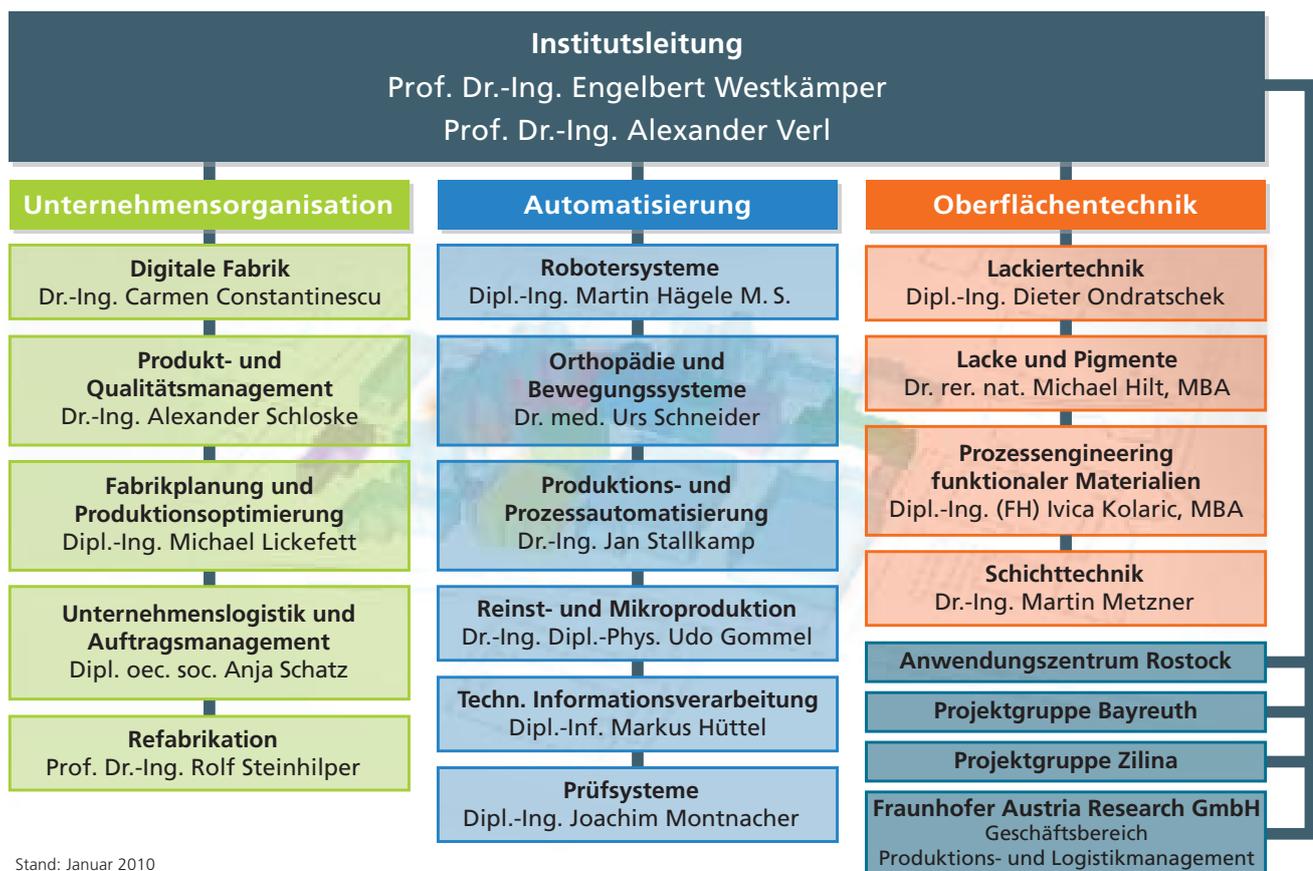
Die langfristigen, strategischen Aspekte der Produktionsforschung, deren Umsetzung Industrieunternehmen zugute kommt, werden innerhalb der Forschungsprogramme des BMBF, der DFG und der Europäischen Gemeinschaft bearbeitet.

Das Fraunhofer IPA stellt sich allen produktionstechnischen Fragestellungen mit seinem Know-how, seiner langjährigen Erfahrung und seiner personellen sowie technisch-technologischen Ausstattung. Bereichs- und fachgebietsübergreifende Lösungen werden von insgesamt fünfzehn Abteilungen multidisziplinär und mit ganzheitlicher Sicht auf die industriellen Bedarfe entwickelt.



# ORGANIGRAMM

## DAS INSTITUT IN ZAHLEN



### Betriebshaushalt ohne Investitionen

davon Wirtschaftserträge

**37,0 Mio €**

**11,9 Mio €**

### Personal

Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler

**190**

Stabstellen, Administration und Labore

**108**

Wissenschaftliche Hilfskräfte

**296**

Institut für industrielle Fertigung und Fabrikbetrieb (IFF), Universität Stuttgart

**44**

Institut für Steuerungstechnik der Werkzeugmaschinen und Fertigungseinrichtungen (ISW),

**45**

Universität Stuttgart

---

# ENTWICKLUNGSGRUPPE DIGITALE FABRIK

---

## Grid Engineering for Manufacturing

Fabriken sind komplexe, langlebige Einrichtungen, die zeitnah und optimal auf Veränderungen der Produkte, Märkte und Technologien reagieren müssen. Zur Beschleunigung der Planungs- und Veränderungsprozesse eignen sich die Werkzeuge der Digitalen Fabrik.

Die Entwicklungsgruppe »Digitale Fabrik« befasst sich mit Forschung, Entwicklung und der Anwendung von Methoden, Verfahren und Werkzeugen zur Modellierung, Simulation und Optimierung von Produkten, Betriebsmitteln, Prozessen und Fabriken. Hierzu steht eine innovative IT-Umgebung zur Verfügung, die die Vernetzung und Verteilung der Daten, Modelle und digitalen Werkzeuge einschließlich der Simulation und Rechnerressourcen innerhalb des »Grid Engineering for Manufacturing Laboratory – GEMLab« ermöglicht.

Kerngedanke der Digitalen Fabrik sind wandlungsfähige Fertigungsstrukturen. Bereits heute entwerfen die Mitarbeiter der Entwicklungsgruppe Digitale Fabrik am Computer komplette Produktionsabläufe vom Bestelleingang über die Materialzufuhr bis hin zur Arbeitsplanung und der Montage des fertigen Produkts. Simulationswerkzeuge bilden dabei jeden Arbeitsschritt lückenlos ab und liefern die virtuelle Blaupause für den realen Prozess in der Fabrikhalle. Der Vorteil liegt auf der Hand: Die so optimierte Planung führt zu schnellen und störungsfreien Abläufen, besserer Qualität und niedrigeren Kosten.

Grid Engineering heißt eines der großen Zukunftsthemen, die mit Hochdruck vorangetrieben werden. Gemeint ist damit das nahtlose Ineinandergreifen von allen Daten- und Informationsquellen eines Unternehmens, um das Produktionsgeschehen von der Produktentwicklung bis zur Auslieferung mit Hilfe von Software und einer vernetzten Computerlandschaft marktgerecht und zielgenau zu steuern.

Beispiel ist die Integration des am Fraunhofer IPA entwickelten digitalen Planungstischs in die Planungsumgebung des GEMLabs. Jeder Fertigungsleiter weiß, wie schwierig es ist, kurzfristige Auftragsänderungen oder spezielle Kundenwünsche im laufenden Betrieb ohne unzumutbare Kostenbelastung umzusetzen. Hilfreich wäre eine einfach zu handhabende Planungsumgebung, die sich nicht nur von speziell ausgebildeten Softwareexperten bedienen lässt. Stattdessen kann jeder Mitarbeiter diesem System sein Wissen zur Verfügung stellen und mit seinem Beitrag an der Planung mitwirken. Selbst kleinere Unternehmen wären somit in der Lage, mit Hilfe digitaler Engineering-Systeme verschiedene Produktionsszenarien am Computer zu modellieren und auf ihre Machbarkeit hin zu analysieren.

Unter der Leitung von Frau Dr. Carmen Constantinescu besteht am Fraunhofer IPA das von der Entwicklungsgruppe Digitale Fabrik betreute »Grid Engineering for Manufacturing Laboratory – GEMLab«. Dieser innovative Ansatz einer integrierten, verteilten und auf Grid-Technologien basierten Planungsumgebung ermöglicht es der Entwicklungsgruppe, durch die Verwendung von digitalen Werkzeugen die Qualität der Fabrikplanung zu verbessern, die Dauer der Fabrikplanung zu verkürzen, die Inbetriebnahme zu beschleunigen und die Anzahl der Planungsfehler deutlich zu reduzieren. Durch den Ansatz »Grid Engineering for Manufacturing« (GEM) kann hier mit Hilfe von Grid-Technologie die durchgängige und integrierte Fabrik- und Prozessplanung mit digitalen Werkzeugen weiter entwickelt und direkt im »Grid Engineering for Manufacturing Lab – GEMLab« eingesetzt werden. Diese einzigartige Architektur versetzt die Entwicklungsgruppe in die Lage, die Grundlagenforschung auf dem Gebiet des Grid Engineering voranzutreiben und Anwendungen für den Einsatz in der Industrie zu entwickeln.

**Dr. Carmen Constantinescu | Telefon +49 711 970-1934**



## PROJEKTBEISPIELE

### **Nexus Smart Factory – Umgebungsmodelle kontextbezogener Systeme (DFG, SFB 627)**

Das Teilprojekt »Smart Factory« untersucht an der Universität Stuttgart im Rahmen des interdisziplinären Sonderforschungsbereichs 627 »Umgebungsmodelle für mobile kontextbezogene Systeme – Nexus« Einsatzgebiete kontextbezogener Anwendungen für die Produktion. Mit Nexus ist es möglich, flexibel und echtzeitfähig auf Turbulenzen des operativen Fabrikbetriebs zu reagieren. Kontextbezogene Anwendungen können im Unterschied zu herkömmlichen Anwendungen Kontextinformationen eines Objekts wie dessen aktuellen Ort oder Zustand in ihren Ausführungen berücksichtigen. Ein Ziel dieses Projekts ist es, durch die Integration verschiedener Informationssysteme der unterschiedlichen Unternehmensleitebenen ein aktuelles Modell der Fabrik zu erhalten. Die Integration der Informationen findet mit Hilfe der so genannten Nexus-Plattform statt. Diese Datenföderationsplattform wird im Rahmen des Sonderforschungsbereichs Nexus entwickelt. Die Basis für die kontextbezogenen Anwendungen bildet das entwickelte Fabrikdatenmodell mit aktuellen Informationen. Beispiele für kontextbezogene Anwendungen sind ein dezentrales Betriebsmittelinformationssystem und ein Störungsmanagementsystem, das sich derzeit in der Entwicklung befindet.

### **Innovationscluster Digitale Produktion (Land Baden-Württemberg)**

Produzierende Unternehmen greifen zunehmend auf Werkzeuge der Digitalen Fabrik zurück, um ihre Fabriken auf ein betriebstechnisches Optimum zu bringen. Die Nutzung moderner Informationstechnologie in der Produktion ist bei großen Automobilunternehmen weit verbreitet; in kleinen und mittelständischen Unternehmen werden deren Potenziale jedoch weniger ausgeschöpft.

Die Zielsetzung des Innovationsclusters ist es, in enger Zusammenarbeit von Forschung und Wirtschaft neue Erkenntnisse im Forschungsfeld der digitalen Produktion zu gewinnen, daraus Systementwicklungen zu generieren und diese für die produzierende Industrie nutzbar zu machen. Im Rahmen des Innovationsclusters bearbeitet das Fraunhofer IPA drei Teilprojekte:

- Smart Factory – kontextbezogene Informationssysteme in der Produktion: Verbesserung von Produktionsabläufen mit Hilfe standort- und zustandsbezogener Anwendungen
- Grid Manufacturing: Entwicklung eines Konzepts für ein Grid-Manufacturing-Paradigma
- Fabrik Lifecycle Management: Implementierung einer IT-Umgebung für integrierte und ganzheitliche Fabrik- und Prozessplanung

Neben den Forschungsaktivitäten wird jährlich ein Forum veranstaltet, das im Jahr 2009 mit dem Schwerpunkt auf »Kooperation im Unternehmensnetzwerk« ausgetragen wurde. Hierbei stellten Referenten führender Industrieunternehmen und Forschungsinstitute auf Basis ihrer Erfahrungen aktuelle Herausforderungen vor und zeigten erfolgreiche Lösungen im Kontext der digitalen Produktion auf.

### **DiFac – Digital Factory for Human Oriented Production System (EU, FP6 IST)**

Im europäischen Projekt »DiFac« wurde eine innovative kollaborative Plattform zur digitalen Produktionsplanung entwickelt.

Darin sind drei so genannte »digitale Aktivitäten« durchgeführt und mit Hilfe der Industriepartner validiert worden:

- Der Prototyp Designer unterstützt die spezifischen Aktivitäten für eine virtuelle Produktentwicklung.
- Der Factory Constructor wird für die Planung, Simulation, Optimierung und Evaluierung einer Fabrik eingesetzt.



- Zur Schulung von Arbeitskräften mit Hilfe von VR- und AR-Werkzeugen wird der Training-Simulator verwendet.

Die Perspektiven »Präsenz, Kollaboration und Ergonomie« bildeten den Ausgangspunkt für die oben genannten Hauptaktivitäten.

Das DiFac-Projekt wurde in einer abschließenden Begutachtung im Januar 2009 mit der Präsentation eines integrierten Szenarios erfolgreich von der Europäischen Kommission im GEMLab evaluiert und im Sommer 2009 beendet.

#### **DOROTHY – Design for Customer Driven Shoes and Multi-Site Factory (EU, FP7 NMP)**

Die produzierenden Unternehmen der europäischen Schuhindustrie stehen unter einem enormen Wettbewerbsdruck aufgrund der arbeitskräftintensiven Produktionsprozesse, der Konkurrenz aus Niedriglohnländern sowie der raschen Modernisierung der Produktion und der Erweiterung der technologischen Kapazitäten in diesen Ländern.

Ziel des EU-Projekts »DOROTHY« ist die Stärkung der Wettbewerbsfähigkeit der europäischen Schuhindustrie durch den Einsatz digitaler Werkzeuge entlang aller Phasen des Fabriklebenszyklus. Die intelligente Produktion sowie die Steigerung der Kundenorientierung stehen im Vordergrund. Innerhalb des Projekts werden digitale Werkzeuge für die Gestaltung kundenorientierter Produkte der Schuhindustrie entwickelt. Hauptaufgaben der Entwicklungsgruppe Digitale Fabrik sind die Konzeption, Entwicklung und Anwendung eines generischen Fabrikdatenmodells, das den Anforderungen flexibler internationaler Produktionsnetzwerke der europäischen Schuhindustrie gerecht wird.

#### **simKMU – Entwicklung unternehmensübergreifender, prozessintegrierter und webbasierter Simulationsdienstleistungen und Geschäftsmodelle (DLR)**

Im Rahmen des Verbundprojekts »simKMU« werden unter der Leitung der Abteilung »Produkt- und Qualitätsmanagement« zusammen mit der Entwicklungsgruppe »Digitale Fabrik« Simulationsbausteine erstellt und in enger Zusammenarbeit mit kleinen und mittleren Unternehmen (kmU) in den folgenden übergeordneten Leistungsbereichen eingesetzt:

- Konzeption und Erstellung von generischen Daten- und Simulationsmodellen
- Erstellung bzw. Anpassung von Simulationsalgorithmen
- Konzeption und Realisierung von Datentransfer- und Szenarienverwaltungsmodulen und Integration der Simulationslösungen in die simKMU-Plattform
- Konzeption und Erstellung bzw. Anpassung einer web-fähigen graphischen Benutzeroberfläche auf Basis spezifischer Anforderungen

Die Arbeitsergebnisse des Forschungsvorhabens simKMU sollen insbesondere kmU im Raum Baden-Württemberg zugute kommen. Die Unternehmen des Maschinen- und Anlagenbaus sowie der Automobilindustrie werden informiert und in die Lage versetzt, prototypisch vorhandene Technologielösungen zu adaptieren und für sich einzusetzen.

#### **Vernetzung der Digitalen Fabrik mit dem digitalen Entwurf auf der Basis graphenbasierter Entwurfssprachen (Landesstiftung Baden-Württemberg)**

Die Methoden der rechnerunterstützten Wissensverarbeitung nehmen zukünftig eine Schlüsselrolle in Bezug auf die Wettbewerbsfähigkeit von Unternehmen ein. Mit dem Einsatz so genannter graphenbasierter Entwurfssprachen wird eine neue ganzheitliche Sicht auf den Ingenieurentwurf ermöglicht und so die Vernetzung der Digitalen Fabrik mit dem digitalen Entwurf erreicht. Bisher getrennt vorliegende Daten und Informationen aus Entwurf und Fertigung werden in einem konsistenten



ten multidisziplinären Gesamtmodell zusammengefasst. Durch das automatische Zusammensetzen in verschiedenen Teilmodellen sind innerhalb der Teildisziplinen jederzeit konsistente Datenmodelle verfügbar.

Die Planer erhalten ein tieferes Verständnis von Entwurf und Fertigung komplexer Produkte sowie transparente Abhängigkeiten und Kostenstrukturen. Die fertigungs-, kosten- und zeitrelevanten Aspekte in frühen Entwicklungsphasen sowie die maschinelle Abarbeitung und Wiederverwendung von Entwurfs- und Fertigungswissen können so berücksichtigt werden.

#### **VFF – Virtual Factory Framework (EU, FP7 NMP)**

Durch die sich ständig ändernden Anforderungen und Erwartungen der Kunden wird in Zukunft eine sich kontinuierlich und schnell anpassende Plattform für die Fabrik- und Prozessplanung benötigt. Mit dieser Plattform sollen Produktionssysteme auf kleinen und großen Skalen in immer kürzeren Zeiten konzipiert und eingerichtet werden können.

Dies wird den Entwurf und die Entwicklung neuer Methoden und innovativer Werkzeuge erfordern, die ein kurzfristiges Design und Prototyping ganzheitlicher Produktionssysteme ermöglichen und unterstützen.

Die Entwicklung einer ganzheitlichen, integrierbaren, ausbaufähigen, skalierbaren virtuellen Fabrik kann zu großen Kostenersparnissen in der Implementierung neuer Fertigungseinrichtungen beitragen. Das Hauptziel ist die Entwicklung einer Plattform für die virtuelle Fabrik und der zugehörigen Werkzeuge für die schnelle, zuverlässige und optimierte Gestaltung von wissensbasierten Produktionssystemen. Diese Werkzeuge ermöglichen eine gemeinschaftliche, interdisziplinäre Analyse und Optimierung von Prozessen. Außerdem sollen die Werkzeuge aus Software zusammengesetzt sein, die intelligente Datenbanksysteme und Datenanalyse- und Präsentationsmethoden benutzt.

#### **»Trans-IND« – New Industrialised Construction Process for Transport Infrastructures Based on Polymer Composite Components (EU, FP7 NMP)**

Trans-IND ist ein so genanntes »Large-scale integrating project« des 7. Forschungsrahmenprogramms der EU. Das Hauptziel des Trans-IND Ansatzes ist die Entwicklung eines flexiblen, kosteneffektiven, leistungs- und wissensbasierten, nachhaltigen Industrialisierungssystems von Bauteilen und Komponenten der Verkehrsinfrastruktur wie Straßen- und Fußgängerbrücken aus kohlefaserverstärkten Verbundwerkstoffen (CFK).

Im Rahmen des Projekts werden alle relevanten Aspekte des Projekts berücksichtigt, angefangen bei den Bedürfnissen von Kunden und Nutzern, der gesellschaftlichen Akzeptanz und dem Design über die Standardisierung, die Materialbeschaffung, die industriellen Modelle, die Fertigungsprozesse, die Baustellen, die Logistik, die Montage und die Demontage bis hin zu den Anforderungen an die Informations- und Kommunikationstechnologien, um den gesamten Prozess managen und abwickeln zu können. Die Entwicklungsgruppe »Digitale Fabrik« befasst sich mit der Konfiguration, Planung und Optimierung von Produktionsprozessen einer automatisierten Pilotlinie für Großbauteile aus CFK. Diese soll sich durch Flexibilität, Neukonfigurierbarkeit und Beweglichkeit auszeichnen sowie die Anpassung an verschiedene Produktarten und -mengen bei unterschiedlichen Nachfragesituationen an den Märkten ermöglichen.

---

# PRODUKT- UND QUALITÄTSMANAGEMENT

---

Life-Cycle-Management (LCM) bietet den Unternehmen die Chance, auf den Märkten von morgen erfolgreich zu bestehen. Individuell auf die Unternehmen zugeschnittene Life-Cycle-Konzepte ermöglichen eine gesamtwirtschaftliche Optimierung der Produkte und Dienstleistungen hinsichtlich Kosten, Zeit, Umwelt/Energie und Qualität. Im Rahmen von Industrieprojekten unterstützen wir Unternehmen bei der Entwicklung und Optimierung der Produkte, Prozesse und Technologien sowohl über den gesamten Produktlebenszyklus als auch spezifisch innerhalb einzelner Phasen. Dabei berücksichtigen wir aktuelle Trends und lassen neue Erkenntnisse, die wir im Rahmen von Forschungs- und Entwicklungsprojekten sammeln, bei der Gestaltung der Konzepte einfließen.

Das Spektrum der Abteilung »Produkt- und Qualitätsmanagement« umfasst zum Life-Cycle-Management folgende Themen:

- Innovations- und Technologiemanagement
- Integrierte Produkt- und Prozessentwicklung
- Qualitätsmanagement
- Schadstoffmanagement und Produktrecycling
- Wissens- und Kompetenzmanagement
- Methodenentwicklung und -anwendung

Die Abteilung Produkt- und Qualitätsmanagement hat aus diesem Themenspektrum im Jahr 2009 mehr als 100 Industrie- und Forschungsprojekte in den unterschiedlichsten Branchen erfolgreich bearbeitet. Die ausgewählten und im Folgenden kurz dargestellten Referenzprojekte geben nur einen kleinen Ausschnitt aus ihrem Tätigkeitsfeld wieder.

Im Bereich Innovationsmanagement stellen wir dar, wie Entwickler methodisch unterstützt zu marktgerechten Innovationen kommen können, die die Zukunftsfähigkeit der Unternehmen langfristig sichern. Forschungsergebnisse aus dem Bereich Technologiemanagement zeigen, wie kleine und mittlere Unternehmen zukünftig in die Lage versetzt werden, mit Hilfe von Technologie-Roadmaps Technologieentwicklungen zielgerichtet voranzutreiben und das zugehörige Know-how aufzubauen. Aus dem Bereich Schadstoffmanagement informieren wir über Expertenforen, die gemeinsam mit Unternehmen Lösungsansätze zum Schadstoffmanagement erarbeiten, um neuen EU-Gesetzgebungen zukünftig gerecht zu werden. Und last but not least präsentieren wir im Bereich Wissens- und Kompetenzmanagement neue Organisationsformen und Instrumente zur Steuerung und effektiven Nutzung der Ressource »Wissen«.



## ENERGIEMANAGEMENT ALS INSTRUMENT ZUR STEIGERUNG DER ENERGIEEFFIZIENZ

Die zunehmenden Preissteigerungen für Energie zwingen Unternehmen zu einem effizienteren Umgang mit Energie. Dabei erfordert der nachhaltige Umgang mit Energie nicht unmittelbar Investitionen in neue Technologien. Die Grundlage für eine effiziente Energiebereitstellung und -nutzung ist vielmehr das Wissen über die wesentlichen Energieverbraucher im Unternehmen und wie diese reduziert werden. Eine hohe Transparenz der betrieblichen Abläufe sowie eine kontinuierliche Datenerfassung stellt die Basis dafür dar.

### Die DIN EN 16001 als Instrument zur Steigerung der Energieeffizienz

Die DIN EN 16001, die im August 2009 veröffentlicht wurde, gibt eine Struktur für ein betriebliches Energiemanagementsystem vor. Die Norm definiert die Anforderungen an ein ganzheitliches System, das die Unternehmen in die Lage versetzen soll, ihren energetischen Verbrauch stetig zu verbessern. Das primäre Ziel der DIN EN 16001 ist die Reduzierung der Energiekosten. Unternehmen, die ein Energiemanagementsystem implementieren, profitieren auch von weiteren Effekten. So wird durch die Umsetzung der Anforderungen der Norm die Transparenz der betrieblichen Abläufe erhöht, wodurch bislang unerkannte technische und organisatorische Schwachstellen aufgedeckt werden können. Ein weiterer Effekt ist die verbesserte Kommunikation und die Sensibilisierung der Mitarbeiter im Umgang mit Energie.

Energiemanagementsysteme sind insbesondere in energieintensiven Branchen ein bewährtes Instrument zur Verbesserung der Energieeffizienz und damit zur Senkung der CO<sub>2</sub>-Emissionen. Die Einführung eines solchen Systems ist dabei auch für kleine und mittlere Unternehmen aller Branchen sinnvoll. Zumal das Meseberger Programm von August 2007

vorsieht, dass mit der Wirtschaft bis spätestens 2013 eine Vereinbarung über die Kopplung von Vergünstigungen bei der Energie- und Stromsteuer an die Einführung eines Energiemanagementsystems getroffen werden soll.

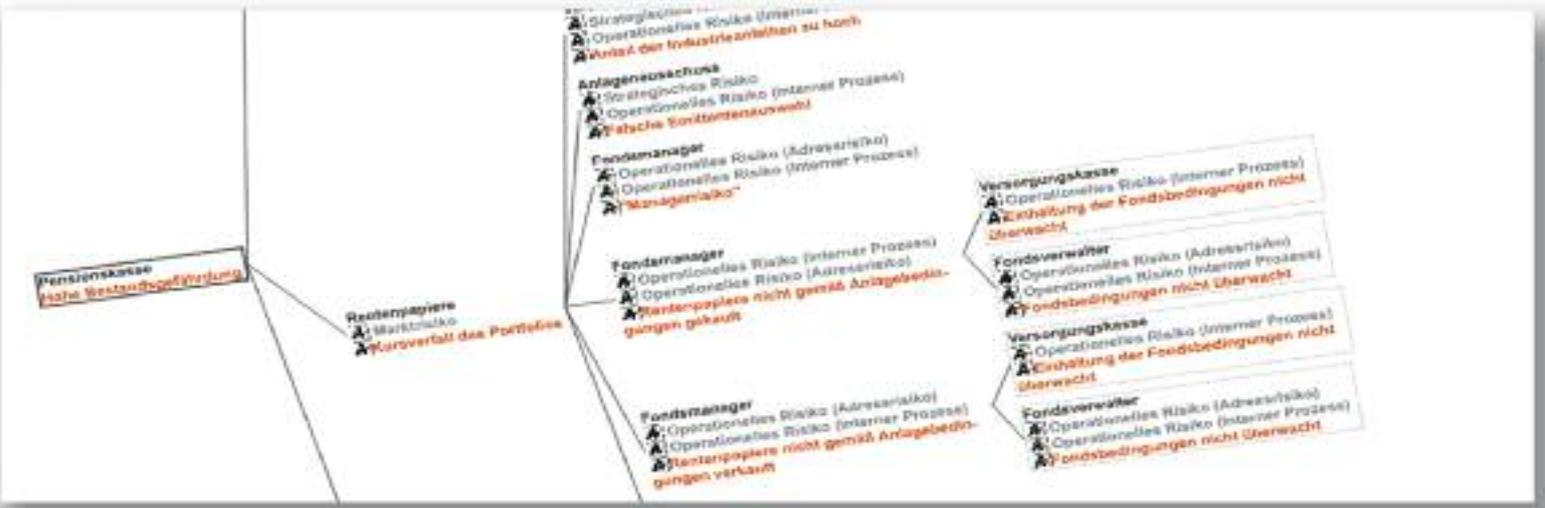
### Fraunhofer IPA Leitfaden zur Umsetzung der Anforderungen der DIN EN 16001.

Das Fraunhofer IPA hat einen Leitfaden zur Umsetzung der Anforderungen der DIN EN 16001 erarbeitet. Der Leitfaden zeigt die notwendigen Schritte zur Umsetzung der Anforderungen der Norm auf. Die Empfehlungen basieren auf der fundierten Projekterfahrung des Fraunhofer IPA. Beispielsweise realisierte die Agfa-Gevaert HealthCare GmbH am Standort Peissenberg zusammen mit dem Fraunhofer IPA die Umsetzung der Normanforderungen im Zeitraum von November 2009 bis April 2010.

Zu den wichtigsten Schritten bei der Einführung eines Energiemanagementsystems gehören die Erarbeitung einer »Energiepolitik« und das Setzen von strategischen und operativen Zielen. Diese Verpflichtung des TOP-Managements zur ständigen Verbesserung der energetischen Leistung der Organisation ist unumgänglich: Erst dann können schrittweise Prozesse und Verfahren zur Umsetzung der Normanforderungen erarbeitet und im Unternehmen implementiert werden.

1 Phasen des Referenzmodells

2 BBAP



## FMEA IM RISIKOMANAGEMENT VON PENSIONSKASSEN

Die Fehler-Möglichkeits- und Einfluss-Analyse (FMEA) ist bisher vor allem im technischen Umfeld weit verbreitet und dient hier als eine der Standardvorgehensweisen zur Risikoanalyse und -vermeidung. Im Finanzbereich war die Methode hingegen bislang weitgehend unbekannt.

Mit den »Aufsichtsrechtlichen Mindestanforderungen an das Risikomanagement in Versicherungen« (MaRisk VA) der Bundesanstalt für Finanzdienstleistungsaufsicht im Zuge der Solvency-II-Umsetzung werden nun künftig höhere qualitative Anforderungen an Methoden und Prozesse des Risikomanagements von Versicherungsunternehmen gestellt.

Versicherer – insbesondere kleinere – stehen nun vor der Herausforderung, ein Risikomanagement zu etablieren, welches den formulierten Mindestanforderungen genügt. Dies kann im Einzelfall einen erheblichen Aufwand bedeuten.

### Einfacher und systematischer Einstieg in das geforderte Risikomanagement der MaRisk VA durch FMEA

Vor diesem Hintergrund beauftragte die Versorgungskasse der Angestellten der Norddeutschen Affinerie das Fraunhofer IPA, auf Basis der FMEA-Vorgehensweise den Aufbau des Risikomanagements gemäß den MaRisk VA zu unterstützen.

Zusammen mit Schlüsselverantwortlichen des Unternehmens wurden zunächst relevante System- und Prozesselemente der Versorgungskasse systematisch aufgenommen. Um alle Bereiche in die Risikoanalyse mit einzubeziehen, dienten als übergeordnete Systemelemente die Unterteilungen in »Assets«, »Liabilities« und »Aufbau- und Ablauforganisation«. Eine weitere Detaillierung erfolgte bis auf die Ebene der einzelnen Anlagegruppen und Anlageformen.

### Einzelrisiken, Risikoabhängigkeiten, Risikoprozesse integriert betrachten und dokumentieren

Jedem System- und Prozesselement wurde eine Funktion im Sinne eines zu erreichenden Ziels (bspw. »Rendite erwirtschaften von x %«) zugeordnet. Die potenzielle Nicht-Erreichung der einzelnen Ziele stellen für die Versorgungskasse die potenziellen Risiken dar.

Neben einer vollständigen Abbildung und Dokumentation des Zielsystems und der potenziellen Einzelrisiken gehört zu den großen Vorteilen dieser Vorgehensweise auch die Darstellung der Risikoabhängigkeiten sowie der einzelnen Risikoursachen.

Mit Hilfe einer angepassten Bewertungsskala wurden die einzelnen Risiken zudem hinsichtlich der Bedeutung für die Versorgungskasse, der Auftretenswahrscheinlichkeit sowie nach Möglichkeiten der frühzeitigen Entdeckung bewertet. Für besonders risikobehaftete Systeme bzw. Prozesse wurden im Team entsprechende risikominimierende Maßnahmen festgelegt.

### Kontinuierliche Pflege des Systems durch Software

Mit der FMEA und der im Projekt verwendeten Software »IQ-FMEA« der APIS GmbH bietet sich auch für kleine Versicherer ein praktikabler Weg an, ein angemessenes und anforderungsgerechtes Risikomanagement aufzubauen und zu betreiben.

Insgesamt wurden das Projekt und die FMEA aufgrund der moderierten, strukturierten Vorgehensweise und der Möglichkeit, die Systemkomplexität bzw. Risikolandschaft einfach und schnell abzubilden, sehr positiv beurteilt.

# MATRON – ENTWICKLUNG SICHERER UND ZUVERLÄSSIGER MECHATRONISCHER SYSTEME

Das Fraunhofer IPA hat im Verbund mit dem Fraunhofer IAO und sechs Industrieunternehmen aus Baden-Württemberg im Rahmen des vom Wirtschaftsministerium Baden-Württemberg geförderten Verbundprojekts »MATRON« Prozesse und Methoden entwickelt, die vor allem kleinere und mittlere Unternehmen (kmU) bei der Entwicklung zuverlässiger und sicherer mechatronischer Systeme unterstützen sollen. Hierbei lag der Schwerpunkt auf der Methodenentwicklung. Neben den inhaltlichen Zielen konzentrierte sich das Fraunhofer IPA auf die Anwendbarkeit für kmU. Hieraus ergaben sich die Anforderungen, dass zum einen die anzuwendenden Methoden und Werkzeuge pragmatisch und mit entsprechendem Aufwand realisierbar sein mussten und zum anderen, dass die dabei eingesetzten Hilfsmittel durch Standardsoftware abzubilden waren.

Im Rahmen des Arbeitspakets »Anforderungsmanagement« wurde ein systematischer Ansatz zur gezielten Gewichtung der Produktanforderungen erarbeitet. Als Basis diente dabei die bekannte und bewährte Methodik »Quality Function Deployment« (QFD). Bei einer Anwendung sollten durch eine Änderung der Methodik zwei Schwachstellen beseitigt werden: die Vernachlässigung der Basisanforderungen sowie die Fokussierung auf eine einzige Kundengruppe. Im ersten Fall gelang die Problemlösung durch eine Erweiterung des Kano-Modells sowie die Berücksichtigung aller im erweiterten Kano-Modell enthaltenen Anforderungstypen, also auch der Basisanforderungen.

Für die zweite Methodenänderung wurde der Fokus auf die Einbeziehung verschiedener Kunden(märkte) sowie der angestrebten Absatzvolumina gelegt. Davon ausgehend lassen sich durch eine systematische Konzeptbewertung neben der eigentlichen Konzeptentscheidung auch Aussagen bezüglich der Variantenstrategie bereits in frühen Entwicklungsphasen ableiten.

Einen weiteren zentralen Arbeitspunkt stellte die systematische Risikoanalyse während der Entwicklung dar. Hierzu wurde als Anschlusspunkt an die Anforderungsanalyse ein Leitfaden zur Analyse von Umwelteinflüssen und Testplanung mechatronischer Systeme erstellt. Basierend auf einer Strukturierung der möglichen Einflussfaktoren (mechanische, thermisch/klimatische, chemisch/biologische sowie elektromagnetische Einflüsse) und deren Substrukturierung, enthält der Leitfaden die Darstellung und Kurzbeschreibung geeigneter Testnormen. Die systematische Risikoanalyse setzt sich mit einem Risikofilter einschließlich einer Bauteil-Funktionskorrelation fort. Der Risikofilter ermöglicht eine schnelle und einfache Priorisierung der im Anschluss detaillierter zu analysierenden Systembestandteile. Systematische Fehler sollen bei der Entwicklung und während den Testverfahren durch eine durchgängige Verarbeitung der Analyse-inhalte in den Teilmodulen aufgedeckt werden. Im Rahmen dieser weiteren Behandlung der potenziellen Fehler wird zusätzlich als Bewertungsfaktor ein Unsicherheitsgrad eingeführt, der eine Maßzahl für den Reifegrad darstellt.

Bei diesem Projekt handelt es sich um einen Forschungsauftrag des Landes Baden-Württemberg, der aus Mitteln der Landesstiftung Baden-Württemberg gGmbH finanziert wird.

Zentrifugen
Kleincentrifugen
Hämatokritzentrifugen
<b>HAEMATOKRIT 210</b>
Mikrocentrifugen
Tischcentrifugen
Standcentrifugen
Waschcentrifugen
Spezielles Zubehör
Inkubatoren
Laborautomatisierung
Ultra-Tierzylinder

**HAEMATOKRIT 210**

In wenig mehr als 6 Minuten ist die Sedimentation bei 16.050 g abgeschlossen. Eine Laufzeiteinstellung von 10 Minuten reicht in jedem Fall aus. Der Rotor kommt gebremst zum Stillstand. Die Hämatokritbestimmung mit Standardkapillaren erfolgt im 24-fachen Rotor 2075. Jedes Kapillarrohrchen liegt in einer eigenen Kammer und wird am Außenrand weich durch Einzelschalen abgestützt. Die Schalen dienen bei Glasbruch zum Auffangen der Splitter und des Röhrcheninhalts. Sie sind bequem zu reinigen und auch austauschbar. Der Deckel von Rotor 2075 findet zugleich als


 Eingelogggt als m.mustermann  
 ▶ [logout](#)

 Alle Informationen zur  
**HAEMATOKRIT 210**
**Hettich-Wiki**

- ▶ [Wartung](#)
- ▶ [Reparatur](#)
- ▶ [In Betriebnahme](#)
- ▶ [Umbau](#)

**Dokumente**

- ▶ [Prospekte](#)
- ▶ [Bedienungsanleitungen](#)
- ▶ [Transportsicherung](#)

## SERVICEQUALITÄT DURCH WISSENS- TRANSFER SICHERN

Den richtigen Personen das richtige Wissen zur richtigen Zeit zur Verfügung zu stellen, ist eine der großen Herausforderungen des Wissensmanagements. Das Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung IPA hat hierzu den Serviceprozess beim Tuttlinger Medizintechnikhersteller Andreas Hettich GmbH & Co. KG unter dem Aspekt der Sicherstellung der Servicequalität durch den Einsatz einer Wissensdatenbank analysiert.

Die schnelle und zuverlässige Lösung von Kundenproblemen ist das A und O für die Kundenzufriedenheit und damit für den langfristigen Unternehmenserfolg. Hierzu ist es wichtig, den Servicemitarbeitern situationsbedingt die notwendigen Informationen zur Verfügung zu stellen. Das geeignete Mittel dazu ist, den Technikern eine Plattform für den Erfahrungsaustausch zu bieten.

Diese wurde im Rahmen des vom Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie geförderten Forschungsprojekts »Wiki-Med« realisiert. Um den Zusatzaufwand für die Betreuung so niedrig wie möglich zu halten, wurde die bestehende Produktdatenbank - die der Kundeninformation dient - um Elemente zur Erfassung von kontextbezogenen Problemlösungsinformationen erweitert. Der Online-Produktkatalog dient Kunden zur umfassenden Information über das Produktspektrum und schließt technische Daten wie z. B. Spezifikationen, Bedienungsanleitung und Lieferumfänge ein.

Die Techniker benutzen die gleiche Plattform, um ihre Erfahrungen auszutauschen. Dazu wurde die Oberfläche um spezielle Navigationselemente ergänzt, die nur für die autorisierten Servicemitarbeiter sichtbar sind. Der große Vorteil dieses Ansatzes liegt darin, dass der Wissenstransfer produktbezogen realisiert wird und damit das Produktwissen stetig wächst.

Neben der Andreas Hettich GmbH & Co. KG waren auch die Aries AT GmbH und die Karl Storz GmbH & Co. KG an dem Projektkonsortium beteiligt. Das Projekt, das Teil der Initiative »Fit für den Wissenswettbewerb« ist, wurde im Sommer 2009 vom Fraunhofer IPA erfolgreich abgeschlossen. Ziel war es, Wissensmanagementwerkzeuge bei den Partnern, unter besonderer Berücksichtigung ihrer speziellen Anforderungen, zur Anwendung zu bringen. So wurden bei den Anwendungspartnern Aries AT GmbH »Lernkooperationen« und bei der Karl Storz GmbH & Co. KG »Blended Learning« in der Mitarbeiterschulung eingeführt.

Die Resonanz der beteiligten Unternehmen und Mitarbeiter auf die Wissensmanagementlösungen ist durchweg positiv. Die Techniker bei der Andreas Hettich GmbH & Co. KG schätzen besonders die räumliche und zeitliche Flexibilität, die durch die IT-Werkzeuge erreicht wird. Die Lernkooperationen bei der Aries AT GmbH haben zu einer Verbesserung der Planungssicherheit beigetragen, während bei der Karl Storz GmbH & Co. KG E-Learning Elemente die Angleichung des Wissensniveaus im Vorfeld von Präsenzs Schulungen ermöglichen.

---

# FABRIKPLANUNG UND PRODUKTIONSOPTIMIERUNG

---

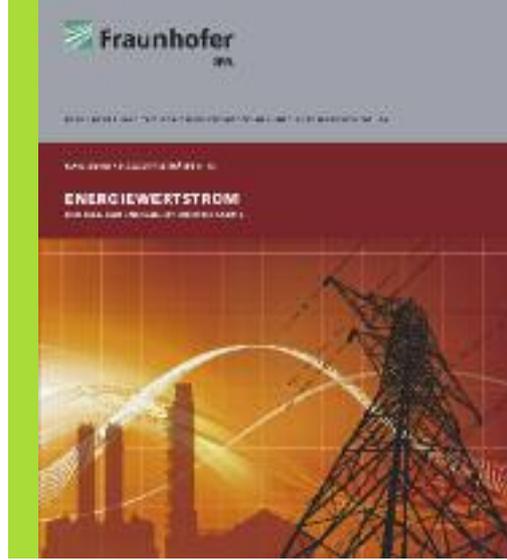
Wettbewerbsfähige Unternehmen müssen ihre Fabriken im Grenzbereich der technischen, logistischen und organisatorischen Möglichkeiten betreiben. Konstante Innovation und Anpassungsfähigkeit sind die Voraussetzungen für dauerhaften Erfolg. Mit unserem Gesamtangebot für Fabrikplanung und -betrieb unterstützen wir Sie bei folgenden Herausforderungen:

- Steigerung der Produktivität
- Reduzierung der Durchlaufzeiten
- Optimierung von Beständen
- Erhöhung der Verfügbarkeit von Ressourcen
- Förderung der Flexibilität

Um unseren Kunden den größtmöglichen Mehrwert zu bieten, kombinieren wir in unserem Leistungsangebot aktuelle Forschungserkenntnisse und neueste Planungsmethoden mit der langjährigen Erfahrung in Planung und Realisierung.

Unser Ansatz umfasst sowohl die Planung als auch die Optimierung des laufenden Fabrikbetriebs. Die Planung beginnt mit dem Vorausdenken zukünftiger Szenarien, umfasst die aktive und kooperative Partizipation aller Beteiligten und wird im Rahmen der Digitalen Fabrik zu einem kontinuierlichen Prozess, der die Grenze zwischen Planung und Betrieb überwindet. Dabei sind Standardisierung und Methodenintegration insbesondere für kleine und mittelständische Unternehmen notwendige Voraussetzungen für die schnelle Umsetzung eines effizienten Produktionsmanagements.

Dieser Herausforderung stellen wir uns! Mit neuesten Methoden und Werkzeugen betreiben wir ein aktives Chancenmanagement, um den Wettbewerbsvorsprung unserer Kunden nachhaltig zu sichern.



## ENERGIEWERTSTROM ZUR OPTIMIERUNG DES ENERGIE-EINSATZES IN DER PRODUKTION

Energieeffizienz wird in Industriebetrieben in Zeiten steigender Rohstoffpreise immer mehr zu einem Wettbewerbsvorteil. Dies erklärt den aktuellen Trend, dass mittlerweile nicht mehr nur in energieintensiven Industriebereichen der sparsame Umgang mit Energieressourcen Beachtung findet, sondern auch andere Branchen die Potenziale der Energieeinsparung als Werkzeug zur Kostensenkung erkennen und umsetzen. Um eine Steigerung der Energieeffizienz zu erreichen, ist es erforderlich, detaillierte Aussagen bezüglich des Energieeinsatzes in der Produktion treffen zu können. In vielen Unternehmen fehlt jedoch das notwendige Wissen über den prozessbedingten Energieverbrauch.

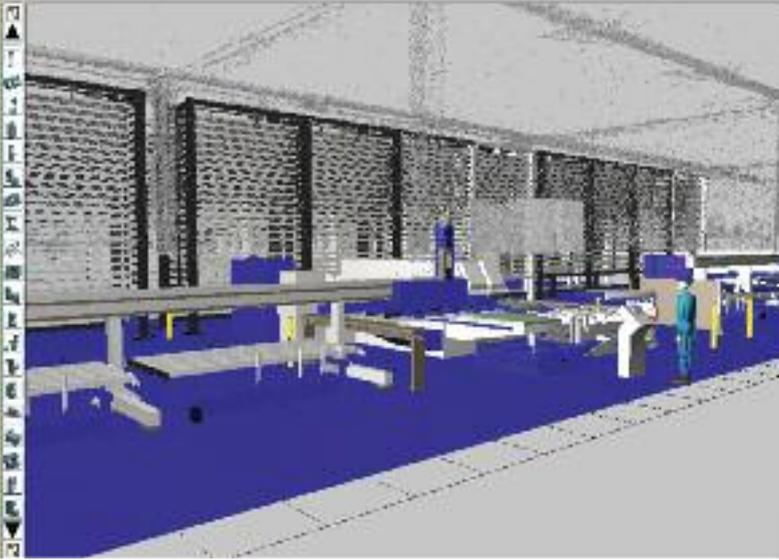
Um diese Schwierigkeiten zu beheben, wurde die Methodik des Energiewertstroms entwickelt. Sie ermöglicht zum einen die Darstellung des innerbetrieblichen Energieverbrauchs, zum anderen eine Optimierung des Energieeinsatzes nach acht Gestaltungsrichtlinien. Die Systematik des Energiewertstrom-Ansatzes basiert in ihrem Aufbau und der Vorgehensweise auf dem klassischen Wertstromdesign und orientiert sich somit an einer Methode, die sich im praktischen Einsatz bereits seit vielen Jahren bewährt hat.

Die Vorgehensweise des Energiewertstroms besteht im Wesentlichen aus zwei Schritten. In der Analysephase werden zunächst die im Unternehmen auftretenden Energieflüsse ermittelt und anhand einer überschaubaren Darstellung leicht nachvollziehbar abgebildet. Die Bildung von Kennzahlen ermöglicht die Bewertung des Energieeinsatzes und zeigt das Potenzial zur Verbesserung.

Durch die Darstellung des Energiewertstroms werden Energieverbräuche im Produktionsprozess transparent und zuordenbar. Dies ermöglicht die Bewertung des Energieverbrauchs und das Ableiten von Verbesserungspotenzialen.

Basierend auf den Ergebnissen der Energiewertstromanalyse und der Abbildung der aktuellen Ist-Situation erfolgt im Konzeptionsteil das Ableiten von Verbesserungsmaßnahmen. Hierzu bietet die Methode im Energiewertstromdesign durch die Darstellung und Erläuterung von konkreten Gestaltungsrichtlinien sowie die Beschreibung von Bausteinen zur Soll-Konzeptionierung die nötigen Rahmenbedingungen zur Integration des Energieeinsatzes in den Prozess der Systemverbesserung. Dabei werden beispielsweise auch Maßnahmen zur Energierückgewinnung und zur Vermeidung von Lastspitzen mitberücksichtigt. Anschließend werden die im Soll-Konzept festgelegten technischen und organisatorischen Maßnahmen bewertet und gemäß einem Realisierungsplan umgesetzt.

Die Systematik des Energiewertstroms wurde in Form eines Arbeitsbuchs festgehalten und veröffentlicht:  
Klaus Erlach; Engelbert Westkämper (Hg.)  
ENERGIEWERTSTROM – Der Weg zur energieeffizienten Fabrik  
Fraunhofer Verlag, Stuttgart 2009  
ISBN: 978-3-8396-0010-8



## RESTRUKTURIERUNG DER INSTANDHALTUNG

Die Bedeutung der Instandhaltung (IH) als entscheidender Wertschöpfungsfaktor setzt sich in den Unternehmen mehr und mehr durch. Die Instandhaltung wird als wichtiger Erfolgsfaktor für den Produktionsprozess und somit als Schlüssel für die Standortsicherung gesehen. Die Gründe hierfür sind vielschichtig. Neben dem verschärften globalen Wettbewerb sind verkürzte Produktlebenszyklen bei längeren Nutzungsdauern der Produktionsanlagen und sinkende Investitionsbereitschaft in Neuanlagen zu nennen. Moderne und schlanke Produktionssysteme stellen aufgrund ihrer nahezu unterbrechungsfreien Produktion sehr hohe Anforderungen an die Zuverlässigkeit, die Verfügbarkeit und die Prozesssicherheit von Produktionsanlagen. Das schwierige wirtschaftliche Umfeld und die veränderten Markt- und Wettbewerbsbedingungen stellen viele Unternehmen vor weitere Herausforderungen, die sich sehr oft in Kostensenkungs- und Rationalisierungsprojekten widerspiegeln. Insbesondere die Senkung von Gemein- und Betriebskosten, d. h. minimale Aufwände an Personal, Material und Energie, rücken hierbei noch intensiver in den Vordergrund als bisher.

Vor dem Hintergrund, den eigentlichen Zielkonflikt zwischen Verfügbarkeit und Kosten zu beherrschen, wurde bei einem Unternehmen der Pharma-Branche ein Projekt zur Restrukturierung der Instandhaltung initiiert. Zur Identifikation der Hauptpotenzialfelder ist zunächst eine Kurzanalyse der Instandhaltung durchgeführt worden. Die Kurzanalyse dient zur qualitativen und quantitativen Erfassung und Beurteilung der Ist-Situation der Ablauf- und Aufbauorganisation sowie wichtigen Datenmaterials in der Instandhaltung und Produktion. Gleichzeitig wurden die Anforderungen aus der Produktion an die Instandhaltung im Rahmen von Interviews mit den Produktionsverantwortlichen ermittelt.

Die in der Analyse identifizierten Potenzialfelder sind priorisiert worden, notwendige Maßnahmen zur Erschließung der Potenziale wurden abgeleitet und in ein ganzheitliches

Konzept zur Instandhaltungsoptimierung integriert. Die Restrukturierung der Instandhaltung von einer kosten- zu einer leistungsorientierten Instandhaltung erfolgte in 4 Schritten:

Zunächst wurde ein kosten- und leistungsorientiertes Controlling in Form eines IH-Kennzahlensystems aufgebaut. Zur Vermeidung jeglicher Verschwendung beim Ressourceneinsatz sind im Zuge von Lean Maintenance die Hauptprozesse der Instandhaltung detailliert erfasst, analysiert und optimiert worden.

Um im Produktionsbetrieb die geforderte Verfügbarkeit zu minimalen Kosten zu gewährleisten, ist die ganzheitliche Betrachtung der gesamten Wertschöpfungskette notwendig. Diese zielt darauf ab, Ausfallrisiken transparent und bewertbar zu machen. Nicht jede Anlage oder Anlagenkomponente bewirkt denselben Schaden bzw. hat dieselbe Konsequenz, wenn sie ausfällt. Hierzu wurden Risikoanalysen durchgeführt und risikominimierende Maßnahmen, insbesondere bzgl. komponentenbezogenen Instandhaltungsstrategien, Condition Monitoring und Ersatzteilmanagement, definiert.

Eine auf die Produktionsanforderungen abgestimmte IH-Organisation wurde durch die Einführung von Total Productive Maintenance (TPM) und den Wandel von zentralen zu dezentralen IH-Strukturen realisiert.

Durch die beschriebene Restrukturierung der Instandhaltung konnte neben der Kosten- und Leistungstransparenz eine deutliche Reduktion der IH-bedingten Anlagenstillstände, eine Erhöhung der Linienleistung und eine risikoneutrale Reduktion der Instandhaltungskosten erreicht werden.



## FABRIKPLANUNG IN DER TÜRKEI – MEDIZINTECHNIK

Unternehmen der Medizintechnik arbeiten eng mit ihren Partnern in Krankenhäusern und medizinischen Versorgungseinrichtungen zusammen. Um Ausstattungsverträge mit ausländischen Krankenhäusern abschließen zu können, werden von vielen Ländern Produktionsstätten im eigenen Land gefordert. Die unterschiedlichen Standortfaktoren der einzelnen Länder und Regionen werfen die Frage auf, mit welcher geeigneten Fertigungstiefe und mit welchem geplanten Wachstumspotenzial die Produktionsstätte aufgebaut wird.

Deshalb ist es dringend notwendig, sämtliche produktionstechnischen und strategischen Standortvorteile zu bewerten, um einerseits einen geeigneten Wachstumsplan für alle Produktionsstandorte erstellen zu können. Andererseits ist es für die Leiter der Produktionsstätten ein Ansporn, ihre eigenen Vorteile in Kosten, Qualität und Flexibilität auszubauen, um mögliche strategische Nachteile auszugleichen. Zumindest besteht die Möglichkeit, den Vorständen des Unternehmens die möglichen Potenziale und Wachstumsmöglichkeiten darzulegen.

### Das Unternehmen

Das Unternehmen in Antalya stellt Blutschläuche in unterschiedlichen Varianten in sehr hohen Stückzahlen her. Trotz schneller Taktzeiten ist der Anteil manueller Tätigkeiten hoch und eine Automatisierung der Prozesse, aufgrund der Produkteigenschaften, schwierig. Dank der geringen Lohnkosten in der Türkei ist dennoch eine wirtschaftliche Produktion möglich.

Das enorme Wachstum in dieser Branche ist für den einzelnen Produktionsstandort immer in Relation zum Gesamtunternehmen und anderen möglichen Standorten zu sehen, dennoch wird auch für diesen Produktionsstandort mit einem Wachstum von bis zu 100 Prozent ausgegangen.

Um dieses Wachstum abbilden zu können, müssen die vorhandenen und nicht erweiterbaren Flächen optimal ausgenutzt werden. Zusätzliche Wachstumsmöglichkeiten könnten eine Ausgliederung von Lagerflächen oder Fertigungsschritten bedeuten.

Innerhalb des Projekts wurden unterschiedliche Layoutvarianten generiert, die verschiedene Wachstumsszenarien abdecken. Dabei wird die hohe Produktivität beibehalten und eine Bestandsminderung als Flexibilitätssteigerung angestrebt.

### Vorgehensweise

Für die Layoutvarianten wurden sämtliche Prozessabläufe aufgenommen, analysiert und diejenigen Bereiche festgelegt, für die ein stufenweises Ansteigen der Produktionsmenge auch flächenmäßige Auswirkungen haben würde. Die mengenunabhängigen Bereiche wurden in ihren Ist-Werten übernommen und die Lagerflächen in Abhängigkeit des Mengenwachstums errechnet.

Die Bewertung der unterschiedlichen Layoutvarianten und die Auswahl des priorisierten Layouts erfolgten dabei in 4 Schritten:

#### *Definieren der Evaluierungskriterien*

Für das zukünftige Layout wurden Kriterien festgelegt, die das Layout bestmöglich erfüllen muss. In diesem Fall waren das beispielsweise ein minimaler Produktionsstopp, optimierter Materialfluss, Flächenbedarf etc.



#### *Vergleich von Evaluierungskriterien*

Die ermittelten Evaluierungskriterien wurden paarweise miteinander verglichen und gemäß ihrer Wichtigkeit für die Erreichung der Unternehmensziele vom Projektteam gewichtet. Da die Gewichtung der Evaluierungskriterien einer gewissen Subjektivität unterliegt, muss sie durch mehrere Diskussionen angepasst werden, um eine schlüssige Argumentation zu erzeugen.

#### *Evaluierung jeder Variante*

Jede Variante wurde nun dahingehend evaluiert, inwieweit sie die geforderten Kriterien erfüllt. Dafür wurde ein standardisiertes Punktesystem verwendet.

Vom Projektteam wurden außerdem K.-o.-Kriterien definiert, auf die die Varianten untersucht und bei Bedarf ausgeschlossen wurden (bspw. zu häufiger Produktionsstopp).

#### *Kalkulationsschema*

Das entwickelte Kalkulationsschema ermittelt die von den Varianten errungenen Punktzahlen und bewertet diese wiederum mit den Gewichtungen der Kriterien.

Mehrere Varianten wurden hinsichtlich ihrer Schwachstellen untersucht und auf mögliche Optimierungspotenziale geprüft, um alle Möglichkeiten auszuschöpfen.

#### **Ergebnis**

Anhand des Kalkulationsschemas konnte das favorisierte Layout mit großem Konsens ausgewählt werden. Die Erweiterung der bestehenden Produktion und der Umbau der vorhandenen Flächen sind für Mitte 2010 geplant. Durch die systematische Vorgehensweise der Variantenauswahl konnte die Planungszeit halbiert werden.

# PRODUKTIONSOPTIMIERUNG SHW WERKZEUGMASCHINEN

## Ausgangssituation

Die SHW Werkzeugmaschinen GmbH in Aalen ist ein Hersteller von Großfräsmaschinen. Das erfolgreiche Stückzahlwachstum im Bereich der Großmaschinen und die damit einhergehende Vergrößerung der Maschinen-dimensionen ließen die bestehende Hallenstruktur und die Organisation jedoch oft an ihre Kapazitätsgrenzen stoßen. Ein Gelände- und Gebäudegrobplanung waren bereits abgeschlossen und erforderten nun die Integration der Montage und Logistik in die bestehende Produktions- und Logistikstruktur in Aalen-Wasseraalengen.

## Projektziele

Aus den genannten Herausforderungen an SHW Werkzeugmaschinen wurden systematisch die Projektziele abgeleitet. Die Mengensteigerung sollte bei gleichzeitiger Reduktion der Auftragsdurchlaufzeit und einer Verbesserung der Termintreue stattfinden. Wichtig waren eine hohe Standardisierung und Transparenz, sowohl in der Auftragsabwicklung als auch im Produktionslayout. Aus Sicht der Fabrikplanung war der Hallen-neubau materialflussoptimal in die bestehende Werksstruktur einzupassen. Die zugehörige Logistik sollte einerseits in die vorhandene Struktur eingebettet werden, während andererseits die Optimierungspotenziale ausgeschöpft werden sollten.

## Vorgehen

Im Rahmen der Erweiterungsplanung stand die Gestaltung des Layouts mit den erforderlichen Stationen für die Montage und die Materialflussoptimierung im Fokus der Betrachtung. Die Montagegestaltung erfolgte nach den Prinzipien der taktgebundenen Standplatzmontage (s. Bild 2), um durch die zeitgenaue Einschleusung von Großteilen ein Taktprinzip mit hoher

Transparenz auch in der Kleinserienproduktion zu realisieren. Die Plätze wurden hinsichtlich der Materialanlieferung optimiert, bei welcher gerade für die sehr voluminösen Großteile Kräne zum Einsatz kommen.

Die entwickelten Prinzipien sind zu einem standardisierten Montagelayout verdichtet worden. Der Materialfluss wurde mit montageoptimalen Bereitstellvorgängen aufgebaut. Eine differenzierte Betrachtung der Teile, insbesondere hinsichtlich deren Volumens und deren Verwendungswahrscheinlichkeit, ermöglichte eine Segmentierung der Bereitstellprinzipien. Großteile werden nun sequenzgenau »im Takt« eingeschleust, während kleinere Teile verbrauchsgesteuert bereitgestellt werden.

Die Erfahrung zeigt, dass sich damit auch bei niedrigen Stückzahlen und in Standplatzmontagen zahlreiche Optimierungspotenziale analog zur Großserie realisieren lassen.

## Nutzen

- Auftragsdurchlaufzeitreduktion von ca. 20 Prozent
- Erhöhung der Transparenz und der Termintreue aufgrund genauer Rückkopplung über den Arbeitsfortschritt
- Vereinfachung und Transparenz in den Abläufen in Montage und Logistik

---

# UNTERNEHMENSLOGISTIK UND AUFTRAGSMANAGEMENT

---

Die Mission der Abteilung »Unternehmenslogistik« heißt: Fertigung und Montage produzierender Unternehmen durch Logistikexzellenz auf den Spitzenstand bringen. Das bedeutet, die Logistikprozesse sollen möglichst einfach, aber gleichzeitig stabil und kostengünstig auslegt werden, die Informationssysteme optimal darauf abgestimmt und das Ganze soll nicht nur innerhalb einer Fabrik, sondern im Netzwerk, also unter Einbeziehung anderer Produktionsstätten, der Lieferanten und nicht zuletzt der Kunden, optimiert werden.

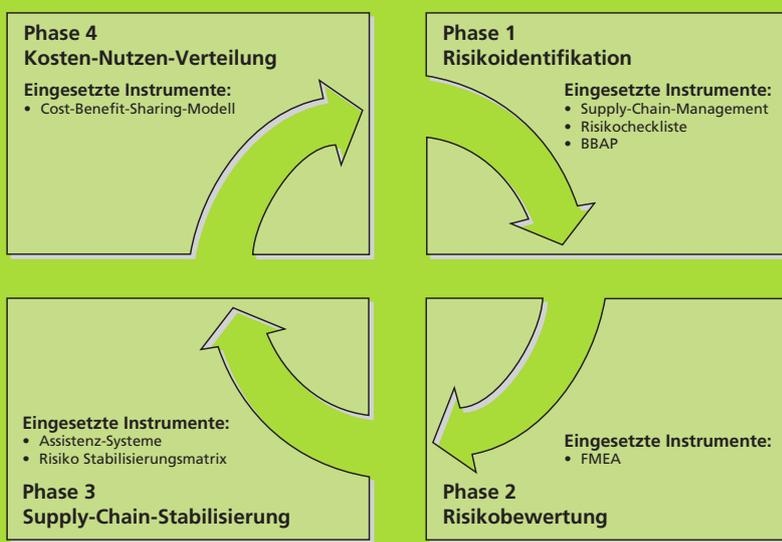
Die Integrationsleistung dazu bietet die Abteilung Unternehmenslogistik:

- Netzwerklogistik
- Beschaffungslogistik
- Produktionslogistik
- Innovative Werkzeuge zur Logistikoftwareoptimierung

Partielle Lösungen bringen zwar Verbesserungen, echter substanzialer Mehrwert wird jedoch nur durch integrierte Lösungen erreicht – dort, wo Produktionskonzepte nicht an der Schnittstelle zu Lieferanten aufhören. Die Anbindung an Kunden und Lieferanten entscheidet mit über den Erfolg der Fabrik, wenn neu gestaltete Supply Chains durch optimierte Wertschöpfungsprozesse führen oder neue, innovative Produkte schnell und stabil in der Serie anlaufen und somit auch früh die Produktivitätszone erreichen.

Um diese Ziele zu erreichen, werden leider oft die Grenzen der Überschaubarkeit überschritten. Neue und systematische Vorgehensweisen, Methoden und Verfahren, die Transparenz in die komplexen Aufgaben bringen, sind hier gefordert.

Genau an dieser Stelle sehen wir unsere Kompetenz, um Ihre Potenziale, Ihre hochproduktiven Fabriken ständig zu verbessern.



## NETZWERKSTABILISIERUNG IN DER ELEKTRONIKINDUSTRIE

### Heutige Situation in der Elektronikindustrie

Die zumeist global aufgestellten Lieferketten in der Elektronikindustrie bestehen in der Regel aus einem marktmächtigen Kunden, einem A-Lieferanten und mehreren kleinen und mittleren Zulieferunternehmen (kmU). Geprägt sind diese Netze zum einen durch die hohe Dominanz des Kunden bzw. des A-Lieferanten und zum anderen durch den volatilen Markt der Elektronikindustrie mit starken Bedarfsschwankungen sowie kurzen Produktlebenszyklen.

Die Kombination aus diesen Umfeld-Turbulenzen und der Fokussierung einzelner Unternehmen auf immer höhere Effizienz oder Produktivität durch Verbesserung der logistischen Zielgrößen (Senkung der Bestände, hohe Auslastung der Kapazitäten sowie kurze Durchlaufzeiten) stellen in diesen Lieferketten insbesondere kmU vor Schwierigkeiten. Hierbei ist die Beherrschung von vorhandenen bzw. auftretenden Risiken innerhalb der Lieferketten ein zentrales Thema.

Unter diesen Voraussetzungen gewinnt das Risikomanagement deutlich an Stellenwert. Risiken wie der Ausfall wichtiger Schlüssellieferanten, vermeidbare Ungenauigkeiten in der Bedarfsvorhersage oder unvorhergesehene Rohmaterialengpässe können fatale Auswirkungen haben.

### Aufgabenstellung und Zielsetzung für das Risikomanagement bei kmU

Bisherige Modelle für das Risikomanagement gehen hauptsächlich auf die Problemstellungen von großen Konzernen ein. Diese unterscheiden sich aber oftmals gravierend von denen der kmU. Daher wird am Fraunhofer IPA gemeinsam mit dem Fraunhofer IML aus Dortmund im Zuge eines Forschungsprojekts ein Me-

thodenbaukasten zur Stabilisierung von Risiken in kmU entwickelt. In Anlehnung an den Risikomanagement-Prozess ergaben sich folgende Forschungsfragen:

- Welche Methodik zur Darstellung der Lieferketten innerhalb eines Netzwerks ist die effizienteste?
- Wie können kritische Lieferketten identifiziert werden?
- Wie könnte eine Methodik zur Maßnahmenauswahl für die Stabilisierung einzelner Risiken aussehen?
- Welche Möglichkeiten gibt es für die Kosten-Nutzen-Verteilung innerhalb des zu betrachtenden Netzwerks?

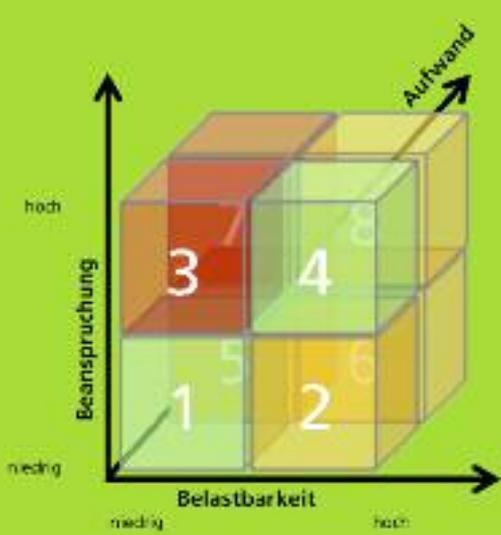
Ziel ist die Entwicklung eines durchgängigen Referenzmodells für kmU zur Stabilisierung relevanter Risiken.

### Das 4-Phasen-Referenzmodell

Das zu entwickelnde Referenzmodell ist in vier aufeinander aufbauende Phasen unterteilt. Für jede dieser Phasen wurden Instrumente entwickelt, die gemeinsam mit den Industriepartnern in Workshops validiert wurden bzw. noch validiert werden (siehe Bild 1):

#### Phase 1: Risikoidentifikation

Zunächst müssen die Lieferketten identifiziert werden, in denen potenzielle Risiken vorhanden sein können. Hierfür ist die Methode des »Supply Chain Mapping« geeignet. Zusätzlich zur reinen Visualisierung der Lieferketten liefert das Supply Chain Mapping auch eine Bewertung der einzelnen Lieferkettenäste hinsichtlich ihrer jeweiligen Belastbarkeit, Beanspruchung sowie des aktuell investierten Aufwands (s. Bild 2). Vielen Unternehmen ist nicht bewusst, wie viel Aufwand im Betriebsalltag in das Management kritischer Lieferketten investiert wird. Die simultane Visualisierung der Dimensionen Belastbarkeit, Bean-



spruchung und Aufwand stellt eine der Kerninnovationen des Forschungsvorhabens dar, die es kmU erlaubt, auf schnelle und einfache Weise bisher ungenutzte Verbesserungspotenziale aufzudecken und mit geeigneten Maßnahmen gezielt zu nutzen.

#### *Phase 2: Risikobewertung*

In dieser Phase werden die identifizierten Risiken, welche in den kritischen Lieferkettenästen vorhanden sind, durch ein Expertenteam bewertet. Dazu hat sich eine am Fraunhofer IPA entwickelte, abgewandelte Fehlermöglichkeits- und Einflussanalyse (FMEA) bewährt.

#### *Phase 3: Supply-Chain-Stabilisierung*

Lieferketten mit ihren gegenseitigen Abhängigkeiten sind gerade in der Elektronikbranche äußerst komplex. Andererseits sind die Auswirkungen von Kompensationsmaßnahmen auf die identifizierten Risiken unterschiedlich; sie können sich ergänzen oder gegenseitig in der Wirksamkeit reduzieren, was eine adäquate Auswahl enorm erschwert. Derzeit werden im Forschungsprojekt Leitlinien entwickelt, die eine geeignete Kombination von Maßnahmen erleichtern.

#### *Phase 4: Kosten-Nutzen-Verteilung*

Die Herausforderung in dieser Phase besteht darin, dass die Allokation von Kosten und Nutzen der Stabilisierungsmaßnahmen aus Phase 3 sich unterschiedlich auf die jeweiligen Lieferkettenpartner verteilt. Das primäre Ziel hierbei ist jedoch die Schaffung einer Win-win-Situation für alle Partner. Hierfür wird aktuell eine Vorgehensweise entwickelt, die diese Verteilungen darstellt und mit Hilfe eines entwickelten Cost-Benefit-Sharing-Modells eine Win-win-Situation schafft.

## **Nutzen**

Der Einsatz des entwickelten Referenzmodells gibt einem Unternehmen, dank der Analyse seines Aufwands, detaillierte Kenntnisse darüber, welcher Aufwand (z. B. Aufwand pro Dispositionsprozess) momentan für welche Lieferkette betrieben wird. Dadurch können erhebliche interne Optimierungspotenziale erreicht werden.

Neben dieser internen Optimierung bietet das Referenzmodell den Unternehmen eine Identifikation der vorhandenen Lieferkettenrisiken sowie darauf abgestimmter Maßnahmen zu deren Stabilisierung. Dadurch wird die Gefahr von Risiken, wie z. B. gelieferte fehlerhafte Teile, verspätete Anlieferung oder verspätete Lieferungen zum Kunden, lieferkettenab- und -aufwärts erheblich minimiert. Es ergeben sich für das Unternehmen und die gesamte Lieferkette somit erhebliche Kosteneinsparpotenziale.

1 *Phasen des Referenzmodells.*

2 *Portfolio mit Belastbarkeit, Beanspruchung und Aufwand.*

# EFFIZIENTE PPS DURCH DIE GANZHEITLICHE BETRACHTUNG DES AUFTRAGSABWICKLUNGS-PROZESSES

## Ausgangssituation und Projekthintergrund

Die Tesat Spacecom GmbH & Co. KG entwickelt, fertigt und montiert Kommunikationsgeräte für Satellitennutzlasten. Die komplette Prozesskette vom Auftragseingang bis zum Versand an den Kunden wird am Standort Backnang abgedeckt. Das Produktspektrum gliedert sich in mehrere Produktlinien, die allesamt durch ein heterogenes Produktionsprogramm mit einer hohen Variantenvielfalt und einem hohen Engineering-Anteil gekennzeichnet sind. Heterogene Kundenanforderungen, ein hoher Entwicklungs- und Konstruktionsaufwand, schwankende Bearbeitungs- und Durchlaufzeiten und eine nach dem Werkstattprinzip organisierte Fertigung erzeugen eine hohe Komplexität in der Produktionsplanung und -steuerung. Darüber hinaus bestehen neben teilweise extrem hohen Qualitäts- und Sicherheitsanforderungen auch umfangreiche Pflichten zur Dokumentation der Produktionsprozesse und zur Rückverfolgbarkeit von Komponenten.

Das Zusammenspiel dieser Faktoren führt zu einem sehr hohen Planungs- und Steuerungsaufwand, um die primären logistischen Ziele Termintreue und Durchlaufzeit zu erreichen. Die Planung und Steuerung im gesamten Auftragsabwicklungsprozess ist durch historisch gewachsene Insellösungen gekennzeichnet, die eine strukturierte Datenhaltung und durchgängige Informationsflüsse kaum ermöglichen. Durch das starke Wachstum der Firma in den letzten Jahren führen die etablierten Strukturen und Abläufe zunehmend zu nicht mehr aktuellen, unvollständigen oder sogar widersprüchlichen Entscheidungsgrundlagen. Verbesserungsmaßnahmen, die auf das Optimum

der gesamten Prozesskette abzielen, können nicht oder nur mit enorm hohem Such- und Kommunikationsaufwand abgeleitet werden. Erschwert wird die Definition und Durchführung geeigneter Maßnahmen zudem durch das Auftreten verschiedenster externer und interner Turbulenzkeime (wie bspw. der Änderung technischer Spezifikationen), die wiederum zusätzliche Eingriffe in die Produktionsplanung und -steuerung notwendig machen.

## Aufgabenstellung und Zielsetzung

Um die Wettbewerbsfähigkeit nachhaltig zu sichern, entschloss sich das Unternehmen, die Planung und Steuerung inklusive der eingesetzten Softwarewerkzeuge auf Basis der existierenden Rahmenbedingungen anzupassen und deutlich zu verbessern. Ziele waren dabei unter anderem, Such- und Überwachungsaufwände zu reduzieren, tagesaktuelle Planungen und Prognosen zu erzeugen, eine erhöhte Transparenz im gesamten Auftragsdurchlauf zu erhalten, gegen tatsächlich vorhandene Kapazitätsangebote zu planen und unterschiedliche Excel-Listen, die als Fertigungsleitstände eingesetzt wurden, in ein einheitliches System zu integrieren.

Die Abteilung Unternehmenslogistik und Auftragsmanagement des Fraunhofer IPA entwickelte in enger Zusammenarbeit mit Tesat Spacecom ein ganzheitliches Konzept für ein zukunftsorientiertes Auftragsmanagementsystem und unterstützte bei der dazu notwendigen anbieterneutralen Auswahl einer anforderungsgerechten MES-Lösung.



## Vorgehensweise und Projektergebnisse

### Grobkonzept

Den ersten Schritt bildete die Analyse des gesamten Auftragsabwicklungsprozesses. Von der Angebotsklärung über die erforderlichen Aktivitäten in Entwicklung und Konstruktion, die Produktionsplanung und -steuerung bis zum Versand wurden die Anforderungen an das zukünftige Auftragsmanagementsystem gesammelt und klassifiziert. Maßgebliche Bestandteile des daraus entwickelten Grobkonzepts waren u. a.:

- Planung gegen begrenzte Kapazitäten
- Multikriterielle Verfügbarkeitsprüfung
- Abbildung der Projektstruktur und planerische Berücksichtigung von wichtigen Projektmeilensteinen im gesamten Auftragsabwicklungsprozess, was insbesondere auch Entwicklungs- und Konstruktionstätigkeiten beinhaltete
- Darstellung des aktuellen Status sowohl in der Auftragsicht über alle eingelasteten Aufträge als auch in der Ressourcen-sicht über alle relevanten Ressourcen der Prozesskette

### Feinkonzept

In Phase II wurden die Ergebnisse des Grobkonzepts systematisch detailliert und konkrete Lösungswege und Umsetzungsschritte bestimmt. Entscheidend war u. a. die zukünftig für die Projekt- und Produktionsplanung vorgesehene Werkzeugunterstützung. Zu klären waren dabei Fragen wie

- die Zuordnung von erforderlichen Funktionalitäten zu den existierenden und dem neuen Softwaresystem inklusive einer Prüfung auf Umsetzbarkeit unter Berücksichtigung von Kosten-, Aufwand- und Nutzenaspekten und
- die Schnittstellendefinition zwischen »neuem Softwaresystem« und den bestehenden Systemen.

Parallel dazu wurde ein nachhaltiges Veränderungsmanagement eingeleitet, das zum einen die Logistikkompetenz der Mitarbeiter steigert und zum anderen die Konzeptinhalte und

Veränderungen ausreichend und frühzeitig kommuniziert. Erste Schulungsmaßnahmen wurden durchgeführt, um schon frühzeitig ein Bewusstsein für die zukünftige Produktionsplanung und -steuerung zu entwickeln.

### Implementierung

Der weitere Projektplan sieht vor, die ausgewählte MES-Lösung ab Frühjahr 2010 einzuführen. Mit der dann verfügbaren Software wird es möglich sein, die gesamte Wertschöpfungskette tagesaktuell transparent darzustellen und durch Berücksichtigung des tatsächlich vorhandenen Kapazitätsangebotes realistische Produktions- und Projektpläne zu erzeugen. Damit kann eine permanente Fortschrittskontrolle im gesamten Auftragsdurchlauf von der Entwicklung bis hin zur Auslieferung durchgeführt und auf Planabweichungen schnell und vorausschauend reagiert werden. Zukunftsorientiertes Handeln löst damit vergangenheitsbasiertes Reagieren ab. Schon jetzt werden im Rahmen des Projekts identifizierte Handlungsfelder und entwickelte Lösungsansätze umgesetzt und damit die Zielsetzung des Projekts, eine deutlich verbesserte PPS, schrittweise erreicht.

## 1 Projektvorgehensweise.

# REFABRIKATION

»Refabrikation« (engl. »remanufacturing«) steht für die industrielle Aufarbeitung von Automobilbaugruppen (z. B. Motoren, Anlasser, Getriebe etc.) zu Austausch-Ersatzteilen. Auch Investitionsgüter wie z. B. Maschinen, Anlagen sowie eine Vielzahl anderer Produkte werden industriell aufgearbeitet. Mit dem erfahrenen Team der Abteilung »Refabrikation« sowie der umfangreichen technischen Ausstattung bilden wir alle fünf Prozessschritte der Refabrikation nach und entwickeln innovative Technologien für unsere Kunden in den Bereichen:

- Demontage (ergonomische und effiziente Arbeitsplätze, Variantenbeherrschung)
- Reinigung (moderne und effiziente Reinigungstechnologien)
- Prüfung und Diagnose (Ansteuerung von mechatronischen und elektronischen Systemen, z. B. über CAN-Bus, Entwicklung von industriellen Prüfständen)
- Aufarbeitung (Erforschung neuartiger Bearbeitungsverfahren, 5-Achs-CNC-Bearbeitung)
- Wiedermontage (ergonomische und effiziente Montagearbeitsplätze, Rüstoptimierung, Qualitätssicherung)

Wir etablieren für Sie maßgeschneiderte Refabrikationslösungen Ihrer Produkte und bringen Sie auf das Know-how- und Kompetenzniveau der internationalen Technologie- bzw. Marktführer auf dem Gebiet der Refabrikation, da wir die Entwicklung weltweit kennen und mitgestalten.

Weitere Arbeitsgebiete mit speziellem Fokus auf die Interessen und Anforderungen der Refabrikationsindustrie sind:

- Technologie- und Strategieentwicklung
- Fabrik- und Layoutplanung
- Produktionsorganisation
- Lean Remanufacturing
- Altteilelogistik und Supply Chain

Profitieren Sie von unseren langjährigen und internationalen Erfahrungen auf dem Gebiet der Refabrikation. Gerne begleiten wir Sie von der Geschäftsfeldentwicklung über die technische Auslegung der Prozessschritte bis hin zur wirtschaftlichen Produktion von Austauschteilen in Ihrem Unternehmen.



## TECHNOLOGIEENTWICKLUNG IM BEREICH POWERTRAIN-REMANUFACTURING

Ein strategisches Industrieprojekt in Zusammenarbeit mit dem Unternehmen BU DRIVE

Die BU DRIVE ist Spezialist für Konzeptlösungen rund um Motoren, Getriebe, Antriebssysteme, Dieseltechnik und Turbolader im deutschen und internationalen »Aftermarket«. Sie beschäftigt 240 Mitarbeiter und erwirtschaftet einen Umsatz von 50 Mio €. Zur BU DRIVE gehören u. a. die Unternehmen Schmitz + Krieger GmbH, Erasmus + Willms GmbH und BU Turbo Systems GmbH. Das Leistungsspektrum umfasst Lösungen für Remanufacturing, Services und Distribution. Zu den Kunden der BU DRIVE gehören die großen Pkw-, Lkw- und Nutzfahrzeughersteller, Fahrzeugteile-Großhändler sowie Betreiber von Fahrzeugflotten, Stationäraggregate und Industriemotoren.

Die Abteilung Refabrikation und die Fraunhofer-Projektgruppe Prozessinnovation unter Leitung von Prof. Dr. Rolf Steinhilper sind auf dem Gebiet des Remanufacturings von Automobilkomponenten seit Jahren ausgewiesene Partner der Industrie und bearbeiten jährlich zahlreiche Projekte in diesem Themengebiet.

Ziel dieses Industrieprojekts ist es, in enger Zusammenarbeit mit dem Kunden BU DRIVE zukunftsweisende Technologien im Bereich »Powertrain-Remanufacturing« zu entwickeln, zu erproben und in die industrielle Praxis vor Ort umzusetzen. Im Bereich Powertrain sollen auf der technischen Seite u. a. der Motor, das Getriebe, der Turbolader, das Differenzial sowie die Antriebsachsen als wesentliche Baugruppen für das Remanufacturing analysiert werden. Anhand von ausgewählten Referenzsystemen werden für alle notwendigen Prozessschritte in der Refabrikation (Demontage, Reinigung, Prüfung, Aufarbeitung und Wiedermontage) innovative und kosteneffiziente Lösungen durch praktische Versuche erarbeitet und im Unternehmen eingeführt.

Weiterhin werden auf der umweltbezogenen Seite Life-Cycle-Analysen durchgeführt. Diese zeigen am Beispiel Motoren und Turbolader nach aktuellem Analysestand, dass das Remanufacturing von Kfz-Baugruppen im Vergleich zur Neuproduktion deutlich weniger Material und Energie benötigt, geringere Logistikaufwände mit sich bringt, weniger CO<sub>2</sub> verursacht und somit einen positiven Einfluss auf die Umwelt hat. Hierfür werden z. B. für alle Bauteile eines Referenzmotors die notwendigen Produktionsschritte vom Abbau des Erzes über das Urformen und Umformen bis zur Endmontage des Motors sowie alle Logistikaufwände vom Schiffstransport über den Lkw-Transport bis hin zum innerbetrieblichen Transport, also die gesamte Wertschöpfungskette in der Neuproduktion, analysiert und mit den Prozessschritten und Logistikaufwänden in der Refabrikation verglichen.

Auf der nichttechnischen Seite werden für das Unternehmen BU DRIVE Geschäftsfelder entwickelt, materialflussorientierte Produktionsstätten geplant, das Qualitätsmanagement- und Prozessoptimierungstool »Six Sigma« eingeführt sowie Mitarbeiter fortgebildet und weiterqualifiziert.

Parallel hierzu wird ein Industrieforum organisiert, mit dem Ziel, die zahlreichen Remanufacturing-Unternehmen stärker zu vernetzen, um zukünftig gemeinsam an kommenden Herausforderungen für die Branche (z. B. zunehmende Elektronifizierung und Vernetzung der Baugruppen) zusammenzuarbeiten.



## TECHNOLOGIEENTWICKLUNG ZUM REMANUFACTURING VON KFZ-MECHATRONIK

Europäisches Forschungsprojekt CAN-REMAN

Das Remanufacturing, die industrielle Austauschteileproduktion, spielt schon seit vielen Jahren eine wichtige Rolle in der Automobilindustrie, da damit Material und Energie eingespart, die Ersatzteilversorgung gesichert und kostengünstigere Ersatzteile für den Kunden produziert werden können.

Während Kfz-Teile früher als eigenständige und abgeschlossene Systeme ausgeführt waren, die nur eine mechanische oder teilweise eine elektrische Verbindung zum Fahrzeug hatten, verfügen moderne Fahrzeuge heutzutage über immer mehr intelligente mechatronische Systeme inklusive Sensoren, Aktoren sowie der zugehörigen Steuergeräte. Dabei kommunizieren die einzelnen Steuergeräte über ein Bus-System (z. B. das Controller Area Network = CAN-Bus), welches ihnen erlaubt, Informationen (z. B. Geschwindigkeiten, Drehzahlen, Drücke, Temperaturen etc.) und Anweisungen auszutauschen.

Traditionelle Austauschteilehersteller, die ihren Betrieb hauptsächlich auf mechanischen oder elektromechanischen Systemen aufgebaut haben, stehen somit vor der Herausforderung, die mechatronischen Systeme inklusive ihrer zugehörigen Steuergeräte auf deren Funktion hin zu überprüfen, um nach Aufarbeitung einen einwandfreien Betrieb im Fahrzeug gewährleisten zu können. Bei der Prüfung und Diagnose ist es wichtig, die CAN-Bus-Kommunikation zwischen den einzelnen Steuergeräten im Fahrzeug zu simulieren und die einzelnen Betriebszustände des realen Fahrzeugs virtuell nachzustellen.

Das von Dr.-Ing. Stefan Freiberger geleitete EU-Projekt »CAN-REMAN« wird in enger Kooperation des Fraunhofer IPA (Abteilung Refabrikation und Fraunhofer-Projektgruppe Prozessinnovation), der Universität Bayreuth, der Universität Linköping,

der Fachhochschule Coburg sowie acht europäischen Industriepartnern bearbeitet. Ziel des 1,5-Mio-Euro-Projekts ist es, sowohl Test- und Diagnosemethoden als auch Vorgehensweisen zu entwickeln, um mechatronische Systeme, unabhängig von der im Fahrzeug verbauten Peripherie, wie zum Beispiel den an der Kommunikation beteiligten Sensoren und Steuergeräten, betreiben, testen sowie zukünftig in Remanufacturing-Unternehmen aufarbeiten zu können.

Im Laufe des ersten Projektjahres wurden die Referenzsysteme von den beteiligten Industriepartnern ausgewählt, außerbetriebliche und innerbetriebliche Logistikkonzepte zum Handling der mechatronischen und elektronischen Systeme erstellt sowie Test- und Diagnosemethoden anhand der Referenzsysteme entwickelt. Als erstes Referenzsystem diente die elektrohydraulische Servolenkungspumpe eines VW Polos vom Hersteller TRW. Anhand des zugehörigen Testfahrzeugs wurde eine umfassende CAN-Bus-Analyse durchgeführt und eine CAN-Bus-Kommunikationsdatenbank aufgebaut. Damit gelang es, die Pumpe unabhängig vom Fahrzeug zu betreiben und in der höheren Kommunikationsebene den Fehlerspeicher des Steuergerätes auszulesen und zu interpretieren. Die gewonnenen Ergebnisse werden aktuell auf weitere Servolenkungspumpen anderer Hersteller übertragen.

In den kommenden zwei Jahren des dreijährigen Projekts werden die weiteren ausgewählten Referenzsysteme analysiert sowie Spezifikationen zur Prüfung und Diagnose der Systeme erarbeitet. Darüber hinaus werden Prüfstände konzipiert, entwickelt und produziert, die es Aufarbeitungsbetrieben ermöglichen, die Funktionalität der mechatronischen Systeme zu überprüfen und diese dann aufarbeiten zu können.



## VARIANTENBEHERRSCHUNG IN DER AUSTAUSCHTEILEPRODUKTION

Die Versorgung des Kfz-Ersatzteilmarkts mit neuwertigen und gleichzeitig kostengünstigen Austauschteilen verlangt von den hier tätigen Unternehmen die Beherrschung einer immensen Variantenvielfalt. Mit geringer zeitlicher Verzögerung kommt die fortwährende Produktdiversifizierung der Neuteilehersteller auch bei den Austauschteileherstellern an und wird durch weitere treibende Kräfte verschärft. So werden nicht nur Austauschteile aktueller Modellreihen produziert, sondern ein hoch komplexes Produktionsprogramm unterschiedlicher Produktgenerationen, vielfältiger Hersteller, Baureihen und individueller Konfigurationen. Neben diesen Variantentreibern stehen Austauschteilehersteller vor einer weiteren Herausforderung: Die Qualität des Rohstoffs »Altteil« variiert nutzungsabhängig, wobei die Teilehistorie und der damit verbundene spezifische Verschmutzungs-, Korrosions- und Verschleißgrad weitgehend unbekannt sind.

Die klassische Hierarchie der Variantenvermeidung, -reduzierung und letztlich -beherrschung beschränkt sich im Falle unabhängiger Austauschteilehersteller auf die prozessseitige Beherrschung der Variantenvielfalt, da keine aktive Einflussnahme im Sinne einer produktseitigen Variantenreduzierung möglich ist. Insbesondere aufgrund des Faktors »Altteilequalität« werden innovative Methoden und Lösungskonzepte von der Industrie verlangt, um flexibel auf die variierenden Auftragsanforderungen reagieren zu können.

Wissenschaftler der Abteilung Refabrikation und der an der Universität Bayreuth ansässigen Fraunhofer-Projektgruppe Prozessinnovation arbeiten unter der Leitung von Prof. Dr.-Ing. Rolf Steinhilper gemeinsam mit Austauschteileherstellern aus mehreren europäischen Ländern an der Entwicklung innovativer Lösungen zur Beherrschung der Variantenvielfalt in dieser Branche.

Die Zusammenarbeit verfolgt das Ziel, die Rahmenbedingungen für eine effizientere Produktion in den überwiegend kleinen Unternehmen zu erweitern. Hierzu werden maßgeschneiderte Lösungen in unterschiedlichen Dimensionen erarbeitet, die die vielfältigen Unternehmensstrukturen – abhängig von Produktionsprogramm und Unternehmensgröße – berücksichtigen. Neueste Forschungserkenntnisse werden unter Berücksichtigung der branchentypisch meist begrenzt vorhandenen Mittel und Möglichkeiten in wissenschaftlich abgesicherte, aber dennoch pragmatisch umsetzbare Lösungen einfließen. Forschungsthemen reichen von der Altteile-Identifikation, dem Lagermanagement, der Produktionsplanung und -steuerung sowie der Behälterkonzeptionierung bis hin zur Organisation von Material- und Informationsflüssen.

Eine Lösung, die technisch-wirtschaftlich analysiert wird, bietet das Assemble-to-Order-Konzept, welches eine Entkopplung von Rohstoffseite und Kundenseite ermöglicht. Die aufgrund schwankender Qualität schwer planbare Rohstoffseite erfordert wegen weiterer technologischer Faktoren eine Fertigung in großen Losen. Die Kundenseite hingegen verlangt zunehmend nach kleineren Losen oder gar Einzelstückfertigung bei kurzen Lieferzeiten und hoher Liefertreue.

Die entwickelten neuen Ansätze zur Variantenbeherrschung stoßen auf enormen Zuspruch bei den Austauschteileherstellern und sprechen für einen langfristigen Erfolg der Zusammenarbeit.

# ROBOTERSYSTEME

Das Interesse an der Robotik ist ungebrochen. Starke Zuwächse belegen die zentrale Bedeutung der Industrieroboter für wettbewerbsfähige Automatisierungslösungen. Insbesondere Innovationen in der Informationstechnik und Sensorik tragen zur Verbesserung des Kosten-Leistungs-Verhältnisses von Industrierobotersystemen bei und erschließen neue Anwendungen.

Serviceroboter verkörpern vielfältige Produktchancen in Wachstumsmärkten. Visionen sehen Roboterassistenten als Helfer des Menschen am Arbeitsplatz oder im häuslichen Bereich.

Das Fraunhofer IPA besitzt in der Robotik anerkannte Erfahrung und gilt als Schrittmacher in der Technologie und der Anwendung von Robotersystemen. Die Abteilung »Robotersysteme« gestaltet Automatisierungslösungen in Produktion, Handel und Dienstleistung – von der Potenzialanalyse bis zur Realisierung. Dazu stehen neben umfangreichen Software-Werkzeugen bestens ausgestattete Versuchsfelder zur Verfügung.

Ausgehend von der Potenzialanalyse, erfolgt die Ermittlung des optimalen Automatisierungsgrads, die Gestaltung manueller oder automatisierter Arbeitssysteme und ihre Integration in Produktionen. Hierbei kommen modernste Methoden und Werkzeuge des »Industrial Engineering« zum Einsatz.

Schwerpunkte in der Gestaltung von Industrieroboter-Anwendungen sind Montage, Materialfluss-Automatisierung (Handhaben, Palettieren, Kommissionieren, Sortieren, Verpacken und Transportieren), das Schweißen sowie die Materialbearbeitung.

Mittels computergestützter Werkzeuge sowie erstklassiger experimenteller Ausrüstung werden neue robotergestützte Bearbeitungs- und Fügeprozesse entwickelt und in die Praxis transferiert.

Die Entwicklung von Servicerobotersystemen erfolgt für unterschiedlichste Anwendungen: von Manipulatorsystemen für Wartungsarbeiten bis zu mobilen Robotern zur Boden- und Fensterreinigung, zur Überwachung oder im Entertainment.

Innovative Robotersysteme setzen leistungsfähige Schlüsselkomponenten wie Sensoren, Steuerungen, Kinematiken und Greifer voraus. Im Umfeld dieser Schlüsselkomponenten bietet das Fraunhofer IPA umfassende Dienstleistungen zur Komponenten- oder Verfahrensentwicklung an.



# KRAFTGEREGELTE KOOPERIERENDE ROBOTER

Typische Industrieroboter sind stark, schnell und robust, gleichzeitig aber auch taub, blind und gefühllos. Mitarbeiter der Abteilung »Robotersysteme« des Fraunhofer IPA haben sich damit befasst, wie Roboter zu feinfühligem Manipulatoren weiterentwickelt werden können. Eine besondere Herausforderung stellen hierbei kooperierende Roboter dar.

## Kooperierende Industrieroboter

In der Praxis werden Roboter zumeist als Einzelroboter eingesetzt. In einem abgegrenzten Bereich befindet sich ein einzelner Roboter, der alleine Handling-, Montage- oder anderen Fertigungsaufgaben nachgeht. Kooperierende Roboter hingegen führen in Gruppen von zwei oder mehr Robotern gemeinsam eine Aufgabe durch, wobei die Bewegung der Roboter sowohl räumlich als auch zeitlich exakt aufeinander abgestimmt ist. Diese Kopplung von Robotern kann in verschiedensten Szenarien zum Einsatz kommen wie z. B. beim Load-Sharing. Hier werden großvolumige Bauteile (z. B. aus dem Flugzeugbau) oder schwere Lasten getragen, die von einem Roboter alleine nicht zu bewältigen wären. Das Werkstück wird von den Robotern gemeinsam gegriffen, anschließend in synchroner Fahrt bewegt und letztlich am Zielort wieder abgelegt.

Dabei werden hohe Anforderungen an die Roboter hinsichtlich ihrer Genauigkeit gestellt: Zwar sind Roboter in der Lage, wiederkehrende Positionen mit hoher Genauigkeit zu erreichen (Fehler kleiner 0,1 mm), die während der Kooperation jedoch relevante Absolutgenauigkeit ist durchschnittlich um den Faktor zehn schlechter. Weitere Positionsfehler treten z. B. durch Verschleiß am Greifer und durch Werkstücktoleranzen an der getragenen Last auf. Die Summe dieser Fehler bestimmt, wie präzise das kooperierende Tragen der Last funktioniert. Denn jeder Positionsfehler beeinflusst das Werkstück: Es treten unerwünschte Kräfte und Spannungen im Werkstück auf.

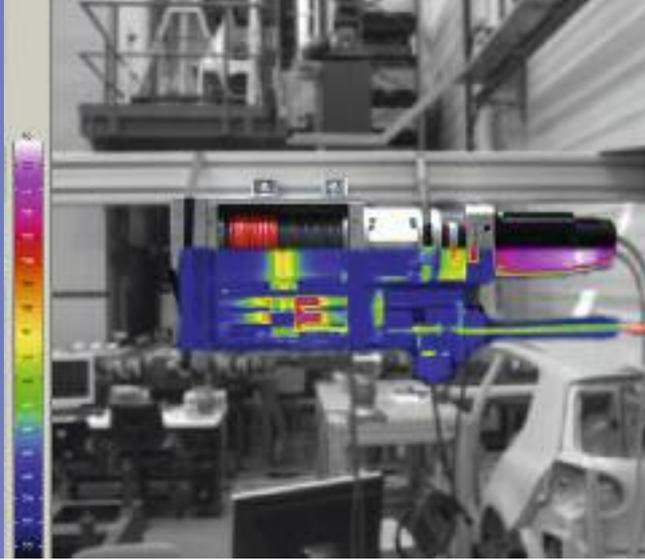
## Kräfte beim Load-Sharing

Im Rahmen eines Forschungsprojekts wurde am Fraunhofer IPA das Szenario des Load-Sharings näher betrachtet. Um Spannungen im Werkstück und dadurch hervorgerufene Deformationen zu vermeiden, werden die auftretenden Kräfte mit einem Kraft-/Momenten-Sensor erfasst und eine Roboter-Ausgleichsbewegung berechnet und durchgeführt, die zur Reduktion der auftretenden Kräfte führt.

Auf der MOTEK 2009 in Stuttgart wurde vom Fraunhofer IPA eine mit dieser Technologie ausgestattete Roboterzelle vorgestellt, die in der Lage ist, die in das Werkstück eingebrachten Kräfte exakt zu kontrollieren und die Kräfte um bis zu 80 Prozent in beliebigen Werkstück-Orientierungen zu reduzieren. Dadurch können empfindliche, aber auch sehr schwere Werkstücke von kooperierenden Robotern getragen oder auch ganz gezielt erwünschte Kräfte ins Werkstück eingebracht werden.

## Simulation, Realisierung und Verifikation

Im Rahmen des Forschungsprojekts wurden Mittel und Methoden eingesetzt, die bei der Planung und Umsetzung von industriellen Automatisierungslösungen individuell adaptiert werden können. Dies reicht von der Simulation und Planung des Gesamtaufbaus mit modernster Simulationssoftware über die Konzeption und Implementierung der Kraftregelung bis hin zur Verifikation und Validierung der Bewegung mittels hochpräzisem Lasertracker.



## PARALLELER SEILROBOTER IPANEMA

### Neue Robotertechnik mit Seilen

Innerhalb der vergangenen zwei Jahre wurde in der Abteilung Robotersysteme des Fraunhofer IPA ein neues industrietaugliches Robotersystem für die Handhabung entwickelt und in Betrieb genommen, welches in Bezug auf die Nutzlast, die Geschwindigkeit und die Größe des Arbeitsraums neue Maßstäbe setzt. Anders als bei den verbreiteten Robotern, die über schwere starre Strukturen verfügen, werden beim parallelen Seilroboter leichte Seile verwendet, die gegenüber aktuellen Industrierobotern die bewegte Eigenmasse um mehr als zwei Größenordnungen reduzieren. Die neue Roboterkinematik erlaubt eine freie und voll kontrollierbare Bewegung des Endeffektors im Raum. Der Hauptvorteil des Roboters besteht dabei in der Nutzung von Seilwinden als Antriebssystem: Diese Module stellen kostengünstige und gut etablierte Bauelemente dar, welche große Kräfte erzeugen und nahezu verlustfrei über große Strecken auf die bewegliche Plattform übertragen können. Dies hat zur Folge, dass die Plattform extrem dynamisch bewegt werden kann. Weiterhin erlaubt der extreme Leichtbau des Robotersystems sehr große Abmessungen des Arbeitsraums bei großen Traglasten. An die Plattform werden direkt die üblichen Endeffektoren für Roboter wie Greifer oder andere Prozesswerkzeuge angeschlossen.

Die effiziente Kraftübertragung ist maßgeblich für die folgenden konzeptionellen Vorteile der neuen Seilrobotertechnik:

- Vergrößerung des Arbeitsraums um eine Größenordnung
- Vergrößerung der möglichen Nutzlasten um eine Größenordnung
- Höhere Geschwindigkeiten und Beschleunigungen durch geringere bewegte Masse
- Extrem hohe Energieeffizienz
- Einfacher, modularer Aufbau der Mechanik des Roboters

### Demonstrator IPANema

Bei dem im Versuchsfeld des Fraunhofer IPA installierten Demonstrator IPANema kommen wahlweise sieben oder acht digital gesteuerte Winden zum Einsatz. Die Winden sind für hochdynamische Bewegungen konstruiert und erlauben Bewegungsgeschwindigkeiten von bis zu 10 m/s und Beschleunigungen von bis zu 10 g. Dabei kann die Länge des Seils durch ein in die Winde integriertes Absolutmesssystem exakt gemessen und eingestellt werden.

Das Steuerungssystem besteht aus einer für Roboter angepassten CNC-Steuerung und läuft zusammen mit einer speicherprogrammierbaren Steuerung in Echtzeit. Das Herzstück der Steuerung bildet ein am Fraunhofer IPA entwickelter Algorithmus zur Transformation zwischen Seillängen und Weltkoordinaten. Die Programmierung von Bewegungen ist im G-Code nach DIN 66025 möglich. Eine Verbindung zu bestehenden Automatisierungsumgebungen wird über die integrierte SPS hergestellt.

### Ein paralleler Seilroboter für hochdynamische Handhabung

Anwendungen für Seilroboter gibt es in vielen Gebieten: die Kombination aus großer Nutzlast (bis hin zu mehreren Tonnen), kurzen Taktzeiten dank großer Geschwindigkeiten und Beschleunigungen sowie großem Arbeitsraum von einigen 10 Metern Kantenlänge ermöglichen vielfältige Anwendungen in der Handhabung. Vor allem neue Anwendungsfelder, die vom großen Arbeitsraum und den hohen Nutzlasten profitieren, lassen eine neue Dimension in der Automatisierung zu. Weiterhin sind Anwendungen in der Montage, Wartung und Inspektion von großen Strukturen wie beispielsweise Gebäuden denkbar. Als eine beispielhafte Realisierung wurde eine Pick-and-Place-Anwendung zur Handhabung von Sichtlagerkästen umgesetzt.



## BIDIREKTIONALE SEILANTRIEBE IN DER SERVICEROBOTIK

Am Fraunhofer IPA wurde 2009 im Rahmen eines Vorlauforschungsprojekts ein neuartiger, bidirektionaler Seilantrieb, der »QuadHelix-Antrieb«, entwickelt.

Die Kombination von zugfesten Kraftübertragungskomponenten in Form von Kunstfaserseilen und einem einfachen mechanischen Layout ergab im Rahmen eines Forschungsprojekts ein neues Antriebskonzept für Robotik- und Automatisierungslösungen. Grundidee der Entwicklung ist die Verwendung des am Fraunhofer IPA entwickelten DoHelix-Muskelkonzepts in einem kompakten, verbesserten Aufbau. So werden für den neuen Antrieb zwei DoHelix-Wicklungen auf einer an einem Elektromotor angeflanschten Welle gegenläufig auf- und abgewickelt, weshalb das Konzept »QuadHelix-Antrieb« genannt wird. Damit diese Auf- und Abwicklung stets sauber ausgeführt werden kann, wird die bereits vorhandene Wellenrotation gleichzeitig dazu genutzt, die Motoreinheit translatorisch zu den Seilführungsrollen zu verschieben. Somit ist der Wickelwinkel der Seile stets konstant, die einlagige Wicklung jederzeit garantiert und der Antrieb im Gegensatz zum DoHelix-Muskel in der Lage, eine bidirektionale Bewegung durchzuführen. Rotatorische Freiheitsgrade können so direkt realisiert werden. Für translatorische Freiheitsgrade wird eine Umlenkrolle ergänzt. Der resultierende, zum Patent eingereichte Antrieb ist kompakt, energieeffizient und zeichnet sich durch ein geringes Gesamtgewicht bei niedrigen Kosten aus.

### **Der QuadHelix-Antrieb für preiswerte Servicerobotik-Applikationen: Einsatz im Leichtbauroboterarm ISELLA 2**

Zur Demonstration der Fähigkeiten des QuadHelix-Antriebs wurde eine typische Anwendung aus dem Bereich der Servicerobotik aufgegriffen und neu adressiert: ein Leichtbauroboter-

arm, der preiswert herstellbar ist und ein gutes Eigengewicht-zu-Nutzlast-Verhältnis aufweist. Hierfür wurde ein Antriebsmodul mit zwei Freiheitsgraden entwickelt, in dem zwei QuadHelix-Antriebe verbaut sind. Zwei dieser Module werden seriell verbunden und mit einem institutseigenen Greifer versehen, sodass ein Pick-and-Place-Szenario durchführbar wird. Der mit vier Freiheitsgraden und vier QuadHelix-Antrieben ausgestattete Arm hat ein Eigengewicht von ca. 8,5 Kilogramm und kann dabei eine Zuladung von 5,5 Kilogramm anheben. Der mit 24 Volt betriebene und für den Einsatz in der Servicerobotik konzipierte Arm ist hauptsächlich aus Standard-Komponenten und Gleiteilen aufgebaut und kann somit preiswert gefertigt werden. Die am Fraunhofer IPA gemessene Wiederholgenauigkeit des ersten Prototyps liegt bei  $\pm 2$  mm. Während des Handlings eines typischen Aluminium-Gussteils von ca. einem Kilogramm Eigenmasse verbraucht der gesamte Arm ca. 70 bis 100 Watt, womit er sich für den Einsatz in mobilen Robotersystemen eignet. Eine am Fraunhofer IPA entwickelte graphische Benutzeroberfläche (GUI) ermöglicht die einfache Steuerung des Roboterarms via CAN-Bus. Der ebenfalls über die GUI steuerbare Greifer kann hierbei die drei Griffarten »3-Finger-parallel«, »3-Finger-zentrisch« und »2-Finger-Griff« ausführen.

### **Forschungsschwerpunkte**

Weitere Anwendungen für das Antriebskonzept werden momentan evaluiert. Schwerpunkte aktueller Forschung am Fraunhofer IPA sind die Optimierung des Roboterarms im Hinblick auf seine Montierbarkeit, eine weitere Steigerung der Dauerhaltbarkeit des Seilantriebs und die Reduktion der Kosten für die Fertigung der Antriebsmodule. Hierbei dient ein vom Fraunhofer IPA entwickelter Seilprüfstand als Plattform zur Verifikation und Weiterentwicklung.



## DESIRE – DIE DEUTSCHE SERVICEROBOTER-INITIATIVE

Am 5.11.2009 fand am Fraunhofer IPA die Abschlussveranstaltung des vom BMBF geförderten Projekts »DESIRE« (Deutsche Serviceroboter Initiative) statt. Dieses Verbundprojekt hatte eine Laufzeit von vier Jahren. Das Projektkonsortium umfasste 14 Partner aus Forschungsinstituten, Universitäten, Großunternehmen und kleinen und mittleren Unternehmen.

Übergeordnetes Ziel von DESIRE war es, die Führungsrolle der deutschen Forschung und Industrie im Bereich der Service-robotik zu erhalten und auszubauen. Weitere Ziele des Projekts waren die Schaffung einer Technologieplattform zur Entwicklung von alltagstauglichen Schlüsselfunktionen und -komponenten. Eine wesentliche Herausforderung stellte dabei die Integration von heterogenen Software- und Hardwarekomponenten auf einem Gesamtsystem dar.

Das Fraunhofer IPA war im Projekt maßgeblich an der Entwicklung der Technologieplattform beteiligt und zeichnete sich verantwortlich für die Integration aller Komponenten auf das Gesamtsystem. Weiterhin steuerte das Fraunhofer IPA Komponenten für die alltagstaugliche Wahrnehmung bei.

Anlässlich der Abschlussveranstaltung wurden die Projektergebnisse im Rahmen eines ganztägigen Workshops in Stuttgart vor fachlich versierten Gutachtern und der Öffentlichkeit erfolgreich dargestellt.

### Technologieplattform

Der DESIRE-Technologieträger (s. Bild 1 und 2) ist zusammengesetzt aus Hightech-Komponenten wie den Leichtbaurobotern der Fa. KUKA, Roboterhänden der Fa. Schunk und einer omnidirektionalen mobilen Basis der Fa. Neobotix. Es sind verschiedenartige Sensoren wie Farbkameras, 3-D-Time-of-Flight-Kamera,

RFID-Antennen, Laserscanner, taktile Sensoren etc. auf der Plattform integriert. Diese ermöglichen eine autonome Steuerung des Roboters.

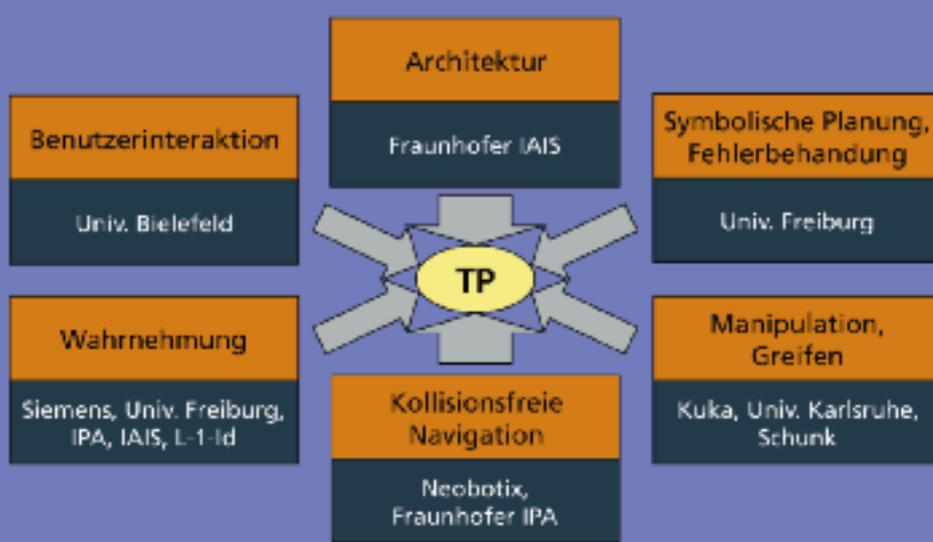
Der DESIRE-Technologieträger selbst ist nicht als Vision für einen Haushaltsroboter konzipiert, sondern als Forschungsplattform für die Weiterentwicklung alltagstauglicher Robotikfunktionen. Diese Funktionen können anschließend auf andere Roboterplattformen wie z. B. den am Fraunhofer IPA entwickelten Care-O-bot® 3 transferiert werden.

Auch nach Projektende steht der Technologieträger weiterhin für Forschungszwecke zur Verfügung.

### Schlüsseltechnologien

Auf der Abschlussveranstaltung wurden beispielhaft mehrere komplexe Szenarien mit der Technologieplattform demonstriert, die typische Anwendungen eines Haushaltsroboters widerspiegeln.

So soll der Roboter z. B. das Kommando »Räume den Tisch auf« vom menschlichen Benutzer annehmen können. Dazu wurde von der Universität Freiburg, der Universität Bielefeld, der Ruhruniversität Bochum und der Fa. L-1 Identity Solutions ein umfangreiches Modul zur Mensch-Maschine-Interaktion entwickelt. Basierend auf dem Laserscanner, der in der Roboterplattform knapp über dem Boden montiert ist, werden Beine erkannt. Das Erkennungsergebnis wird mit einer Gesichtserkennung auf industriellen Farbkameras abgeglichen. Es wird nicht nur die Anwesenheit eines menschlichen Gesichts erkannt, sondern auch die Identität des Gegenübers. Der Roboter kann die Person so mit ihrem Namen ansprechen oder personenspezifisch handeln. Die Kommunikation des



3

Kommandos erfolgt sprachlich mit einer robotergerechten »Minigrammatik«. Enthält das Kommando weitere örtliche Informationen wie z. B. im Fall »Räume den Tisch dort drüben auf«, dann kann eine Gestenerkennungskomponente hinzugeschaltet werden, die die Zeigerichtung des Benutzers erkennt und in Raumkoordinaten transformiert.

Alle Komponenten im Roboter werden von einer übergeordneten Ablaufsteuerung koordiniert, die vom Fraunhofer IAIS entwickelt wurde. Nach der Annahme und Verifizierung des Benutzerkommandos aktiviert die Ablaufsteuerung den Planer – eine Komponente, die von der Universität Freiburg beigetragen wurde. Der Planer übersetzt das Kommando unter Berücksichtigung des aktuellen Roboterwissens über seine Umwelt in eine Kette von Ziel führenden Roboteraktionen (z. B. »Fahre an den Tisch« oder »Erkenne alle Objekte auf dem Tisch«), die von der Ablaufsteuerung abgearbeitet werden. Sollte es dabei zu unvorhergesehenen Situationen kommen, z. B. »der Tisch ist schon abgeräumt«, kann die Ablaufsteuerung sich darauf einstellen und gegebenenfalls einen neuen Plan erstellen lassen oder die Aktion abbrechen (s. Bild 3).

Viele Handlungsabläufe starten mit dem Verfahren der Roboterplattform, das durch eine Komponente der Fa. Neobotix bewerkstelligt wird: Ist der Roboter am Zielort angekommen, beginnt er mit einer Bewegung des Kopfes, um die aktuelle Umgebung wahrzunehmen. Eine hochentwickelte Szenenanalyse, die von der Fa. Siemens mit Zulieferungen der Ruhruniversität Bochum und des Fraunhofer IPA beigesteuert wurde, ist in der Lage, Objekte in sehr komplex gestellten Szenen zu lokalisieren. Bei der Abschlussveranstaltung wurden aus einer Auswahl von 100 beispielhaften Objekten nahezu beliebige Konfigurationen aufgebaut, z. B. auch mit Objekten, die übereinander gestapelt wurden oder sich stark verdeckten. Die 100 Objekte wurden vorher in einer speziellen Vermessungsapparatur am Forschungszentrum Karlsruhe vermessen. Um dem Roboter unbekannte Objekte auch vor Ort beizubringen, hat das Fraunhofer IPA ein Objektlernverfahren entwickelt, das auch auf dem Care-O-bot® 3 eingesetzt wird. Die Prämisse

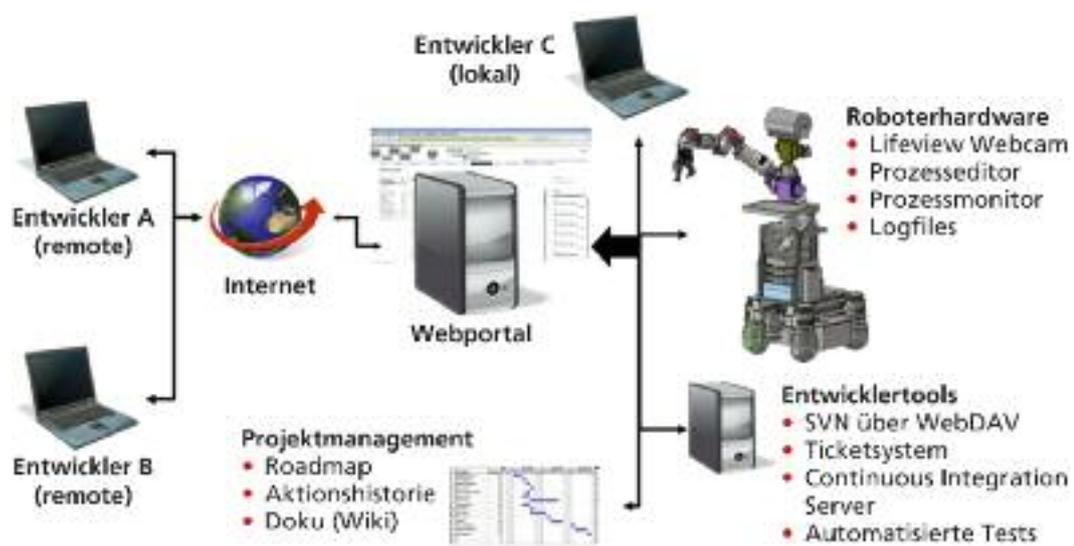
dabei ist, dass erst diese Lernfähigkeit den Roboter wirklich alltagstauglich werden lässt. Eine weitere Komponente, die auch zur Identifikation von Objekten genutzt werden kann, basiert auf RFID-Technologie und wurde von der Fa. InMach entwickelt. In Zukunft erlaubt ein solches System auch dem Roboter, Zusatzdaten zum Objekt, z. B. das Haltbarkeitsdatum eines Lebensmittels, verfügbar zu machen, wenn Objekte mit RFID-Tags ausgestattet werden.

Ist die Szene mit allen relevanten Objektinformationen bekannt, kann der Roboter durch sich wiederholende Arm- und Greiferbewegungen den Tisch abräumen. Die Griffe werden mit einer Software vom Forschungszentrum Karlsruhe berechnet. In Sekundenschnelle werden gleich mehrere tausend mögliche Griffe online simuliert und nach ausgewählten Kriterien, z. B. Kollisionsfreiheit und Erreichbarkeit, ausgewählt. Der in der jeweiligen Situation am besten geeignete Griff wird anschließend ausgeführt. Sollte zwischen dem Zeitpunkt der Szenenanalyse und dem Greifstart ein Mensch seinen Arm in den geplanten Weg bewegen, dann wird auch dieses online erkannt. Ein zweigestuftes Verfahren des Fraunhofer IPA und der Fa. KUKA überwacht den Greifraum mit einer 3-D-Kamera und zusätzlich mit den Drehmomentsensoren, die in dem Roboterarm eingebaut sind. Durch dieses Verfahren können Kollisionen auch in dynamischen Umgebungen meist komplett vermieden werden. Falls doch einmal ein Kontakt erfolgen sollte, fällt dieser durch die nachgiebige Regelung der Roboterarme sehr weich aus.

Weiterhin ist die Plattform in der Lage, den Erfolg des Greifvorgangs online zu überprüfen. Dazu stellt die Fa. Schunk eine Komponente zur Verfügung, die durch das Auslesen der taktilen Sensoren in der Hand feststellen kann, ob das Objekt wie geplant gegriffen wurde.

### Schlüsselfaktor: Integration

Vorgängerprojekte von DESIRE und parallele Projekte haben gezeigt, dass ein Schlüsselfaktor für den Erfolg eine extensive Unterstützung des verteilten Entwicklungsprozesses und der



Integration darstellt. Das Projekt DESIRE zeichnet sich dadurch aus, dass viele heterogene Softwarekomponenten, die von vielen unterschiedlichen und räumlich verteilten Partnern in verschiedenen Programmiersprachen entwickelt wurden, auf einem Gesamtsystem integriert wurden.

Zu Beginn des Projekts war ein Fortschritt nur durch die Durchführung zahlreicher Integrationstreffen möglich, die auf Dauer sehr teuer und zeitaufwändig wurden. Oft waren für einfache Schnittstellentests durch die komplexen Abhängigkeiten der Komponenten mehrere Partner vor Ort notwendig. Außerdem musste bei jedem Treffen zunächst der Softwarestand auf dem Roboter an den aktuellen Stand der verschiedenen Partner angepasst werden.

Das Fraunhofer IPA hat zur Steigerung der Effizienz und zur Reduktion des Integrationsaufwands ein Webportal (s. Bild 4) entwickelt, das Software Engineering Tools bereitstellt und einen Fernzugriff auf die Plattform ermöglicht.

Um die Software auf dem Roboter aktuell und lauffähig zu halten, wurde die Gesamtsoftware des Projekts in regelmäßigen Zyklen vor Ort auf dem Roboter kompiliert und teilweise getestet. Bei Konflikten wurden umgehend generierte E-Mails an den betreffenden Programmierer gesendet. Weiterhin können alle Komponenten – auch jetzt noch nach Projekt-

ende – über das Webportal gestartet und gestoppt werden. Zusätzlich enthält das Web-Interface zahlreiche Visualisierungen und interne Daten der einzelnen Komponenten, die eingesehen oder konfiguriert werden können. Diese Konzentration der Steuerungskomponenten an einem Ort hat in der Endphase des Projekts die Gesamtintegration aller Komponenten erheblich erleichtert oder in dieser Form überhaupt erst möglich gemacht. Weiterhin konnten alle beteiligten Software-Entwickler Tests von »zu Hause« aus durchführen (ggf. mit geringfügiger Unterstützung vor Ort), sodass die Anzahl der nötigen Integrationstreffen drastisch reduziert werden konnte.

Als im November 2009 der Roboter vor der Öffentlichkeit den Gutachtern und den Projektträgern präsentiert wurde, funktionierte vieles so reibungslos, dass der Moderator aus dem Projektkonsortium selbst einen auftretenden Fehler positiv aufnahm: »Wenn das jetzt auch noch geklappt hätte, würden Sie uns wahrscheinlich nicht glauben, dass die Vorführung echt war.«

Das Verbundprojekt DESIRE ([www.service-robotik-initiative.de](http://www.service-robotik-initiative.de)) wird gefördert vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF, Referat 524 Softwaresysteme; Wissenstechnologien), Fördernummer 01IME01A. Dem Projektträger im DLR PT-SW (Softwaresysteme) in Berlin ist das Fraunhofer IPA sehr verbunden für die Unterstützung und gute Zusammenarbeit.



## SMErobot™ – EINE EUROPÄISCHE ERFOLGS- GESCHICHTE

»SMErobot™« würdigen Gutachter der Europäischen Kommission als ausgezeichnetes Vorbild für europäische Robotikprojekte, und das nicht nur, weil alle wesentlichen inhaltlichen Ziele erreicht wurden, sondern vornehmlich, weil dabei ein außergewöhnlicher Umfang an Know-how, Kompetenz und internationaler Vernetzung erzielt wurde, der einen großen Einfluss auf die zukünftige Entwicklung der europäischen Robotik verspricht.

### **Automatisierung macht wettbewerbsfähig – das gilt längst auch für den Mittelstand!**

Unter diesem Motto stand SMErobot™, die europäische Robotik-Initiative zur Stärkung der Wettbewerbsfähigkeit.

Seit dem Start im Jahre 2005 arbeiten in SMErobot™ – dem integrierten Projekt innerhalb des 6. Forschungsrahmenprogramms der EU – führende europäische Roboterhersteller, Systemintegratoren, Forschungsinstitute und Partner aus der Industrial IT zusammen.

Da marktübliche Lösungen für viele kleine und mittlere Unternehmen (kmU, englisch SME) immer noch zu unflexibel, zu groß oder zu teuer sind, entwickelte das EU-Projekt eine völlig neue, modulare und interaktive Robotergeneration, die schnell zu installieren und leicht zu bedienen ist und durch ihre kostengünstige Auslegung die Wettbewerbspotenziale der Automatisierungstechnik für Europas Mittelständler erschließen soll.

Die neuen Helfer sollen in vielen Betrieben eingesetzt werden können, ob bei der Bearbeitung von Holz oder Metall oder zum Bohren, Fräsen, Montieren oder Handhaben.

Das Konsortium hatte sich drei ehrgeizige Ziele gesteckt:

- Die neuen Roboter müssen leicht programmiert und bedient werden können, sodass auch Laien mit ihnen zurechtkommen.
- Sie müssen vielfältige Sicherheitsvoraussetzungen erfüllen, damit sie den Arbeitsplatz mit menschlichen Kollegen teilen können.
- Sie müssen innerhalb kürzester Zeit in einen bestehenden Produktionsprozess durch einfaches »Plug and Produce« integriert werden können.

Darauf aufbauend führte die SMErobot™-Initiative zu einer breiten Palette von möglichen zukünftigen Anwendungen, die in verschiedenen zentralen Demonstratoren exemplarisch gezeigt werden konnten:

- Ein völlig neuartiges Robotersystem auf der Basis einer parallelen Kinematik, das gleichzeitig hohe Steifigkeit, geringe Kosten sowie Modularität kombiniert, und somit besonders günstig für die mechanische Bearbeitung in Gießereien, Schmieden und metallverarbeitenden Betrieben ist: Ein Demonstrator wurde bei Castings Technologies in Sheffield aufgebaut. Das patentierte Geheimnis dieses neuen Konzepts liegt in den asymmetrischen Gelenkverbindungen der Leichtbauarme. Durch das offene Design ist es möglich, einen großen Arbeitsraum abzudecken und dabei hohe Kräfte mit größter Genauigkeit vollständig zu nutzen. Dies gilt auch für Anwendungen mit hohen Geschwindigkeiten wie zum Beispiel das Laserschneiden oder die Handhabung von Materialien.
- Eine kostengünstige und einfach versetzbare Roboterzelle für den Einsatz in engsten Werkstattumgebungen für allgemeine Handhabungsaufgaben (»Griff in die Kiste«) oder zur Maschinenbestückung: In dem kmU Hirschvogel Umformtechnik wurde ein entsprechender Prototyp getestet. Mittels eines 3-D-Laserscanners werden die Werkstücke und ihre Positionen erkannt, um



dann Greifpunkte und kollisionsfreie Bewegungsbahnen zu ermitteln. Zudem können verschiedene Instrumente einfach per »Plug and Produce« in das System integriert und in Benutzung genommen werden.

- Der Roboter als »dritte Hand« des Werkers bei kooperierenden Montage- und Handhabungsarbeiten oder Bearbeitungen am manuellen Arbeitsplatz:  
Per Hand kann der Roboter sicher und genau durch den Arbeitsraum geführt werden. Die integrierte Nachgiebigkeit ermöglicht einen automatisierten Einsatz auch bei schwierigen Montageaufgaben.
- Der »Schreinereiassistent« der Schreinerei Som wurde als universelles Handwerkszeug eines Schreiners oder Tischlers für unterschiedliche Holzbearbeitungen in einer handwerklich geprägten Schreinerei konzipiert. Dazu wurde ein Adapter entwickelt, mit dem handelsübliche Werkzeuge leicht am Roboter montiert werden können. Der Einsatz ist denkbar einfach und die Programmierung erfolgt durch intuitive Mensch-Maschine-Schnittstellen wie graphische und sprachliche Eingaben oder die Verwendung einer 6-D-Maus.
- Der Schweißroboter, der bei der Firma Treffler Maschinenbau aufgebaut wurde, wird durch den Werker vor Ort mittels intuitiver Benutzerschnittstellen wie dem Einsatz von Sprache, graphischer Symbole oder dem Programmieren durch Vormachen in fünf Minuten auf ein neues Werkstück eingerichtet. Sobald der Werker zum Beispiel durch manuelles Führen des Roboters zu zentralen Eckpunkten eine Schweißnaht definiert hat, wird das folgende Schweißprogramm automatisch generiert.

Weitere Ergebnisse des Projekts stellen Technologien und Werkzeuge dar, die der Robotik in kleinen und mittelständischen Fertigungen zum Durchbruch verhelfen sollen: Künftig werden die bisher aufwändigen Verkabelungen durch moderne Plug-and-Play-Technologien ersetzt, die Maschinen und Anlagen rasch konfigurieren und in Betrieb nehmen. Elektrische Antriebe höchster Leistungsdichte wurden entwickelt, die die Grundlage neuer leistungsfähiger Roboterkinematiken bilden. Mikrosystemtechnische Kraftsensoren konnten im Vergleich zu

heute marktgängigen Systemen zu einem Bruchteil der Kosten realisiert werden und somit das Anwendungsspektrum von Robotern, insbesondere bei feinfühligem Bearbeitungsaufgaben, verbreitern.

Die Kosten- und Wirtschaftlichkeitsbewertungen erfolgten durch ein anwendungsfreundliches, rechnergestütztes Instrument zur Lebenszyklusbewertung für Automatisierungslösungen kleiner und mittelständischer Fertigungen. Die SMERobot™-Toolbox bietet unterschiedliche selbsterklärende Trainingsmodule und Checklisten, die die Entwicklung und Implementierung der neuen Generation der SMERobot™-Technologie unterstützen.

SMERobot™ beschränkte sich jedoch nicht auf die Entwicklung der Hard- und Software. Auch die Integration der Robotertechnik in Fertigungsabläufe und Prozessketten ist Bestandteil des Projekts. Es wurden Pilotversuche mit mittelständischen Unternehmen aus den Bereichen Gießereitechnik, Maschinenbau, Metall- und Holzbearbeitung realisiert und in mehreren Workshops der Öffentlichkeit zugänglich gemacht, um die Roboter für ein breites Spektrum künftiger Anwendungen und Branchen zu optimieren und praxistauglich zu machen. Eine weitere wichtige Plattform für den Austausch mit potenziellen Nutzern und Ausrüstern waren der projekteigene Messestand auf der AUTOMATICA 2008 und der erfolgreiche Abschlussworkshop am Fraunhofer IPA im Mai 2009.

Der fiktionale Projektfilm »Coffee Break« veranschaulichte in der ersten Projektphase die in SMERobot™ geplanten Innovationen. In dem Abschlussfilm »Final Project Video« werden die real erzielten Ergebnisse unter anderem auch in ihrem Einsatz bei den kmU vor Ort gezeigt. Beide Filme stehen auf der Projektwebseite zum Download zur Verfügung.

SMERobot™ hat sein hochgestecktes Ziel erreicht: Es wurden Automatisierungslösungen für kmU entwickelt, bei denen der Einsatz von Robotern als vielseitige Werkzeuge für die Zusammenarbeit zwischen Menschen und Maschinen auch bei kleinen Losgrößen effizient gestaltet werden kann.



Sowohl von Seiten der EU als auch von Seiten des Konsortiums ist man sich einig, dass die erzielten Ergebnisse weiterentwickelt werden müssen, um auf mittel- und langfristige Sicht die Wettbewerbsfähigkeit der europäischen KMU zu sichern und den Wettbewerbsvorsprung auszubauen.

Ein großer Schritt in Richtung neuer, bedarfsgerechter Technologien ist getan und das Fraunhofer IPA wird auch weiterhin als Initiator und Motor mit dabei sein.

Weitere Informationen über SMERobot™:  
[www.smerobot.org](http://www.smerobot.org)

Die Projektpartner:

- ABB Robotics  
[www.abb.com](http://www.abb.com)
- ABB Corporate Research Centre  
[www.de.abb.com](http://www.de.abb.com)
- Casting Technology International  
[www.castingstechnology.com](http://www.castingstechnology.com)
- COMAU Robotics  
[www.comau.com](http://www.comau.com)
- University of Coimbra/ADDF  
[www.dem.uc.pt](http://www.dem.uc.pt)
- DLR e.V.  
[www.robotic.dlr.de](http://www.robotic.dlr.de)
- GPS GmbH  
[www.gps-stuttgart.de](http://www.gps-stuttgart.de)

- Güdel AG  
[www.gudel.com](http://www.gudel.com)
- Fraunhofer IPA  
[www.ipa.fraunhofer.de](http://www.ipa.fraunhofer.de)
- Fraunhofer ISIT  
[www.isit.fraunhofer.de](http://www.isit.fraunhofer.de)
- Fraunhofer ISI  
[www.isi.fraunhofer.de](http://www.isi.fraunhofer.de)
- ITIA-CNR  
[www.itia.cnr.it](http://www.itia.cnr.it)
- KUKA Roboter GmbH  
[www.kuka-roboter.de](http://www.kuka-roboter.de)
- Lund University  
[www.robot.lth.se](http://www.robot.lth.se)
- Prospektiv GmbH  
[www.prospektiv.de](http://www.prospektiv.de)
- Pro Support B.V.  
[www.prosupport-nl.com](http://www.prosupport-nl.com)
- Reis Robotics  
[www.reisrobotics.de](http://www.reisrobotics.de)
- Rinas ApS  
[www.rinas.dk](http://www.rinas.dk)
- Visual Components Oy  
[www.visualcomponents.com](http://www.visualcomponents.com)

Das Projekt SMERobot™ wird im 6. Rahmenprogramm der Europäischen Kommission unter der Nummer 011838 gefördert.

---

# ORTHOPÄDIE UND BEWEGUNGSSYSTEME

---

Seit über 10 Jahren forscht das Fraunhofer IPA erfolgreich auf dem Gebiet der Medizintechnik. Die Abteilung »Orthopädie und Bewegungssysteme« gestaltet dafür technische Lösungen für die Erfassung, Kontrolle und Erzeugung von Bewegungen für orthopädische und nicht-medizintechnische industrielle Anwendungen. Hierunter fallen Forschungs- und Entwicklungsfragen für die technische Orthopädie und orthopädische Chirurgie, aber auch Bewegungserfassung für Luftfahrt und Consumer-Elektronik. Ein interdisziplinäres Team aus Maschinenbau, Elektrotechnik, Mechatronik, Kybernetik, Orthopädietechnik, Medizintechnik, Biologie und Medizin bearbeitet die Fragestellungen.

Der Bereich Sensorfusion und inertielle Navigation konnte im Jahr 2009 weiter ausgebaut und gestärkt werden. Durch die Investitionen in ein Kalibrationssystem für inertielle Navigationssystem-Sensoren ist es nun möglich, komplette Lösungen von der Hardware bis hin zur systemspezifischen Algorithmenentwicklung für Kunden anzubieten. Verstärkt wird der Forschungsbereich durch die Forschungsk Kooperation mit der Hochschule Darmstadt und der Universität Siegen. Der Kooperationsvertrag wurde im Juli dieses Jahres offiziell verabschiedet und wird durch Studentenaustausch sowie ein erstes gemeinsames Projekt bereits aktiv gelebt.

Im Bereich der elektrischen Antriebsentwicklung wird zusammen mit der Universität Stuttgart nach neuen Lösungen im Bereich der aktiv angetriebenen Prothesen gesucht. Ziel ist in diesem Bereich, die Entwicklung von momenten- und leistungsdichten Antrieben voranzutreiben und neue Lösungen für den Prothesen- und Orthesenbereich anbieten zu können. Dabei liegt der Fokus darauf, dass Menschen mit Behinderungen sich energieeffizient fortbewegen können.

Von der Natur zu lernen und Jahrtausende erfolgreich erprobte Problemlösungen gezielt abzuschaun, hat sich die Abteilung im Bereich des Bionischen Engineering zur Aufgabe gemacht. In der Abteilung »Orthopädie und Bewegungssysteme« wurden bereits erste Projekte im bionischen Konstruieren realisiert: Nach der Anatomie eines Anaconda-Mauls und dem Nahrungsaufnahmemechanismus dieser Schlange wurde eine Knochenstanze für eine medizintechnische Instrumentenfirma erfolgreich entwickelt. Sie soll im Jahr 2010 auf den Markt kommen. Die Fortbewegungsmechanismen ausgewählter Tiermodelle wurden studiert, die physikalischen Prinzipien, welche eine energieeffiziente Fortbewegung ermöglichen, analysiert und in abstrahierter Form in die Ober- und Unterschenkelprothesenentwicklung umgesetzt.



## DEN MENSCHLICHEN GANG IM BLICK

In ihrem Labor für Bewegungsanalyse generiert die Abteilung »Orthopädie und Bewegungssysteme« Wissen über den menschliche Gang. Die dabei verwendeten Methoden reichen von der instrumentellen Bewegungsanalyse mit neun Infrarotkameras über die synchrone Kraft- und Muskelaktivitätsmessung bis zu dem selbstentwickelten mobilen Ultraschallmessverfahren. Mit dieser ganz besonderen Methode können wir dem Menschen beim Gehen in den Körper schauen. Damit erfahren wir, wie sich Muskeln und Knochen in einem Prothesenschaft beim Gehen bewegen – bisher ein weitgehend unbekanntes Feld.

In unserem Labor testen wir von uns entwickelte neue Prothesen- und Orthesensysteme, aber auch innovative Produkte unserer Kunden. So werden an der Rampe und Treppe unserer Testumgebung neuartige adaptive Prothesenfüße geprüft, die wir zusammen mit der Northwestern University in Chicago entwickeln. Eine weitere Besonderheit unseres Labors ist die mechanische Plattform für dynamische Tests. 6-Achs-Roboter stehen, oder besser gehen, im Dienst für die Orthopädietechnik und zukünftig auch für Hüftimplantate. Kombiniert mit Messtechnik zur Erfassung von Momenten, Kräften, Bewegungen durch Navigationssysteme, können wir naturnah testen, ob und wie die Prothesen funktionieren.

Mehrere mit unserer Unterstützung entstandene Produktinnovationen erhielten im Jahr 2009 Auszeichnungen:

- Der erste fernauslösbare Lawinenairbag der Firma ABS Aschauer wurde auf der Winter-ISPO-Messe mit dem Innovationspreis 2009 im Biomechanik-Sportengineering ausgezeichnet.
- Eine Nominierung für den nationalen Designpreis erhielt das erste schockgedämpfte Blutdruckmessgerät der Firma Riester.
- Ebenfalls prämiert wurde das Fußorthosesystem Hallufix.

Unser Know-how bringen wir in den Normungsausschuss CEN/TC 293 ein und konstituieren damit wesentlich die zukünftigen Belastungstests für Prothesen.

Seit 2009 baut die Abteilung »Orthopädie und Bewegungssysteme« das Netzwerk O-PAEDIX auf – mittlerweile mit Förderung des Bundeswirtschaftsministerium – und gestaltet maßgeblich die Konferenzen zu Zukunftstechnologien für die Orthopädietechnik auf den einschlägigen Messen und Kongressen.

Ebenso einmalig in Deutschland sind die Vorlesungen über »Mechatronik für die Orthopädietechnik« an der Universität Stuttgart. Sie werden seit 2009 vom Leiter der Abteilung »Orthopädie und Bewegungssysteme« Dr. Urs Schneider gehalten.

- 1 *INS + Optische Sensorik: Kamera-Würfel.*
- 2 *Vorausschauende Prothese.*
- 3 *Inertial Sensorik Komplettlösungen.*

---

# PRODUKTIONS- UND PROZESSAUTOMATISIERUNG

---

## Der Reiz des Unvorhersehbaren

Neben den klassischen Aufgaben unserer Abteilung für »Produktions- und Prozessautomatisierung« erscheint auf den ersten Blick zu unseren beiden speziellen Arbeitsgebieten »Bioproduktion« und »Medizintechnik für Diagnostik und Intervention« kein Zusammenhang zu bestehen. Doch in beiden Arbeitsgebieten stehen die automatische Handhabung und Prozessierung von biologischen Materialien im Mittelpunkt: Der Reiz für die Automatisierungstechnik liegt im unvorhersehbaren Verhalten und der Empfindlichkeit dieser Materialien ebenso wie in den in mikroskopischen Dimensionen ablaufenden Prozessen. Die Automatisierungstechnik bildet nicht nur die Grundlage für die Massenproduktion, sondern sie stellt auch das zentrale Hilfsmittel für effizientere und qualitativ bessere Entwicklungsprozesse dar. In der Medizintechnik befasst sich unsere Abteilung vorwiegend mit der Entwicklung von Instrumenten für die Diagnostik und Intervention. Das Potenzial liegt in der Automatisierung von Teilprozessen im Operationssaal, die manuell wegen ihrer Komplexität kaum noch beherrschbar sind.

Nur mit unserem multidisziplinären Team aus Maschinenbauern, Elektrotechnikern, Mechatronikern, Physikern, Informatikern und Biologen können wir die Herausforderungen in beiden Arbeitsgebieten erfolgreich meistern – und das ist auch eine unserer besonderen Stärken. Die drei Säulen unserer Abteilung Produktions- und Prozessautomatisierung bestehen aus den Gruppen für

- »Mechatronik und Prozesstechnik« unter der Leitung von Dipl.-Ing. Andreas Traube;
- »Messtechnik und Prüfstandsbaue« unter der Leitung von Dipl.-Ing. Norman Werner;
- »Vernetzte Systeme« unter der Leitung von Dipl.-Ing. Martin Merdes.

Unsere organisatorische Struktur hat sich sehr bewährt, da Mechatronik, Sensoren, Vernetzung/Steuerung zusammengekommen die drei Grundkomponenten bei der Realisierung jeder Anlage oder jedes Geräts darstellen. Die enge Zusammenarbeit zwischen unseren Gruppen erlaubt uns, die Entwicklung und das Angebot von innovativen und hocheffizienten Lösungen voranzutreiben und darüber hinaus neuartige, übergreifende Konzepte für automatisierte Geräte, Anlagen oder eben Instrumente zu realisieren. Dadurch profitieren unsere Kunden von vertikal exzellenten Lösungen bei technologischen Detailfragen und der horizontal durchgängigen Integration der gesamten Prozesskette zu leistungsfähigen Gesamtsystemen.



## DAS BIOPRODUKTIONS-LABOR IN STUTTGART (BioPoLiS) – NEUE HEIMAT FÜR ANLAGEN- UND GERÄTETECHNIK IM BEREICH DER BIOPRODUKTION

Die Nachfrage an produktions- und prozesstechnologischen Lösungen für die Entwicklung und Herstellung biotechnologischer Produkte und Prozesse steigt stetig an. Viele dieser neuen Produkte werden noch im Labormaßstab manuell entwickelt und produziert. Um den Marktbedarf in Qualität und Durchsatz decken zu können, müssen zukünftig neue Technologien von Wissenschaft und Industrie gemeinsam entwickelt und implementiert werden. Die Produktionstechnik und insbesondere die Automatisierungstechnik eröffnen hierbei Möglichkeiten einer effizienten Produktentwicklung und kostengünstigen Herstellung in skalierbaren Dimensionen. Dieser Umstand macht die Bioproduktionstechnik zu einem wichtigen und für die Zukunft Erfolg versprechenden Arbeitsgebiet.

Ein Beispiel für einen solchen Bioproduktionsprozess ist die Herstellung von Produkten aus dem Bereich des »Tissue Engineering«. Hierbei werden lebende Zellen eines Organismus in aufwändigen Prozessen isoliert und vermehrt, um dann als dreidimensionales Konstrukt kultiviert zu werden. Dieses dreidimensionale Bioprodukt kann z. B. in den Ursprungsorganismus transplantiert werden und ist damit eine zentrale Technologie der so genannten regenerativen Medizin, die sich mit der Wiederherstellung der Funktion von funktionsgestörten Geweben und Organen beschäftigt. Neben dieser therapeutischen Anwendung besteht eine weitere Möglichkeit darin, solche dreidimensionalen Produkte als biologische Modelle zu verwenden, um daran beispielsweise die Wirkung von Chemikalien, Kosmetika oder pharmazeutischen Produkten zu testen. Der Prozess zur Herstellung solcher dreidimensionaler Gewebe ist sehr aufwändig und wird derzeit ausschließlich manuell durchgeführt. Ein

wesentliches Qualitätsmerkmal ist hierbei die Chargenhomogenität, die in einem manuellen Prozess nur schwer erreichbar, wenn nicht sogar unmöglich ist. Außerdem ist die Kontaminationsgefahr bei solchen manuellen Prozessen sehr hoch, sodass eine große Zahl an Produkten unbrauchbar wird und damit verworfen werden muss.

Um die Entwicklung und den Einsatz dieser Technologien für die Bioproduktion effizienter zu gestalten, wurde mit »BioPoLiS« (Bioproduktionslabor in Stuttgart) am Fraunhofer IPA eine neuartige Infrastruktur geschaffen. Mit BioPoLiS werden biologisches Arbeiten unter Laborbedingungen und gleichzeitige produktionstechnische Entwicklungen möglich. Durch das Simultaneous Engineering bzw. eine frühe automatisierungsgerechte Produktgestaltung entstehen neue Lösungen und die Risiken einer Fehlentwicklung können wesentlich minimiert werden. Während Ingenieure die Anlagen zum Aufbau der dreidimensionalen Gewebe im Bioproduktionslabor aufbauen, können Biologen diese gleichzeitig in der gleichen Entwicklungsumgebung auf ihre Tauglichkeit hin validieren. Neben der hohen Zeitersparnis bei dieser Art des interdisziplinären Zusammenarbeitens können von Beginn an beide Disziplinen auf die Entwicklungen Einfluss nehmen. Biologen erfahren die Hintergründe zu anlagentechnischen Aspekten und Ingenieure bekommen ein besseres Prozessverständnis der biotechnologischen Abläufe. Außerdem ermöglicht diese Infrastruktur die Entwicklung der Produktionstechnik und die Erprobung solcher Anlagen am gleichen Ort.



Ein aktuelles Projekt, bei dem die Möglichkeiten von BioPoLiS entscheidend genutzt werden können, ist die »Tissue-Fabrik«. In der Tissue-Fabrik entwickelt das Fraunhofer IPA als Teil eines Forschungskonsortiums ein Produktionssystem für die Herstellung von humanen In-vitro-Hautmodellen. Von diesen Hautmodellen sollen als Projektziel monatlich mindestens 5 000 Stück vollautomatisiert hergestellt werden, wobei der Prozess von der Zellisolation über eine Expansion der Zellen bis hin zum Aufbau des endgültigen Produkts reicht. Durch den Einsatz innovativer Produktions- und Prozesstechnologien wird ein hoher Durchsatz bei gleichzeitig hoher Qualität und minimaler Kontaminationsgefahr gewährleistet. Um diese Ziele zu erreichen, werden bei der Tissue-Fabrik die Rezepte zur Herstellung der Hautmodelle in ein Produktionssystem umgesetzt. Mit BioPoLiS werden in einer frühen Entwicklungsphase unter entsprechenden Umgebungsbedingungen die entworfenen Anlagen und Geräte optimal (neu) gestaltet und getestet. Diese Vorgehensweise ist vor allem bei dem Arbeiten mit den empfindlichen Bioprodukten von Vorteil, da beispielsweise schon früh erkannt werden kann, ob die eingesetzten neuen Prozess- und Produktionstechnologien zellschädigend sind.

Auch andere Bereiche der Bioproduktion, z. B. der Medikamentenentwicklung oder der Entwicklung von Produkten in der weißen Biotechnologie, profitieren von der Entwicklung neuer Produktionssysteme. Mit BioPoLiS steht uns eine Infrastruktur zur Verfügung, mit der wir in Zukunft auf dem Gebiet der Technologieentwicklungen für die Bioproduktion mithalten und für eine effiziente Entwicklung von Produktions- und Prozesstechnologien im industriellen Umfeld sorgen können.

- 1** *Automatisierte Herstellung von dreidimensionalen Hautmodellen für das Tissue Engineering.*
- 2** *Entwicklung neuer Technologien für die automatisierte Kryokonservierung von Tissue Engineering Produkten.*
- 3** *Erprobung einer neuartigen Dosier-Technologie zur kontaminationsfreien Entnahme von Flüssigkeiten aus Mikrotiterplatten unter Laborbedingungen.*



## WHOLE'O'HAND – NEUE ANSÄTZE FÜR DIE ASSISTIERTE CHIRURGIE

Der »Schlüsselloch«-Zugang bei der minimalinvasiven Chirurgie (MIC) als wesentlicher Trend in der interventionellen Medizin reduziert Traumata, beschränkt aber gleichzeitig Wahrnehmung, Orientierung und Bewegungsfreiheit des Chirurgen am Situs. Die Durchführbarkeit der MIC war daher schon immer von den zur Verfügung stehenden technischen Hilfsmitteln wie Endoskopen, Lichtquellen etc. abhängig.

Mit dem aktuellen Instrumentarium der MIC werden die ständig wachsenden Möglichkeiten der Mechatronik, Mikroelektronik und Informationstechnik jedoch kaum ausgeschöpft. Der funktionale Mehrwert durch ein effektives Zusammenwirken der unterschiedlichen Komponenten wie Navigation, Sensorik und den Instrumenten etc. wird heute nur rudimentär genutzt. An diesen Punkten setzt das Projekt »Whole'O'Hand« an, an dem das Fraunhofer IPA als Projektleiter, das Fraunhofer IIS und das Fraunhofer IGD beteiligt sind. Als Beispielanwendung wurde die minimalinvasive Lebertumor-Resektion ausgewählt, die für tiefer liegende Tumore minimalinvasiv bisher nicht ausgeführt werden kann.

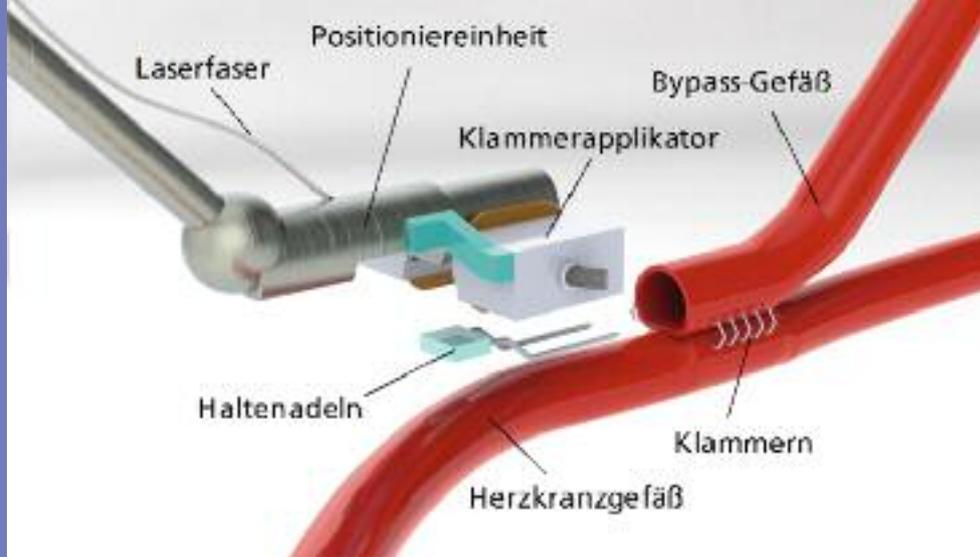
In diesem Projekt wird ein Endoskopiesystem entwickelt, das die unterschiedlichen Ansätze der Robotik, Messtechnik, computerassistierten Diagnose (CAD) und Navigation zu einer leistungsfähigen Einheit verbindet, die den Chirurgen maximal bei der Orientierung und Ausführung der interventionellen Maßnahme während eines chirurgischen Eingriffs unterstützt. Neben den technischen Einzelentwicklungen soll das Potenzial integrierter MIC-Systeme, d. h. des Zusammenschlusses von Systemen zu einem geschlossenen Regelkreis (Closed Loop), experimentell aufgezeigt, Erfahrungen gesammelt und Impulse für zukünftige Systemgenerationen in der MIC erzeugt werden. Während Projektpartner u. a. an neuen Methoden für die multimodale Bildauswertung oder die Registrierung von Weichge-

webe arbeiten, entstehen am Fraunhofer IPA vor allem neue Lösungen der roboterassistierten Chirurgie und multifunktionaler Instrumente.

Intelligente multifunktionelle Instrumente ermöglichen schnelleres, präziseres Arbeiten. Erhebliches Potenzial ergibt sich darüber hinaus aus Tracking, Registrierung und Navigation im Weichgewebe. Ein neuartiges Instrumentenwechselsystem vermeidet störende Unterbrechungen während eines Eingriffs, wie sie derzeit beim Wechsel des Instruments entstehen. Dabei werden kapselförmige Instrumente am Situs platziert. Das Spektrum der Instrumente kann dabei Greifer, Skalpelle, Scheren, Clip-Applikatoren, verschiedene Optiken oder HF-Resektoren umfassen.

Solche Instrumente sind in der Regel schwerer als konventionelle chirurgische Instrumente. Um trotzdem feinfühlig, entspannt und sicher mit ihnen arbeiten zu können, wird am Fraunhofer IPA ein System zum Halten und Führen von Instrumenten bzw. des Instrumentenwechselsystems entwickelt. Mit diesem Trägersystem können Schlüsselfunktionalitäten wie Active Constraints, d. h. die Beschränkung und ggf. Korrektur der Schnittbahnen auf die vorgeplanten Bereiche, und in Zukunft automatisierte Teilschritte während der Operation realisiert werden.

Die Ergebnisse des Projekts Whole'O'Hand werden im Jahr 2010 in einem neuen Labor demonstriert werden können. Dort werden dann Mediziner und Ingenieure gemeinsam arbeiten. Technische Neuentwicklungen können unter OP-ähnlichen Bedingungen entwickelt und erprobt werden. Besonders vielversprechend ist dabei die Vernetzung eigener Komponenten mit etablierten Produkten wie OP-Mikroskopen oder Instrumenten der offenen und minimalinvasiven Chirurgie.



## ASSISTOMOSIS – NEUES INSTRUMENT FÜR DIE ASSISTIERTE BYPASS-CHIRURGIE

Herzinfarkte sind in Deutschland und anderen Industrienationen nach wie vor die häufigste Todesursache. Sie entstehen durch eine Unterversorgung des Herzmuskels mit Sauerstoff. Hierfür zeigen sich meist Engstellen (sog. Stenosen) in den Herzkranzarterien, die das Herz mit Blut versorgen, verantwortlich. Stenosen entstehen in den meisten Fällen aus altersbedingter Arterienverkalkung (Arteriosklerose).

Zur Vorbeugung eines Herzinfarkts bzw. zur Behandlung gibt es in der Gefäßchirurgie verschiedene Verfahren, einen Bypass, d. h. eine Überbrückung der Engstelle, zu legen: den Koronararterien-Bypass mit Herz-Lungen-Maschine (CABG, Coronary Artery Bypass Grafting), den Koronararterien-Bypass ohne Herz-Lungen-Maschine (OPCAB, Off-Pump Coronary Artery Bypass) und den minimalinvasiven, direkten Koronararterien-Bypass (MIDCAB, Minimally Invasive Direct Coronary Artery Bypass).

Das bisher wenig verbreitete MIDCAB-Verfahren stellt für den Patienten die schonendste Methode dar, ist für den Herzchirurgen jedoch höchst anspruchsvoll und auf Bypässe auf der Vorderseite des Herzens beschränkt. Bei MIDCAB wird im Gegensatz zu CABG und OPCAB der Brustkorb des Patienten nicht geöffnet; der Zugang zum Herzen erfolgt vielmehr durch zwei Rippen hindurch, die mit einem Spezialinstrument aufgeweitet sind. Die Herausforderung für den Chirurgen liegt darin, trotz der beengten Platzverhältnisse, dem während der Operation weiterschlagenden Herzen und der eingeschränkten Sicht, ein Blutgefäß mit einem Durchmesser von ca. 4 mm an ein Herzkranzgefäß anzunähen. Deshalb entstand im Rahmen des deutsch-französischen, auf deutscher Seite vom BMBF geförderten, Kooperationsprojekts »MISS« (Minimally Invasive Smart Suture) die Idee, ein alternatives Verfahren sowie die dafür notwendigen Instrumente für die Verbindung (Anastomose) zweier Blutgefäße zu entwickeln.

Das dabei entstandene Konzept von »Assistomosis« (Instrument für die assistierte Etablierung einer Bypass-Anastomose) umgeht das manuelle Nähen, ist platzsparend und lässt eine schnellere Verbindung von Herzkranz- und Bypassgefäß auch auf der Rückseite des Herzens zu. Dabei werden speziell entwickelte Haltenadeln eingesetzt, um die beiden zu verbindenden Gefäße zu positionieren und in Position zu halten. Durch seitlich angebrachte Klammerapplikatoren des Instruments werden Clips zur Verbindung der beiden Gefäße appliziert. Ein chirurgischer Laser schafft dann die Durchgangsöffnung zur Etablierung der Verbindung aus dem Inneren der Positioniereinheit heraus. Das offene Ende des Bypass-Gefäßes wird schließlich mit einem chirurgischen Clip verschlossen.

Die Patienten haben durch das minimalinvasive Verfahren, das durch das neue Gerät ermöglicht wird, eine schnellere Rekonvaleszenz. Durch ein Vermeiden der Brustkorböffnung sind mit der Heilung geringere Schmerzen verbunden, weil eine Öffnung des Thorax sehr schmerzhaft während der Genesungszeit ist. Unter ästhetischen Gesichtspunkten betrachtet ist die Operation mittels des neuen Geräts ebenfalls hilfreich, da keine großen Narben mehr den Operationsbereich kennzeichnen, sondern nur eine kleine Narbe unter der Brust zurückbleibt.

Die Ausbildung zum Herzchirurgen ist langwierig und bedarf einer langen Übungszeit. Den zeitlichen Verlauf zum Lernen der Bypass-Operation bezeichnet man dabei als Lernkurve. Durch die Anwenderfreundlichkeit unseres Geräts wird die Lernkurve von jungen Herzchirurgen schneller durchlaufen und sie sind schneller einsatzfähig. Die Technologie ist während der Operation bequem anwendbar und weniger fehleranfällig als die konventionelle Nahttechnologie.

## VERNETZTE SYSTEME

In vielen Bereichen werden derzeit neue Anwendungsgebiete für die Produktions- und Automatisierungstechnik erschlossen, bei denen es nicht mehr um Herstellungsprozesse standardisierter, gleichartiger Produkte geht. Beispiele hierfür finden sich in der Bioproduktionstechnik und der Medizintechnik im Umgang mit biologischen Materialien, die bei Handhabungs- und Verarbeitungsprozessen oft ein unvorhersehbares »Verhalten« an den Tag legen und darüber hinaus sehr empfindlich auf zahlreiche Umgebungsparameter reagieren. Die Unberechenbarkeit der biologischen Materialien erfordert ein hohes Maß an Flexibilität von der Anlagen- und Steuerungstechnik. Die Anforderungen an die Automatisierungstechnik sind dementsprechend vielschichtig. Aus Sicht der Steuerungstechnik sind neue Konzepte erforderlich, die mit einer wachsenden Zahl sich dynamisch wandelnder lokaler Prozessparameter operieren können. Die Gruppe »Vernetzte Systeme« der Abteilung Produktions- und Prozessautomatisierung am Fraunhofer IPA befasst sich aktuell mit solchen steuerungstechnischen Lösungen innerhalb von Projekten zur Entwicklung biotechnischer Produktionsanlagen.

Ein Beispiel für eine solche Anlage ist die bereits erwähnte Tissue-Fabrik für die Züchtung von Hautfragmenten. Die Umsetzung von biologischen Prozessen aus dem Labor in einen industriellen Maßstab stellt eine große Herausforderung dar. So kann in der Regel nicht davon ausgegangen werden, dass ein Prozess weitgehend unverändert reproduzierbar ist. Die Anlage muss in der Lage sein, individuell auf den jeweiligen Zustand einzelner Chargen von Zellen zu reagieren. So kann es beispielsweise notwendig sein, die Dauer eines aktuellen Prozessschrittes oder die Konzentration von Nährmedien bzw. die Umgebungsbedingung für jede einzelne Charge anzupassen.

Problematisch ist das vor allem deshalb, da diese individuelle Behandlung für alle Stoffe gleichzeitig erfolgen muss, um eine nachhaltige Qualität der Produkte erreichen zu können. Durch die Multiplikation ergibt sich eine riesige Anzahl möglicher Zu-

stände, die nicht a priori evaluiert werden können. Im günstigsten Fall führt dies dazu, dass die Kapazität der Anlage nicht voll ausgenutzt wird, weil z. B. an manchen Stellen Leerlauf entsteht. Schwerwiegender sind Interessenskonflikte, wenn z. B. ein halbfertiges Produkt einen Prozessschritt noch nicht verlassen kann, weil es noch nicht voll ausgereift ist und ein Weitertransport unter Umständen Schaden anrichten würde. Wenn aber in einem solchen Fall der an einer vorhergehenden Station fertig prozessierte Nachfolger dringend diesen Platz benötigt, würde im ungünstigsten Fall aus einem Problem eine ganze Kette von Schäden entstehen.

Dieses Beispiel zeigt anschaulich, dass eine klassische Taktung des Prozesses wegen der typischen, individuellen Wachstums- und Reifungsprozesse in der Bioproduktion nicht möglich ist. Stattdessen müssen von der Steuerung oder in besonderen Fällen auch vom Bediener kontinuierlich Entscheidungen zu lokalen Prozessschritten getroffen werden, die wiederum Auswirkungen an vielen Stellen in der Prozesskette haben könnten. Das ganze System kann also nicht für einen einmaligen Zustand ausgelegt werden, sondern es ist eine ständige Online-Optimierung aller beteiligten Prozessparameter erforderlich. Aus diesem Grund kombinieren neue Steuerungskonzepte des Fraunhofer IPA für solche Anlagen leistungsfähige Optimierungsalgorithmen mit lernfähigen Steuerungsansätzen. Ein wesentlicher Erfolgsfaktor für solche hochdynamischen Regelungskonzepte liegt noch vor der Implementierung in der Formulierung und Modellierung der Aufgabenstellung.

In der Gruppe »Vernetzte Systeme« wurde in diesem Jahr damit begonnen, für derartige Problemstellungen ein Baukastensystem zu entwickeln. Da die einzelnen Bausteine spezifisch auf die Randbedingungen von biologischen Prozessen abgestimmt sind, lassen sich später mit ihrer Hilfe komplexe biologische Prozessketten als Modell schnell zusammenstellen und geeignete Steuerungs- und Optimierungsalgorithmen ableiten.

---

# REINST- UND MIKROPRODUKTION

---

## 25 Jahre Abteilung Reinst- und Mikroproduktion

Was im Jahr 1984 als »Testzentrum für Halbleiterfertigungsgeräte« begann, hat sich in den letzten 25 Jahren zu dem Ansprechpartner für Fragen rund um die reine Produktion entwickelt. Aber auch in Themenfeldern wie der Standardisierung und Normung wurden zahlreiche Arbeiten geleistet, da jede Kundenbranche ihre ganz eigenen Fragestellungen mitbringt, die es zu lösen und zu vereinheitlichen gilt. Nach dem Start in der Halbleiterindustrie in den 1980er Jahren, der thematischen und auch räumlichen Erweiterung in der Mikrosystemtechnik in den 1990er Jahren kamen nach der Jahrtausendwende die Automobilindustrie und die Photovoltaik als Kundenswerpunkte hinzu. Für die weitere Zukunft deutet sich die aufkommende Nanotechnologie mit bislang ungeklärten Fragen zur Kontaminationsprävention als ein weiteres Aufgabengebiet an. Aber auch klassisch reine Branchen wie die Pharma- und Medizintechnik, deren Produktions- und Reinheitskonzepte lange etabliert sind, technologisch aber eher konservativ ausgerichtet waren, fragen nun vermehrt nach innovativen Ideen der Abteilung Reinst- und Mikroproduktion.

## Das Symposium – ein »Rückblick voraus«

Um das in den letzten 25 Jahren Erreichte gebührend zu feiern, wurde im Juli 2009 ein für Mitarbeiter, Geschäftspartner und Interessenten aus der Industrie offenes Symposium veranstaltet. Der Schwerpunkt dieses Festakts lag nicht in einem Rückblick auf die gute alte Zeit, vielmehr wurde gemeinsam mit zahlreichen Partnern aus den unterschiedlichsten Kundenbranchen ein Rahmen für aktuelle und zukünftige Themen skizziert und daraus konkrete Visionen über Aktivitäten der Abteilung für die nächsten Jahre abgeleitet. Dadurch werden auch zukünftig kundennahe Lösungen mit hohem Reifegrad ermöglicht:

- Das »Fraunhofer IPA TESTED DEVICE zur Zertifizierung der Reinraumtauglichkeit
- Hoch spezialisierte und gleichzeitig flexible Fertigungssteuerungssysteme

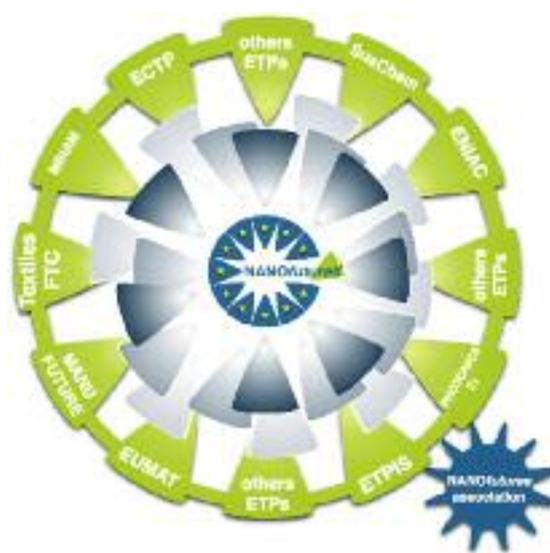
- Dispensprozesse von bislang nicht gekannter Präzision
- Anlagenintegrierbare Reinigungs- und Inspektionswerkzeuge für Kontaminationsbeherrschung oder
- Qualitäts- und Durchsatzanalysen für die Photovoltaikproduktion

## Investitionen in die Zukunft

Um sich fachlich und thematisch für die kommenden Jahre gut aufzustellen, wurden 2009 große Investitionen in Technologie und Infrastruktur gestartet. Begonnen wurde mit dem Ersatz der 25 Jahre bewährten Reinrauminstallationen durch eine neue energieeffiziente Technik. Damit lassen sich bei höherer Reinheit 70 Prozent Energie einsparen. Parallel dazu entsteht ein neuer 120 m<sup>2</sup> großer »Schwerlastreinraum« mit einer Raumhöhe von sechs Metern, der es zukünftig erlauben wird, stetig größer werdende Produktionsanlagenkomponenten, z. B. aus der Photovoltaik oder der Flachbildschirmherstellung, reinheitsgerecht zu optimieren und zu qualifizieren. Unmittelbar nach Abschluss der Reinraummodernisierung und -erweiterung startet eine weitere Baumaßnahme, die die Bündelung aller 40 Wissenschaftler der Abteilung sowie aller Labore in einem Gebäude zum Ziel hat.

Für Dr. Udo Gommel, der die Abteilung seit Anfang 2008 leitet, ist damit ein wichtiger Schritt in die Zukunft und in die nächsten 25 Jahre Reinst- und Mikroproduktion gemacht: »Zur Bearbeitung aktueller und zukünftiger Fragestellungen der Kontaminationskontrolle, der Mikrotechnik oder neuer Branchen wie der Nanotechnik und der Photovoltaik wird ein hoch spezialisiertes Fachwissen allein nicht mehr ausreichend sein. Wir setzen deshalb auf ein interdisziplinäres Team aus Naturwissenschaftlern, Ingenieuren, Informatikern, Biologen und Verfahrenstechnikern, auf kurze Wege, auf Kommunikation und auf eine in dieser Kombination einzigartige Infrastruktur. Auch mit den aktuellen Entwicklungen und Investitionen sind wir unseren Themen und Wurzeln treu geblieben.«

**Dr. Udo Gommel | Telefon +49 711 970-1633**



# NANOFUTURES

## Ausgangssituation

Die Nanotechnologie gehört zu den integrierenden und branchenübergreifenden Technologien. So sind in den letzten Jahren verschiedene Beispiele erfolgreich umgesetzter Geschäftsmodelle, besonders in der chemischen Industrie, bekannt geworden. Nanotechnologie wird aber noch in vielen weiteren Bereichen verwendet. So werden z. B. in Autos, Computern, Displays, der Medizin und sogar in der Kosmetik neue Funktionalitäten, intelligente Strukturen, transportfähige und vernetzende Systeme integriert, woraus viele neue Produkte mit hohem Marktpotenzial entstanden sind. Zur Lösung vieler globaler Herausforderungen wie Klimawandel, Grenzen der Energieproduktion und Ressourcenknappheit, aber auch zur Bekämpfung weitverbreiteter Erkrankungen, soll die Nanotechnologie beitragen. Dazu muss freilich ihr großes Potenzial erst noch erschlossen werden.

## Aufgabe

Die Potenziale der Nanotechnologie zu heben, hängt von vielen Faktoren ab:

- In der Öffentlichkeit müssen die Chancen und der Nutzen dieser Technologie für die Gesellschaft kommuniziert werden.
- Der Komplexität der Nanotechnologie muss die Interdisziplinarität der Wissenschaften korrespondieren.
- Verschiedene wissenschaftliche Disziplinen wie die Life Sciences, Chemie, Mikroelektronik etc. müssen interaktiv die Nanotechnologie aus den unterschiedlichsten Perspektiven vorantreiben.
- Die regionalen Unterschiede in Europa müssen berücksichtigt werden.

Um eine Kommerzialisierung in Europa erfolgreich auf den Weg zu bringen, ist eine internationale Initiative erforderlich, die Vertreter aus Industrie, Wissenschaft und unterschiedlichsten Netzwerken zusammenbringt: eine NANOfutures-Initiative.

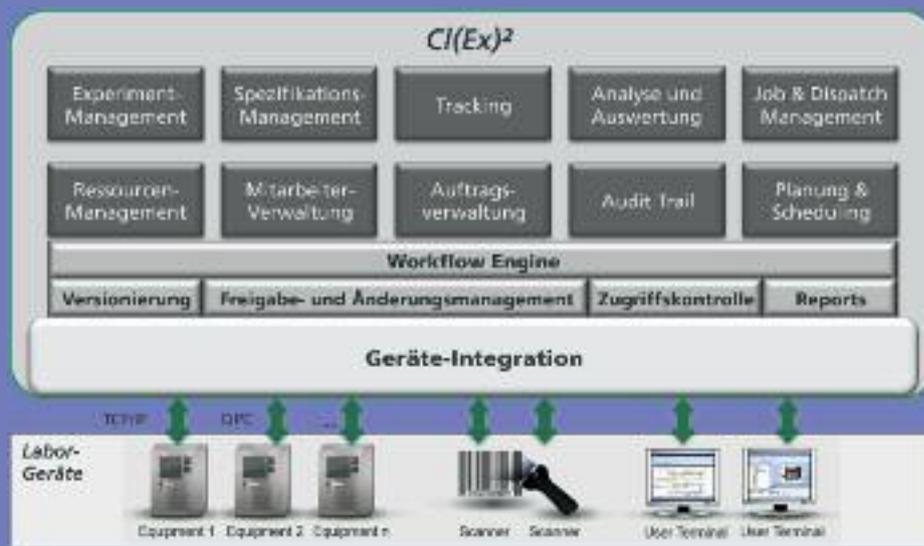
## Projektbeschreibung

- NANOfutures wird die integrierende Umgebung darstellen, die für das Zusammenfinden der verschiedensten Entitäten nötig ist und die eine gemeinsam geteilte Vision von einer zukünftigen Nanotechnologie in Europa im globalen Wettbewerb vorantreibt.
- NANOfutures wird eine europäische multizentrale Plattform darstellen. Sie hat die Zielvorgabe, alle relevanten Technologieplattformen, deren Branchen und auch die zugehörigen Produkte, die von der Nanotechnologie beeinflusst werden, durch Kooperation und Repräsentation zu vernetzen.

Um den Bedürfnissen der verschiedensten Interessengruppen gerecht zu werden, werden Arbeitsgruppen unter folgenden Hauptaspekten gebildet: »Technologie«, »Regulation und Standards« sowie »Innovation«. Die in diesen Arbeitsgruppen entwickelten Empfehlungen werden Einfluss auf die weiteren strategischen Aktionen haben. Besonderes Gewicht liegt dabei auf der Produktionstechnologie und den Produktionseinrichtungen mit ihren neuen und modernsten analytischen Messtechnologien. Mit einem Vorsitz in der Gruppe »Forschung/Technologie« ist das Fraunhofer IPA durch die Abteilung Reinst- und Mikroproduktion vertreten. Eine tragende Rolle spielt auch die etablierte Technologieplattform »MINAM« (Micro- and Nano-Manufacturing), die im Bereich des Maschinenbaus und der Präzisionstechnologie den Transfer zu den Anlagen- und Gerätebauern schaffen soll. Die Zusammenarbeit mit der europäischen Technologieplattform »ManuFuture« stützt sich auf die Integration von Produktionstechnik in die Mikro- und Nanoproduktionsnetzwerke.

1 NANOfutures integrierende Rolle.

2 NANOfutures Networking.



# GANZHEITLICHES STEUERUNGSSYSTEM FÜR DIE LABORAUTOMATISIERUNG

## Ausgangssituation

Für die Erfassung aller Prozessdaten in Laboren, die zur Erfüllung rechtlicher Vorgaben und zur Dokumentationserstellung für Kunden notwendig ist, werden derzeit so genannte Labor-Informationssysteme (LIMS) verwendet. Sie fokussieren sich auf das Erfassen der Messwerte und ihre Auswertung. Steuernde Funktionalitäten wie beispielsweise die automatische Übergabe von Prozessparametern an die Geräte, Ablaufkoordination, Arbeitsverteilung und Einlastung stehen dabei hauptsächlich im Hintergrund. Das führt unter anderem dazu, dass Prozessparameter häufig nach Erfahrungswerten der Mitarbeiter vorgegeben werden und sich demzufolge auch für vermeintlich gleiche Prozessabläufe unterscheiden können.

## Konzept

Die Kopplung von Datenerfassung mit Automations- und Steuerungsfunktionalitäten birgt jedoch enormes Potenzial, das im Produktionsbereich bereits ausgeschöpft wird (z. B. durch Manufacturing Execution Systeme (MES)). Im Rahmen eines kmU-Akut-Projekts wird dieser Ansatz erstmals in den Laborbereich übertragen und als CI(Ex)<sup>2</sup> (Clean Lab Experiment Execution System) prototypisch für die Reinraumqualifizierung am Fraunhofer IPA verwirklicht.

Basis für CI(Ex)<sup>2</sup> ist das am Fraunhofer IPA entwickelte MES »Syn@pse«, das aufgrund seines generischen Ansatzes und seiner Modularität, die sich durch eine serviceorientierte Architektur (SOA) ergibt, für viele Einsatzgebiete geeignet ist. Dieses wurde um laborspezifische Funktionalitäten, wie z. B. die Nachverfolgbarkeit aller Proben inklusive der zugehörigen Messparameter

und -ergebnisse und ihre einfache Ausgabe aus dem System sowie eine integrierte Auswertung der Messungen, erweitert.

Bild 1 zeigt eine Übersicht der wichtigsten Komponenten von CI(Ex)<sup>2</sup>, welche die Spezifikation von Experimenten oder Tests, die Integration von Laborgeräten, das Anlegen und Durchführen von Aufträgen unter Berücksichtigung von Geräte- und Mitarbeiterverfügbarkeiten sowie die Erstellung von Dokumenten für die Nachverfolgung ermöglichen.

## Nutzen

Dieses Konzept und die daraus resultierende Verknüpfung der Datenerfassung mit Automation und Steuerung führen zu folgenden Verbesserungen in Labor-Arbeitsabläufen:

- Aufgrund seiner Flexibilität ist CI(Ex)<sup>2</sup> anpassbar an unterschiedliche Einsatzgebiete, Kunden und Labore.
- Die Laborabläufe können in einem System organisiert, geplant und durchgeführt werden.
- Die durchzuführenden Prozesse werden durch Geräteanbindungen und integrierte Arbeitsanweisungen vollständig abgebildet und erfasst, wodurch ihre Wiederholbarkeit sichergestellt wird.
- Durch die automatische Steuerung der Prozessschritte an den angebotenen Geräten und die integrierte Auswertung werden zeitraubende Routineaufgaben wie z. B. die Übertragung von Prozessparametern oder Analysedaten (inklusive Dokumentation) reduziert.
- Die integrierte Versionierung und Sicherung aller relevanten Daten ermöglicht die Datenkonsistenz und Nachverfolgbarkeit, die für die Erfüllung rechtlicher Vorgaben im Medizin- und Pharmabereich oder für die Kundendokumentation notwendig ist.

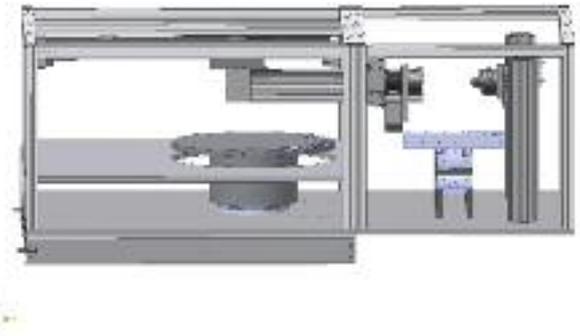
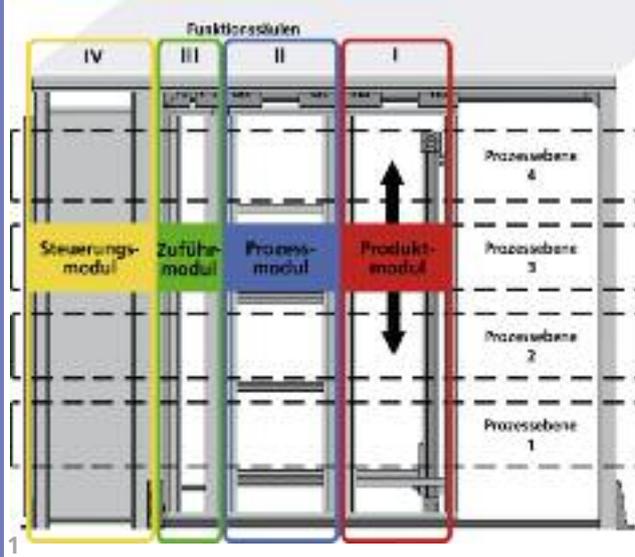
Definierte Prozesse, Auftragsplanung und Ablaufkoordination unter Berücksichtigung der Verfügbarkeiten von Personal und Geräten, automatisierte Nachverfolgung der Proben und die integrierte Auswertung tragen zur Verbesserung der Laborabläufe bezüglich Durchsatz und Qualität und somit zur Effizienzsteigerung in Laboren bei.

### **Ausblick**

CI(Ex)<sup>2</sup> wird am Fraunhofer IPA für die Reinraumqualifizierung eingesetzt, um dort den Qualifizierungsprozess und die Auslastung des neuen Reinraums zu optimieren und Prozessdaten für Auswertung und Dokumentation zu archivieren.

Neben Zertifizierungs- und Untersuchungslaboren ist der Medizin- und Pharmabereich ein weiteres potenzielles Anwendungsgebiet, für dessen Erschließung die Abteilungen Reinst- und Mikroproduktion und Produktions- und Prozessautomatisierung zusammenarbeiten.

**1** *Überblick über die CI(Ex)<sup>2</sup> Komponenten.*



# µPRODUCTIONTOWER – MIKROPRODUKTION IN EINER NEUEN DIMENSION

## Ausgangssituation

Die in der Mikrosystemtechnik häufig variierenden Stückzahlen und die große Produktvarianz erfordern eine angepasste Produktionstechnik, die sich durch eine hohe Flexibilität und Skalierbarkeit auszeichnet. Aufgrund zunehmender Empfindlichkeit von Bauteilen und Prozessen kommt verstärkt die Forderung nach Einhaltung definierter Umgebungsbedingungen während der Bearbeitung wie beispielsweise Reinheit hinzu. Heutige Produktionsanlagen sehen meist eine lineare und starre Verkettung autarker Prozessmodule vor. Dabei weist jedes Modul seine eigene Positionier-, Mess- und gegebenenfalls Reinraumtechnik auf. Bei mehreren separaten Prozessschritten führt dies neben einem großen Platzbedarf zu einem hohen Investitionsaufwand.

## Lösung

Ein neuartiges Anlagenkonzept stellt der am Fraunhofer IPA für die Produktion mikro- und nanotechnischer Produkte entwickelte µProductionTower dar, der die bisher meist ungenutzte Raumhöhe mit einbezieht. Entgegen der konventionellen Linienanordnung sieht der Lösungsansatz das Anordnen der applikationsspezifischen Prozesse übereinander vor (Bild 1). Ein wesentliches Merkmal der als Konzeptstudie realisierten Anlage sind vier nebeneinander angeordnete, vertikale Funktionsäulen. In der ersten Säule befindet sich das vertikal in die Prozessebenen positionierbare Produktmodul, in dem der Aufbau bzw. die Bearbeitung des Produkts erfolgt. Die für das Prozessieren, das Zuführen und die Steuerung erforderlichen Funktionsmodule sind entsprechend der jeweiligen Funktionalität den weiteren Säulen zugeordnet.

Ein Kernelement des µProductionTowers ist das Produktmodul in der ersten Säule. Es ist mit einem hochpräzisen mehrachsigen Positioniersystem ausgestattet, das prozessübergreifend einsetzbar ist und die jeweils für die Bearbeitung erforderliche Substrat- bzw. Bauteilpositionierung vornimmt. Des Weiteren ist eine zur Substrataufnahme referenzierte Schnittstelle zur Aufnahme prozessspezifischer Werkzeuge vorgesehen. Damit entfällt der sonst übliche Aufwand des Referenzierens vor der Bearbeitung.

Das Einbringen des Werkzeugs und dessen Adaption an der Schnittstelle erfolgt aus dem jeweiligen Prozessmodul heraus, mittels eines dort integrierten Zuführsystems (Bild 2). Alternativ kann die Bearbeitung direkt durch ein aus dem Prozessmodul in das Produktmodul eingreifendes Werkzeug, z. B. Pick & Place Roboter, erfolgen. Für eine gegebenenfalls geforderte Einhaltung definierter Umgebungsbedingungen während der Bearbeitung bzw. Montage kann das Produktmodul zusätzlich mit einer seitlich adaptierbaren Luft- und Klimatechnik ausgestattet werden. Weiterhin können optional prozessübergreifend nutzbare Sensorik und Aktorik integriert werden, u. a. zur Prozessüberwachung und Qualitätskontrolle.

In der zweiten Säule befinden sich die Prozessmodule. Sie integrieren das für den jeweils stattfindenden Prozess erforderliche Bearbeitungs- bzw. Montagewerkzeug (z. B. Greifer oder Dispenser). Das Modul kann zudem mit zusätzlicher Prozesstechnik, beispielsweise zur Reinigung, Vorbehandlung oder Vermessung von Bauteilen, bestückt werden. Die dritte Säule sieht die Zuführmodule der Anlage vor. Sie dienen der Einschleusung und Bereitstellung der in den Ebenen jeweils erforderlichen Bauteile und Hilfsstoffe. Es können bekannte



Magazinier- und Gurttechniken sowie applikationsspezifische Zuführsysteme adaptiert werden. In der letzten Säule sind die für die Anlagen- und Modulsteuerung erforderlichen Steuerungsmodul untergebracht.

Die aus dem Aufbau des  $\mu$ ProductionTowers resultierende seitliche Zugänglichkeit der einzelnen Funktionsmodule ermöglicht die Adaption weiterer Funktionalitäten. Beispielsweise kann bedarfsorientiert an einzelnen Modulen zusätzliche Lüftungs- und Reinheitstechnik angebracht werden. Dadurch können über die gesamte Prozesskette hinweg spezifizierte Umgebungsbedingungen aufrechterhalten und so die Qualität des Produkts sichergestellt werden. Das System ist in hohem Maße wartungs- und servicefreundlich, da die einzelnen Säulen bei Bedarf auseinander geschoben werden können. Der daraus resultierende begehbare Zwischenraum erlaubt einen direkten Zugriff auf die einzelnen Module und ermöglicht einen einfachen Austausch. Für die Entnahme bzw. das Einsetzen der Prozessmodule können diese schubladenartig ausgefahren und mittels einer Hilfsvorrichtung zu- bzw. abgeführt werden.

Das innovative Anlagenkonzept des  $\mu$ ProductionTowers zeichnet sich besonders durch seine hohe Flexibilität, unterschiedliche applikationsspezifische Funktionsmodule zu integrieren, und durch seine mögliche Skalierbarkeit bis hin zur Tischfabrik aus. Er eignet sich insbesondere für Applikationen mit sich wiederholenden Prozessschritten und erforderlicher definierter Produktionsumgebung sowie bei kleinen bis mittleren Stückzahlen. Das Anwendungsspektrum reicht von der Montage individueller mikro-/nanotechnischer Produkte wie Sensoren oder Implantate über die Prüfung von mikrotechnischen Baugruppen bis hin zur Analyse von Produkten aus dem Bereich Life Science.

### Ausblick

Mit der als Konzeptstudie aufgebauten Laboranlage steht eine flexible Forschungs- und Entwicklungsplattform für mikrotechnische Applikationen zur Verfügung. Durch die geplante Integration unterschiedlicher Prozesse mit Fokus auf die Mikro-montage soll die Basis für die Erarbeitung kundenspezifischer Produktionslösungen geschaffen werden. Des Weiteren wird eine anlagentechnische Umsetzung zusammen mit Produzenten und Anlagenherstellern angestrebt.

- 1 *Konzept des  $\mu$ ProductionTowers.*
- 2 *Kooperierendes Prozess- und Produktmodul.*
- 3 *Laboranlage.*



1

## REINHEIT IM WELTRAUM

Die Abteilung Reinst- und Mikroproduktion hat in den letzten 25 Jahren die verschiedensten Reinheitsfragestellungen für eine Vielzahl von Branchen von der Halbleiterindustrie bis zur Photovoltaik und Automobilindustrie bearbeitet und gelöst. Im Jahr 2009 ist eine völlig neue Sparte hinzugekommen – die Raumfahrt.

### Das »Planetary Protection Program«

Die Mission birgt eine große Verantwortung: Schutz der Menschen auf der Erde und die Garantie für die Vertrauenswürdigkeit von Analyseergebnissen extraterrestrischer Proben. Einen hohen Stellenwert hat dabei die Sauberkeit der Sonden, mit denen ferne Planeten erkundet werden. Das Ziel der Bemühungen im Rahmen des »Planetary Protection Program«, dem sich Institutionen wie die ESA und die NASA verpflichtet haben, gliedert sich in zwei Bereiche. Zum einen muss sichergestellt werden, dass keine noch so kleinen Spuren – vor allem organische Verunreinigungen – von der Erde mit auf die Erkundung ferner Planeten gebracht werden. Sie könnten dort als vermeintliche Spuren von Leben fehl-detektiert werden. Dies würde zu fatalen Fehlschlüssen über die Entwicklung von Planeten führen. Zum anderen muss bei Raumfahrtmissionen, die Materialproben aus dem Weltraum zur Erde zurückbringen, sichergestellt sein, dass keine riskanten Substanzen von anderen Planeten auf der Erde freigesetzt werden, die eine Gefahr für das Leben auf der Erde bedeuten könnten. Bei der nächsten geplanten Mission der ESA wird ein Rover (Fahrzeug) auf den Mars geschickt, mit dem vor Ort Proben gesammelt und analysiert werden. Hier steht somit der erste der beiden eben genannten Aspekte des »Planetary Protection Program« im Vordergrund.

### Die Kooperation mit der Europäischen Weltraumorganisation ESA

Aufgrund der umfassenden und langjährigen Erfahrung der Abteilung Reinst- und Mikroproduktion bei der Beherrschung kritischer Kontaminationen ist das Fraunhofer IPA seit 2009 in drei Projekten mit der ESA und ihren Partnern eingebunden.

Im Zentrum der Arbeiten stehen die Reinigung und reinheitsgerechte Montage von Komponenten für den Mars-Rover. Schon zu Beginn, bei der Entwicklung einzelner Bauteile und Baugruppen, ist die Expertise der Abteilung Reinst- und Mikroproduktion im Bereich des reinigungsgerechten Designs gefragt. Zur Ermittlung der bestmöglichen Reinigungsverfahren werden aufbauend auf umfassenden Studien grundlegende Reinigungstests und Analysen zur Reinigungsvalidierung durchgeführt.

Um die geforderte hohe Reinheit erzielen und messen zu können, kommen sowohl die neuen Referenzreinnräume der ISO-Klasse 1 des Fraunhofer IPA als auch die dort installierten Messtechniken wie vollautomatisierte Feldemissions-Rasterelektronenmikroskope für die Partikeldetektion zum Einsatz. Für den Ultrapurennachweis von organischen oder filmischen Verunreinigungen werden sowohl Ellipsometer eingesetzt, die bis in den Sub-Monolagenbereich sensitiv sind, als auch modernste Gaschromatographie und Massenspektrometrie.

In einer ähnlich hochwertigen Reinraumumgebung wie am Fraunhofer IPA werden später im European Space Research and Technology Centre (ESTEC) der ESA in den Niederlanden die Baugruppen des Mars-Rovers gereinigt und montiert. Die Konzeption dieser Räumlichkeiten und das Training der ESA-Mitarbeiter erfolgt ebenfalls durch Wissenschaftler der Abteilung Reinst- und Mikroproduktion.



2

Je höher die Anforderungen an die Reinheit einer Oberfläche sind, desto wichtiger werden bei einer Reinigung nicht nur die eigentliche Reinigungswirkung, sondern auch die Reinheit des eingesetzten Mediums selbst sowie ein rückstandsfreier Trocknungsprozess. Aus diesem Grund wird der Fokus der Entwicklungen im Rahmen der ESA-Projekte auf die Optimierung der Reinigung mittels Kohlendioxid gelegt. Sowohl als beschleunigter Schnee als auch im flüssigen und überkritischen Bereich bietet das Kohlendioxid eine hervorragende Reinigungswirkung bei gleichzeitig trockenen Bauteilen. Die dazu notwendige Medienversorgungstechnik, die in dieser Reinheit und Verfügbarkeit weltweit einzigartig ist, wurde ebenfalls im Jahr 2009 am Fraunhofer IPA projektiert und installiert.

### **Der »irdische« Nutzen**

Die Kooperation mit der ESA und die Bearbeitung von Fragestellungen im Umfeld des »Planetary Protection Programs« dienen nicht allein dem Selbstzweck der Weltraumforschung. Gerade durch die Weiterentwicklung der Kohlendioxidreinigung in den hochreinen Bereich eröffnen sich neue industrielle Anwendungsfelder dieser Technologie. So können mit den Reinigungsinstallationen am Fraunhofer IPA zukünftig auch Fragestellungen in sensiblen Anwendungen angeboten werden, die bisher mit Kohlendioxid nicht möglich waren. Sowohl in der Forschung und Entwicklung als auch als Dienstleistungspartner eröffnet die Abteilung Reinst- und Mikroproduktion so neue Reinigungsfelder wie in der Halbleiterindustrie, die bisher nasschemischen Reinigungsprozessen vorbehalten war.

- 1 *ExoMars Rover – Phase B1 Konzept (Foto: ESA).*
- 2 *CO<sub>2</sub>-Schwenkdüse zur Innenreinigung von Bauteilen.*



## TESTPLATTFORM FÜR DIE HANDHABUNG DÜNNER SUBSTRATE

### Ausgangssituation

Bruch ist in vielen Haushalten keine Seltenheit. Ob Teller oder Gläser – beim Hantieren mit Glas und Porzellan geht immer mal wieder etwas zu Bruch. Gerade bei teuren Weingläsern passiert es schnell, da deren Wandstärke teilweise unter einem Millimeter liegt. Dabei haben solche Weingläser noch den Vorteil, dass sie durch ihre runde Form zerstörerische Kräfte ganz gut aufnehmen können.

Anders bei den heutigen Siliziumwafern für die Photovoltaikindustrie. Diese quadratischen Substrate mit einer typischen Kantenlänge von 156 mm werden derzeit schon millionenfach für die Produktion von Photovoltaikmodulen verwendet – und das bei einer aktuell typischen Stärke von 180  $\mu\text{m}$ , also nicht einmal ein Fünftel eines Millimeters. Diese Wafer sind sowohl an den Kanten als auch auf den Flächen extrem bruchgefährdet. Dabei müssen sie in der Produktion eine wahre Tortur bestehen. Sie werden gesägt, geätzt, mehrfach erhitzt, schließlich verlötet und zwischen Folien einlaminiert.

Um diese Prozesse möglichst schonend und schnell miteinander zu verbinden, baut das Fraunhofer IPA sein Testzentrum für die Handhabung von Wafern in der Photovoltaikproduktion weiter aus. Damit reagiert das Fraunhofer IPA auf die wachsenden Bedürfnisse der Industrie, immer dünnere Wafer sowohl schnell als auch kostengünstig prozessieren zu können. Die Bruchrate muss dabei natürlich auf einem niedrigen Niveau gehalten werden. Ansonsten würden verlorene Materialkosten des teuren Siliziums als auch verlorene Prozesszeit der Anlagen die hart erarbeiteten Vorteile wieder vernichten.

Im Testzentrum werden daher aktuell verschiedene Greifer auf ihre Eignung, Stärken und Schwächen für die jeweiligen Ein-

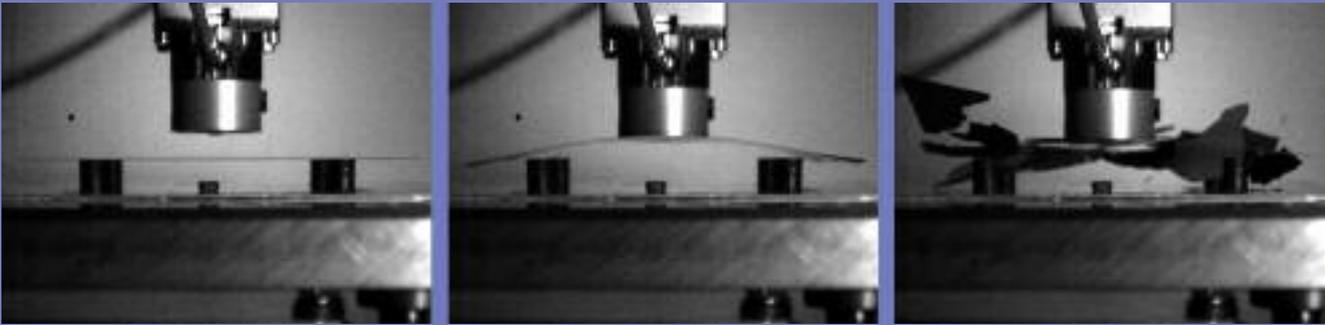
satzgebiete je nach Prozessfortschritt überprüft, um sowohl Herstellern als auch Anwendern wichtige Informationen und Verbesserungsvorschläge geben zu können. Dieser Ansatz wird zukünftig auch auf andere wichtige Komponenten wie Förderbänder, Kassetten und andere Bestandteile einer Produktionslinie übertragen.

Die in Bild 3 dargestellte Sequenz eines Aufnahmeprozesses unter extremem Druck, Beschleunigung und Geschwindigkeit zeigt die Grenzen von herkömmlichen Greifern für dünne Siliziumwafer von 120  $\mu\text{m}$  auf. Mit Hilfe einer Hochgeschwindigkeitskamera können die physikalischen Grenzen eines solchen Handhabungsvorgangs für das menschliche Auge visualisiert und somit auch bewertet werden.

Neben der Prüfung von Komponenten wird das Testzentrum für Weiterentwicklungen von Produktionslinien genutzt. Dabei geht es um weitere Beschleunigung der Taktzeiten auf unter 1 Wafer/Sekunde. Darüber hinaus wird auch in Zukunft die Waferstärke weiter reduziert werden, sofern dies in der Produktion umsetzbar ist. Experimente dazu werden im Testzentrum durchgeführt. Derzeit sind Wafer mit einer Stärke von 120  $\mu\text{m}$  Gegenstand von Untersuchungen. Schon länger in der Diskussion ist auch eine Steigerung der Wafergröße auf 210 mm Kantenlänge.

### Aufgabe und Vorgehensweise

Um einen optimalen Materialfluss in einer Volumenproduktion von immer dünneren Solarwafern zu gewährleisten, muss ein hochautomatisiertes, berührungsarmes und dennoch kostengünstiges System gewählt werden. Dieser Zielkonflikt erfordert von der Industrie neue Lösungsansätze und ständige Verbesserungen an den eingesetzten Handhabungs- und Transport-



systemen. Diese neuen Ansätze bzw. das Optimierungspotenzial bestehender Lösungen kann mit Hilfe der Fraunhofer Wissenschaftler im neuen Testzentrum getestet und bewertet werden.

Im Fokus stehen dabei Greifer, welche in Photovoltaikfertigungen an verschiedenen Stellen zum Einsatz kommen, beispielsweise um Wafer aus einer Transportbox zu vereinzeln oder auf andere Werkstückträger umzusetzen. Diese Greifer arbeiten fast ausnahmslos nach dem Prinzip, den Wafer auf der Oberseite zu greifen. Je nach verwendeter Technologie kann dies vollflächig, an definierten Punkten oder auch berührungsarm erfolgen. Typische Greifprinzipien basieren dabei auf:

- Vakuum
- Bernoulli-Prinzip
- Ultraschall

Die experimentelle Analyse eines neuen Greifers für die Handhabung von Wafern und Zellen wird beispielsweise mit Hilfe eines Handhabungssystems mit zwei Linearachsen und einer hochwertigen Messtechnik unter realitätsnahen Industrieparametern durchgeführt. Zum aktuellen Zeitpunkt können dabei qualitative Werte wie Positioniergenauigkeit, maximale Beschleunigung und Geschwindigkeit, notwendiger Luftverbrauch etc. ermittelt werden. Zusätzlich fließen aber auch qualitative Beobachtungen wie zum Beispiel das Erkennen von Vibrationen an den Waferkanten oder die Ausführung des Aufnahme-, Transport- und Ablagevorgangs in die Analyse mit ein. Diese Beobachtungen können mit Hilfe von Hochgeschwindigkeitsaufnahmen und deren anschließender Beurteilung durchgeführt werden.

Da der »Pick and Place«-Vorgang bzw. der jeweilige Greifer unter möglichst realen Bedingungen getestet werden soll, ist neben dem Greifen und Ablegen vom stehenden Förderband auch ein Greifen von einem so genannten »Vereinzeler« in die Testplattform integriert (s. Bild 2). Dieser Vereinzeler wird mit einem Waferstapel beladen und stellt mit Hilfe von

Luftdüsen den bzw. die obersten Wafer des Stapels schwebend zur Einzelabnahme durch den Greifer an definierter Position bereit.

Die Evaluierung der Testergebnisse erfolgt im Benchmark mit den bislang am Fraunhofer IPA getesteten Greifern. Inzwischen sind hierfür bereits Vergleichswerte von zehn unterschiedlichen Greifern vorhanden. Dabei handelt es sich sowohl um neue Prototypen aus Forschungsprojekten als auch um Serienprodukte von Industriekunden, die bereits in der Serienfertigung eingesetzt werden.

**Fazit**

Der Ausbau des Testzentrums geht weiter zügig voran. Ende des Jahres 2009 wurde ein Messgerät installiert, welches die Wafer auf feinste Mikrorisse untersuchen kann. Daran anschließend werden weitere Handhabungskomponenten für die Einordnung in Kassetten, das Ausrichten der Wafer und den berührungsarmen Transport hinzukommen.

Derzeit steht die Photovoltaikproduktion ganz im Mittelpunkt der Untersuchungen. Jedoch sind schon andere Industrien mit ähnlichen Anforderungen für dünne und fragile Substrate auf das Testzentrum aufmerksam geworden.

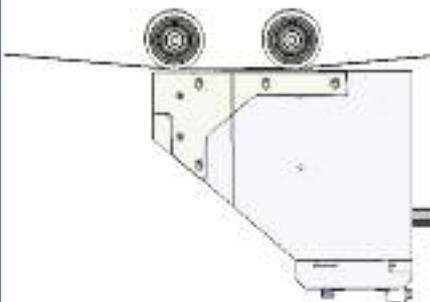
**Danksagung**

Neben eigenen Investitionsmitteln wird der Aufbau und Betrieb des Testzentrums auch durch Mittel aus dem Projekt »HighSol« im 6. Rahmenprogramm der Europäischen Union unterstützt.

- 1 *Siliziumwafer.*
- 2 *Testplattform.*
- 3 *Sequenz eines Aufnahmevorgangs.*



1



2



## REINHEIT VON GROSSFLÄCHIGEN BAUTEILEN INLINE ERFASSEN

Viele technische (raue) Oberflächen müssen einen hohen partikulären Reinheitsgrad aufweisen, damit bei ihrer Herstellung und Verarbeitung keine Fehlstellen entstehen, welche zu Qualitätseinbußen oder Funktionsverlusten führen. Dies ist z. B. bei der Beschichtung von Folien, Blechen und Gläsern der Fall. Vor allem, wenn auf diese Oberflächen sehr dünne Schichtdicken aufgebracht werden sollen, verschärfen sich die Reinheitsanforderungen extrem. Im Bereich der Solar- und Bildschirmtechnik müssen großflächige Substrate (Silizium, Glas) mit hoher Reinheit hergestellt und verarbeitet werden. Hier stören bereits wenige Partikel im  $\mu\text{m}$ -Bereich auf Flächen bis zu mehreren Quadratmetern.

### Lösungsansatz

Um die Fertigungssicherheit und Qualität der Produkte zu verbessern, wäre die Prüfung der gesamten Flächen auf partikuläre Reinheit wichtig. Dies würde auch eine bedarfsangepasste Reinigung vor der Weiterverarbeitung ermöglichen. Die Erfassung von kleinen Partikeln im  $\mu\text{m}$ -Bereich erfordert allerdings hochauflösende Messmethoden, mit denen in der Regel nur ein sehr kleiner Teil der Oberfläche untersucht werden kann. Darüber hinaus bedeutet dies einen hohen technischen, finanziellen und zeitlichen Aufwand. Eine 100-Prozent-Reinheitsprüfung von rauen technischen Oberflächen ist derzeit nicht oder nur in Teilaspekten fertigungsintegriert möglich.

Um diese Problematik zu entschärfen, wurde am Fraunhofer IPA im Rahmen eines internen Forschungsprojekts ein Sensorsystem entwickelt und zum Patent angemeldet, welches das Potenzial

bietet, technische Oberflächen großflächig und schnell hinsichtlich der Anwesenheit einzelner Partikel zu überprüfen.

Die Basis des Messsystems stellt die im Labor- und Fertigungseinsatz bewährte Streiflichtmethode dar. Hierbei wird die zu untersuchende Oberfläche mit einem an das jeweilige Material angepassten flachen Winkel beleuchtet. Dadurch wird der Beleuchtungsstrahl ebenfalls sehr flach von der Oberfläche reflektiert und es gelangt kaum Licht in den senkrecht über der beleuchteten Oberfläche angebrachten Detektor. Eine saubere Oberfläche erscheint deshalb dunkel. Der Detektor misst sehr genau auch geringe Lichtmengen, die von der Oberfläche ausgehen. Befinden sich Partikel darauf, streuen diese das Licht und der Detektor erfasst entsprechend der Partikelgröße verschiedene Lichtintensitäten.

Mit Hilfe eines speziellen Lichtleitsystems kann eine Messzone realisiert werden, welche bei flachen Substraten einen breiten Streifen untersucht. Während der Messung wird der Sensor in geringem Abstand über die zu untersuchende Oberfläche geführt oder diese unter dem Sensor hindurchbewegt. Durch Aneinanderreihung mehrerer Sensoren können beliebig breite Substrate untersucht werden. Mit diesem neuen Sensor können Partikel bis in den Submikrometer-Bereich online erfasst werden.

Mit Hilfe des Messsystems erhält man ein zeit- und positionsaufgelöstes Bild des Reinheitszustands der jeweiligen Oberfläche. Die Auswertung der erfassten Streulichtsignale erfolgt sehr schnell, da keine aufwändigen Auswertalgorithmen erforderlich sind. So wird die Untersuchung von großen Flächen im Fertigungsfluss möglich.



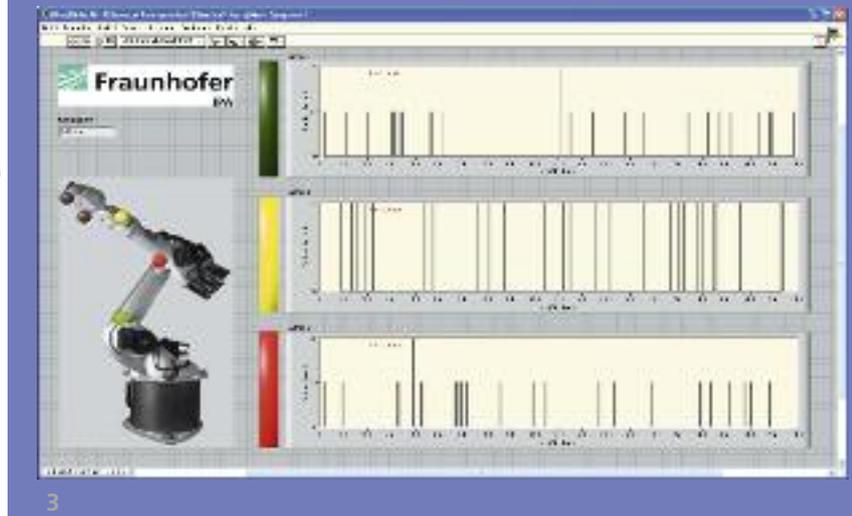
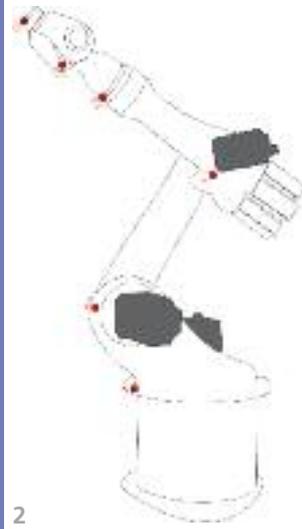
3

## Ausblick

Das Messsystem steht derzeit als Funktionsmuster zur Verfügung, um Testmessungen durchzuführen. Die ersten Erfahrungen waren Erfolg versprechend, weitere Applikationsentwicklungen laufen derzeit.

Im Rahmen eines Fraunhofer-Forschungsprojekts der Allianz »Polymere Oberflächen« (POLO) zur Entwicklung von Hochbarrierefolien wurde das System bereits zur Charakterisierung von Folien eingesetzt. Im Rahmen dieses Projekts, an dem außer dem Fraunhofer IPA noch das Fraunhofer FEP in Dresden, das Fraunhofer IVV in Freising, das Fraunhofer IAP in Golm sowie das Fraunhofer ISC in Würzburg beteiligt sind, stellte sich heraus, dass die Herstellung von Hochbarrierefolien die Beherrschung der Kontaminationssituation bis in den Partikelgrößenbereich von einigen hundert Nanometern erfordert. Diese Genauigkeit bei hoher Messgeschwindigkeit bietet das neue System. In einem nächsten Schritt soll es in Zusammenarbeit mit einem Gerätehersteller kommerzialisiert und für verschiedene Anwendungsfelder zugänglich gemacht werden.

- 1 Partikel auf einer Folie mit Streiflicht beleuchtet.
- 2 Prinzipieller Aufbau zur Untersuchung von Folien. Die Folie wird über Führungsrollen dicht am Messkopf vorbei geführt (links). Durch Kombination mehrerer Messköpfe kann eine vollflächige Untersuchung von Oberflächen erreicht werden.
- 3 Messkopf mit Positioniersystem (links). Software zur Steuerung des Systems und zur Auswertung der Messsignale (rechts).



## HOCHSENSIBLE VERSCHLEISSERKENNUNG FÜR DIE INTEGRATION IN MASCHINEN

Bei den meisten technischen Systemen, die Verschleiß unterliegen, kommt es zum Abrieb von kleinsten Materialteilen, der sich mit der Zeit zu merklichen oder funktionskritischen Oberflächenveränderungen summiert. Untersuchungen der Abteilung Reinst- und Mikroproduktion des Fraunhofer IPA haben gezeigt, dass die Detektion der durch Verschleiß freigesetzten Mikroteilchen mit Partikelzählern um mehrere Größenordnungen sensibler ist als die optische Bewertung von Verschleißspuren an den Bauteilen.

### Clean Reliability Equipment Monitoring System (CREMS)

Aus diesen Erkenntnissen wurde die Idee geboren, optische Partikelzähler, wie sie zur Überwachung von Reinräumen eingesetzt wurden, als Basis für eine Sensorik zu verwenden, die eine hochsensible und frühzeitige Verschleißerkennung zulässt. Am Fraunhofer IPA wurde erstmals ein Überwachungssystem auf Basis von Luftpartikelzählern in einen Reinraumroboter integriert und der Öffentlichkeit vorgestellt. Auch Baden-Württembergs damaliger Ministerpräsident Günther Oettinger konnte sich bei den Feierlichkeiten zum 50-jährigen Jubiläum des Instituts von der Leistungsfähigkeit des Systems überzeugen. Im vorgestellten Beispiel wird jedes Gelenk eines Roboters mit einem eigenen Partikelzähler überwacht, die Partikelabgabe gemessen und bei einer Grenzwertüberschreitung ein Signal ausgelöst.

### Miniaturisierung und Integration

Für ein flächendeckendes Monitoring von verschleißsensiblen Elementen in reinen Produktionen sind kommerzielle Luftpartikelzähler noch zu teuer. Die Spanne reicht dabei von 2 500 Euro für einen einfachen Sensor mit externer Pumpe bis zu

mehreren 10 000 Euro für hochempfindliche Systeme mit integrierter Pumpe und Auswertung.

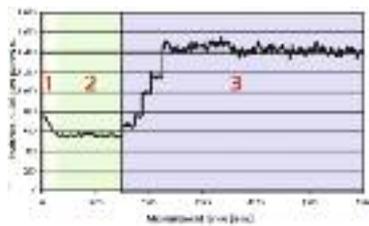
Aus diesem Grund haben die Entwicklungen des Fraunhofer IPA das Ziel, eine kleine und extrem kostengünstige Partikelzähler-Sensorik zu entwickeln, die sich direkt in die zu überwachenden Anlagen an den verschleißkritischen Stellen anbringen lässt. Dabei werden zwei parallele Entwicklungswege konsequent verfolgt:

- Die Miniaturisierung der optischen Messzelle unter Verwendung einfach zu fertigender Komponenten
- Die Modularisierung/Trennung von Messzelle und zentraler Versorgungs- und Auswerteeinheit

Dadurch wird es in Kürze möglich sein, mehrere elektronisch passive Sensorköpfe mit einem Durchmesser von ca. 1 cm und einer Länge von ca. 2 cm direkt an den zu überwachenden Stellen anzubringen und über eine zentrale Einheit, z. B. im Maschinensockel, zu versorgen und auszuwerten.

### Anwendungsgebiete und Vorteile

Aufgrund der hohen Sensitivität des optischen Partikel-detectionsprinzips eignet sich die entwickelte Sensorik primär zur Überwachung von reinen Fertigungsbereichen. Für den Betreiber einer solchen Fertigung bietet sich damit die Möglichkeit, den Einfluss von produktschädigenden Partikeln lückenlos zu erfassen und bei erhöhten Werten Maßnahmen zum Produktschutz zu ergreifen. Dies dürfte insbesondere in der Halbleiterproduktion, wo z. B. ein Los aus 25 prozessierten Silizium-Wafern einen Euro-Wert im Millionen-Bereich hat, eine entscheidende Verbesserung der Qualität und Ausbeute mit sich bringen.



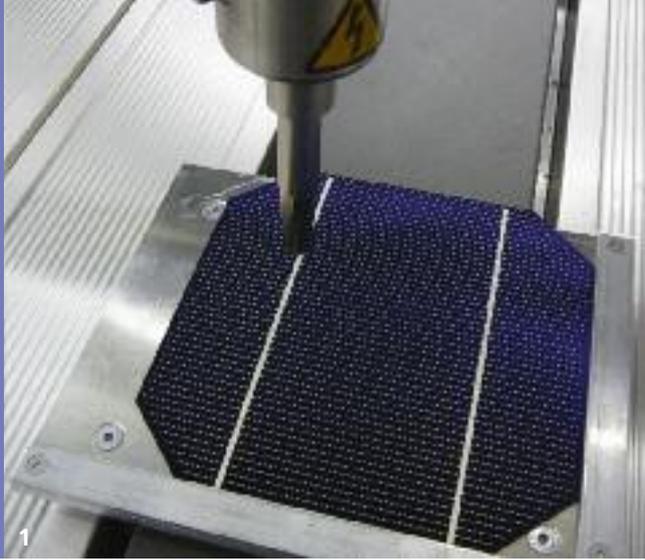
**Verschleißphase:**  
 1. Einlaufphase  
 (erhöhter Einlaufverschleiß)  
 2. Verharrungszustand  
 (konstante Verschleißrate)  
 3. Ausfallphase  
 (progressiver Verschleißanstieg)

4

Aber auch für die Hersteller von Anlagen für die reine Produktion kann der Einbau der neuen Sensorik entscheidende Vorteile bringen. So ist es zum einen möglich, dem Kunden zu garantieren, dass die Partikelabgabe einer Anlage lückenlos überwacht wird, zum anderen können verschleißbedingte Wartungen nun bedarfsorientiert und nicht mehr rein präventiv durchgeführt werden. Konkret bedeutet dies, dass z. B. ein Lager erst dann getauscht oder geschmiert werden muss, wenn tatsächlich eine erhöhte Partikelabgabe gemessen wird, und nicht wie bisher in rein zeitlich gesteuerten Intervallen.

Ein weiterer Vorteil ergibt sich aus dem elektrisch passiven Aufbau der Sensorzellen. Die Partikelmesstechnik kann direkt in brennbaren oder explosiven Umgebungen eingesetzt werden, ohne wie bisher die Probenahmeverluste in den langen Ansaugleitungen tolerieren zu müssen.

- 1 *Miniaturisierter Messkopf.*
- 2 *Integration im Roboter.*
- 3 *Ergebnisdarstellung.*
- 4 *Beispielhafter Verlauf des lokalen Systemverschleißes.*



# SOLARKONTAKT – OPTIMIERUNG DER ZELLENKONTAKTIERUNG IN DER PV-MODUL-PRODUKTION

## Ausgangssituation

Das zuverlässige Handhaben und Kontaktieren von Solarzellen im Zuge der Herstellung von Photovoltaikmodulen ist für die Qualität von entscheidender Bedeutung. Hierbei stellen die immer dünner werdenden Siliziumzellen eine große Herausforderung dar.

Um die Industrie in die Lage zu versetzen, mit neuen Produktionslösungen die automatisierte Herstellung von zukünftigen Solarmodulen zu beherrschen, wurde vom Fraunhofer IPA und dem Institut für Physikalische Elektronik (IPE) der Universität Stuttgart zusammen mit vier Industriepartnern das Forschungsprojekt »Solarkontakt – Modulkontaktierung für dünne und ultradünne Solarzellen aus Silizium« durchgeführt. Bei dem Projekt handelte es sich um einen Forschungsauftrag des Landes Baden-Württemberg, das aus Mitteln der Landesstiftung Baden-Württemberg gGmbH finanziert wurde. Ziel des Vorhabens war die Etablierung einer Forschungs- und Entwicklungsplattform zur Lösung produktionstechnischer Fragestellungen im Bereich der Modulherstellung.

## Lösungen und Ergebnisse (Auszug)

Photovoltaikmodule bestehen u. a. aus mehreren Verbänden von Solarzellen, den so genannten Strings. Miteinander verschaltet sind die einzelnen Zellen mit elektrisch leitenden Bändchen. Die Qualität dieser Kontaktierung mit dem Busbar auf der Zellenoberfläche stellt einen entscheidenden Faktor für die Leistungsfähigkeit und Zuverlässigkeit der Module dar. Abhängig ist diese im Wesentlichen vom Oberflächenzustand der beiden Kontaktflächen.

Untersucht wurde z. B. der Einfluss einer Vorkonditionierung der Kontakte mit atmosphärischem Plasma (Bild 1). So ergab sich bei einer Vorbehandlung des Busbar vor der Montage eine Verbesserung der elektrischen Verbindungsqualität und der durch Abziehen ermittelten mechanischen Zugfestigkeit.

Bei der heute eingesetzten Löttechnik bedarf es zur Herstellung einer Verbindung der Anwendung von Flussmittel zur Oberflächenaktivierung. Konventionelle Auftragsysteme können den steigenden Anforderungen an Homogenität und Genauigkeit nur bedingt genügen.

Als Lösungsansatz wurde ein Auftragsverfahren untersucht, mit dem das Medium gleichzeitig auf alle Busbars der Solarzelle aufgebracht werden kann. Realisiert wurde eine Versuchsvorrichtung zur Weiterentwicklung des Verfahrens und Anpassung an zukünftige dünne, folienartige Solarzellen (Bild 2).

## Ausblick

Die beispielhaften Forschungsarbeiten im Bereich der Kontaktierung, verbunden mit den Erkenntnissen zur Handhabung dünner Zellensubstrate, bilden die Basis für zukünftige applikationsspezifische Entwicklungen, die im Rahmen der aufgebauten Forschungs- und Entwicklungsplattform zur PV-Modulproduktion angeboten werden.

1 Vorkonditionierung mit atmosphärischem Plasma.

2 Vorrichtung zum Flussmittelauftragen.

---

# TECHNISCHE INFORMATIONSVERARBEITUNG

---

Global verteilte Produktionsstandorte, virtuelle Unternehmensnetzwerke, konfigurierbare Produktionssysteme und intelligente Fertigungstechnologien sind Schlagworte moderner Unternehmens- und Produktionsstrukturen. Die Kommunikation über hierarchische Strukturen und Ebenen hinweg erfolgt hierbei mittels Daten und Signalen, die für die Informationsvermittlung und den effizienten Einsatz innovativer Strategien und Systeme entsprechend aufbereitet werden müssen.

Ob in der Qualitätssicherung oder während des gesamten Produktlebenszyklus, überall dort werden Zustände durch Sensoren erfasst und durch angepasste Softwarelösungen für technische und organisatorische Entscheidungen aufbereitet. Es entstehen somit riesige Datenmengen und Informationsflüsse, die nur durch strukturierte und bedarfsorientierte Informationstechnik beherrschbar und für das Unternehmen gewinnbringend aufzubereiten sind.

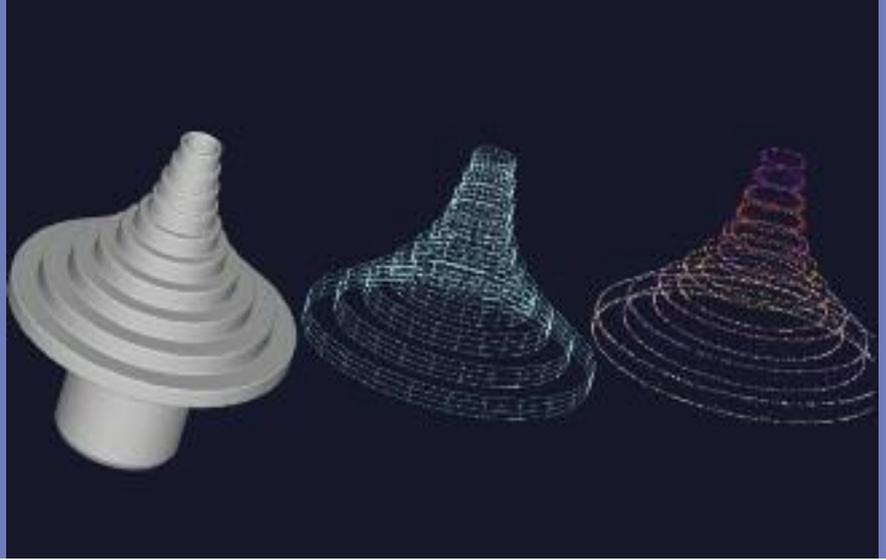
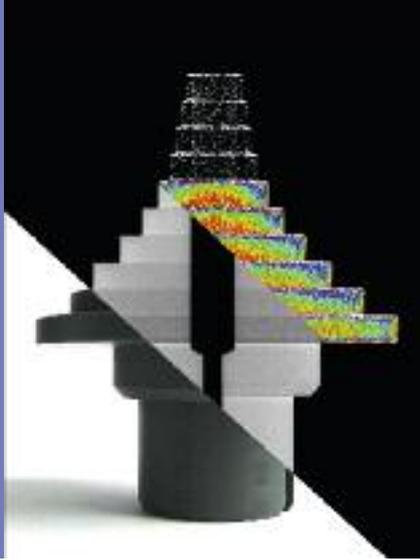
Die Abteilung Technische Informationsverarbeitung entwickelt und realisiert System- und Applikationslösungen für die Informationsverarbeitung im Zusammenspiel mit technischen Prozessen. Im Fokus der Forschungs- und Entwicklungsarbeiten stehen intelligente Qualitätstechniken für die Null-Fehler-Produktion, wissensbasierte Informationstechnik für moderne Automatisierungssysteme und flexible Fertigungstechnologien für die effiziente Kleinserienfertigung.

Die Kernkompetenzen der Abteilung konzentrieren sich hierbei auf folgende Bereiche:

- Mess- und Prüftechnik
- Industrielle Bildverarbeitung
- Prozessüberwachung und Qualitätsprognose
- 3-D-Datenverarbeitung und Reverse Engineering
- Flexible und konfigurierbare Fertigungstechnologien
- Rapid Manufacturing

Das Spektrum der bearbeiteten Fragestellungen reicht von der Entwicklung grundlegender Bildverarbeitungsalgorithmen und innovativer Mess- und Prüfsysteme über Regelungssysteme für die qualitätsorientierte Produktion bis hin zur Konzeption und Entwicklung von Prozessketten und -technologien zur Erzeugung von Funktionsoberflächen in der Nano- und Biotechnologie.

Unsere Kunden sind sowohl Systemhäuser, für die wir innovative Produkte und Konzepte entwickeln, als auch Endanwender, die maßgeschneiderte Problemlösungen benötigen. Bei der Projektbearbeitung können wir auf jahrelange Erfahrung und interdisziplinäres Wissen zurückgreifen.



## 3-D-MESSDATENVERARBEITUNG

In den letzten Jahren wurden in der Abteilung »Technische Informationsverarbeitung« zahlreiche Algorithmen zur intelligenten messtechnischen Verarbeitung von 3-D-Daten entwickelt. Diese werden stets nach aktuellen und individuellen Problemstellungen erweitert und angepasst. Hierbei zählt neben der messtechnischen Auswertung von 3-D-Oberflächendaten auch die software-technische Übertragung neuer 3-D-Sensorik und deren Ergebnisdaten in die Praxis zu den wichtigsten Arbeitsgebieten. Damit wird die Anwendbarkeit von 3-D-Technologien in vielfältigen Einsatzgebieten gewährleistet.

### Neue Möglichkeiten der 3-D-Datenerzeugung

Eine Möglichkeit, 3-D-Daten einer Szene zu erhalten, bietet eine neue Generation kompakter und kostengünstiger 3-D-Laufzeitkameras. Sie bilden die Umgebung bezüglich des geometrischen Abstandes ab, nicht bezüglich der Lichtintensität (Grauwert, Farbe). Die Genauigkeit der Abstandsmessung von 3-D-Laufzeitkameras ist von verschiedenen Einflussfaktoren abhängig. Um diese Technologie praxistauglich zu machen, wurden am Fraunhofer IPA mehrere Verfahren zur Datenaufbereitung umgesetzt. Dazu gehören unter anderem eine intensitätsabhängige Kamerakalibrierung zur Tiefenkorrektur sowie angepasste Filter zur Erkennung von Sprungkanten, welche zur wesentlichen Verbesserung der Datenqualität beitragen.

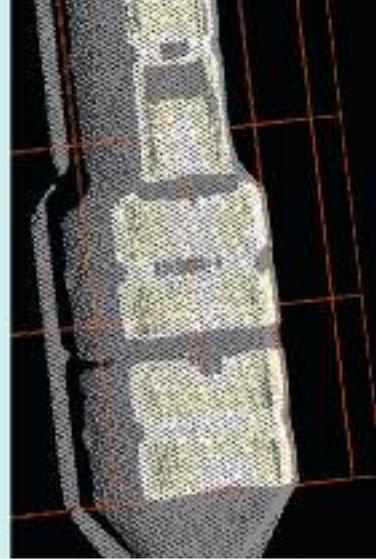
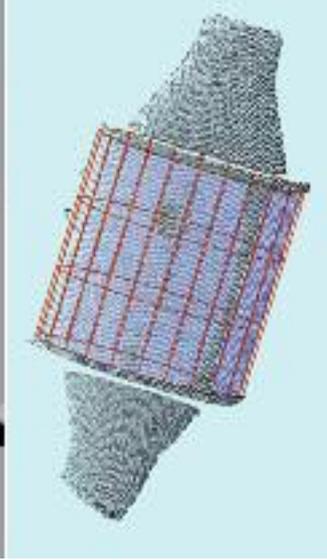
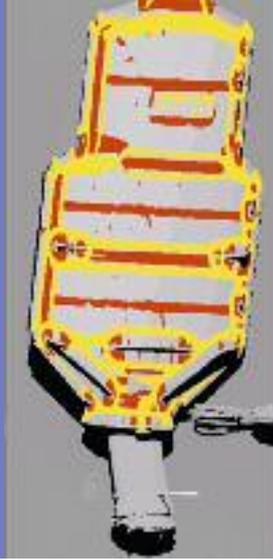
Darüber hinaus ist die Verarbeitung und Handhabung von Volumendaten, wie sie z. B. bei einer Computertomographie entstehen, ein wichtiges Arbeitsgebiet. Dabei handelt es sich zum einen um Möglichkeiten zur adäquaten Visualisierung von Volumendaten, d. h. beispielsweise mit manueller und automatisierter Koordinatentransformation oder mit Grauwertanpassung. Zum anderen ist die Berechnung von Oberflächendaten aus Volumendaten ein großes Forschungsthema. Hier wurden sowohl bestehende Verfahren um intelligente Verarbeitungsschritte wie eine Onlinedatenreduktion oder optimierte Speicher-

nutzung erweitert als auch neue Ansätze entwickelt wie eine regionenbasierte und aufgabenangepasste Oberflächenfindung zur Verbesserung der Datenqualität und Datenkontrolle für den Anwender.

### Innovative Lösungen zur 3-D-Datenauswertung

Am Fraunhofer IPA wurden Verfahren zur Besteinpassung von regelgeometrischen Kurven wie z. B. Kreisen oder Ellipsen sowie von regelgeometrischen Flächen wie Ebenen, Zylindern, Kugeln, Kegeln oder Tori nach der Methode der kleinsten Fehlerquadrate bzw. Gaußeinpassung entwickelt. Damit können alle parametrisch oder implizit beschreibbaren Elemente eingepasst werden. Diese Verfahren beinhalten eine Segmentierung, die alle nicht zum Objekt gehörenden Punkte automatisch von der Einpassung ausschließt. Neben der Einpassung einzelner regelgeometrischer Grundelemente wurden außerdem Algorithmen zur Einpassung von kombinierten regelgeometrischen Elementen wie z. B. konzentrischen Zylindern oder Langlöchern als 3-D-Objekte entwickelt. Weiterhin wurde ein eigenes Verfahren zur Besteinpassung von triangulierten CAD-Modellen in Messpunkt-wolken realisiert. Nicht für alle Anwendungen ist die Gaußeinpassung geeignet, deshalb existieren am Fraunhofer IPA eigene Algorithmen für verschiedene Einpassungen nach Tschebyscheff und Minimum-Zone-Einpassungen. Eine weitere Lösung zur Segmentierung geometrisch zusammengehöriger Bereiche ist die krümmungsbasierte Identifikation von Gebieten. Hierbei wurden Verfahren umgesetzt, die lokale Krümmungsuntersuchungen durchführen, um eine Messpunkt-wolke in Bereiche ähnlicher Krümmung zu zerlegen.

Das Spektrum der Softwaremodule am Fraunhofer IPA umfasst derzeit eine Vielzahl an Lösungen zur automatisierten, intelligenten 3-D-Messdatenverarbeitung, welche für unterschiedliche industrielle Anforderungen, z. B. in der Mess- und Prüftechnik oder Objekterkennung, einsetzbar und erweiterbar sind.



## RECYCVISION – AUTOMATISCHE ALTGERÄTE-KLASSIFIKATION

Bei komplexen Recyclingaufgaben und einem hohen Spezialisierungsgrad bei den Verwertern rückt die Wirtschaftlichkeit von Recyclingprozessen zunehmend in den Fokus der beteiligten Akteure. Aufgrund knapper Ressourcen sowie gesetzlicher Auflagen besteht zunehmend die Notwendigkeit, Altgeräte und Teilkomponenten dem Recycling oder einer Aufarbeitung zur Wiederverwendung zuzuführen. Dabei ist eine Steigerung des Automatisierungsgrads bei einem hohen Altgerätaufkommen zukünftig unausweichlich.

Ein früher Schritt in der Recyclingkette ist die Sortierung von Altteilen und Altgeräten, um eine angepasste Verwertung initiieren zu können. Hierbei ist die Objektidentifikation in der Praxis äußerst schwierig zu automatisieren, da der Zustand der Altgeräte aufgrund von Korrosion, Verformungen oder sonstigen Beschädigungen der Oberfläche sowie durch fehlende oder unleserliche Markierungen oft sehr schlecht ist. Daher erfolgt die Identifikation von Altgeräten gegenwärtig noch weitestgehend manuell, was aufgrund einer sehr großen Typenvielfalt fehleranfällig ist.

### Robuste Identifikation von beschädigten oder schwer zu klassifizierenden Objekten

Um die Erkennung und Klassifikation von Altgeräten automatisiert durchführen zu können, kann nicht davon ausgegangen werden, dass alle Varianten der unterschiedlichen Typen mit ihren Gebrauchsspuren mit einem einzigen Erkennungsalgorithmus klassifiziert werden können. Deshalb musste eine größere Anzahl von Einzelalgorithmen entwickelt werden, die in der »RecycVision« genannten Toolbox zusammengefasst wurden. Ziel der Toolbox ist hierbei eine auf optischen Merkmalen basierende robuste und lageinvariante Typidentifikation. Als Grundlage für die Klassifikation werden die Oberflächen der Altgeräte

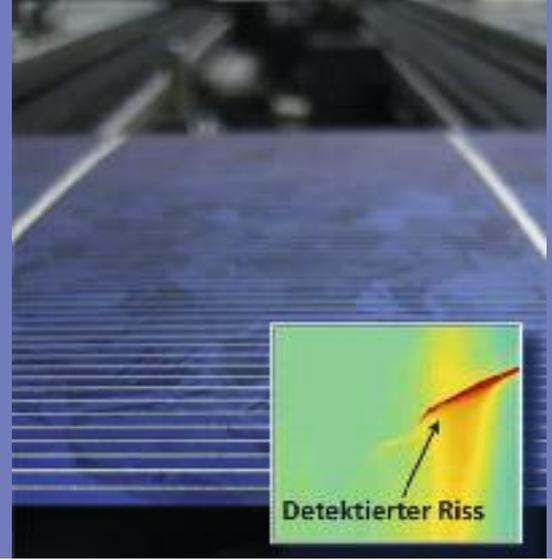
zunächst mit einem Lichtschnittsensor dreidimensional erfasst, da durch Verschmutzungen und andere Gebrauchsspuren mit klassischer 2-D-Kameratechnik und Bildverarbeitung eine eindeutige Identifikation nicht durchführbar ist. Zur Auswertung der ermittelten 3-D-Daten wurden neue Algorithmen entwickelt, die anhand der Sensordaten sowohl globale als auch charakteristische lokale Merkmale des Altgeräts robust erkennen. Die Extraktion der Merkmale aus den 3-D-Daten weist eine große Toleranz gegenüber unterschiedlichen Lagen der Teile auf, was für eine praktische Einsetzbarkeit unabdingbar ist. Für die Klassifikation werden dem System zuerst in einer Trainingsphase die bis dahin unbekannten Objekte bekannt gemacht und Referenzdaten für die Klassifikation im Sortierbetrieb erzeugt. Sämtliche Merkmale werden auf Plausibilität mit bekannten Mustern überprüft, bevor sie zur Klassifikation verwendet werden. Lokale Beschädigungen beeinflussen daher das Klassifikationsergebnis nicht und eine sehr robuste Klassifikation kann gewährleistet werden. Die Auswahl der am besten geeigneten Merkmale erfolgt dabei automatisch.

### Praktische Erprobung anhand von Katalysatoren

Die Leistungsfähigkeit der RecycVision-Toolbox wurde am Beispiel »Alt-Katalysatoren« erprobt und steht als Demonstrator am Fraunhofer IPA zur Verfügung. In Versuchen wurde nachgewiesen, dass eine Verdeckung von bis zu 30 Prozent der Oberfläche, in der sich einige charakteristische Merkmale befinden, die Klassifikationsleistung nicht beeinträchtigt.

### Zusammenfassung

Mit »RecycVision« steht eine leicht an unterschiedliche Erkennungs- und Klassifikationsaufgaben anpassbare Toolbox von Software-Algorithmen für den industriellen Einsatz zur Verfügung.



## ERWÄRMUNG MACHT RISSE SICHTBAR: INLINE-PRÜFUNG VON SOLARZELLEN

Für den wirtschaftlichen Erfolg eines Solarzellenherstellers ist es wichtig, dass er die Qualität der gefertigten Zellen kontinuierlich überwacht und sie gegenüber seinen Kunden belegen kann. In der Praxis vergleichsweise häufig auftretende Fehler sind große oder kleine Risse (sog. Mikrorisse) im Siliziummaterial, die typischerweise auf mechanische Belastungen im Fertigungsprozess zurückzuführen sind.

Da Solarzellen am Ende der Fertigung mit einer vollflächigen Rückkontaktierung aus Aluminium versehen sind und die Risse zudem sehr fein sind, kommen klassische Methoden der Bildverarbeitung wie z. B. Durchlichtmessungen oder Dunkelfeldaufnahmen für eine taktsynchrone Inline-Prüfung nicht in Frage.

### Wärmefluss thermographie als Grundprinzip

In einem vom BMWi geförderten Forschungsprojekt ist am Fraunhofer IPA ein System zur Inspektion von Solarzellen am Ende von Fertigungslinien entwickelt worden. Die Prüfung basiert auf dem Prinzip der Wärmefluss thermographie, die sich als zerstörungsfreie Prüftechnik zunehmend im industriellen Umfeld etabliert.

Die Besonderheit des Verfahrens liegt in der Verwendung eines inhomogenen Wärmemusters als Anregungsquelle, das in diesem Projekt über ohmsche Heizelemente realisiert wird. Risse im Silizium-Material wirken als Wärmebarriere, die die Ausbreitung der eingebrachten Wärme verlangsamen. Wichtig für eine zuverlässige Risserkennung ist die optimale räumliche Verteilung der Heizelemente, die im Rahmen des Projekts über FEM-Simulationen ermittelt wurde. Die Wärmeausbreitung wird mit einer schnellen Infrarotkamera erfasst. Man erhält auf diese Weise tausende von Temperaturwerten und somit detaillierte Informationen über die räumliche Wärmeentwick-

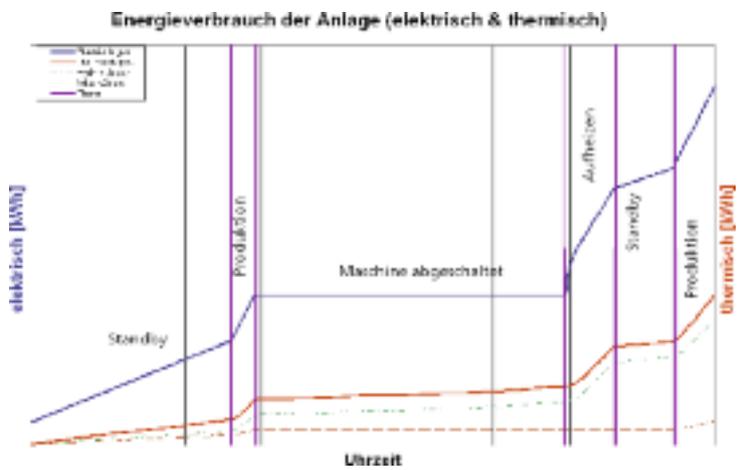
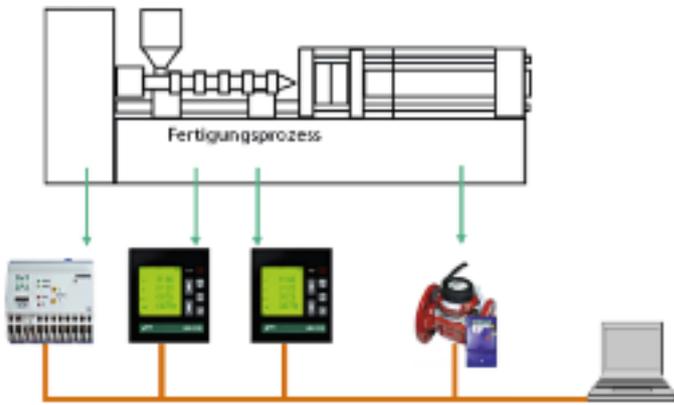
lung auf der Solarzelle. Bei der Entwicklung des Prüfkonzepts wurde darauf geachtet, dass eine Infrarotkamera mit einer geringen Auflösung (384 x 288 Px<sup>2</sup>) zum Einsatz kommt, um die Kosten für die Bildaufnahme zu begrenzen.

Der Prüfaufbau ist als Inline-Prüfung im Fertigungsprozess konzipiert. Er lässt sich direkt zwischen Förderbandsegmente platzieren und kommt mit fertigungstypischen Bandgeschwindigkeiten von etwa 10 Metern pro Minute zurecht. Ein Verlangsamen oder gar Anhalten der Solarzellen, was die Taktzeit deutlich verlängern würde, ist nicht erforderlich. Das Prüfverfahren hat sich auch in Dauertests bewährt, die an einem Umlaufförderer am Fraunhofer IPA durchgeführt wurden.

Das neu entwickelte Prüfsystem verfügt über alle Eigenschaften, die von einer effizienten Inline-Prüfung erwartet werden, wie beispielsweise eine direkte Ankopplung an Fördermodule oder die automatische Auswertung von Bilddaten. Defekte Zellen lassen sich auf diese Weise leicht erkennen und aussortieren.

### Rissprüfung nicht nur für Solarzellen

Die Kombination aus aktiver, inhomogener Wärmeeinbringung zusammen mit einer dynamischen Messanordnung eignet sich hervorragend für eine Mikrorissprüfung am metallisierten Wafer. Das trifft sowohl für mono- wie auch für polykristalline Solarzellen zu. Je nach Oberflächengüte des Solarzellentyps können Risse unter 20 µm zuverlässig identifiziert werden. Das Verfahren eignet sich darüber hinaus auch für andere dünne Bleche oder vergleichbare Werkstücke. Es lassen sich auf diese Weise verschiedene Oberflächen eines Objekts wie auch oberflächennahe Innenstrukturen berührungslos und zerstörungsfrei auf Defekte prüfen.



# ENERGIEMONITORING IN DER PRODUKTION

Die »intelligenten Stromzähler«, wie sie für Privathaushalte in letzter Zeit vermehrt beworben werden, sind bei Industrieunternehmen schon lange vorhanden. Die Energieversorgungsunternehmen ermitteln mit ihnen Lastprofile, welche die Basis für Energiepreisberechnungen bilden. Die auch als SmartMeter bezeichneten Messgeräte sind am Einspeisepunkt installiert und erfassen den Gesamtstromverbrauch. Während dies bei Privathaushalten oftmals zu ausreichender Transparenz führt, ist bei Unternehmen mit ihren meist komplexen Verbraucherstrukturen oft noch nicht klar, wo wie viel Energie benötigt wird und welche Prozesse oder Installationen ein hohes Einsparpotenzial bieten.

## Ziele des Energiemonitorings bestimmen Komponenten

Im Rahmen des Forschungsprojekts »TEEM (Total Energy Efficiency Management)« wurde eine Vorgehensweise zum Aufbau von Energiemonitoring-Systemen entwickelt, welche insbesondere die Datenbasis für nachfolgende Optimierungsmaßnahmen liefern. Der Erfolg des Monitorings wird maßgeblich durch eine sorgfältige Planung im Vorfeld gesteuert. Dies ist auch insofern wichtig, da die Kosten für Hardware (zentrale Datenerfassung, Verbrauchsmessgeräte) und deren Installation den Hauptanteil der Projektkosten ausmachen.

Zu Projektbeginn wird daher mit dem Kunden zunächst der Ist-Zustand aufgenommen und es werden gemeinsam die konkreten Ziele des Energiemonitorings geplant. Je nach Interessenlage können dabei verschiedene Gewichtungen gesetzt werden. Folgende Fragen sind zu klären: Soll durch das Monitoring-System die Verbrauchsabrechnung von kompletten Produktionslinien bzw. Gebäudeteilen, die Zuordnung von Lastprofilen zu ursächlichen Verbrauchern oder eine detaillierte Betrachtung von Einzelprozessen erreicht werden? Welche Energiearten (Strom, Wärme/Kälte, Druckluft) müssen erfasst werden? Sind »Querschnittsenergien« wie Beleuchtung oder

Klimatisierung von Bedeutung? Wichtig ist dabei, dass auch mittelfristige Ziele für das Energiemonitoring in die Überlegungen miteinfließen. Anschließend werden auf Basis der Anforderungen geeignete Systemkomponenten ausgewählt. Nach Aufbau und Inbetriebnahme kommt der Datenauswertung mit anwendungsbezogener Visualisierung und angepasster Datenaggregation eine Schlüsselrolle zu. Aufgrund der durch das Monitoring-System geschaffenen Transparenz des Energieverbrauchs können beispielsweise die Verursacher von Lastspitzen identifiziert werden, die maßgeblich den Leistungspreis beeinflussen.

## Transparenz des Energieverbrauchs reduziert Kosten

Im Rahmen des 50-jährigen Institutsjubiläums am Fraunhofer IPA wurde eine Lackierzone des IPA-eigenen vierstöckigen Lackiertechnikums inklusive Zuluftanlage (bei Vollast 55 000 m³/h) mit Energie-Messtechnik ausgerüstet und erste Einsparpotenziale durch Änderung der Anlagensteuerung identifiziert. Weiterhin wurde bei einem Industriepartner eine Spritzgießmaschine für Großteile (Anschlussleistung 600 kW elektrisch, 190 kW thermisch) mit Sensorik ausgerüstet. Die konkrete Fragestellung dabei war, den Energieverbrauch einzelner Prozessphasen sowie den Einfluss verschiedener Prozessparameter zu ermitteln. Unter Berücksichtigung organisatorischer Gegebenheiten konnte ein zweistelliges Einsparpotenzial aufgezeigt werden.

Bei den Implementierungen hat sich insbesondere der interdisziplinäre und ganzheitliche TEEM-Ansatz bewährt, der sich auch in der Zusammenarbeit verschiedener Fraunhofer-IPA-Abteilungen aus den Bereichen Unternehmensorganisation, Automatisierung und Oberflächentechnik widerspiegelt.



# GENERATIVE TECHNOLOGIEN IN DER HANDHABUNG UND AUTOMATISIERUNG

Die Bezeichnung »Generative Fertigungsverfahren« beschreibt die schichtbasierte Erzeugung von Modellen, Werkzeugen und speziell Endprodukten in Kleinserien.

## **MOTEK Sonderschau: Generative Technologien in der Handhabung und im Sondermaschinenbau**

Auf der Sonderschau »Generative Technologien in der Handhabung und im Sondermaschinenbau« im Rahmen der MOTTEK 2009 (Internationale Fachmesse für Montage- und Handhabungstechnik) wurden besondere Anwendungsgebiete in der Bedienung und Automatisierung dieser Fertigungstechnologie vorgestellt. Kundenwünsche an die individuelle Auslegung der Produkte sowie kürzere Produktlebenszyklen bei sinkenden Preisen erfordern auch ein Umdenken in der Handhabung, in der Montage und der Automatisierung.

## **Individuelle Auslegung bei kostengünstiger Herstellung**

Mit generativen Fertigungstechnologien ist auf kostengünstige Weise die Herstellung differenzierter Automatisierungsprodukte und somit eine flexible Anpassung an die Markterfordernisse möglich. Bei gleichzeitig verbesserter Wirtschaftlichkeit bedeutet dies Produktivitätssteigerungen und Ressourcenschonung. So lassen sich z. B. mittels Laser-Sinter-Anlagen innerhalb weniger Stunden Kunststoffprodukte direkt aus CAD-Daten ohne Werkzeuge fertigen. Durch Beschichtungsverfahren mit hochwertigen Materialien können die generativ gefertigten Werkstücke darüber hinaus veredelt werden.

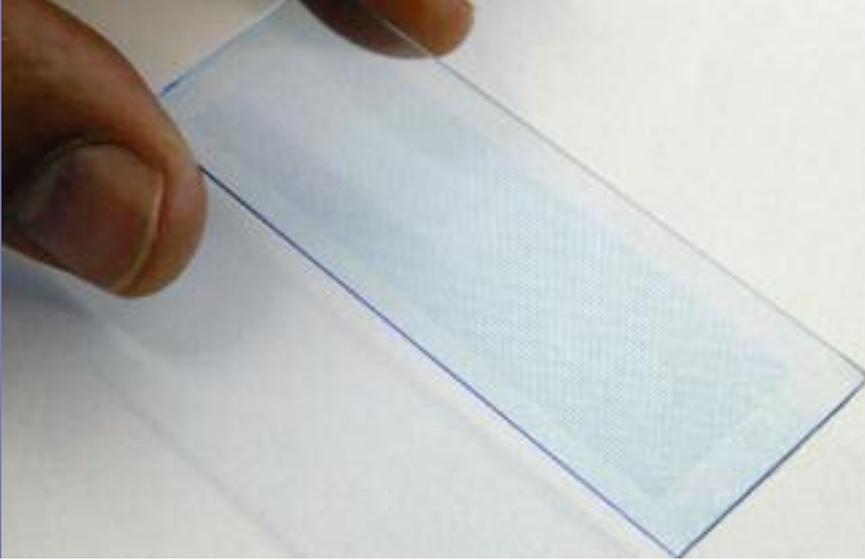
Der Einsatz generativer Fertigungsverfahren trägt bei zur Einsparung von Rohstoffen sowohl bei der Herstellung des Produkts als auch bei dessen Nutzung. Dies steigert die Effizienz bei der Konstruktion und auch im späteren Betrieb.

## **Leichtbauanwendungen und Funktionsintegration**

Ohne geometrische Beschränkungen kann frei nach den Produkt- bzw. Prozessanforderungen konstruiert werden. Die Ausnutzung der neu gewonnenen Freiheiten in der Konstruktion erlaubt zusätzlich die Einsparung von Bauteilen. Das gefertigte Bauteil wiegt lediglich einen Bruchteil konventionell hergestellter Produkte. Funktionsintegrierte Baugruppen auf Basis generativer Verfahren werden als Teile von Handhabungs-kinematiken genutzt, die als optimierte Leichtbaukonstruktionen spezialisierte Aufgaben im Handhabungsbereich übernehmen. Geringeres Gewicht erlaubt eine erhöhte Nutzlast oder eine erhöhte Handhabungsgeschwindigkeit.

Die auf der Messe vorgestellten Beispiele verdeutlichen das Potenzial der generativ gefertigten Greifer: Für den Leichtbau lassen sich waben- oder taschenartige Strukturen umsetzen, die konventionell nie hergestellt werden könnten. Darüber hinaus bestehen vielfältige Möglichkeiten, Bewegungs- und Antriebsfunktionen mit Hilfe von Filmscharnieren, Faltenbälgen und ähnlichen Features in Greiferteile zu integrieren.

Das schnelle Greifen filigraner Teile, das behutsame Greifen von Lebensmitteln und die sichere Handhabung hochindividueller Objekte in der für die menschliche Zukunft so wichtigen Medizintechnik beschreiben nur einige der möglichen Anwendungsfelder. Die Technologie steht vor dem Durchbruch – immer mehr Anwender setzen die generativen Fertigungstechnologien bereits ein.



## 2-D-/3-D-DIGITALDRUCK – EIN WACHSTUMSMARKT

Der Digitaldruck für vielfältige Dekorationsaufgaben und zur Erzeugung von Funktionsoberflächen floriert auf dem Markt und ist aktuelles Forschungsgebiet des Fraunhofer IPA. Als digitale Drucktechniken bezeichnet man Inkjet-Druck und Elektrofotografie (umgangssprachlich »Laserdruck« oder auch Xerographie). Im industriellen Umfeld nehmen derzeit Anwendungen der Inkjet-Drucktechnik rasant zu. Dies umfasst den Bereich Dekoration, z. B. Verpackungsdruck, wie auch die Erzeugung hoch aufgelöster Spezialoberflächen, z. B. in den vielfältigen Anwendungen der gedruckten Elektronik (Auftrag von Leiterbahnen, organischen Halbleitern etc.). Dass auch der Laserdruck interessante Möglichkeiten außerhalb des Büro- und Broschüren-drucks bietet, wurde bisher wenig erkannt. Durch ihre unterschiedliche Funktionsweise ergänzen sich beide digitalen Drucktechniken gut und ergeben ein Alleinstellungsmerkmal im Forschungsportfolio des Fraunhofer IPA.

### 2-D- und 3-D-Inkjet-Druck

Während für Heim- und Büroanwendungen die preiswerten Thermaldruckköpfe (Bubblejet) dominieren, eignen sich für den industriellen Einsatz nur die Piezodruck- und die Continuousjet-Technologien. Größtmögliche Flexibilität bezüglich der verdruckbaren Substanzen bietet der Piezodruck (Drop-on-Demand-Technik) und ist daher auch die am weitesten verbreitete Technologie.

Welche Anfragen kommen aus der Industrie? Ein Thema ist die Umstellung von konventionellen Druckverfahren auf digitale. Für die Dekoration hochwertiger Oberflächen (z. B. Edelstahlfronten, Wandfliesen, Geschirr etc.) wird heute vorwiegend Siebdruck eingesetzt, ein teures und unflexibles Verfahren, das aber große Schichtdicken mit einem hohen Pigmentanteil ermöglicht. Die Umstellung auf Inkjet-Druck bei gleichbleibender Schichtqualität ist eine Herausforderung, die in Kooperation

mit Tintenentwicklern und -herstellern sowie intern der Abteilung Lackiertechnik bearbeitet wird. Für die Integration von Inkjet-Drucktechnik in produktionstaugliche Anlagen besteht die Kooperation mit einem renommierten Anlagenbauer.

Der Druck großer keramischer Pigmente oder höherviskoser Substanzen ist mit kommerziell erhältlichen Druckköpfen nicht realisierbar. Die Neuentwicklung von DoD-Druckköpfen, hergestellt in moderner MEMS-Technologie aus Silizium, wird daher konsequent vorangetrieben. Inkjet-Druck zur Erzeugung von Funktionsoberflächen – die »gedruckte Elektronik« – ist hier das größte, aber nicht das einzige Anwendungsfeld. Die Entwicklung neuer Fertigungsverfahren für die Biotechnik – von der selektiven Beschichtung von Glasprobenträgern bis zum Rapid Prototyping von Implantaten – umfasst am Fraunhofer IPA den Bereich von der Grundlagenforschung bis zur Entwicklung anwendungsreifer Verfahren im Kundenauftrag.

### 3-D-Elektrofotografie (Laserdruck)

Die wegweisende Entwicklung eines effizienten Herstellungsverfahrens von hoch aufgelösten Peptidarrays (Biochips) durch Laserdrucktechnik am Fraunhofer IPA befindet sich auf dem Weg in die Serienreife. Der Produktionsstart der Peptidarrays beim Unternehmen PEPPERPRINT erfolgt 2010. Kundenanfragen liegen vor und eine Kooperation mit der japanischen Firma OKI, die zentrale Komponenten der Druckwerke herstellt, ist bereits erfolgt. Auch hier geht die Entwicklung weiter: Rapid Prototyping kann durch Elektrofotografie eine interessante Alternative zum Inkjet-Druck darstellen. Im Bereich Bio- und Medizintechnik konnten Anwendungen dieses Verfahrens bereits patentiert werden.

# PRÜFSYSTEME

Die Abteilung »Prüfsysteme« entwickelt Lösungen und automatisierte Anlagen für industrielle Aufgabenstellungen unter Verwendung modernster Prüfverfahren. Der Einsatz von Ultraschall, Thermographie und Shearographie als Prüftechnologien bilden die Basis für komplexe und hoch spezialisierte Sonderanlagen.

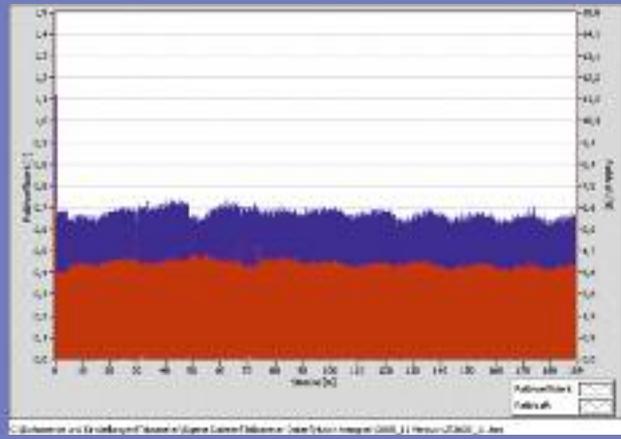
Die Maschinenentwicklungen in der Abteilung Prüfsysteme sind durch folgende Merkmale gekennzeichnet:

- Systematische Anlagenentwicklung
- Aufgabedefinition, Lastenheft- und Pflichtenhefterstellung
- Projektierung, 3-D-Konstruktion und Steuerungsentwicklung von Sonderanlagen
- Realisierung komplexer und neuartiger Automatisierungslösungen
- CE-konformes Maschinen- und Anlagendesign

Im Bereich »Prüftechnologie« bilden folgende Dienstleistungen die Schwerpunkte:

- Beratung zur prozessintegrierten Qualitätssicherung
- Erstellen von Konzepten zur zerstörungsfreien Prüfung
- Konzeption und Entwicklung von Bewertungskriterien für Prüfverfahren
- Begleitung der industriellen Umsetzung von Prüfaufgaben
- Auswahl und Bewertung von Fügetechniken
- Schock- und Vibrationsprüfung
- Dauerschwingungs- und Tribologieuntersuchungen

Exzellente Forschungs- und Entwicklungskompetenzen auf dem Gebiet der Mess- und Prüftechnologie in Kombination mit einer methodischen Vorgehensweise befähigen die Abteilung zu innovativen gesamtheitlichen Entwicklungsdienstleistungen.



1

# TRIBOLOGISCHE UNTERSUCHUNGEN ZUM REIBVERHALTEN VON KUNSTSTOFFGEWEBEN FÜR DIE PAPIERINDUSTRIE

Die in der Papierherstellung zum Einsatz kommenden polymeren Formsiebe werden während ihres Einsatzes in hohem Maße durch Reibkräfte beansprucht. Die daraus resultierenden Verschleißerscheinungen führen zum Verlust der Gewebefunktionalität. Um lange Lebensdauer und Stabilität zu ermöglichen, werden neuartige Gewebe entwickelt, bei welchen sowohl der strukturelle Aufbau als auch die Faserwerkstoffe variiert werden, um optimale Oberflächeneigenschaften zu erhalten.

## Prüfung des Reibkoeffizienten durch einen Stift-Scheibe-Tribometer

Ein international tätiger Hersteller von Hochleistungsformsieben hat das Fraunhofer IPA beauftragt, das Reibverhalten entwickelter Kunststoffgewebe zu untersuchen. In der ersten Phase des Projektes wurden die Prüfkörpereigenschaften, Umgebungseinflüsse sowie das tribologische Beanspruchungskollektiv definiert. Der Fokus war dabei die Übertragbarkeit der Prüfungsergebnisse auf die Praxis.

Zur Durchführung der Tests kam ein modifizierter Stift-Scheibe-Tribometer zum Einsatz, wodurch die Wechselwirkungen zwischen verschiedenartig aufgebauten Geweben aus PE und PET sowie einem Keramikstift untersucht werden konnten. Das Verfahren erlaubt einen schnellen und kostengünstigen Vergleich verschiedener Materialpaarungen unter definierten Umgebungsbedingungen wodurch aufwändige Praxisversuche eingespart werden können.

Die Herausforderung bestand in der Auslegung des Prüfaufbaus, um die identischen Bedingungen des realen Praxisfalls nachzubilden. Folgendes Beanspruchungskollektiv wurde für

die Prüfung gewählt:

- Normalkraft: 15 N
- Rotationsgeschwindigkeit: 100 U/min
- Reibradius: 30 mm
- Umgebung: Prüfung in destilliertem Wasser bei 40 °C
- Messwerterfassung: 100/s
- Versuchsdauer: 1000 U

Alle Gewebe wurden vor der Messung 24 Stunden in destilliertem Wasser eingelagert, um gleiche Ausgangsbedingungen zu schaffen. Als Prüfparameter stand der Reibkoeffizient im Vordergrund, wobei zusätzlich Werte wie Reibkraft, Drehzahl, Moment und wirkende Normalkraft in Abhängigkeit von der Versuchsdauer mit ausgewertet wurden.

## Ergebnisse und Nutzen

Alle Versuchsreihen zeigen für die Reibwerte und Reibkräfte einen sinusförmigen Verlauf, was auf die Gewebestruktur zurückzuführen (Kette/Schuss-Anordnung) ist. Die Analyse des Reibverhaltens ergab, dass Materialpaarungen mit Mischgeweben gegenüber reinem PET-Gewebe geringere Reibwerte aufweisen.

Bei der Entwicklung von polymeren Formsieben können durch Tribometertests bereits im Vorfeld komplexe Anforderungen simuliert werden, um mit den Ergebnissen die Beschaffenheit dieser Formsiebe stetig zu optimieren. Dabei liegt der Fokus nicht auf Quantität, sondern auf Individualität. Denn unterschiedliche Einsatzbereiche und Belastungen erfordern spezifisch angepasste Prüfverfahren.



## ENPRO1 – MULTISPINDEL- HOLZBEARBEITUNGSZENTRUM

Die Fertigung von hochwertigen Holzfiguren und Holzmodellen aus dem Dekorationsbereich erfolgt seit Jahrzehnten auf so genannten Pantografen. Hier werden 40 bis 100 Kopien eines Mastermodells in einem Arbeitsgang hergestellt.

Die traditionelle Arbeitsweise hat allerdings erhebliche Nachteile: Sie ist laut, es staubt und offene Werkzeuge gefährden die Mitarbeiter. Bis eine Kleinserie zum Kunden kommt, vergehen oft mehrere Monate. Der Künstler muss zunächst einen Entwurf machen, diesen anschließend als Masterfigur herstellen und erst dann beginnt die Vervielfältigung. Diese Nachteile und der Wunsch nach einer automatisierten Fertigung bewegten die Südtiroler 3D Wood GmbH das Fraunhofer IPA mit der Entwicklung und Realisierung des »EnPro1 Multispindel-Holzbearbeitungszentrums« zu beauftragen.

### Entwicklungsziel

Mit EnPro1 wurde ein neuer Workflow für diese traditionelle Holzbearbeitung entwickelt. Die notwendigen Daten werden durch 3-D-Scans des Originals oder direkt aus CAD-Programmen generiert. Die CAD-CAM-Software bereitet bis zu 50000 CNC-Maschinensätze des Modells auf. Mit dieser Datenbasis werden dann in der drei mal drei mal acht Meter großen Maschine die gewünschten Modelle vollautomatisch gefertigt. Die Fertigung erfolgt mit fünf simultanen Achsen und mit einer Spindeldrehzahl von bis zu 40000 Umdrehungen pro Minute. Die zur Bearbeitung von komplexen Freiformoberflächen notwendigen unterschiedlichen Werkzeuge werden im Prozess durch einen automatischen Werkzeugwechsel zugeführt. Dieser Werkzeugwechsel für die 42 Arbeitsspindeln stellt ebenfalls eine Neuentwicklung des Fraunhofer IPA dar. Die entwickelte Anlage kann Figuren im Größenbereich zwischen 10 und 600 Millimeter herstellen. Das CNC-gesteuerte Fertigungszentrum zeigt seine

Leistungsfähigkeit in der Reduzierung der Fertigungszeit um 50 Prozent gegenüber der herkömmlichen Bearbeitung.

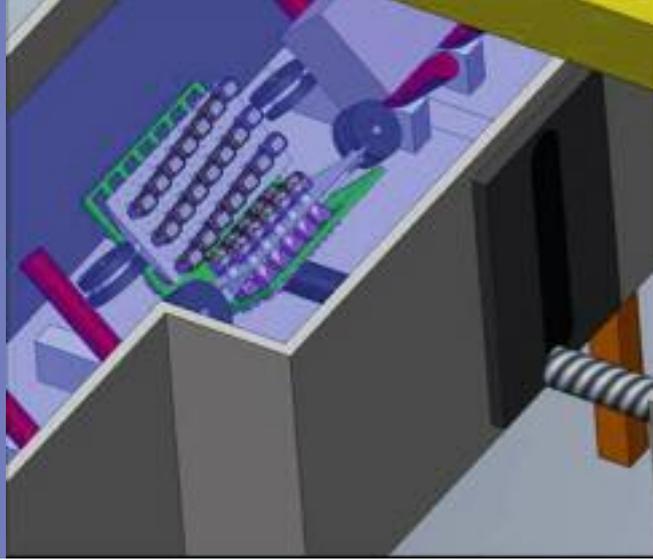
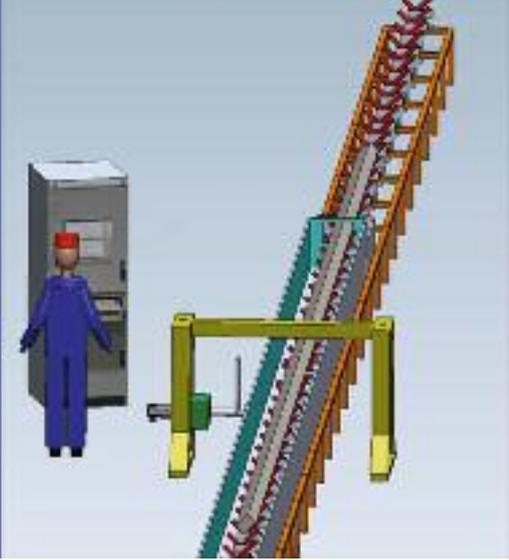
Die im Projekt erreichten Ergebnisse für Workflow, Fertigungsqualität und Fertigungszeiten bieten dem Auftraggeber die Möglichkeit neue, vorher nicht herstellbare Produkte in Serie zu fertigen und somit neue Kunden zu finden.

### Projekt

Die Komplexität der Aufgabenstellung und die geplante kurze Projektlaufzeit veranlassten das Fraunhofer IPA aufgabenangepasste Kompetenzteams zu gründen. Mitglieder dieses Teams waren die Universität Stuttgart, die BA-Horb sowie mehrere Ingenieurbüros, FEM-Dienstleister und Vermessungsdienstleister. Die hervorragende Zusammenarbeit dieser Spezialisten bildete die Grundlage für die erfolgreiche Projektabwicklung.

Die Projektleitung und die technische Gesamtverantwortung stellten das Grundgerüst der Aufgaben des Fraunhofer IPA dar. Inhaltliche Projektarbeit wurde in der Entwicklungssteuerung, Konstruktion von Teilbaugruppen, Beschaffung aller Bauteile und Baugruppen, mechanische Inbetriebnahme und Gesamtinbetriebnahme sowie bei der Begleitung des Probebetriebes geleistet.

Das Projekt zeigt anschaulich die Kompetenz der Abteilung Prüfsysteme und des Fraunhofer IPA in der gesamten Prozesskette von der Idee bis zum Turnkey-Prototyp für die Fertigung. Das EnPro1 Multispindel-Holzbearbeitungszentrum weist den Weg in eine Hightech-Zukunft der Maschinenschnitzer.



## ULTRASCHALLPRÜFANLAGEN ZUR PROFILSTAHLPRÜFUNG

Die Einsatzzwecke von warmgewalzten und kaltumgeformten Profilstählen für anspruchsvolle Anwendungen sind sehr vielfältig, so z. B. in Kraftwerksbau, Automobilindustrie, Umweltschutz, Medizintechnik oder der Bauindustrie. Die Verarbeiter dieser Produkte erwarten vermehrt fehlerfreie und dokumentierte Qualität. Mit der 100 Prozent automatisierten Ultraschall-Prüfung ist dies möglich und eine Verbesserung der Qualität der Endprodukte realisierbar. Das Fraunhofer IPA hat hier in Studien die Anlagentechnik zur Handhabung der Halbzeuge konzipiert. Diese Konzeption stellt einen ersten Schritt in der weiteren Realisierungsphase dar.

Mit der Umsetzung der Vorhaben wird die Qualität der Produkte gesteigert, es werden somit die Reklamationen verringert und die Kundenzufriedenheit bzw. -bindung wesentlich erhöht.

### Entwicklungsziel und Konzeption

Die Anlagenkonzeption erfolgte für gewalzte Profilhalbzeuge in den Dimensionen von 10 mm mal 20 mm bis zur Dimension von 250 mm mal 250 mm. Die zu prüfenden Profilhalbzeuge werden in Längen bis zu 14 m hergestellt und müssen somit auch in dieser Länge geprüft werden.

Das Anlagenkonzept besteht im Wesentlichen aus folgenden Anlagenteilen:

- Prüfbecken mit Schleuse und Transportrollen
- Strömungsdüsen zur Abdichtung der freien Wasseroberfläche
- Trockene Transportstrecke zur Be- und Entladung
- Prüfkopfsystemträger für bis zu 80 Ultraschall-Prüfsensoren
- Mehrachsige Positioniereinheit für den Prüfkopfsystemträger
- Steuerung und Prüfauswertung

Die Profile werden in der Anlage im Reversierbetrieb geprüft, d. h. die Profile werden auf die trockene Transportstrecke aufgebracht und werden dann horizontal in das Prüfbecken transportiert. Dies erfolgt durch eine Wasserschleuse, ähnlich dem Heizungsvorhang in Kaufhäusern. Im Prüfbecken wird der Prüfkopfsystemträger an die Profile positioniert. Der Prüfkopfsystemträger ist im Wesentlichen V-förmig aufgebaut und wird jeweils an zwei gegenüberliegenden Ecken des Rechteckprofils positioniert. Die Einzelprüfköpfe innerhalb des Prüfkopfsystemträgers werden positionsgesteuert an das Profil angefahren, dadurch wird ein kurzer ungeprüfter Bereich ermöglicht.

Nach erfolgter Prüfung der ersten zwei Seiten, d. h. das Profil ist in der Endposition, wird die Transportrichtung umgekehrt. Der Prüfkopfsystemträger wird über einen mehrachsigen Antrieb an die gegenüberliegende Ecke positioniert und der folgende Prüfablauf erfolgt rückwärts. Während der Prüfung werden die erhaltenen Steuerungs- und Ultraschalldaten verknüpft und das Ergebnis der Prüfung stellt eine ortsgenaue Auflösung der festgestellten Fehler im Profilstahl dar. Die daraus resultierenden digitalen Daten können in nachfolgenden Arbeitsschritten, wie Farbmarkierung der Fehlstelle oder Beschnittsäge, weiter genutzt werden.

### Projektierung

Die Abteilung Prüfsysteme des Fraunhofer IPA entwickelte gemeinsam mit dem Fraunhofer IZFP-D und der Fa. arxes ID Berlin GmbH die Lösung der Prüfaufgabe in Form einer automatisierten Ultraschallprüfanlage. Im nächsten Schritt wird die Prototypanlage für die produktionsintegrierte Stabstahlprüfung gebaut und aufgestellt.



## GEPÄCKHANDLING – NACH WIE VOR EINE KÖRPERLICHE HERAUSFORDERUNG

Für viele von uns ist es eine Selbstverständlichkeit, dass man aus dem Flugzeug steigt und innerhalb weniger Minuten sein Gepäck in Händen hält. Was dabei häufig nicht gesehen wird, ist die Tatsache, dass für diesen Service ein sehr komplexer Arbeitsablauf notwendig ist. Um die Wettbewerbsfähigkeit eines Flughafens zu erhalten, ist es erforderlich, diesen Ablauf ständig dem Passagieraufkommen anzupassen. Damit kommt der Fracht- und Gepäckabfertigung eine Schlüsselposition zu und der Flughafenbetreiber ist gefordert, diese Arbeitsabläufe ständig auf dem neuesten Stand zu halten. Dies gilt sowohl für die ergonomische Arbeitsplatzgestaltung wie auch für den eigentlichen Ablauf des Prozesses und auch für die dabei eingesetzten technischen Hilfsmittel, die es dem Bodenpersonal ermöglichen sollen, die Verladetätigkeiten möglichst schnell und effizient zu erledigen.

### **Arbeitsplatzgestaltung an der Mensch-Maschine-Schnittstelle**

Über die Mensch-Maschine-Schnittstelle interagiert der Mensch mit den technischen Systemen, die zu seiner körperlichen Entlastung sowie zur Steigerung der Produktivität eingesetzt werden. Zu diesen Systemen zählen zum Beispiel Gepäckwagen, Container, Hebehilfen oder Fließbänder, die das Bodenpersonal auf Flughäfen unterstützen. Ziel bei der Gestaltung von Arbeitsplätzen mit technischen Systemen zur Entlastung des Personals ist die systematische Optimierung der Arbeitsabläufe unter Berücksichtigung von Präventionsmaßnahmen zur Verbesserung des Arbeitsschutzes. Dies beinhaltet die Auswahl und den optimalen Einsatz der technischen Systeme sowie deren komplette Integration in bestehende Arbeitsabläufe und gegebenenfalls die Entwicklung von neuen Arbeitsorganisationsformen. Dabei muss die eingesetzte Technik den berufsgenossenschaftlichen Sicherheitsrichtlinien und den einschlägigen

Unfallverhütungsvorschriften entsprechen. Ferner soll sie den aktuellen Erkenntnissen der Ergonomie entsprechen. Auf diese Weise lassen sich zum Beispiel Effizienz und Effektivität der Abläufe wie zum Beispiel der Verladetätigkeit auf Flughäfen steigern.

Der Wettbewerbsdruck seitens nationaler und internationaler Flughafenbetreiber erfordert innovative Lösungen für die Optimierung der Arbeitsabläufe. Um diesem Druck Stand zu halten, sollte zunächst auf der Prozessebene eine umfassende Evaluierung der Arbeitsabläufe erfolgen. Hierfür wird mithilfe einer von der QFD-Methode abgeleiteten Systematik die Analyse des Ist-Zustandes für die entsprechenden Teilbereiche Be- und Entladen von Flugzeugen und des Bodenverkehrsdienstes durchgeführt. Neben den Arbeitsabläufen werden auch die technischen Systeme bewertet. Durch diese Analyse werden einerseits die Handlungsschritte zur Optimierung bereits vorhandener Systeme bestimmt. Andererseits ermöglicht sie eine qualitative Gewichtung und somit eine Priorisierung der einzuführenden neuen technischen Systeme zur Entlastung des Bodenpersonals.

Das Fraunhofer IPA entwickelt innovative Konzepte für die Optimierung bereits vorhandener Systeme und für die Schaffung neuer Systeme. Nach deren Umsetzung in die Praxis werden weitere Erhebungen durchgeführt, um zeitnah die Wirkungen der Innovationen auf den Arbeitsprozess zu beobachten. Diese werden bedarfsweise angepasst oder weiterentwickelt. An dieser Stelle wurden die technischen Be- und Entladesysteme wie die Power Stow und die Vakuumhebehilfe systematisch analysiert und auf Optimierungspotenzial geprüft.

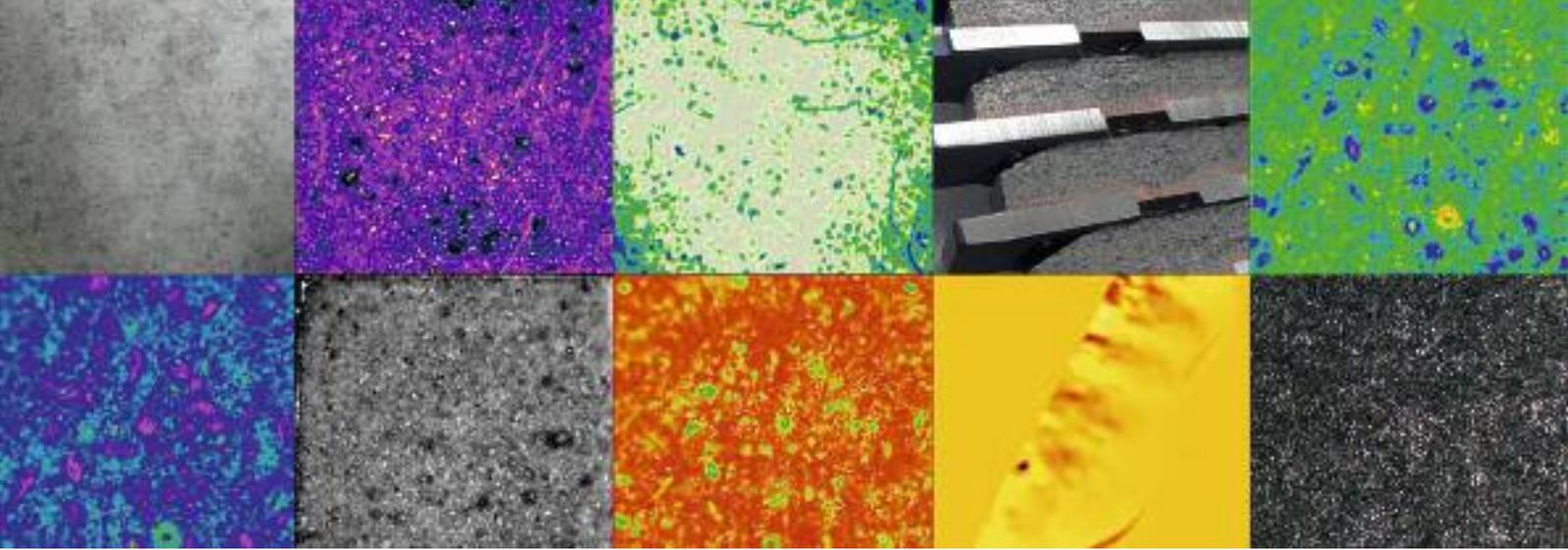


## Ergebnisse und Nutzen

Das Mehrmethodendesign, bei dem verschiedene Methoden der empirischen Sozialforschung wie Befragungen und Arbeitsplatzbegehungen parallel zur Entwicklungsanalyse zu sämtlichen Phasen der Prozessbetrachtung durchgeführt werden, bringt mehrere Vorteile mit sich:

- Die Analyse der Mensch-Maschine-Schnittstelle unter besonderer Berücksichtigung von Aspekten der Technologieinnovation und der Gesundheit der Beschäftigten liefert ergonomische und arbeitsorganisatorische Lösungsvorschläge, die zur Reduzierung der körperlichen Belastung des Bodenpersonals führen.
- Unter Anwendung der an die QFD-Methode angelehnten Ansätze werden die Anforderungen der Interessengruppen an die technischen Systeme schrittweise identifiziert und der Handlungsbedarf definiert.
- Für den Bereich Luftsicherheitskontrolle wird schwerpunktmäßig für weibliche Beschäftigte, die unter einer mehrfachen Belastung stehen, ein Maßnahmenkatalog erstellt, der zur Verbesserung der work-life-balance und somit zur psychischen Entlastung führt.

Die durchgeführten Arbeiten basieren auf sozialwissenschaftlich anerkannten Studien. Die gewonnenen Erkenntnisse werden in Form von Zwischenberichten und Präsentationen projektbegleitend dokumentiert und dem Flughafenbetreiber vorgestellt. Sie dienen als Grundlage für weitere interaktive Handlungen zwischen Führungsebene und Bodenpersonal und bieten die Grundlage für neue Optimierungen.



## MIT INFRAROTWELLEN FASERVERBUNDWERKSTOFFE CHARAKTERISIEREN

Ein Faserverbundwerkstoff besteht aus einer relativ weichen Matrix, in die verstärkende Fasern mit hohen Zugfestigkeiten eingebettet sind. Aufgrund der charakteristischen Interaktion beider Komponenten besitzt dieser Werkstoff durch höherwertige mechanische Eigenschaften als jede der beiden einzeln beteiligten Komponenten.

Hier spielt neben den mechanischen Eigenschaften der Einzelkomponenten und ihrer Volumenverhältnisse die geometrische Verteilung und Orientierung der Fasern und die Ausbildung der Kontaktzone zwischen den Fasern und der umgebenden Matrix eine wesentliche Rolle.

Zuverlässige Prüf- und Messmethoden zur Charakterisierung der sich dadurch ergebenden Mikrostruktur sind hier dringend erforderlich. Es sind bisher keine zerstörungsfreien Prüfmethoden verfügbar, welche eine wirtschaftliche Charakterisierung der Mikrostruktur von Faserverbundwerkstoffen außerhalb des Labors erlauben. Die bisher zum Einsatz kommenden Untersuchungsmethoden sind nahezu alle zerstörend und erlauben nur stichprobenartige Untersuchungen.

### Aktive Thermographie

Die bislang eingesetzten wirtschaftlich vertretbaren Methoden zur Strukturcharakterisierung (klassische Ultraschallverfahren, aktive Thermographie) erlauben einen Nachweis makroskopischer Strukturanomalitäten wie Delaminationen und Einschlüsse, wobei insbesondere das Potenzial der Methode der aktiven Thermographie längst nicht ausgeschöpft ist.

Zur Verfügung stehende zerstörungsfreie Methoden (z. B. Computer-Tomographie) erlauben zwar eine hochpräzise Analyse der Mikrostruktur, sind jedoch wirtschaftlich nicht vertretbar und in der Regel für den praktischen Einsatz ungeeignet.

Sie sind letztendlich auch aufgrund des enormen zeitlichen Aufwands auf die Untersuchung einzelner Proben beschränkt.

Die Methode der aktiven Thermographie als zerstörungsfreies Mess- und Prüfverfahren gewinnt zunehmend an Bedeutung. Sie erlaubt sowohl produktionsbegleitende Untersuchungen als auch Untersuchungen während der Nutzungsphase.

Sie kommt überall dort zum Einsatz, wo Werkstoffe bzw. Bauteile auf Strukturanomalitäten unter der Oberfläche geprüft werden sollen. Durch Aktivierung von Wärmeflächen in einem Bauteil oder Werkstoff sowie deren Detektion und Analyse mit thermographischen Methoden können dem bloßen Auge verborgene Strukturen sichtbar gemacht werden.

Die erforderlichen Wärmeflüsse können hier auf unterschiedliche Weise aktiviert werden. Zur Charakterisierung von Mikrostrukturen bieten sich zwei Methoden der Aktivierung an: Zum einen die Erzeugung von Wärmewellen durch optisches Licht und zum anderen die Erzeugung von Wärmewellen durch thermoplastische Effekte infolge von mechanisch erzeugten Reibvorgängen.

Insbesondere den Nachweis feinsten Strukturen ermöglicht die geschickte Modifikation der Methode der optisch angeregten Lockin-Thermographie, bei der die Oberfläche eines Werkstoffs

frequenzmoduliert mit optischem Licht erwärmt wird und die an Materialübergängen rückgestreuten Wärmewellen mit Hilfe einer spezifischen Lockin-Auswertung hochpräzise erfasst werden. Das Ergebnis sind hochaufgelöste Kontrastbilder, welche die Verteilung und Orientierung von Fasern, das Vorhandensein von Poren oder Dichteunterschieden im Gefüge wiedergeben.

Die Tiefenreichweite der Untersuchung ist prinzipiell abhängig von der gewählten Lockin-Frequenz des eingebrachten Lichts. Mit zunehmender Tiefe nimmt jedoch der Kontrast und somit die Schärfe der geometrischen Abbildung der Strukturen ab. Diese können somit ab einer gewissen Tiefe von mehreren Millimetern nicht mehr diskret, sondern in unscharfer Form abgebildet werden.

### **Ultraschall angeregte Lockin-Thermographie**

Eine über die geometrische Charakterisierung der Mikrostruktur hinausgehende Beurteilung der mechanischen Eigenschaften der Kontaktzone zwischen Fasern und Matrix ist erstmals durch den Einsatz der ultraschallangeregten Lockin-Thermographie möglich.

Die ultraschallangeregte Lockin-Thermographie nutzt den Effekt, dass eine in einen Werkstoff eingeleitete und sich dort ausbreitende Ultraschallwelle zu Reibvorgängen an Grenzflächen führt. Diese Vorgänge sind Ursache für eine Wärmeentwicklung in diesen Bereichen, welche mit thermographischen Methoden detektiert werden kann. Diese kaum merkliche, aber charakteristische Wärmeentwicklung tritt auf in Form von thermoplastischen Effekten, wenn feinste Relativverschiebungen zwischen beiden Komponenten möglich sind und mit entsprechenden Reibvorgängen einhergehen. Dies ist der Fall, wenn der Verbund zwischen Faser und Matrix geschwächt ist. Die Intensität der Wärmeentwicklung korreliert hierbei quantitativ

mit den mechanischen Verbundeigenschaften im Bereich der Kontaktzone. In Abhängigkeit der gewählten Prüffrequenzen lassen sich hierbei unterschiedliche Tiefenreichweiten erreichen.

Optisch angeregte und ultraschallangeregte Lockin-Thermographie stellen somit durch entsprechende Modifikation der apparativen Ausstattung, der Versuchsdurchführung und der komplexen Auswertung eine attraktive Methode zur Charakterisierung der geometrischen Eigenschaften der Mikrostruktur von Faserverbundwerkstoffen dar. Diese hochpräzisen Methoden können problemlos produktionsbegleitend integriert werden oder zu Untersuchungen während der Nutzungsphase herangezogen werden.



1



2

## NACHWEIS VON ADHÄSIONSFEHLERN DURCH SHEAROGRAPHIE UND THERMOGRAPHIE

Luft- und Raumfahrt, Automobil- und Flugzeugbau setzen auf Leichtbau. Die damit verbundenen kontinuierlich steigenden Anforderungen an die Bauteile bedeuten auch größer werdende Festigkeits- und Duktilitätsanforderungen. Diese Anforderungen können nicht nur durch die Entwicklung neuartiger Werkstoffe, sondern auch durch die Kombination mehrerer Werkstoffe erfüllt werden. Dies führt zu den Werkstoffverbunden mit vielfältigen Schichtsystemen unterschiedlichster Werkstoffe. Eine zentrale Aufgabe für die sichere Funktion der Werkstoffverbunde kommt den Adhäsions- und Kohäsionskräften im Fügebereich zwischen den in der Regel verklebten Komponenten zu.

### Qualitätssicherung durch zerstörungsfreie Prüfung von Adhäsionsfehlern

Zur Qualitätssicherung während der Nutzungsphase werden zerstörende und zerstörungsfreie Methoden herangezogen. Während die zerstörenden Verfahren nur eine stichprobenartige, quantitative Prüfung weniger Bauteile erlauben, ermöglichen zerstörungsfreie Methoden mittlerweile weniger aufwändige und rückwirkungsfreie Untersuchungen in größerem Umfang.

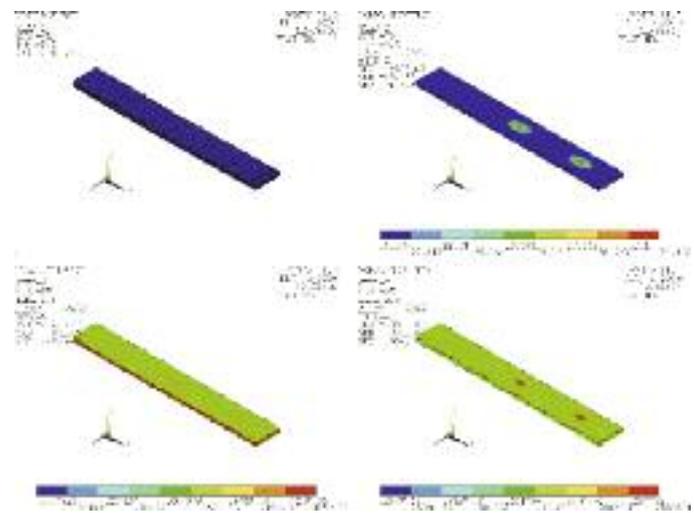
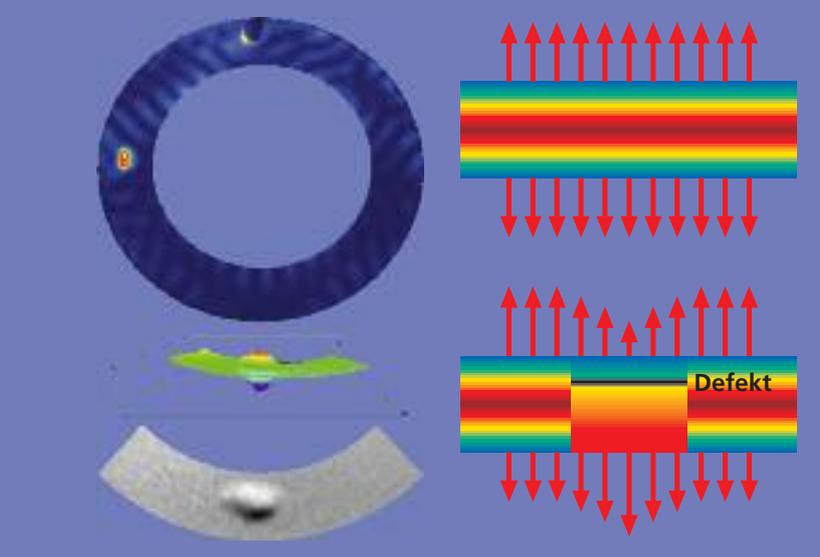
Die derzeit bestehenden zerstörungsfreien Mess- und Prüftechniken liefern rein qualitative Informationen zu den Adhäsions- und Kohäsionseigenschaften bei Werkstoffverbunden. Für eine zuverlässige Analyse der Verbundeigenschaft, insbesondere in sicherheitsrelevanten Bereichen, sind jedoch quantitative Messergebnisse erforderlich.

Durch die beiden zerstörungsfreien Prüfverfahren Shearographie und Thermographie können Mikrodelaaminationen in Klebeverbindungen nachgewiesen werden. Diese Prüfungen können die Basis zukünftiger zerstörungsfreier Prüfungen zur Quantifizierung von Klebeverbindungen bilden.

Quantitative Messgrößen erlauben nicht nur eine Aussage, ob ein Defekt vorliegt oder nicht, sondern liefern auch wertvolle Informationen über die individuellen Bindungseigenschaften. Sie tragen somit enorm zu einer präziseren Beschreibung des Verbundzustands bei. Dies ermöglicht sowohl eine produktionsbegleitende Kontrolle definierter Eigenschaften als auch die Zustandsüberwachung während der Nutzung. Somit können auch detaillierte Aussagen zur Lebensdauerabschätzung und zum Ermüdungsverhalten erfolgen.

### Shearographie und Thermographie

Die Shearographie ist ein laseroptisches Verfahren, mit dem sich Materialverformungen im dreistelligen Nanometerbereich messen lassen. Bei der Thermographie misst man Temperaturunterschiede an der Oberfläche von Materialien mit einer Genauigkeit von wenigen Millikelvin. Liegt an der Klebestelle eines Bauteils beispielsweise eine Delamination vor, so misst die Thermographiekamera an dieser Stelle andere Temperaturwerte als an korrekt verklebten Stellen. Bei der Shearographie dehnt sich das Material an der Fehlstelle anders aus. Die Messwertaufnahme erfolgt im Falle der Shearographie zweimal: ein



mal vor und einmal am Ende der Anregung. Aus den Messwerten kann anschließend ermittelt werden, ob und wo bei den Werkstoffen im Verarbeitungsprozess Fehler, wie beispielsweise Delaminationen, in Klebeverbindungen aufgetreten sind. Für beide Verfahren muss das Bauteil bzw. der Werkstoff entweder mechanisch, thermisch oder elektrisch – mit Ultraschall, Licht oder Strom – angeregt werden.

Bei der Prüfung werden je nach Verfahren unterschiedliche physikalische Effekte genutzt. Wichtig ist, dass man mit beiden Technologien zuverlässig und reproduzierbar Fehler detektiert – und zwar sowohl an der Oberfläche als auch im Inneren der Bauteile.

### Nachweis von Adhäsionsfehlern durch Shearographie und Thermographie

Am Fraunhofer IPA wurden durch Thermographie und Shearographie erfolgreich Adhäsionsfehler wie Delaminationen, Luft einschlüsse oder fehlender Klebstoff bei Strukturverklebungen nachgewiesen.

Ferner ist der Nachweis von Adhäsionsfehlern bei biegeschlaffen Bauteilen bei der Verklebung mit Klebebändern Gegenstand der aktuellen Forschung.

Hierzu stehen der Abteilung Prüfsysteme des Fraunhofer IPA modernstes Prüfequipment wie Hochgeschwindigkeits-Infrarotkamera oder Diodenlaser sowie Induktionstransformatoren und Ultraschallgeneratoren zur Anregung der Prüfobjekte zur Verfügung. Projektbegleitend werden mit Finite-Elemente-Programmen theoretische Modelle zum Fehlernachweis simuliert und mit den experimentellen Untersuchungen abgeglichen.

Mit der vorhandenen Ausstattung wählt das Fraunhofer IPA aufgabenspezifisch jeweils die optimale Kombination von Prüfmethode und Anregungsart. Damit wird gewährleistet, dass bei der Bearbeitung der jeweiligen Prüfaufgabe auch das optimale Prüfergebnis gewonnen wird.

1 Foto: Quelle FRAport AG.

2 Foto: Quelle FRAport AG.

# LACKIERTECHNIK

Die Lackiertechnik orientiert sich heute an einer Vorgehensweise, die auf einem grundlegenden Verständnis der physikalischen und chemischen Prozesse aufbaut. Dies stellt die Voraussetzung für qualitätsgerechte und umweltverträgliche Verfahren sowie einen sicheren Produktionsablauf dar.

Viele Lackierereien stellen trotzdem auch heute noch einen kritischen Bereich in der Fertigung dar, der bei kostenintensivem Betrieb, hohen Qualitätsanforderungen und einem Mangel an qualifiziertem Personal erhebliche Verbesserungspotenziale bietet. Unter Berücksichtigung des anzustrebenden Prozessverständnisses bedarf es lackiertechnischer Forschungs- und Entwicklungsarbeiten mit vielfältigen Zielen.

Neue bzw. verbesserte Produktqualitäten, höhere Beschichtungswirkungsgrade, schnellere Teiledurchlaufzeiten, Energie- und Materialeinsparung etc. – all dies ist richtungsweisend für kompakte Anlagen mit deutlich reduziertem Flächenbedarf, integrierte Beschichtungsprozesse, Online-Überwachungs- und Steuerungssysteme sowie objektive Prüfmethode. Wenn es um die »Digitale Fabrik« geht, wird zunehmend die Modellierung und numerische Simulation der Lackierprozesse und -anlagen an Bedeutung erlangen.

Mit der Lösung dieser Problemkreise beschäftigt sich das Fraunhofer IPA seit über 30 Jahren durch Forschung und Beratung. Die Vielfalt der anwendungsorientierten Aufgabenstellungen wird an einigen Beispielen deutlich:

- Konzipierung und Planung effizienter Lackierprozesse: Einsatz der rechnergestützten Methode CoaTway® sowie produktionsgerechte Tests der Verfahren und Anlagenkomponenten
- Untersuchung von Lackierbetrieben zur Rationalisierung, Qualitätsverbesserung und Ressourcenschonung: die kontinuierliche Optimierung eines Lackierbetriebs ist die Basis zur Erhaltung seiner Wettbewerbsfähigkeit
- Weiterentwicklung von Beschichtungsverfahren für Flüssig- und Pulverlacke: der Einsatz von neuen Messtechniken ermöglicht hierbei reproduzierbare Vorgehensweisen
- Untersuchungen zur produktionsgerechten Nanomaterialbeschichtung mit ausgeprägten Eigenschaftsprofilen, z. B. Easy-to-Clean-Oberfläche, hohe Kratzfestigkeit, hoher Korrosionsschutz
- Entwicklung der pistolenlosen Hochgeschwindigkeitsabscheidung von Beschichtungspulvern
- Modellbildung und numerische Simulationsrechnung von Beschichtungs- und Schichttrocknungsprozessen sowie der Strömungen in Lackier- und Trocknungsanlagen, z. B. Vorherbestimmung der Schichtdickenverteilung beim elektrostatischen Sprühen
- Kontinuierliche Erfassung der Lackparameter beim Elektrotauchlackieren mit dem Ziel der automatisierten Prozessregelung
- Qualitätskontrolle als Voraussetzung lackiertechnischer Planungen, u. a. Bauteile- und Lackschichtprüfungen, Lackverträglichkeitstests, Funktionsprüfungen an Lackiergeräten, Lackierfehler- und Schadensanalysen; Entwicklung objektiver Prüfmethode
- Individuell abgestimmte Personalschulungen zur Beherrschung moderner Lackierprozesse



## ONLINE-SENSORIK ERÖFFNET NEUE LACKIERKONZEPTE

Mittels eines neuartigen Sensorarrays lassen sich online die Konzentrationen einzelner Lackkomponenten während des Lackierprozesses quantitativ bestimmen. Dadurch eröffnen sich zukunftsweisende Lackrecyclingkonzepte sowie eine neue Dimension der Lackierprozess-Regelung auf Basis von Qualitätsmerkmalen.

### Ökologische Nachhaltigkeit durch Lackrecycling

Die Lackiertechnik bietet im Hinblick auf Umweltverträglichkeit und Ressourceneffizienz erhebliches Optimierungspotenzial. Trotz zahlreicher Entwicklungen im Bereich der Zerstäuber- und Anlagentechnik sind, abhängig vom Applikationsverfahren, Lackauftragswirkungsgradwerte von lediglich 30 Prozent bei Spritzlackiersystemen keine Seltenheit. Bisher eingesetzte Recyclingverfahren ermöglichen aufgrund bestehender Qualitätsprobleme nur eine begrenzte Wiederverwertung der Recyclate.

Gegenwärtig gibt es zwar Anlagentechniken, mit denen der Overspray kontinuierlich abgeschieden werden kann und dieser dadurch für eine weitere Nutzung prinzipiell verfügbar ist, jedoch fehlen geeignete Messmethoden, um den Overspray online zu charakterisieren und automatisiert aufzubereiten.

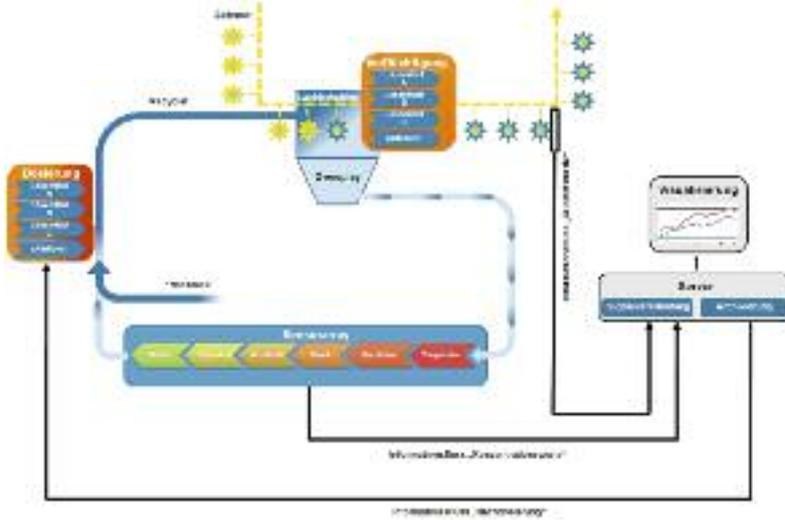
Bei den kritischen Veränderungen des Recyclates gegenüber dem Frischlack handelt es sich häufig um Schwankungen der quantitativen Konzentrationen verschiedener Lackkomponenten aufgrund deren Verflüchtigung während der Spritzapplikation. Die Charakterisierung des Oversprays erfordert derzeit personal- und kostenintensive Laboranalysen, wie z. B. die Gaschromatographie. Hinreichend vollautomatisierte Analysensysteme, die inline in den Produktionsprozess integriert werden können, sind nicht verfügbar. Eine gezielte, echtzeitfähige Nachdosierung einzelner Lackkomponenten kann daher nicht erfolgen.

Als Konsequenz kann der abgeschiedene Overspray nicht direkt im Kreislauf zugeführt werden. Eine kostengünstige oder gar automatisierte Aufarbeitung des Oversprays, die auf Frischlackqualität abzielt, ist nach heutigem Stand der Technik nicht möglich und führt daher in Europa jährlich zu weit über einer Million Tonnen Lackverlusten.

Vor diesem Hintergrund entwickelt die Abteilung Lackiertechnik des Fraunhofer IPA in Zusammenarbeit mit dem Fraunhofer WKI, dem Institut für Industrielle Fertigung und Fabrikbetrieb der Universität Stuttgart (IFF) sowie Anlagen- und Lackherstellern im Rahmen eines vom Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie über die Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen (AiF) geförderten Forschungs- und Entwicklungsvorhabens ein prozessintegriertes Recyclingverfahren. Dieses basiert auf einem Online-Messsystem zur quantitativen Charakterisierung des Lackzustands.

### Die Zusammensetzung des Oversprays wird stark von den Anlagen- und Applikationsparametern beeinflusst

Im ersten Projektabschnitt wurden die Einflüsse verschiedener Spritzparameter auf die Zusammensetzung und die Eigenschaften des Oversprays untersucht. Dazu wurden im Oberflächentechnikum des Fraunhofer IPA in einer Spritzkabine mit Nassauswaschung verschiedene Abscheidesysteme erprobt und optimiert. Die unterschiedlichen Recyclate wurden anhand von praxisrelevanten Nasslackprüfungen, wie Bestimmung der dynamischen Viskosität, der Oberflächenspannung usw. physikalisch charakterisiert und vor dem Hintergrund der industriellen Verarbeitbarkeit bewertet. Die quantitative Analyse der Lackkomponenten mittels Gaschromatographie und Massenspektrometrie (GC-MS) erfolgte durch das Fraunhofer WKI. Durch die zusätzliche Prüfung der Trockenlackschicht, z. B. auf Chemika-



lienbeständigkeit, Haftfestigkeit, Kratzfestigkeit usw. konnten die kritischen Schwellwerte der Konzentrationsverhältnisse der Lackbestandteile ermittelt und die Eingriffsgrenzen für die Steuerung bestimmt werden.

### Sensorarray ermöglicht erstmals die quantitative Online-Messung einzelner Lackkomponenten während des Beschichtungsprozesses

Im zweiten Projektabschnitt wurde ein Messsystem zur Online-Konzentrationsbestimmung der relevanten Lackkomponenten entwickelt. Das Messsystem basiert auf einem Sensorarray aus verschiedenen physikalischen Sensoren, z. B. zur Erfassung des Druckabfalls, der Temperatur, der Dichte, des Brechungsindexes etc. und kann direkt in die Lackversorgungsleitung integriert werden. Die mathematische Modellbildung erfolgt mittels Methoden der multivariaten Datenanalyse. Die einzelnen Zielgrößen, wie die unterschiedlichen Lösemittelkonzentrationen, werden aus den aufbereiteten Sensorsignalen berechnet. Aufgrund stark schwankender Umgebungs- und Prozessbedingungen in Lackierereien ist dabei ein Modell mit hinreichender Stabilität bzgl. Ausreißern in den Eingangsdaten anzustreben. Eine Herausforderung bzgl. der Zusammensetzung des Sensorarrays stellt dabei die Auswahl der Sensoren im Hinblick auf Genauigkeit, Robustheit und Kosten dar. Zum einen ist eine ausreichende Auflösung im Messbereich zu gewährleisten, zum anderen muss ein derartiges Messsystem auch für kmU ökonomisch attraktiv sein.

Für die automatisierte Nachdosierung sind unterschiedliche Varianten möglich. Je nach Branche und Materialdurchsatz reicht dies von Materialpuffern im direkten Anschluss an das Abscheidungssystem bis hin zu einer kontinuierlichen Dosierung in die Frischlackversorgung.

### Der »grünen Lackierung« einen Schritt näher

Die Ergebnisse des Projekts stellen die Basis für die industrielle Umsetzung prozessintegrierter und vollautomatisierter Recycling-

systeme in der Lackiertechnik dar. Die Untersuchungen am Fraunhofer IPA zeigen, dass abhängig vom Lackmaterial bei geeigneter Steuerung der Applikationsparameter nur vereinzelte Lackkomponenten im Overspray vermindert vorliegen, wodurch sich die notwendigen Online-Analysen und Nachdosierungen auf wenige Lackkomponenten, z. B. verschiedene Lösemittel, beschränken.

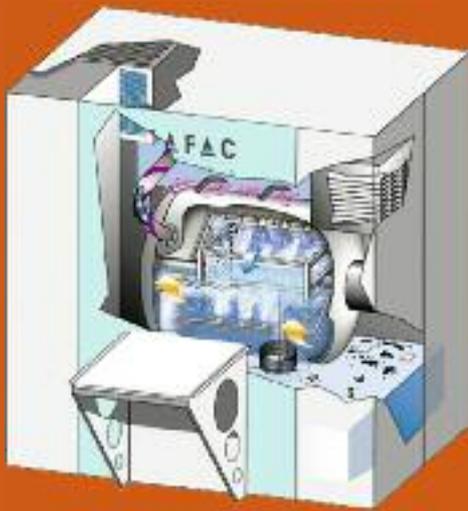
Dadurch kann das Messsystem bei der industriellen Umsetzung gezielt für diese Lackkomponenten bzgl. der Kalibrierung und Sensorzusammensetzung optimiert werden.

### Die Vision

Neben dem Einsatz bei Recyclinganwendungen bietet ein derartiges Online-Messsystem völlig neue Möglichkeiten zur Steuerung und Regelung von Lackierprozessen.

Bei der industriellen Lackierung wird auf nicht beeinflussbare Randbedingungen in der Praxis oftmals mit empirischen und kostenintensiven Maßnahmen reagiert. So wird z. B. der Lackfilmverlauf mit Hilfe der Schichtdicke angepasst, um diesen auf senkrechten und waagrechten Flächen oder auf Substraten in Mischbauweise optisch anzugleichen. Die Material- und Energieverschwendung wird dabei billigend in Kauf genommen. Den Anlagenbetreibern stehen zur Einflussnahme auf die Beschichtungsqualität während des Prozesses ausschließlich Anlagen- und Applikationsparameter zur Verfügung, nicht jedoch die Änderung der Lackzusammensetzung. Hohes Optimierungspotenzial bleibt somit ungenutzt. Die Gründe hierfür sind in der Komplexität der Lackchemie und der bislang unzureichend onlinefähigen Messtechnik zu suchen.

Die Vision ist somit eine simultane Optimierung der Applikationsparameter und der Lackzusammensetzung während des Prozesses in Echtzeit. Dies würde zu einem Vorsprung bzgl. Materialeffizienz und Qualitätsmerkmalregelung führen.



1



2

# SIMULATION DER SPRITZSTRAHLREINIGUNG

## EIN WEITERER BAUSTEIN DER VIRTUELLEN FABRIK

In der industriellen Fertigung tritt häufig der Fall auf, dass dreidimensionale, komplex gearbeitete Teile vor der Weiterverarbeitung gereinigt werden müssen. Vielfach sind die zu reinigenden Teile zum Schutz vor Korrosion mit einer öligen Schicht versehen oder es handelt sich um Teile, deren Oberflächen mit Metallspänen beaufschlagt, stark verrußt oder mit angetrocknetem Schmutz überzogen sind.

### Bisherige Situation bei der Teilereinigung

Es gibt eine Vielzahl von technischen Verfahren, mit denen Substanzen unterschiedlichster Art von Oberflächen entfernt werden können. Neben berührenden Verfahren, wie der Bürstenreinigung, werden häufig berührungslose Verfahren eingesetzt, bei denen das Reinigungsmedium in Form eines Spritzbeziehungsweise Sprühstrahls auf die zu reinigende Oberfläche einwirkt. Beispiele hierfür sind die Sprüh- und Dampfstrahlreinigung sowie die Spritzentfettung.

Beim Wasserstrahlreinigen wird erwärmtes Wasser, häufig mit einem Anteil chemischer Reinigungszusätze, unter hohem Druck in Form eines Flüssigkeitsstrahls auf die Teile aufgebracht, wobei sich die Düsen relativ zum Werkstück so bewegen, dass die Sprühstrahlen möglichst alle Oberflächenbereiche der zu behandelnden Teile abdecken.

Bei der Spritzstrahlreinigung von komplexen 3-D-Werkstücken wie Motorblöcken, Getriebegehäusen oder Automobilkarosserien variieren die Prozessbedingungen, z. B. Düsenabstand, Auftreffwinkel, Impuls oder Einwirkdauer des Reinigungsstrahls, während des Prozessablaufs auf Grund der komplexen Oberflächengeometrie sehr stark, so dass es für den Anwender schwierig ist, optimal geführte Spritzstrahlbahnen und Einstellungen der Prozessparameter festzulegen. Daher ist es hier besonders

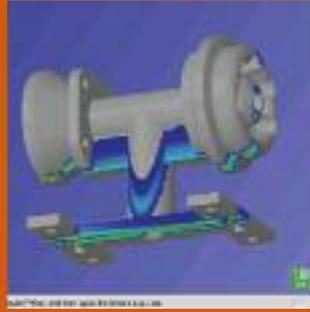
vielversprechend, Computersimulationsverfahren als Werkzeug zur Optimierung der Prozessauslegung einzusetzen.

Derzeit existieren auf dem Markt verschiedene statische Einkammer-Reinigungsanlagen und dynamische Durchlaufreinigungssysteme, die sich durch eine relativ starre Anordnung der einzelnen Düsen auszeichnen. In solchen Anlagen verbleiben die Werkstücke aufgrund empirischer Erfahrungswerte so lange, bis auch die entlegensten Bohrungen und Bauteilhinterschnidungen vollständig gereinigt sind. Häufig dauert dies zwischen 20 und 40 Minuten. Mit diesem Vorgehen sind nicht nur hohe Bearbeitungszeiten und unflexible Fertigungskonzepte, sondern auch beträchtliche Energie- und Reinigungsmittelverbräuche sowie teilweise hohe Entsorgungskosten der Reinigungsmedien verbunden.

### Softwarewerkzeug für die virtuelle Reinigung

Im Gegensatz zum aktuellen Stand der Technik beinhalten die Konzepte zukünftiger Reinigungsmaschinen aufwändige Kinematikmodule, mit denen die Bauteile und Düsen auf komplexen Relativbahnen zueinander geführt und die Düsen zudem einzeln angesteuert werden können. Dabei soll der Anwender nicht nur Eingriffsmöglichkeiten in Bezug auf die Bahnführung, sondern auch auf den zeitlichen Ablauf sowie die wesentlichen Prozessparameter erhalten. Die industrielle Anwendung solcher Hightech-Reinigungsanlagen war bisher allerdings auf Grund der fehlenden Planungshilfen, Softwarewerkzeuge und Mensch-Maschine-Schnittstellen stark gehemmt.

Auf Grund dieser Sachverhalte hat das Fraunhofer IPA in Zusammenarbeit mit dem Reinigungsmaschinenhersteller MAFAC eine Software entwickelt, die in der Lage ist, beliebig komplexe Bahnführungen zu generieren und zu überlagern. Das neue



Simulationswerkzeug ermöglicht es, die Verteilung des Sauberkeitsgrades über der Werkstückoberfläche als Funktion der Prozessparameter zu berechnen. In einem ersten Schritt sollen damit verschiedene Anlagenauslegungen verglichen werden. Das Programm steht dabei für den Anwender als Entscheidungshilfe zur Verfügung, um ein schnelles, sauberes und sicheres Reinigungsergebnis zu erzielen.

Die Software enthält eine Reihe ausgefeilter Tools zur Erzeugung und Kombination einer Vielzahl von denkbaren Bahnführungen, die z. B. periodisch, kreisförmig oder linear um das Werkstück verlaufen. Speziell soll mit der Simulation untersucht werden, ob ein ausreichend homogener Sauberkeitsgrad erreicht wird oder ob z. B. eine zu kurze oder zu lange Einwirkungsdauer, ungünstige Auftreffwinkel oder Abschattungen durch Bauteilbereiche eine Störung des Reinigungsergebnisses herbeiführen. Durch Vermeidung von Überreinigung können Energie und Ressourcen gespart werden.

### Zukünftige Entwicklungen

Mittelfristig ist auch ein automatisches Erkennen der verschmutzten Werkstücke mit zugehörigem Verschmutzungsgrad für die Software denkbar. Das Programm entwickelt dann aus den erhaltenen CAD-Werkstück-Geometriedaten und dem gegebenen Verschmutzungsgrad weitgehend vollautomatisch einen optimal ausgelegten Reinigungsvorgang.

Am Ende steht als Ergebnis der Simulation eine Anlage, die für beliebige Werkstückformen ein optimal abgestimmtes Reinigungsprogramm generieren kann. So kann dem Kunden für seine unterschiedlichen Werkstücksklassen eine Anlage nach seinen Maßstäben ausgelegt werden. Diese wird im Hinblick auf einen geringeren Zeit- und Platzbedarf sowie Ressourcen- und Energieeinsparung angepasst. Mit der zugehörigen eingebauten Software wird das Optimum für Anlage und Werkstück errechnet und realisiert. Das bedeutet, dass die Software in mehreren Schritten in den Reinigungsprozess eingreift und zwar in der Bestimmung

- eines grundsätzlich geeigneten Reinigungsverfahrens
- einer optimalen Reinigungsstrategie für einen bestimmten Anlagentyp
- einer optimalen Prozessführung für eine vorgegebene Werkstücksgeometrie

Durch die Unterstützung der Software in diesen drei Bereichen soll der Anlagenbauer in die Lage versetzt werden, mit relativ geringem Aufwand im Wettbewerbsumfeld eine innovative Lösung anbieten zu können.

- 1 Anlagenkonzept mit rotierenden Düsenbatterien (Quelle: MAFAC).
- 2 Robotergeführte Düsenanordnung beim CO<sub>2</sub>-Schneestrahilverfahren (Quelle: acp/IPA).
- 3 Relativbahn der Düsenbewegung und Visualisierung des virtuellen Reinigungsergebnisses.



## WANDLUNGSFÄHIGE PULVERBESCHICHTUNGSTECHNIK

Eine modulare und wandlungsfähige Pulverbeschichtungstechnik, basierend auf dem elektrostatischen Fluidisierbett, kommt mit einem Bruchteil des Platzbedarfs und Energieverbrauchs von herkömmlichen elektrostatischen Pulversprühanlagen aus. Pulverbeschichter können dadurch schneller auf unterschiedliche Produktionsanforderungen reagieren und gleichzeitig Kosten sparen.

### **Kostentreiber Druckluft- und Stromverbrauch**

Klassische elektrostatische Pulversprühanlagen (EPS) benötigen zum Betrieb der Sprühpistolen, zur Pulverfluidisierung sowie für die Reinigung beim Farbwechsel große Druckluftmengen. In typischen Anlagen, beispielsweise mit 20 Sprühpistolen, verbrauchen allein diese 60 bis 100 m<sup>3</sup> Druckluft pro Stunde. Zudem fordern die Sicherheitsvorschriften hohe Abluftmengen bzw. Ventilatorleistungen, um die vorgeschriebene Mindestströmungsgeschwindigkeit in den Kabinenöffnungen zu gewährleisten sowie die maximal zulässige Pulverkonzentration in der Abluft nicht zu überschreiten (DIN EN 12981).

Bei EPS-Anlagen muss dabei der »worst case«, d. h. die maximal von den Pistolen versprühbare Pulvermenge, angenommen werden. Bei 20 Sprühpistolen erfordert dies je nach Pulverlackmaterial und Rückgewinnungssystem Absaugleistungen bis zu 30000 m<sup>3</sup>/h bzw. Ventilator-Antriebsleistungen bis über 50 kW. Diese verursachen nicht nur hohe Energiekosten, sondern auch eine starke Erwärmung der Umgebung. In eingehausten Pulverbeschichtungsanlagen mit Fremdbelüftung erfordert dies unter Umständen sogar einen zusätzlichen Energieeinsatz zur Kühlung.

### **Kompakte Pulverbeschichtungsmodule ohne Sprühpistolen**

Die Absaugleistung lässt sich nur dann reduzieren, wenn auf eine Applikation des Pulverlacks mittels Sprühpistolen verzichtet

wird. Dies ist bei dem schon lange bekannten elektrostatischen Fluidisierbettverfahren der Fall. Allerdings konnte sich dieses Verfahren aufgrund seiner bisherigen Grenzen hinsichtlich der Flexibilität und Beschichtungsqualität nicht durchsetzen. Eine neue Generation von kompakten und wandlungsfähigen Beschichtungsmodulen auf der Basis des elektrostatischen Fluidisierbettverfahrens wurde am Fraunhofer IPA in Zusammenarbeit mit sechs mittelständischen Unternehmen aus Baden-Württemberg entwickelt: die TransApp®-Technologie. Das Forschungsprojekt ist im Auftrag des baden-württembergischen Wirtschaftsministeriums mit Mitteln der Landesstiftung Baden-Württemberg durchgeführt worden.

### **Der Einsatz gepulster Hochspannung verbessert die Beschichtungsqualität**

In den Modulen mit der TransApp®-Technologie lassen sich sowohl flächige als auch dreidimensionale Werkstücke mit hoher Qualität beschichten. Die entscheidenden Innovationen liegen dabei in neuen Techniken zur Anpassung des elektrischen Feldes an unterschiedliche Werkstückformen. Dazu zählen speziell gestaltete Auflade- und Zusatzelektroden sowie der Einsatz gepulster Hochspannung anstelle der bisher üblichen Gleichspannung. Damit lässt sich unter anderem der für die unzureichende Kantenbeschichtung verantwortliche Rücksprüheffekt stark reduzieren.

Die TransApp®-Beschichtungsmodule weisen nur einen Bruchteil der Größe vergleichbarer konventioneller Pulverkabinen auf, da kein Raum für Sprühpistolen benötigt wird und das Fluidisierbett aufgrund der hohen Pulverübertragungsrate extrem kompakt ist. Das Pulver wird nahezu ausschließlich mittels elektrischer Kräfte zu den Werkstücken transportiert. Druckluft wird im Wesentlichen nur zur Pulverfluidisierung im elek-



2

trostatischen Fluidisierbett benötigt. Der Druckluftverbrauch eines TransApp®-Beschichtungsmoduls beträgt dadurch weniger als ein Drittel des Verbrauchs einer vergleichbaren konventionellen EPS-Anlage. Die luftarme Pulverapplikation verursacht zudem nur sehr geringe Overspraymengen. Dadurch ist weniger als ein Drittel der Absaugleistung einer vergleichbaren EPS-Pulverkabine erforderlich. Entsprechend kompakt und energiesparend lässt sich der Pulverabscheider auslegen.

### Infrarotstrahler beschleunigen den Einbrennprozess

Die kompakte Bauweise der TransApp®-Beschichtungsmodule erfordert in der Regel auch ein schnelles Aufschmelzen und Vernetzen der Pulverschicht. Herkömmliche Durchlauf-Umluftöfen kommen aufgrund der langen Verweildauer der Werkstücke im Ofen nur bei sehr geringem Werkstückdurchsatz in Betracht. Bei höherem Durchsatz müssen sich der Aufschmelz- und Vernetzungsprozess in entsprechend kürzerer Zeit, d. h. bis zu weit unterhalb einer Minute, abspielen, um die Einbrennzone auf kompakte Dimensionen begrenzen zu können.

Bei dreidimensionalen Werkstücken kommen dafür insbesondere Gasinfrarotstrahler in Frage. Die bei diesen Systemen durch das ausströmende Verbrennungsgas zusätzlich auftretende Wärme- konvektion verbessert die Flexibilität hinsichtlich unterschiedlicher Werkstückgeometrien und -oberflächen. Für flächige und einfache dreidimensionale Werkstücke eignen sich auch elektrische Infrarotstrahler. Diese sind sicherheits- und steuerungstechnisch einfacher zu handhaben als Gasinfrarotstrahler, verursachen allerdings häufig aufgrund des im Vergleich zu Gas zumeist teureren Stroms höhere Betriebskosten. Da bei kurzwelligen Infrarotstrahlern in Verbindung mit hellen Pulverlack- Farbtönen starke Reflexionseffekte die Einbrennzeiten erheblich verlängern und die Energieeffizienz verschlechtern können, wird sowohl bei Gasinfrarotstrahlern als auch bei elektrischen Infrarotstrahlern mittelwelliges Infrarot bevorzugt. In diesem Zusammenhang zeigen die Untersuchungen am Fraunhofer IPA, dass beim Aufschmelzen und Vernetzen der Pulverlackschicht noch ein erhebliches Optimierungspotenzial bezüglich der

Energieeffizienz besteht. Dazu muss das Emissionsspektrum des Infrarotstrahlers möglichst genau mit dem Absorptionsspektrum der Pulverlackschicht übereinstimmen, sodass Energie in der Nähe der elektromagnetischen Resonanz sehr effizient übertragen werden kann. Wege dazu sind zum einen Modifikationen der Strahleroberfläche, zum anderen die Ein- arbeitung spezieller Additive in das Pulverlackmaterial.

### Wandlungsfähige Produktionssysteme

Die Kombination der pistolenlosen TransApp®-Pulverapplikations- technik mit hocheffizienter Infrarot-Strahlertechnik eröffnet neue Möglichkeiten zur Gestaltung von wandlungsfähigen Beschichtungsmodulen nach dem Baukastenprinzip. So können z. B. bei wechselnden Werkstücken und Pulverlackmaterialien mehrere, leicht austauschbare Fluidisierbett-Einheiten in das Modul eingesetzt und dem jeweiligen Produktionsprogramm entsprechend angefahren werden. Die Werkstücke werden dabei je nach Größe, Form und Durchsatzmenge durch unterschiedliche Fördertechnik, z. B. durch einen Mehrachsen- Roboter, bewegt. Zur Vorbehandlung der Werkstücke werden nach Möglichkeit platzsparende Verfahren (z. B. Plasma-Vor- behandlung) eingesetzt, die sich direkt in das Beschichtungs- modul integrieren lassen.

Das zukunftsweisende Pulverbeschichtungs-Konzept wird derzeit in der Lernfabrik an der Universität Stuttgart erprobt. Das TransApp®-Beschichtungsmodul und die weiteren Module der Lernfabrik – wie Montagezellen, ein automatisiertes Lager und Transportstrecken – bilden zusammen das realitätsnahe Modell eines wandlungsfähigen Produktionssystems.

**1** *Mit der pistolenlosen Pulverbeschichtungstechnik lassen sich kompakte und energieeffiziente Beschichtungsmodule gestalten, zum Beispiel für flächige Werkstücke.*

**2** *In einem Beschichtungsmodul für dreidimensionale Werkstücke integrierte Infrarot-Einbrennzone; die mittelwelligen Carbonstrahler ermöglichen Einbrennzeiten von weniger als 30 s.*

---

# PROZESSENGINEERING FUNKTIONALER MATERIALIEN

---

Die Oberfläche stellt die Schnittstelle zu einem Großteil der menschlichen Sinne dar. Eine polierte Holzoberfläche z. B. können wir nicht nur betrachten und visuell erfahren, sondern auch haptisch »begreifen«. Wir können Rauigkeiten bis 10 µm leicht ertasten und eine Vielzahl weiterer Eigenschaften wie Wärme, Härte etc. wahrnehmen. Diese Oberflächeneigenschaften prägen maßgeblich unser Qualitätsempfinden für ein Produkt und sind ein erfolgsentscheidender Faktor in der Produktentwicklung.

Innovationen finden zunehmend an der Oberfläche statt. Ob elektrisch leitfähige Beschichtungen, verschleißmindernde Oberflächen oder Akustik emittierende Flächen, alle diese Modifikationen gehören heute in ein innovatives Produkt.

Die Abteilung »Prozessengineering funktionaler Materialien« verfolgt das Ziel, durch die Nutzung intrinsischer Werkstoffeigenschaften nasschemisch funktionale Oberflächen herzustellen. Nahezu alle Matrixmaterialien unterschiedlichster Viskosität (Wasser, Lösemittel, Kunststoffe, Keramiken und Metalle) können verarbeitet werden. Dabei sollen die funktionalen Werkstoffe schnell und pragmatisch in Produktinnovationen übertragen werden. Um dies zu leisten, ist die Abteilung hoch integriert, bildet alle Produktionsprozesse von der Materialsynthese bis zur Kleinserienherstellung ab und begleitet ihre Kunden bis zum erfolgreichen Serienanlauf.

## **Multiskalige Funktionspartikel**

Ob nun Partikel in Sonnen- oder Zahncremes oder Aluminiumflakes in der Metalllackierung von Kfz – Funktionspartikel sind fast überall im Einsatz. Die Abteilung Prozessengineering funktionaler Materialien konzentriert sich auf rein technische Applikationen, in denen die thermischen, elektrischen und strukturmodifizierten Eigenschaften von Funktionspartikeln genutzt werden.

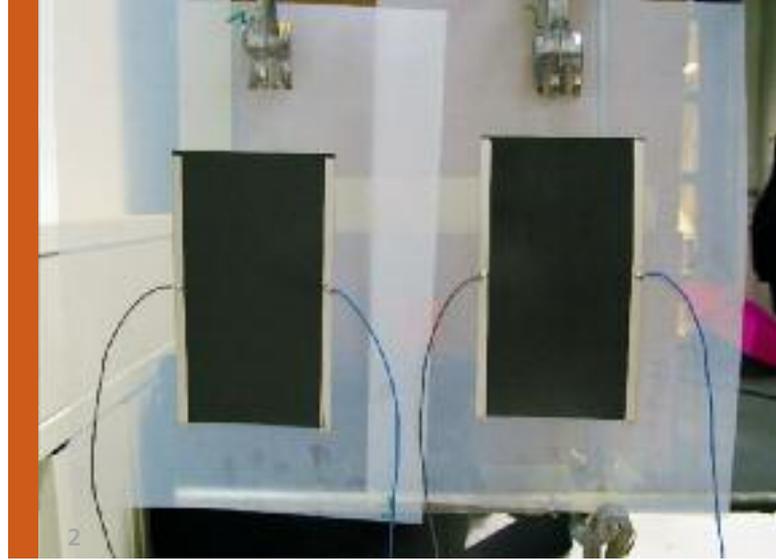
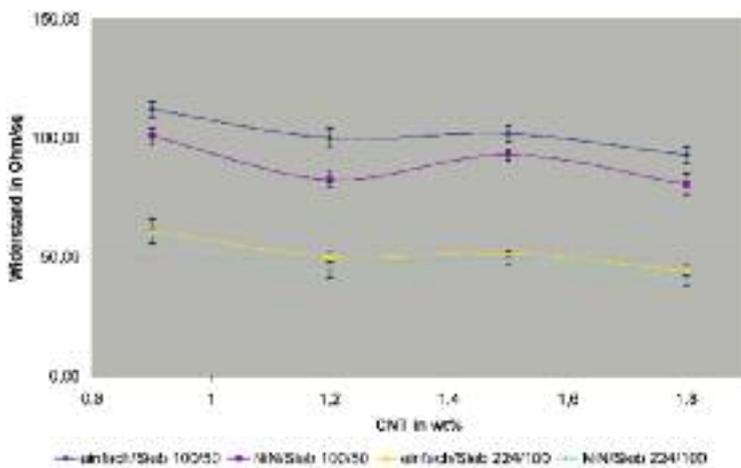
Seit 10 Jahren beschäftigt sich die Abteilung intensiv mit nanoskaligem Kohlenstoff. Bei Carbon Nanotubes (CNT) handelt es sich um extrem dünne und lange Röhren aus Kohlenstoff mit hervorragender mechanischer Festigkeit und exzellenten elektrischen und thermischen Eigenschaften. So können transparente und elektrisch leitfähige Schichten etwa für Touchscreens und Mobiltelefone hergestellt werden.

Neben den CNT befasst sich die Abteilung auch intensiv mit einlagigem Graphit, dem Werkstoff Graphen. Seine Graphitschichten sind nur eine Atomlage dick und verfügen über extreme elektrische Eigenschaften. Eine weitere Materialinnovation sind elektrisch leitfähige Kunststoffe. Von den leitfähigen Polymeren kommt vor allem Pdot-Pss im Aufbau transparenter und leitfähiger Elektroden zum Einsatz.

Neben diesen organischen Funktionswerkstoffen werden auch vermehrt Formulierungen mit metallischen Partikeln wie Nanosilber und -gold sowie monodispersiertes Eisen entwickelt. Nanosilber kann z. B. zum Aufbau von hochleitfähigen Tinten und Beschichtungen eingesetzt werden.

Funktionale und intelligente Oberflächen müssen oft mehrere technische Eigenschaften aufweisen. Eine transparente und elektrisch leitfähige Elektrode muss nicht nur elektrisch leitfähig sein, sondern auf dem Substrat anhaften und Kratzfestigkeit sowie Beständigkeit gegenüber Umwelteinflüssen aufweisen.

Um solche Multifunktionen realisieren zu können, muss eine technische Beschichtung mit bis zu zehn verschiedenen nano- und mikroskaligen Funktionspartikeln aufgebaut sein. Die Anwendungsbeispiele für solche funktionale Dispersionen sind mannigfaltig. Ob sprühbare und transparente Heizungen, Separatorschichten und Elektroden für die Batterietechnik oder druckbare Sensoren und Aktoren. Die Vielfältigkeit kennt nahezu keine Grenzen.



# MATERIALENTWICKLUNG MIT CARBON NANOTUBES FÜR FLÄCHENHEIZUNGSSYSTEME

## Ausgangssituation

Um sich auf dem Weltmarkt optimal und langfristig zu positionieren, muss das Unternehmen Thermo-Flächenheizungs GmbH gezielt an der Verbesserung seiner Produkte arbeiten, in dem es innovative Materialien in seinen Produkten einsetzt. Eine Kooperation mit dem Fraunhofer IPA bot dem Unternehmen eine Basis zur Generierung neuer Produkte und die Möglichkeit, in einem neuen Entwicklungsbereich Fuß zu fassen.

Auf dem Gebiet der Carbon Nanotubes besitzt das Fraunhofer IPA große Erfahrung. Es war die erste Forschungsgruppe europaweit, welche die Applikationsentwicklungen mit Carbon Nanotubes durchgeführt hat. In einem Projekt entwickelte das Fraunhofer IPA mit Carbon Nanotubes (CNT) ein Material und daraus ein innovatives Heizelement.

## Aufgabenstellung und Ziel

Das Fraunhofer IPA hat es sich zur Aufgabe gemacht, die herausragenden Merkmale der Carbon Nanotubes in makroskopische Anwendungen zu überführen. Der Schwerpunkt sollte bei den elektrischen Eigenschaften der Dispersionen liegen.

Der Sinn und Zweck dieser Aufgabe bestand darin, über den Füllstoffgehalt der Carbon Nanotubes, die elektrischen Eigenschaften der Dispersion einzustellen. So können die Materialien in ihrer Anwendung erhöhten elektrischen und thermischen Belastungen standhalten. Eine homogene Verteilung der Carbon Nanotubes in der Dispersion ist die grundlegende Voraussetzung, um dieses Ziel zu erreichen.

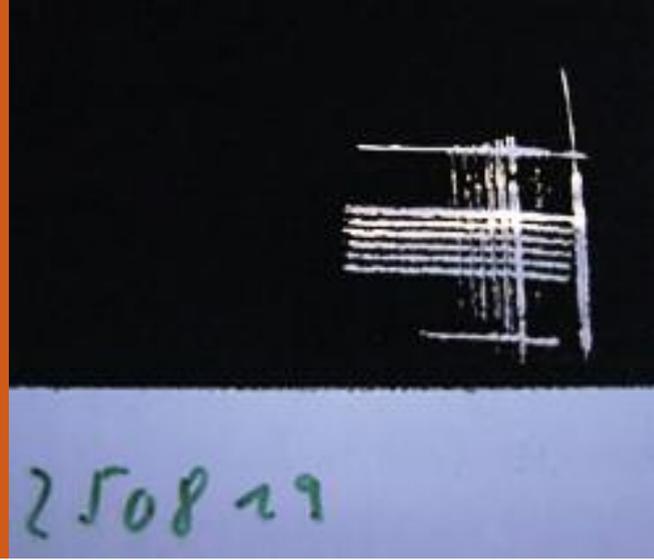
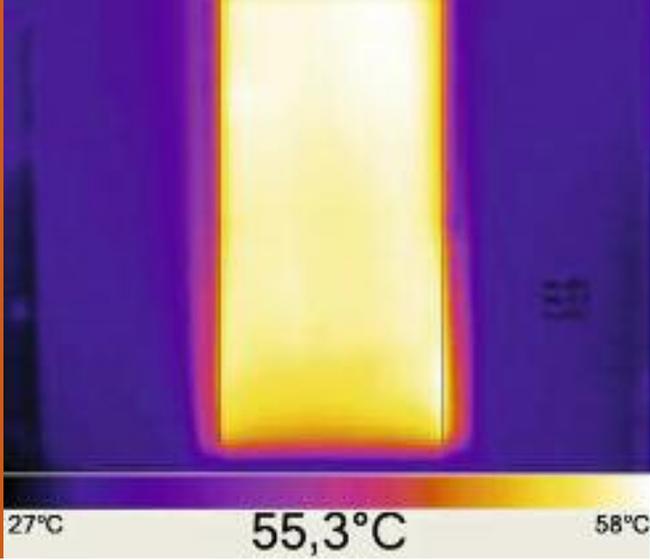
Des Weiteren sollte die Dispersion mit CNT so modifiziert werden, dass sie sich z. B. mit einer Sprüh-, Rakel- bzw. Druckmethode auf ein Substrat auftragen lässt und bei Anwendungen bis 100 °C thermisch und mechanisch stabil bleibt.

## Vorgehen

Carbon Nanotubes werden in Pulverform geliefert, das optisch dem Graphitpulver ähnelt. Die Carbon Nanotubes »haften« im Pulver aneinander und bilden größere Verklumpungen. Diese mikroskopischen Agglomerate von Nanotubes besitzen in dieser Form kaum das Potenzial, die elektrischen und thermischen Eigenschaften von Verbundmaterialien entscheidend zu verbessern.

Daher muss ein gutes Lösungs- bzw. Bindemittel gefunden werden, um eine gute CNT-Dispersion herzustellen, in dem die CNT homogen verteilt und fein dispergiert werden können. Dafür wurden verschiedene Verfahren durch Beimengung von Carbon Nanotubes und Additive modifiziert. Dieser Vorgang erfolgt meistens in einem flüssigen Medium.

Des Weiteren war zu beachten, dass die elektrische Leitfähigkeit der Dispersion mit der Erhöhung des CNT-Gehalts ebenso zunimmt, jedoch die Sprüh-, Rakel-, Druckfähigkeit sowie die Haftung auf dem Substrat mit der Steigerung der Viskosität abnimmt.



Um allen Parametern gerecht zu werden, war eine Einstellung des Gleichgewichts der unterschiedlichen Einflussfaktoren notwendig. Dazu wurden Versuchsreihen sowie Vergleichstest durchgeführt. Dabei ist festgestellt worden, wie stark die Abhängigkeit der einzelnen Faktoren untereinander sowie auf die komplette Dispersion ist.

### Ergebnis

Das Ergebnis der Entwicklung und der Untersuchungen bildet eine Dispersion, die durch ein Siebdruckverfahren auf temperaturstabile Polyesterfolien aufgetragen wird und die geforderten Eigenschaften besitzt.

Auf die gedruckte Schicht werden zusätzlich Leiterbahnen aus Silberleitpaste aufgedruckt, diese mit einer Kontaktierung versehen und zum Schutz der »Heizseite« wird das gesamte System laminiert. Damit ist das Heizelement funktionsfähig.

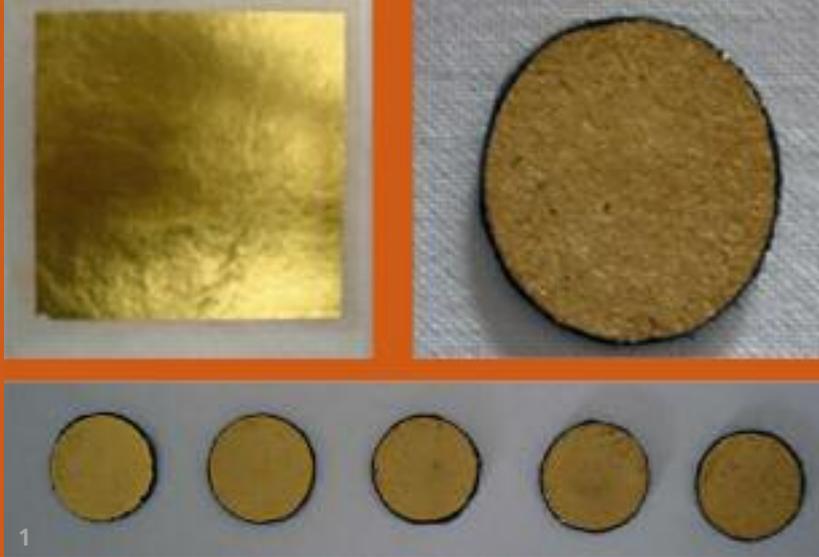
Die elektrische Leitfähigkeit des Heizelements kann auch durch die Änderung der Schichtdicke beeinflusst werden. Aufgrund der Schichtdicke und unterschiedlicher Kontaktierungsarten sind Leistungen zwischen 200 W/m<sup>2</sup> und 350 W/m<sup>2</sup> erzielbar. Die Polyesterfolie als Trägermaterial der Heizelemente schränkt das Anwendungsgebiet auf 100 °C ein. Die Heizelemente können so gestaltet werden, dass sie für Spannungsversorgungen von 12 V, 48 V, 115 V und 230 V geeignet sind.

### Ausblick

Durch die Breite der Einstellungsmöglichkeiten – Schichtdicke, Kontaktierungsart und Spannungsversorgung – kann eine Vielfalt an Heizelementen hergestellt und damit ein großes Einsatzspektrum abgedeckt werden. Die Flexibilität von Polyesterfolien macht es möglich, die Heizelemente ebenso auf dreidimensionalen Flächen aufzubringen.

Der bisherige Produktionsablauf des Unternehmens zur Herstellung von Heizelementen basiert auf dem Siebdruck von Silberleitpasten. So können die Siebe den neuen Leitlacken angepasst werden, ohne dass in den traditionellen Fertigungsprozess eingegriffen werden muss.

- 1 *Abhängigkeit des elektrischen Widerstands von CNT-Anteil, Schichtaufbau und Siebtyp.*
- 2 *Bedruckte Polyesterfolien zur Bestimmung der elektrischen Widerstände sowie der Heizhomogenität.*
- 3 *Wärmebildaufnahme eines an elektrische Spannung angeschlossenen Heizelements.*
- 4 *Gitterschnitttest – Haftung der Schicht auf einer Polyesterfolie.*



# AKTUATOREN AUS CARBON NANOTUBES – KÜNSTLICHE MUSKELN FÜR DIE MIKRO-SYSTEMTECHNIK

## Ausgangssituation

Obwohl seitens der Industrie schon seit längerem ein großes Interesse an Mikroaktuatoren besteht, war die Marktdurchdringung bislang nicht erwähnenswert. Hohe Fertigungskosten der meist im Labormaßstab hergestellten Aktuatorensowie der Einsatz seltener und teurer Materialien verhinderten einen wirtschaftlichen Einsatz. Die immer populärer werdenden Carbon Nanotubes, kurz CNT, ändern dieses Bild gegenwärtig durch ihre herausragende Sonderstellung: Günstiges Rohmaterial und eine niedrige Leistungsaufnahme versprechen eine Vielzahl von Anwendungsmöglichkeiten für eine neue Aktor-Klasse.

## Ziel und Aufgabenstellung

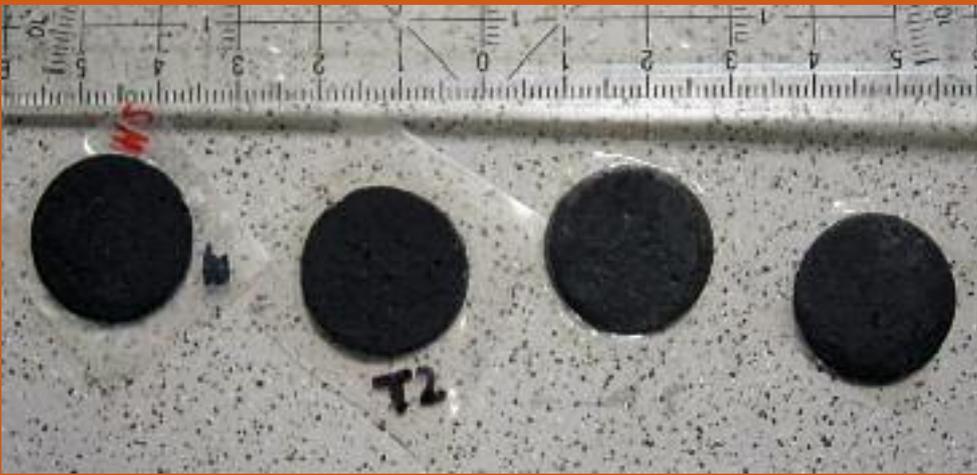
Die Abteilung »Prozessengineering funktionaler Materialien« am Fraunhofer IPA in Stuttgart hat sich in der vielfältigen Welt der Nanotechnologie auf Carbon Nanotubes spezialisiert. Carbon Nanotubes sind hexagonal vernetzte Kohlenstoffatome, die röhrenförmige Moleküle (tubes) bilden. Die Kohlenstoffröhrchen haben einen Durchmesser von nur wenigen Nanometern, aber Längendimensionen von mehreren hundert Mikrometern bis zu Zentimetern. Hier finden sich auch Gemeinsamkeiten mit dem biologischen Pendant. Denn wie natürliche Muskeln bestehen CNT Bundles aus Milliarden einzelner, nanoskopisch dünner Fasern, die zum Beispiel mechanische Arbeiten ausführen können. Im Gegensatz zu den relativ schwachen Fasern eines natürlichen Muskels sind die neuartigen künstlichen Muskeln aus den winzigen Kohlenstoff-Nanoröhren allerdings sehr kräftig und strapazierfähig. Diese Eigenschaft prädestiniert die Miniaturfasern zum Einsatz als Aktuatorens beispielsweise in der minimalinvasiven Medizin oder im Automotive-Bereich. Das

Prinzip funktioniert folgendermaßen: Legt man an die Nanotubes eine elektrische Spannung an, so erhält man wie beim natürlichen Muskel eine gleichförmige Bewegung. Vorteilhaft ist dabei die hohe Festigkeit der Fasern, durch die sie bei jeder Bewegung nicht nur mehr Arbeit verrichten, sondern auch eine höhere mechanische Spannung erzeugen können. Mit diesen Eigenschaften lassen sich kleinste Stellglieder überall dort nutzen, wo Aktionen und Reaktionen auf kleinstem Raum gefordert sind, also in der gesamten Mikrosystemtechnik.

Eine der großen Aufgaben der Wissenschaft ist es, die herausragenden Eigenschaften der einzelnen Carbon Nanotubes auf ein makroskopisches System zu übertragen. Dazu müssen die Carbon-Röhrchen zunächst in eine »handhabbare« Form überführt werden, die eine Funktion in unterschiedlichen Medien sicherstellt. Größen wie Auslenkung, Aktuationsgeschwindigkeit und Kraft sollen der jeweiligen Applikation angepasst werden.

## Vorgehensweise

Die Handhabung dieser neuen Materialien auf dem vielversprechenden Gebiet der Nanotechnologie ist eine der größten Herausforderungen. Denn für eine technische Anwendung als Aktuatorens müssen die nanoskopisch kleinen Kohlenstoffröhren zunächst in ein verwertbares Halbzeug überführt werden. Erst in makroskopischer Form können CNT auf Größen wie Stellwert, Auslenkung, Aktuationsgeschwindigkeit, Leistungsaufnahme und Kraft für die jeweiligen Applikationen konditioniert werden. Der Ausgangspunkt für die Untersuchung der aktuatorischen Eigenschaften der Carbon Nanotubes war das so genannte Bucky Paper. In diesem System ist für die Umsetzung von elektrischer in mechanische Energie allerdings eine Elektrolytlösung



2

erforderlich. Bei vielen Anwendungen ist ein in flüssigen Medien betriebenes System jedoch unvorteilhaft. Ein an der Luft arbeitendes, »trockenes« System besitzt bei einfacher Handhabung die Vorteile eines geringen Konstruktionsaufwands und niedrigerer Materialkosten.

Zur Überwindung dieser technologischen Hürde arbeiten als wissenschaftliche Partner thematisch involvierte und anwendungsorientierte Fraunhofer-Institute und das benachbarte Max-Planck-Institut sowie das Institut für Mikrosystemtechnik der Universität Stuttgart zusammen in einem effizienten Verbund. Hier wird Expertenwissen gebündelt und die CNT-Entwicklung vorangetrieben. So konnten von der Erforschung der elementaren Grundlagen bis hin zur industriellen Umsetzung bereits entscheidende Meilensteine erarbeitet werden. Die bisher im Stuttgarter CNT-Speziallabor gesammelten Ergebnisse versetzen das Fraunhofer IPA nun in die Lage, die Potenziale der CNT-Technologie auch in andere, neue Applikationen zu transferieren.

## Ergebnis

Wichtigstes Forschungsziel war es, Aktuatoren zu entwickeln, die ohne Elektrolytlösungen auskommen. Der Stuttgarter CNT-Unit gelang dies durch die Entwicklung eines neuartigen CNT-Komposits. Diese Systeme können prinzipiell in zwei oder drei Schichten angeordnet werden: Je nach Konfiguration sind so Linear-, Stapel- und Biege-Aktuatoren realisierbar. Die marktorientierte Vorlauftforschung des Stuttgarter CNT-Speziallabors bemüht sich verstärkt um die Evaluierung der am besten geeigneten Komposite mit dem Ziel, CNTs für die verschiedensten adaptronischen Anwendungen verfügbar zu machen. Neben der Steigerung der Aktuation und der Kräfte konnte die Aktuationszeit deutlich verbessert werden. Im Rahmen der Zusammenarbeit des Fraunhofer IPA mit den anderen Instituten, insbesondere dem Fraunhofer IGB, konnte eine sich in stetigem Wachstum befindende Datenbasis erarbeitet werden, welche auch die Verwendung unterschiedlicher Nanotube-Typen, Elektrolytsysteme und Matrixmaterialien einschließt.

## Ausblick

Das Projektteam arbeitet intensiv an der Realisierung von Aktuatoren und elektroaktiven Komponenten auf der Basis von Carbon Nanotubes. Hauptanwendungsgebiete stellen hierbei Bereiche der Adaptronik sowie der Mikrosystemtechnik dar. Durch den deutlichen Rückgang der Herstellungskosten für das Ausgangsmaterial werden in naher Zukunft Carbon-Nanotube-Aktuatoren für Serienapplikationen zunehmend an Bedeutung gewinnen. Eine stetige Weiterentwicklung und Optimierung der eingesetzten Materialien wie auch der Herstellung eröffnen hierbei innovative Ideen für neue Anwendungsfelder.

1 *Verbesserung der Oberflächeneigenschaften durch Goldbeschichtung.*

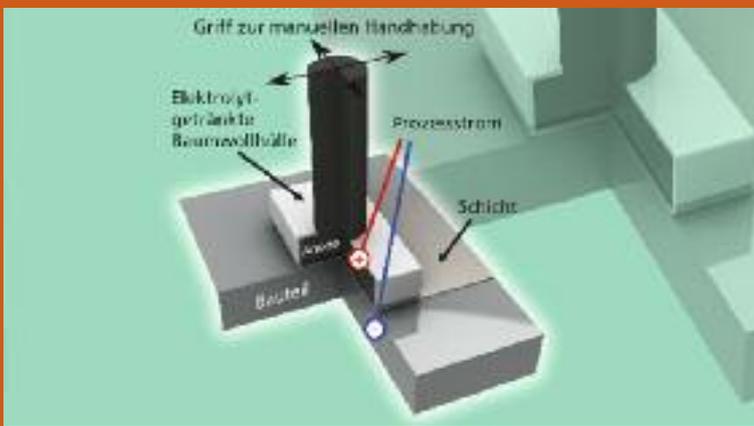
2 *»Trockene« Aktuatoren auf Basis von Carbon Nanotubes.*

# SCHICHTTECHNIK

Galvanotechnik ist die wirtschaftliche und flexible Herstellung hochwertiger Beschichtungen für eine Vielzahl von Industriezweigen. Oft ist die Verwendung von innovativen, multifunktionalen Werkstoffen zur Veredelung von Bauteiloberflächen ein unverzichtbares Mittel, um im weltweiten Konkurrenzkampf zu bestehen. Vor allem in der aktuellen Zeit sind diese Aspekte verknüpft mit wirtschaftlichen und ressourceneffizienten Verfahren für alle Industriezweige relevant. Wichtig dabei wird für die Anwender immer mehr, dass die Galvanotechnik in unserem Jahrtausend ohne Zweifel dem Begriff green chemistry zuzuordnen ist und in Bezug auf Aspekte wie z. B. Materialausbeuten konkurrierenden Verfahren überlegen ist.

Häufig wird die Galvanotechnik wie auch die gesamte Beschichtungstechnik aber immer noch als eine Technologie betrachtet, die ein lästiges aber notwendiges Element in der Fertigungskette darstellt. Zielgerichtet umgesetzt ist sie aber zweifellos eine Möglichkeit, Werkstoffe gezielt und kostengünstig zur Realisierung wichtiger Produkteigenschaften einzusetzen. Gerade in den letzten Jahren hat es hier eine Reihe interessanter Neuentwicklungen gegeben, die sich nicht nur auf Werkstoffe und Prozesse sondern auch auf Produktionsanlagen beziehen. Diese innovativen Entwicklungen ermöglichen es, hochpräzise Schichtlösungen zu wettbewerbsfähigen Kosten zu realisieren.

Die Abteilung Schichttechnik des Fraunhofer IPA unterstützt alle Schritte entlang der Entwicklung galvanotechnisch basierter Fertigungstechnologien, von der Verfahrensentwicklung über Maßnahmen zur Prozessstabilität und Qualitätssicherung bis hin zur Anlagenkonzeption und der Konstruktion von Schlüsselkomponenten. Durch diesen Ansatz stehen wir im deutschen Forschungsmarkt als einziger Anbieter für Entwicklungen in dieser Breite und Durchgängigkeit für galvanische Verfahren. Die große Zahl an zufriedenen Stammkunden bestärkt uns darin, diese Ansätze konsequent weiter zu entwickeln. Mit unserer Technologie des SBZ ist uns ein weiterer Schritt in Richtung High-End-Galvanotechnik gelungen.



1

## SBZ – DAS SELEKTIVE BESCHICHTUNGSZENTRUM

Nach wie vor sind die Anwendungsmöglichkeiten der galvanischen Metallabscheidung bei weitem nicht voll ausgeschöpft. Sowohl Entwicklungen im Bereich der Verfahren bzw. der Elektrolytformulierungen als auch in Bezug auf die anlagentechnische Durchführung einer Galvanisierung eröffnen der Beschichtungstechnik immer wieder neue Wege.

Ein entscheidender Vorsprung in der Applikation wird erzielt, wenn eine automatisierte reproduzierbare galvanische Beschichtung außerhalb jedes Bads, Elektrolyttanks oder Reaktionsgefäßes möglich wird. Das Fundament dafür hat das Fraunhofer IPA durch ein Beschichtungszentrum geschaffen, in dem ein Industrieroboter zur Führung von Beschichtungswerkzeugen eingesetzt wird. Ermöglicht wurde dies durch eine radikale Neuinterpretation des Brush-Plating-Prinzips bzw. durch die Neuentwicklung von Beschichtungswerkzeugen in Kombination mit entsprechend aufgebauten Medienstationen zur Ver- und Entsorgung der Werkzeuge mit Prozessflüssigkeiten. Durch Programmierung geeigneter Bewegungsabläufe können nun außerhalb jeder herkömmlichen Anlage Bereiche eines Werkstücks selektiv angefahren und beschichtet werden. Zusätzlich kann die Selektivität durch die konstruktive Gestaltung der Beschichtungswerkzeuge auf bestimmte Anwendungen hin optimiert werden. Durch den modularen Aufbau sind Anlagenteile auch autark als transportables System zur Oberflächenreparatur einsetzbar. Das SBZ des Fraunhofer IPA eröffnet der galvanischen Beschichtung somit komplett neue Einsatzmöglichkeiten, speziell in Bezug auf Fertigungsintegration, Selektivität und Mobilität.

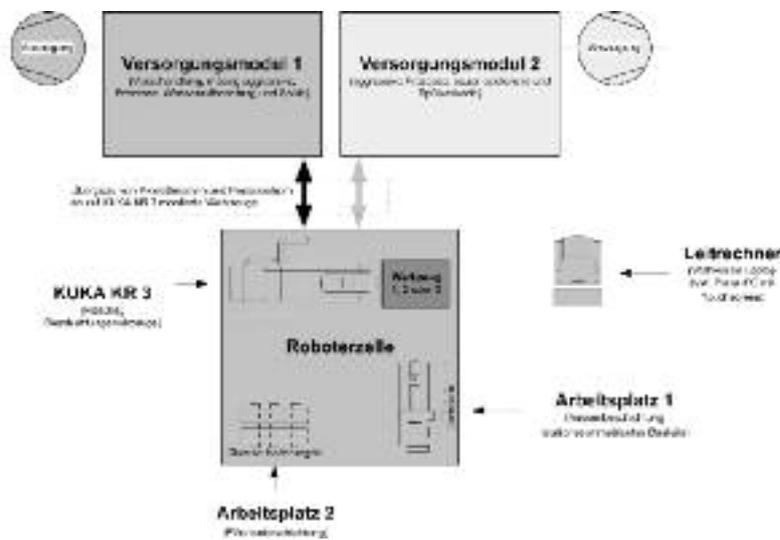
### Grundlegende Verfahrensweise

Beim herkömmlichen Brush-Plating wird der zur galvanischen Abscheidung eingesetzte Elektrolyt von einem die Anode um-

hüllenden Fließstoff aufgesogen. Durch meist manuell oder maximal mechanisch unterstützt erfolgendes Anpressen dieser umhüllten Anode an die zu beschichtende Bauteilfläche wird der Stromfluss und dadurch die Abscheidung ermöglicht. Um die Abscheidung gleichmäßig zu gestalten, ist es erforderlich, eine gewisse Relativbewegung zwischen Anode und Bauteil zu erzeugen. Herkömmlich wird dies manuell realisiert. Dieses grundsätzliche Applikationsprinzip verdeutlicht Bild 1.

Als Anode werden üblicherweise inerte Materialien wie platinierter Titan oder Graphit eingesetzt. Bei den eingesetzten Elektrolyten handelt es sich um speziell formulierte Lösungen, deren Zusammensetzung den spezifischen Gegebenheiten des Brush-Platings angepasst ist.

Dieses Applikationsprinzip erlaubt zwar die selektive Beschichtung von Bauteilbereichen, wobei die Selektivität in der Praxis teilweise rein durch die manuelle Bewegungsführung der Anode, teilweise durch Abkleben der Oberfläche erzeugt wird. In keinem Fall ist aber von einem industriell einsetzbaren Verfahren zu sprechen, vielmehr handelt es sich sowohl was Elektrolytformulierung als auch Durchführung angeht um ein handwerkliches System, was naturgemäß eine deutliche Begrenzung mit sich bringt. Obwohl sich durch Brush-Plating sehr viele Metalle in sehr guter Qualität abscheiden lassen, sind dem weiteren Einsatz des Prinzips dadurch Grenzen gesetzt. Aktuell kann hierbei vor allem als ungünstig angesehen werden, dass die meist manuelle bzw. handwerkliche Ausführung durch erfahrene Spezialisten die Einsatzmöglichkeiten der Technologie in wirtschaftlicher Hinsicht und in Bezug auf die erreichbaren Stückzahlen spürbar einengt. So findet die Brush-Technologie denn auch hauptsächlich Anwendung bei der Reparaturbeschichtung von Maschinenteilen, oft in eingebauten Zustand. Hierbei sind z. B. Druckmaschinen und Maschinen zur Herstellung von Folien



2

oder Papier zu nennen. Aber auch im Bereich der Schmuckherstellung wird die durch Brush-Plating erreichbare Selektivität gern genutzt, um z. B. bei höherwertigen Teilen partielle Fehler auszubessern. Publiizierte Weiterentwicklungen im Bereich des Brush-Platings zielten bisher vor allem darauf ab, eventuelle, durch die manuelle Ausführung der Beschichtung sich ergebende Schwankungen in den Abscheidungsbedingungen durch Einsatz von mechanischen Hilfsmitteln zu minimieren. Dies betraf sowohl die Halterung der Anode als auch den Elektrolytaustausch. Es ist dabei aber teilweise schlecht nachvollziehbar, inwieweit diese Entwicklungen eine tatsächliche Verbesserung darstellen.

**Die Umsetzung**

Um die positiven Eigenschaften des Brush-Platings für industrielle Anwendungen nutzbar zu machen, ist ein universell einsetzbares Beschichtungszentrum notwendig, das sich durch folgende Eigenschaften auszeichnet:

- Automatisierter Einsatz von frei beweglichen Brush-Werkzeugen,
- Aufbau einer speziellen Roboterzelle mit integrierten Bauteilhalterungen,
- Rückstandsfreie Verfahrensweise außerhalb von Bädern ohne jegliche Kontamination der umgebenden Oberflächen
- Entwicklung und Bau unabhängiger Module zur Versorgung des Werkzeuges mit Beschichtungselektrolyten und Spülwässern.

Bild 2 zeigt das Gesamtschema des ausgeführten SBZ.

Für die Realisierung des SBZ waren disziplinübergreifende grundlegende Neuentwicklungen notwendig, welche die gesamte Bandbreite der schichttechnischen Kompetenz des Fraunhofer IPA erforderten. Wesentlich ist dabei die Verknüpfung von Anlagen- und Verfahrenstechnik.

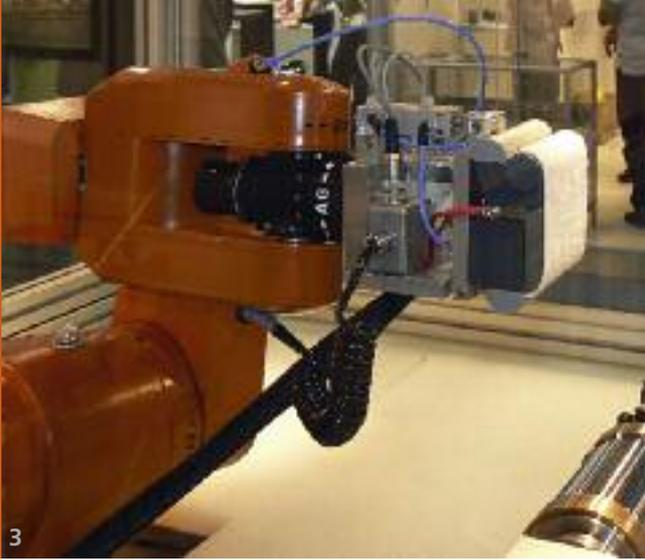
*Entwicklung der spezifischen Anlagentechnik:*

Das gesamte SBZ basiert auf einem handelsüblichen Industrieroboter als einziger Zukaufkomponente. Der Roboter verfügt über drei mögliche Werkzeuge zur Beschichtung verschiedenster Geometrien. Bild 3 zeigt den Roboter mit einem Werkzeug zur Beschichtung von Flächen und rotationssymmetrischen Bauteilen einfacher Geometrie. Die drei Werkzeuge wurden eigens für diesen Einsatz konstruiert. Die Herausforderung lag dabei in der mechanischen Ausführung und der Strömungsführung, da die Versorgung mit frischem Elektrolyt durch die Werkzeuge hindurch erfolgt.

Für die Versorgung der Werkzeuge wurden zwei ebenfalls eigens konstruierte Versorgungsmodule realisiert, Bild 4 zeigt eines davon. Die Versorgungsmodule bevorraten die notwendigen Beschichtungselektrolyte sowie die Spülwässer, die über Ionenaustauscher stets sauber gehalten werden. Das gesamte System ist also autark. Der grundlegende Unterschied zwischen den beiden Modulen besteht in der Art der Aktivelektrolyte, die damit gehandhabt werden können. Nahezu alle bekannten galvanischen Elektrolytarten sind so dem SBZ zugänglich. Auch die komplette Steuerung wurde für die Anforderungen des SBZ selbst erstellt.

**Entwicklung der spezifischen Elektrolyte**

Neben der Anlagentechnik war es auch notwendig, die galvanischen Elektrolyte neu zu entwickeln. Es ist leicht nachvollziehbar, dass Elektrolyte, die für herkömmliche Tauchprozesse abgestimmt sind, für die hier beschriebene Applikation nicht angewandt werden können. Auch in diesen Bereichen war eine völlige Neuentwicklung notwendig, die vom Fraunhofer IPA durch die Kompetenz in der Werkstoff- und Verfahrensentwicklung geleistet werden konnte.



## Ausführung

In der Grundkonfiguration kann mit dem Versorgungsmodul 1 und der Roboterzelle gearbeitet werden. Das entsprechende Beschichtungswerkzeug ist am Roboterarm montiert. In der Roboterzelle befinden sich zusätzlich Halterungen für z. B. flächige Bauteile oder eine Drehbank zur Aufnahme rotations-symmetrischer Bauteile.

Um eine Beschichtung durchführen zu können, wird zuerst ein entsprechender Bewegungsablauf des Roboters erstellt. Dabei wird das Werkzeug in Kontakt mit der Bauteiloberfläche gebracht und anschließend die Zufuhr der gewünschten Prozessflüssigkeit vom Versorgungsmodul angefordert. Nach Nässung der Bauteiloberfläche erfolgt die Freigabe der jeweiligen Prozessströme und -abläufe.

Das Versorgungsmodul 1 ist für weniger aggressive Elektrolyten vorgesehen und verfügt über drei unabhängige Prozessbehälter und eine eigene Spülwasseraufbereitung. Als Ergänzung kann das Versorgungsmodul 2 eingesetzt werden. Dieses ist für stark saure, aggressive und auch oxidierende Medien konzipiert und verfügt über eine Spülkaskade.

Die Anlagensegmente (Versorgungsmodule und Roboterzelle) können sowohl beliebig kombiniert als auch, bei Vorhandensein geeigneter Schnittstellen, einzeln betrieben werden. Speziell die Medienstationen wurden transportabel ausgelegt (»plug and plate«-Prinzip). So ist es z. B. möglich, mit dem Versorgungsmodul 1 vor Ort Versuchsbeschichtungen durchzuführen oder die am Roboter installierten Werkzeuge mit anderen, separaten Medien zu versorgen.

## Vorteile und Kundennutzen

Der gesamte Aufbau des Beschichtungszentrums verbindet hohe Flexibilität mit hoher Funktionalität. Ausführung und Ausrüstung sind dabei grundsätzlich industrie- und serientauglich.

Die Durchführung der nötigen Bewegungsabläufe durch einen Roboter erlaubt es, Handhabungs-Know-How auf die Anlage zu übertragen und anschließend ohne weiteren Bedieneinfluss konstant zu reproduzieren

Die Entwicklung und Optimierung kompletter Applikationen zur selektiven, robotergeführten Beschichtung ist machbar.

Weiterhin erlaubt das Gesamtsystem die Entwicklung und Optimierung von Elektrolyten und Gesamtprozessen und ermöglicht die Umsetzung bis zur Serienreife.

Damit ist es erstmals möglich, außerhalb jeder herkömmlichen galvanischen Anlage flächig oder selektiv zu galvanisieren. Vor allem für zwei Arten von zu beschichtenden Bauteilen ist dies von Interesse: einerseits für Großbauteile, andererseits für Bauteile, die vor Ort montiert sind und für eine Reparaturbeschichtung nur mit unverhältnismäßig hohem Aufwand demontiert werden können. Für die letztgenannten stellt das SBZ die einzige Möglichkeit dar, überhaupt einer Beschichtungstechnik unterzogen werden zu können. In Bezug auf Großbauteile herrscht die Einschränkung, dass der Beschichter sich mit der Anschaffung einer herkömmlichen Anlage (egal ob Lohn- oder Betriebsgalvanik) auf eine bestimmte maximale Bauteilgröße festlegt. Da eine galvanische Anlage üblicherweise ein langlebiges Investitionsgut darstellt, ist auch diese Festlegung langfristig. Dies gilt auch für den häufigen Fall von Bauteilen, die nur selektiv beschichtet werden sollen, da auch diese herkömmlich komplett eingetaucht werden oder zumindest eine Anlage verfügbar sein muss, die die Bauteile zur Gänze aufnimmt. Das SBZ ist der Weg aus diesem Dilemma.

Aktuell sind Verfahren zur Verzinkung und Vernicklung von Bauteilen mit der SBZ grundsätzlich verfügbar. Weitere Verfahren wie die Hartverchromung oder die Abscheidung von Buntmetallen unterliegen am Fraunhofer IPA aktuell einer intensiven und vielversprechenden Entwicklungstätigkeit.

## SEETRANSPORT VON TIEFKALTEN FLÜSSIGGASEN

Die Lagerung und der Seetransport von tiefkalt flüssigen Erdgas (LNG – Liquid Natural Gas) als zukünftiger Energieträger gewinnen zunehmend an Bedeutung. Die aktuell dafür überwiegend eingesetzten LNG-Membrantanksysteme basieren auf mehrschichtigen Isoliersystemen mit zwei flüssigkeits- und gasdichten Barrieren aus vorwiegend metallischen Werkstoffen. Die erste Barriere steht dabei direkt im Kontakt zum ca. -165 °C kalten Transportgut und muss die Dichtheit des Tanksystems über die gesamte Lebensdauer von bis zu 40 Jahren gewährleisten. Die zweite Barriere dient als zusätzliche Absicherung des Tanksystems für den Havariefall und gewährleistet die Dichtheit des Tanksystems im Falle von Leckagen in der ersten Barriere für einen Zeitraum von mindestens zwei Wochen.

Aktuelle LNG-Carrier weisen bis zu vier Großtanks mit Abmaßen von ca. 40 x 45 x 25 m auf. Die Installation der Isolier- und Barrierschichten erfordert dabei Bau- und Liegezeiten von bis zu 18 Monaten. Die Entwicklung und der Bau von LNG-Tanksystemen stellen mit ihren hohen Sicherheitsstandards besondere Anforderungen an die verwendeten Materialien und Fügetechnologien sowie die Qualitätssicherung in Fertigung und Montage.

### Projektbeschreibung

Der regionale Wachstumskern CTS (Cryo Tank Systems 2006-2009), ein Verbund aus zehn Unternehmen und Forschungseinrichtungen mit dem Schwerpunkt im Großraum Rostock, hat sich die Entwicklung und Vermarktung neuartiger LNG-Tanksysteme zum Ziel gesetzt. Es wird angestrebt, durch den alternativen Einsatz von glasfaserverstärkten Kunststoffen (GFK) als Barrierematerial, das Kleben als Fügeverfahren sowie durch neue Baumethoden eine deutliche Einsparung von Zeit und Kosten in den Bereichen der Fertigung und Montage eines LNG-Tanksystems zu erreichen.

Aufgaben des »Fraunhofer Anwendungszentrums für Großstrukturen in der Produktionstechnik« in den Verbundprojekten des Wachstumskerns CTS sind die Entwicklung geeigneter Qualitätssicherungsmaßnahmen in der Fertigung und Montage, die Prüfung und Qualifizierung von Materialien und Fügeverbindungen sowie die Erstellung von Aus- und Weiterbildungsprogrammen zur Qualifizierung der Mitarbeiter der Projektpartner.

Die experimentellen Untersuchungen beinhalten, neben Verfahrensentwicklungen zur Qualitätssicherung, als Schwerpunkt die Ermittlung der Materialeigenschaften von GFK unter Tieftemperatur. In diesem Zusammenhang steht insbesondere der Nachweis der Dichtheit von GFK unter den zu erwartenden thermischen und mechanischen Beanspruchungen des Tanksystems über die Lebensdauer im Vordergrund. Die Dichtheit des GFK ist ein wesentliches Kriterium für die Zulassung als LNG-Tanksystem.

### Dichtheitseigenschaften von GFK bei Tieftemperatur

Die Gasdurchlässigkeit von Kunststoffmembranen beruht auf zwei unterschiedlichen Prozessen des Stofftransports, die Permeation als materialspezifische Durchlässigkeit und die Leckage als ungewollte Öffnung im Material. Für Raumtemperaturbedingungen ist trotz einer messbaren Permeationsrate die technische Gasdichtigkeit von GFK gegeben. Durch den überproportionalen Abfall der Permeationsrate mit sinkender Temperatur sind Gasdurchlässigkeiten aufgrund von Permeationsprozessen für die Gesamtdichtheit eines Tanksystems bei Tieftemperatur als unkritisch anzusehen.

Gasdurchlässigkeiten aufgrund von Leckagen können durch Zwischenfaserrisse (Mikrorisse in der Kunststoffmatrix) oder Bruch des GFK-Laminats entstehen. Dementsprechend wurde



insbesondere die Rissbildung an GFK bei statischen und dynamischen Beanspruchungen unter Tieftemperatur sowie deren Auswirkungen auf die Dichtheit untersucht. Zu diesem Zweck erfolgte eine schrittweise Beanspruchung von GFK-Proben unter Tieftemperatur auf definierte statische bzw. dynamische Lastniveaus. Im Rahmen der quasistatischen Zugversuche unter Tieftemperatur erfolgte zudem die Anwendung der Schallemissionsanalyse zur Abschätzung des Schädigungsverlaufs anhand der Häufigkeit und Intensität von Schallereignissen. Im Anschluss an die Beanspruchung der Proben erfolgte die Bestimmung der Dichtheitseigenschaften mittels eines Heliumlecktests.

Die Versuchsergebnisse zeigen, dass die einmalige Zugbeanspruchung eines GFK-Mehrschichtverbunds von ca. 180 MPa unter Tieftemperatur bereits Leckagen verursacht, während vergleichbare Beanspruchungen unter Raumtemperatur lediglich zu lokalen Zwischenfaserbrüchen in Einzelschichten führen. Für die Auslegung hinsichtlich eines schädigungsfreien Laminats wurde unter Tieftemperatur eine zulässige Beanspruchung von ca. 10 MPa bzw. 0,3 Prozent Dehnung ermittelt.

Bei einer dynamischen Beanspruchung unter Tieftemperatur zeigt sich, dass bei Beanspruchungen unterhalb einer Spannungsamplitude von 25 MPa bei einer Mittelspannung von ca. 75 MPa nach 500 000 Lastwechseln keine Veränderungen der Dichtheitseigenschaften und keine Schädigungen der GFK-Proben durch Risse vorliegen. Höhere Spannungsamplituden führen zu lokalen Zwischenfaserbrüchen, die sich – im Vergleich zum Schädigungsverhalten bei Raumtemperatur – über die gesamte Materialdicke des Laminats ausbreiten und somit zu durchgehenden Leckagewegen führen.

## Ergebnisse

Im Rahmen der Untersuchungen wurden geeignete Vorgehensweisen und Versuchsanordnungen entwickelt, die eine konkrete Zuordnung zwischen Beanspruchung und dem resultierenden Dichtheitsverhalten von GFK bei Raum- und Tieftemperatur ermöglichen. Die Ergebnisse der durchgeführten Untersuchun-

gen haben die Beanspruchungsgrenzen von GFK hinsichtlich quasistatischer und dynamischer Beanspruchungen unter Tieftemperatur bis zum Verlust der Dichtheit aufgezeigt.

Die Untersuchungen zur Rissbildung von GFK unter Tieftemperatur deuten darauf hin, dass die rissstoppende Funktion von Faserschichten anderer Orientierung im Mehrschichtverbund unter Tieftemperatur nur noch bedingt gegeben ist. Die Schadenstoleranz von GFK ist somit bei Tieftemperatur stark vermindert, so dass aus Beanspruchungen resultierende Zwischenfaserbrüche in der Kunststoffmatrix zu Leckagen führen.

Hinsichtlich der Eignung von GFK als Barrierematerial für LNG-Membrantanksysteme konnte eine hinreichende Dichtheit von GFK unter statischen und dynamischen Beanspruchungen bei Tieftemperatur nachgewiesen werden. Die Beanspruchbarkeit von GFK ist im Hinblick auf die Auslegungskriterien eines Membransystems ausreichend. Dem im Gesamtprojekt entwickelten LNG-Membrantanksystem CTS-V1 wurde dementsprechend die Prinzipzulassung AiP (Approval in Principle) durch die Klassifikationsgesellschaft Lloyds Register erteilt.

## Ausblick

Im Rahmen eines neuen Wachstumskerns POLAR (Production, Operation and Liquefaction in Arctic Regions) wird die Entwicklung maritimer Systeme für die Förderung, Verarbeitung und den Transport von LNG im Nordatlantik und den arktischen Regionen verfolgt. Die Ergebnisse aus CTS bilden dabei die Grundlage für die eingesetzten Tank- und Lagerungssysteme.

<sup>1</sup> LNG-Carrier mit integriertem CS1-Membrantanksystem (links), Funktionsmuster des LNG-Membrantanksystems CTS-V1 mit primärer und sekundärer Barriere aus glasfaserverstärkten Kunststoff sowie mit Fugenelementen zur Kompensation der thermischen Kontraktion bei Tieftemperatur (rechts).



# UNTERSUCHUNG ZUR KANTENBEARBEITUNG AN SCHIFFBAUSTAHL MITTELS PLASMA-VERFAHREN

Die Weltschifffahrtsorganisation IMO (International Maritime Organisation) verabschiedete einen neuen, am 1. Juli 2008 in Kraft tretenden Standard, den »Performance Standard for Protective Coatings« (PSPC). Das Ziel des Standards ist, die Lebensdauer der Beschichtungssysteme von Ballastwassertanks auf 15 Jahre auszulegen. Die verabschiedete Richtlinie gilt für Seewasser-Ballasttanks in allen Schiffsneubauten mit mehr als 500 BRZ (Bruttoreaumzahl), unabhängig vom Schiffstyp, sowie für den Doppelbodenbereich bei Tankern und Massengutfrachtern in Doppelhüllenbauweise mit einer Länge von mindestens 150 m. Die Werften und alle anderen Beteiligten werden dadurch mit einem höheren Aufwand an Dokumentationen und Überwachungen konfrontiert. Im Zuge dieser Regelwerkneuerung werden auch erhöhte Anforderungen an die Vorbereitung sowie das Schleifen etc. in den Bearbeitungshallen gefordert.

## Problemdarstellung

Eine Forderung aus den neuen Richtlinien beinhaltet, dass der Kantenradius aller »freien Kanten« einen Radius von mindestens 2 mm aufweisen sollte. Das Erfordernis einer Rundung wird zurzeit auf Ballastwassertanks beschränkt. Eine Erweiterung auf andere Schiffsbereiche ist jedoch abzusehen. An einer scharfen Kante kann durch verbesserte physikalische Randbedingungen mehr Lackmaterial aufgebracht werden. Durch Vorlegen (das Auftragen von Farbe mit einem Pinsel) und dem anschließenden Nachlegen (das Auftragen von Farbe mittels Rolle) wird die Lackschichtdicke an einer scharfen Kante erhöht. Es folgen vier Lackschichten mit je 2-mal Stripecoat und Vollcoat. Dieser erhöhte Lackauftrag an scharfen Kanten kann leichter beschädigt werden. Innere Spannungen können bei zu großen Schichtdicken zu Abplatzungen führen. Bei höheren Lackmaterialan-

häufungen an den Kanten kann sich beim Trocknungsvorgang aufgrund der Oberflächenspannung und der niedrigeren Viskosität der Lack zusammenziehen und sich damit von der Kante weg bewegen. Die so genannte »Kantenflucht« ist besonders dann zu beobachten, wenn der Beschichtungsstoff einen guten Verlauf aufweist und nimmt beim Auftragen dicker Schichten besonders zu. Die verbesserte Lackhaftung an einer Rundung wird zwar bestätigt, könnte aber auch durch verbesserte Lacksysteme wett gemacht werden. Auf den Werften werden die Kanten zurzeit manuell durch Winkelschleifer, Kantenformfräser, Schleifdremel usw. abgerundet. Dieses von den Werkern abhängige Verfahren birgt aufgrund der subjektiven Entscheidung und unterschiedlicher Werkzeughandhabung den Nachteil, dass die Rundungen unterschiedlich ausfallen und es zur Erzeugung einer neuen Kante kommen kann. Das im Moment schnellste, angewandte Verfahren ist das »3-Pass-Grinding«. Hierbei wird mit einem Winkelschleifer dreimal die Kante in einem bestimmten Winkel zur Kante gebrochen. Das Bearbeiten durch einen Formfräser oder Fasenfräser wird aufgrund der hohen Anschaffungskosten und der Kompliziertheit in der Anwendung besonders bei unzugänglichen Kanten nur geringfügig eingesetzt. Bei Kanten an schlecht passierbaren Stellen werden oft Schleifdremel angewandt, bei denen die Bearbeitungszeit am höchsten ist. Die »freien Kantenlängen« belaufen sich nach Werftangaben je nach Art des Schiffes auf 30–50 km mit einer Einsparung der manuellen Arbeitszeit von ca. 1000–3000 Stunden pro Schiff.

## Lösungsansätze

Ein automatisiertes Verfahren, das mit vorhandener Technik und bestehenden Anlagen die Kantenbearbeitung maschinell realisieren kann, wäre ein Zugewinn für alle Werften. Die Kanten-



2

geometrie könnte eine reproduzierbare Form erreichen. Größere Investitionen wären nicht zu tätigen. Ein thermisches Verfahren, gekoppelt mit vorhandenen CNC-Schneidportalen oder computergesteuerten Schweißrobotern implementiert in den Werftablauf, wäre aus Werftsicht ideal für die Kantenbearbeitung. Dabei bezieht sich der Begriff thermisches Verfahren in den durchgeführten Untersuchungen auf den Plasmaschneidprozess, der mit dem CNC-Portal gekoppelt, auf allen Werften vorhanden ist. Der Plasmaschneidprozess müsste so beeinflusst werden, dass während des Zuschnitts die Schnittkante unterhalb bzw. oberhalb oder beide Kanten gleichzeitig zu einem 2-mm-Radius umgeschmolzen werden. Dieser Prozess bedarf keinerlei Veränderung am technologischen Ablauf und wäre eine Musterlösung. Unter der Bedingung, dass mindestens eine Kante eine Verrundung erhält, könnte ein nachgelagerter Prozess die zweite Kante bearbeiten. Hier besteht die Problematik von zusätzlichen Bearbeitungsschritten. Diese könnten ein Drehen der Platte, eine Kantenerkennung und die anschließende Bearbeitung beinhalten. Allerdings bliebe die Reproduzierbarkeit, die eine ganz wichtige Rolle im Zuge der Richtlinienerneuerung spielt. Für einen nachfolgenden Prozess könnten das Plasmaschneiden, das Plasmaschweißen oder das Wolfram-Inert-Gas-Schweißen in Frage kommen.

## Ergebnisse

Bei Schneidversuchen mittels Plasmabrenner konnten keine eindeutigen Rundungen hergestellt werden. Eine Kantenform mit einem Winkel größer  $90^\circ$  wurde in einem einstufigen und mit einem noch größerem Winkel in einem zweistufigem Schneidprozess in 10 mm dicken Blech erzeugt. Die Kanten werden nach den IMO-Richtlinien nicht akzeptiert, sind aber Ansätze, um in weiterführenden Versuchen Kanten zu erzeugen, die dem neuen Standard standhalten.

Mit dem Plasmaschweißen konnten eindeutige und reproduzierbare Verrundungen hergestellt werden. Beim Plasmaschweißen sind die elektrischen Energien ähnlich dem Schneidprozess, jedoch sind Mengen, Drücke, Düsendgröße abweichend und damit die kinetische Energie geringer. Dadurch ist ein Auf-

schmelzen des Materials möglich, ohne es von der Kante zu blasen. Durch das Umschmelzen der scharfen Kante, die durch das Plasmaschneiden geschnitten wurden, legt sich beim Schweißprozess das Schmelzgut je nach Brennerhaltung in Form einer Überwölbung auf die Oberfläche oder auf die Schneidfläche des Bleches. Über durchgeführte statistische Untersuchungen kann mit einem bestimmten Parametersatz ein gewünschter Radius erzielt werden. Dabei wurden die Parameter mit dem größten Einfluss (Geschwindigkeit, Stromstärke und Plasmagasmenge) für die Positionen liegend, steigend und fallend untersucht. Ein entscheidender Vorteil beim Plasmaschweißverfahren ist ein Lichtbogen, der sehr konstant auf Abstandsabweichungen reagiert. Um die Geschwindigkeiten zu erhöhen (bei begrenzten Stromstärken bis 150 A), muss über die Plasmagasmenge mehr Energie zur Verfügung gestellt werden. Mit einem Gasgemisch mit 15-prozentigem Wasserstoffanteil (Rest-Argon) konnte zusätzliche Energie in den Prozess gebracht werden. Mit diesen Einstellungen können zurzeit Geschwindigkeiten in waagerechter Position von 2,5 m/min und in fallender und steigender Position von 2 m/min erzielt werden.

## Zusammenfassung und Ausblick

Die Herstellung beschichtungsgerechter Kantengeometrien mittels Plasma- und WIG-Schweißen im Nachgang ist generell möglich. Bearbeitungsgeschwindigkeiten von 2,5 m/min sind derzeit erreichbar. Diese sollen in folgenden Untersuchungen gesteigert werden. Die durchgeführten Untersuchungen sind die Basis für eine rasche Einführung dieser Technologie auf den Werften.

1 *Versuchsaufbau: Plasmaschneid- und Plasmaschweißbrenner beim Schneiden und Runden (Bild links und rechts) an schiffbaulicher Probenteile (Bild mitte).*

2 *Mittels Plasmaschweißverfahren gerundete Kante an derzeit verwendetem Material und eingesetzten Geometrien.*

---

# GESCHÄFTSBEREICH PRODUKTIONS- UND LOGISTIKMANAGEMENT

---

Die österreichische Fraunhofer-Tochter nimmt endgültig ihre Tätigkeit auf – unter dem Dach der Fraunhofer Austria Research GmbH arbeitet der Geschäftsbereich an der ganzheitlichen Gestaltung der Wertschöpfungskette. Zusammen mit der Technischen Universität Wien schlägt der Bereich eine wichtige Brücke von der Grundlagenforschung zur Industrie.

Die im April 2009 vollzogene Gründung der ersten Fraunhofer-Auslandstochter in Europa, der Fraunhofer Austria Research GmbH, ist eine logische Entwicklung der bereits vor fünf Jahren vom Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung, IPA in Wien gestarteten Aktivitäten. Damals folgte Professor Wilfried Sihn dem Ruf an die Technische Universität in Wien und gründete die IPA-Projektgruppe für Produktions- und Logistikmanagement, PPL. Die Projektgruppe war fast 5 Jahre erfolgreich im österreichischen Markt und in der Region Central and Eastern Europe (CEE-Region) aktiv.

## **Internationalisierung mit System**

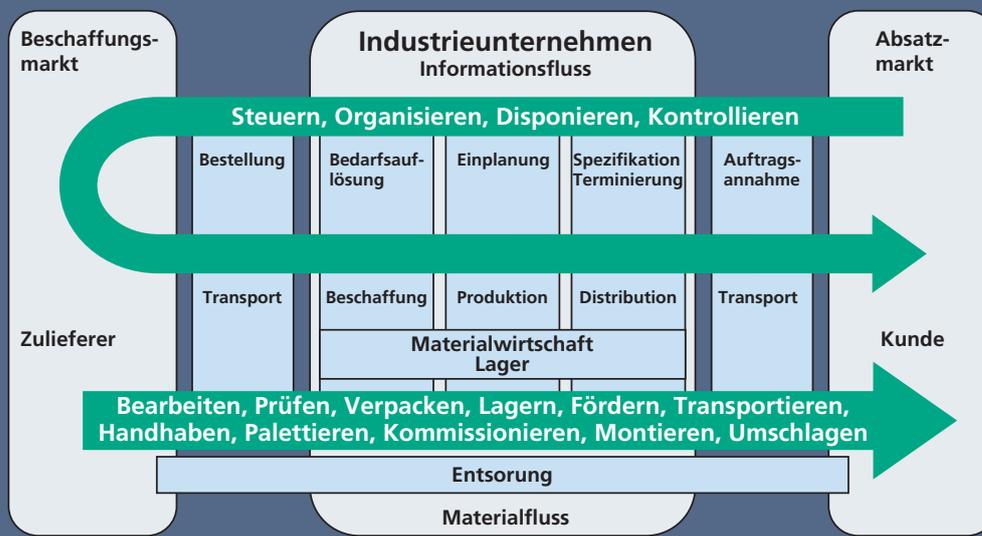
Im April 2009 »fusionierte« man mit dem zum Fraunhofer-Institut für Grafische Datenverarbeitung IGD in Darmstadt gehörenden Geschäftsbereich »Visual Computing«, der an der Technischen Universität in Graz beheimatet ist. Die Gründung der ersten europäischen Auslandstochter trägt dem wichtigen Partner Österreich Rechnung. »Forschung kennt keine Grenzen – das gilt auch oder gerade für die Auftragsforschung«, erklärte Hans-Jörg Bullinger, Präsident der Fraunhofer-Gesellschaft bei der Eröffnung der Fraunhofer Austria in Wien. Mit der Gründung von Fraunhofer Austria wurde zum 01. April dieses Jahres der Weg für ein eigenständiges österreichisches Forschungsinstitut geebnet. »Für die Intensivierung der Zusammenarbeit mit Österreich ist diese Gründung ein wichtiger Schritt«, betont Professor Wilfried Sihn, der zusammen mit Professor Dieter Fellner die Geschäftsführung der neuen GmbH übernommen hat. Die Fraunhofer-Tochter steht für kleine, aber feine und exzellente Forschung und möchte ihren Beitrag leisten, um die Vernetzung der Forschungsstandorte Stuttgart und Wien voranzutreiben – zu beiderseitigem Nutzen.

## **Geschäftsbereich Produktions- und Logistikmanagement**

Der Fraunhofer-Geschäftsbereich in Wien ist darauf spezialisiert, Produktions- und Logistiknetzwerke von Produkten oder Unternehmen sowohl unter ökologischen als auch ökonomischen Gesichtspunkten zu optimieren. »Unser Ziel ist es, ganzheitliche, kundenindividuelle Lösungen zur Gestaltung des Wertschöpfungsnetzwerks zu finden«, erläutert Daniel Palm, Leiter des Geschäftsbereichs Produktions- und Logistikmanagement. »Der optimale Standort und die beste Art der Produktion ist abhängig von vielen Faktoren: Wichtig sind die Eigenschaften des Produkts wie Größe und Gewicht der Bauteile. Es spielt aber auch eine Rolle, wo sich die Kunden befinden. Entscheidend sind ferner die Stückzahlen, die gefertigt werden, der Automatisierungsgrad, die Standortfaktoren, die geforderte Qualität und nicht zuletzt das Können der Mitarbeiter. Berücksichtigt werden müssen zudem die politischen Rahmenbedingungen, die Kosten und die Umweltbelastungen, die durch den Transport entstehen.« Früher sei die Produktion oft blind in Niedrigkostenstandorte verlagert worden. Viele Unternehmen haben sich das schöngerechnet, weil sie auch beim Ostboom mitmachen wollten. Im Nachhinein habe sich dann häufig gezeigt, dass dies nicht die gewünschten Ergebnisse brachte. »Mit ganzheitlichen Ansätzen können wir die Produktionsbedingungen optimieren und oft zeigt sich, dass es sich lohnt, in Österreich oder Deutschland zu fertigen«.

## **Fabrik der Zukunft: wandlungsfähig und energieeffizient**

»Dabei beschränken wir uns nicht nur auf strategische Entscheidungen des Produktions- und Logistiknetzwerks, sondern gehen in vielen Bereichen in die Tiefe«, so Jürgen Minichmayr, Leiter des Geschäftsfeldes Produktionsoptimierung. »Wir begleiten unsere Kunden bei der Fabrikplanung und helfen bei der Dimensionierung und Anordnung der Bereiche. Dabei liegt unser Hauptaugenmerk neben der optimalen Planung auch auf der Wandlungsfähigkeit der Fabriken und auf der Umsetzung energieeffizienter Prinzipien. Die letzte Krise hat vielen Unternehmen gezeigt, wie wichtig es ist, auch niedrigere



Stückzahlen als geplant, effizient zu fertigen. Wenn man 50 Prozent der Produktionsmenge nur zu weiterhin 100 Prozent der Kosten herstellen kann, dann wünscht sich jeder wandlungsfähige Strukturen und Prozesse.«

### Schlank nicht nur in der Produktion

Ein weiterer Schwerpunkt ist die Gestaltung und Optimierung der Wertschöpfungsprozesse. Vom Erstkontakt mit dem Kunden über den Auftragsabwicklungsprozess, die Prozesse des Logistiknetzwerks, der Leistungserstellung oder Produktion bis hin zur Auslieferung zum Kunden werden mit Methoden des Prozessmanagements oder Konzepten wie Lean Production oder Wertstromdesign optimiert – auch in Nicht-Produktionsbereichen mit ausgezeichnetem Erfolg. »Dieses Lean Management in der Verwaltung oder Lean Administration ist derzeit bei vielen Unternehmen hoch im Kurs«, so Felix Meizer, Leiter des Geschäftsfelds Prozessoptimierung. Nicht nur in Produktionsunternehmen, auch Energie-, Telekommunikationsunternehmen oder Banken setzen auf die Verschlinkung ihrer Abläufe. Dabei werden Engpässe, Schleifen, Fehlerquellen und Durchlaufzeiten im Prozess systematisch identifiziert. Mit Hilfe zeitwirtschaftlicher Methoden werden Bearbeitungszeiten und der Kapazitätsbedarf der einzelnen Prozessschritte ermittelt. »Nach unserer Erfahrung lassen sich praktisch alle administrativen Tätigkeiten auf genau definierte Prozessbausteine reduzieren, deren Zeitwerte transparent, reproduzierbar und nachvollziehbar sind,« erklärt Felix Meizer die Vorgehensweise. »Durch die Kombination mehrerer Bausteine können Arbeitsplätze und Arbeitsvorgänge modelliert und optimiert werden.« Mit erheblichen Verbesserungen bei Durchlaufzeit, Kosten und Prozessqualität. Aber auch die Zufriedenheit der Mitarbeiter steigt – denn in diesem Zuge werden oft Anachronismen oder Ineffizienzen abgeschafft, die die Mitarbeiter schon immer geärgert haben.

### Potenziale im Logistiknetzwerk

Auch im Logistiknetzwerk schlummern ungenutzte Potenziale. Die Anwendung von Optimierungsmethoden in den Logistik-

prozessen von der Montage bis zum Lieferanten auf Basis von Lean-Methoden erschließt Zeit- und Kostenverbesserungen. »Insbesondere bei unternehmensübergreifenden Ansätzen erzielen wir herausragende Ergebnisse«, so Klaus Schmitz, Leiter des Geschäftsfelds Logistikmanagement. »Wir kombinieren die Prozessoptimierung mit strukturellen Änderungen im Logistiknetzwerk oder innovativen Transportkonzepten wie dynamischen Milkrun-Konzepten oder Routenzugversorgung in der Produktion. Das Verhältnis zwischen Projektkosten und Einsparungen ist außergewöhnlich gut – ein deutliches Zeichen, dass hier in den letzten Jahren zu wenig getan wurde.«

### Forschung an den Schnittstellen

»In Schnittstellenbereichen forschen wir auch intensiv«, so Walter Mayrhofer, Leiter der Forschung des Geschäftsbereichs Produktions- und Logistikmanagement. »Dort entstehen oft Reibungsverluste und mit der Erforschung neuer Konzepte und Methoden wollen wir diese minimieren.« Schnittstellen einerseits zwischen Produktion und Logistik, wo Lösungen zur ganzheitlichen Optimierung fehlen, oder zwischen Unternehmen oder Werken, wo die Wertschöpfungskette besser gestaltet werden kann. Oftmals sind die Probleme so komplex, dass sie nur mit Hilfe von Simulationsmodellen optimiert werden können. Hier werden in Zukunft Werkzeuge zur Verfügung stehen, um verlässliche Aussagen zur optimalen Konfiguration schnell und kostengünstig zu treffen. Professor Wilfried Sihn, verantwortlicher Geschäftsführer in der Fraunhofer Austria GmbH ergänzt: »Da arbeiten wir intensiv daran, denn die Bauchentscheidungen haben sich doch allzu oft als Fehler erwiesen – sei es bei Standortauswahl, Make-or-Buy-Entscheidungen oder Fabrikstrukturen. Hier laden wir alle Unternehmen ein, mit uns gemeinsam zu forschen – wir müssen uns ständig verbessern, um Produktion im Hochlohnland Österreich zu halten. Das sehen wir als unsere gesellschaftliche Aufgabe.«



## AUSGEWÄHLTE AKTIVITÄTEN

### Forschungsprojekte

Das gemeinsam mit der TU Wien durchgeführte Forschungsprojekt Trans-Austria widmete sich der unternehmensübergreifenden Bündelung von Transporten zwischen West- und Osteuropa. Das vom österreichischen Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie und der Forschungsförderungsgesellschaft geförderte Projekt konnte 2009 mit dem Ergebnis einer signifikanten Verminderung der Emissionsbelastung bei reduzierten Logistikkosten abgeschlossen werden. 40 Prozent Reduzierung des CO<sub>2</sub>-Ausstoßes beim Transport war eines der herausragenden Ergebnisse des Projekts. Voraussetzung für die Identifikation war die Entwicklung eines Simulationsmodells, mit dem unternehmensübergreifende Logistikkonzepte bewertet und weiterentwickelt werden können. Neben Trans-Austria laufen zwei weitere Forschungsprojekte in Kooperation mit der TU Wien. Eines im Bereich Integrierte Terminierung und Transportplanung für komplexe Wertschöpfungsstrukturen (InTerTrans) und ein weiteres in der Entwicklung einer integrierten Planungs-Plattform zur Personaleinsatz- und Produktionsprogrammplanung in der Fertigung komplexer Produkte (ProPerPlan).

### Industrieprojekte

Die Industrieprojektaktivitäten waren stark von der Anwendung des Lean-Gedankens in den Unternehmen geprägt – so etwa bei einem österreichischen Energieversorger mit dem Ziel einer Effizienzsteigerung und Kosteneinsparung in den administrativen Unternehmensbereichen. Auch in der Zusammenarbeit mit Mitarbeitern des Fraunhofer IPA standen Restrukturierung, Turn Around und Kostensenkung durch Vermeidung von Verschwendung und innovativer Anwendung des Lean-Gedankens bei Industriekunden krisenbedingt häufig im Vordergrund. Gemeinsam konnten Projekte etwa bei einem Zahnradhersteller oder bei einem Hersteller von Hydraulikzylindern erfolgreich durchgeführt werden.

Zudem konnte auch die Zusammenarbeit mit der für Österreich wichtigen kmU-Landschaft gestärkt werden. Begünstigt durch einen von Österreich initiierten Innovationsscheck, mit welchem kmU € 5 000,- der Leistungen eines Forschungspartners abgeltet können, wurden mehrere Projekte bei kleineren Unternehmen durchgeführt, wie beispielsweise die Layoutplanung bei einem Stahlfedernhersteller oder eine Ideenstudie für Möglichkeiten der RFID-Anwendung für einen Entwickler und Lösungsanbieter im Bereich automatischer Identifizierungssysteme.

### Studien

Die Entwicklung der Automobilproduktion in der CEE-Region wird von Fraunhofer Austria seit mehreren Jahren begleitet und die Vernetzung in die CEE-Staaten bildet einen Forschungsschwerpunkt. Im Jahr 2009 wurden gleich zwei Studien zu diesem Thema veröffentlicht: Im Frühjahr wurden die Produktionsstrukturen der Automobilhersteller und ihrer Zulieferer in der Region eingehend analysiert und im Herbst die Auswirkungen der Krise auf die Automobilindustrie in der Region aufgezeigt.

### Veranstaltungen

Die mit der TU Wien ins Leben gerufene vierteljährliche Kaminabendreihe lud 2009 zu Themen ein wie: »Richtiges Handeln in der Krise«, »Schlanke Administration«, »Energieeffiziente Produktion« und »Simulation in Produktion und Logistik«. Außerdem wurde eine Praxis-Seminar-Reihe für Führungskräfte aus produzierenden Unternehmen und Unternehmen für industrielle Dienstleistungen gestartet.

1 V. l. n. r.: Prof. Dr. Sihn, Geschäftsführer Fraunhofer Austria, Prof. Dr. Bullinger, Präsident der Fraunhofer-Gesellschaft, und Prof. Dr. Fellner, Geschäftsführer Fraunhofer Austria, bei der Eröffnungsfeier der Fraunhofer Austria Research GmbH im Mai 2009.

2 Erfolgreiche Veranstaltungsreihe bei Fraunhofer Austria.

## BUSINESS- UND INNOVATIONSYSTEME FÜR KLEINE UND MITTELSTÄNDISCHE UNTERNEHMEN

### Ausgangssituation

Fraunhofer IPA Slovakia hat eine umfangreiche Untersuchung der Arbeits- und Prozessorganisation in den tschechischen und slowakischen kleinen und mittelständischen Unternehmen (kmU) durchgeführt.

Die Untersuchung hat folgende Probleme der kmUs gezeigt:

- Viele heimische kmUs haben keine eigene Strategie und sind stark von ihrer Geschäftspartner (vor allem in der Automobilindustrie) abhängig. Die Krise hat diese Abhängigkeit drastisch bewiesen.
- Die Unternehmer haben sich in den letzten 20 Jahren vor allem an der Entwicklung der Produktionsfähigkeiten ihrer Firmen orientiert. Sie haben in die Infrastruktur investiert (Gebäuden, Technologien) und die Produktionsflexibilität entwickelt.
- Mehrere Firmen, die sich nur an ihren Produktionskompetenzen und niedrigen Kosten orientiert haben, verloren in den letzten Jahren ihre Positionen.
- Kleine und mittelständische Unternehmen haben relativ große Probleme mit ihren Mitarbeitern. In den letzten Jahren haben sie auf dem Arbeitsmarkt nicht erfolgreich mit den internationalen Konzernen um die qualifizierten Arbeitskräfte konkurriert. Außerdem haben sie aber relativ wenig in die Entwicklung ihrer eigenen Mitarbeiter investiert.
- Viele kmU haben kein eigenes Konzept der Organisation ihrer Geschäftsprozesse, keinen systematischen Innovationsprozess und die Implementierung der modernen Engineering Methoden in ihren Prozessen ist relativ niedrig.

- Für die kleine und mittelständische Firmen fehlt der Zugriff zu Methodik und Know-how für die Implementierung der Arbeits- und Prozessorganisation, für Innovationen und für eigene Forschung und Entwicklung.
- Überlastungen von Schlüsselkräften gehört auch zu den typischen Problemen von kmU. Diese übergelasteten Managers haben keine Zeit, die besten Praktiken zu beschreiben und ihre Kollegen zu belehren. Paradoxe Weise werden die fähigsten Mitarbeiter manchmal zum Schwachpunkt ihrer Firma.
- Die Studie hat jedoch viele interessante Firmen entdeckt, die ihre eigene globale Geschäftsstrategie entwickeln, die sehr intensiv Produkt- und Prozessinnovationen umsetzen und die ihre Konkurrenzfähigkeit auf den Gebieten Innovationen, Entwicklung des Mitarbeiterpotenzials und Wissensmanagements aufbauen (ESET, Bonatrans, TON, Elcom, Linet, OMS, Vital, Finidr, Borcad, Decodom, Atrea, Brano, Fosfa, IDC, Ipesoft, usw.)

### Projektbeschreibung

Fraunhofer IPA Slovakia hat für seine Kunden eine Toolbox »Business- und Innovationssysteme für kleine und mittelständische Unternehmen« entwickelt.

Dieses Paket der Dienstleistungen und Methodik beinhaltet folgende Bausteine:

- Schnelle Diagnose des Ist-Zustandes – Fragebogen, Interviews, Audit für 1–2 Tage in der Firma
- Definition der Strategie, Struktur der strategischen Zielsetzungen und strategische Projekte



- Konzept des eigenen Business- und Produktionssystems
- Infrastruktur und Organisation für Umsetzung der strategischen Projekte
- Ausbildungs- und Trainingskonzept in der Firma (Training on Job, Workshops, Projekte, Coaching, Mentoring)
- Unterstützung bei den Produkt- und Prozessinnovationen – Innovationsakademie, virtuelles Innovationszentrum (Methodik, Vernetzung und externe Ressourcen)
- Toolbox der Methoden für Innovationen und Arbeits- und Prozessorganisation
- Beratung und Coaching in den ersten Phasen der Umstrukturierung, Implementierungshandbuch, Dokumentation, EDV-Unterstützung

**Ergebnisse**

<i>Firma</i>	<i>Arbeitsgebiet</i>	<i>Projekte</i>	<i>Ergebnisse</i>
Fosfa	Chemie	Fosfa Business System, Teamarbeit, Innovationsprozess, Kaizen, Prozessstandardisierung, Fosfa Universität	Wachstum auf neuen Märkten, Globalisierung der Aktivitäten, neue Produkte, deutliche Verbesserung des Potenzials der Mitarbeiter – Verbesserungsvorschläge, Workshops, Projekte
OMS	Lichtsysteme	Flexible Fertigungszellen, Logistik, Innovationsprozess und Innovationszentrum, Open Innovation Modell	Export in mehr als 70 Ländern, Erhöhung der Produktivität und Innovationskraft, Wachstum
Atrea	Lufttechnik	Innovation der Produktionsprozesse, Entwicklung der Unternehmensstrategie, Entwicklung des Mitarbeiterpotenzials	Wachstum, Erhöhung der Flexibilität, neue, flexible Prozessorganisation
TON	Möbel	Prozess- und Produktinnovationen, Training der Mitarbeiter	Radikale Produktivitätserhöhung
Borcad	Maschinenbau	Innovationsakademie, Prozessinnovationen	Radikale Produktivitätserhöhung und Aufbau der Firma »Innovationen«
Koval Systems	Maschinenbau	Prozessinnovationen	Leistungserhöhung und Wachstum

---

# DATEN UND EREIGNISSE 2009

---

## 2009 – das Jahr der Jubiläen

Das Jahr 2009 war für die Fraunhofer-Gesellschaft und für das Fraunhofer IPA ein ganz besonderes Jahr. Die Fraunhofer-Gesellschaft, Europas größte Forschungsorganisation im Bereich der angewandten Forschung, konnte 2009 ihren 60sten Geburtstag feiern. Alle 59 Institute der Gesellschaft mit ihren rund 17 000 Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern stellten in zahlreichen Veranstaltungen im letzten Jahr ihre Forschungsergebnisse vor. Die Öffentlichkeit und die Medien konnten die facettenreiche Forschung von Fraunhofer sehen und erleben.

Auch das Fraunhofer IPA hatte Grund, im Jahr 2009 zu feiern. Am 1. Juli 1959 wurde durch Professor Dolezalek das Institut gegründet. Bereits 1930 wurde an der damaligen Technischen Hochschule Stuttgart ein Lehrbereich für »Mechanische Technologien« eingerichtet, aus dem im Laufe der Zeit die verschiedenen fertigungstechnischen Institute der heutigen Universität Stuttgart entstanden. Ab 1955 baute der damalige Leiter Prof. Dipl.-Ing. C. M. Dolezalek das Institut für Industrielle Fertigung und Fabrikbetrieb (IFF) auf. Schon früh erkannte er die Notwendigkeit, eine größere Nähe zur Industrie herzustellen. Nach Phasen der Konzeptionierung und Gesprächen mit Industrievertretern, Landespolitikern und der Universitätsverwaltung nahm er 1958 Kontakt mit der Fraunhofer-Gesellschaft in München auf.

Innerhalb der Festwoche Anfang Juli konnte außerdem eine einzelne Abteilung ein Jubiläum feiern. Seit 25 Jahren ist die Abteilung »Reinst- und Mikroproduktion« des Fraunhofer IPA bewährter Ansprechpartner für die Industrie zum Thema »Produzieren von miniaturisierten und kontaminationskritischen Produkten«.

Ein Rundgang durch die Reinraumlabor lud die Besucher ein, sich über neueste Entwicklungen und laufende Projekte zu informieren. So wird die am Fraunhofer IPA entwickelte Reinigungstechnik beispielsweise die geplante Mars-Expedition der ESA unterstützen. Besucher erhielten außerdem einen Einblick,

wie die zukünftige Produktion mikro- und nanotechnischer Produkte im neuartigen »µProductionTower« aussehen könnte. Von der Innovationskraft und den Visionen im Bereich der Reinst- und Mikroproduktion konnte sich auch der damalige Ministerpräsident Günther H. Oettinger überzeugen, der die derzeitige Modernisierung des Reinraums mit Fördermitteln des Landes unterstützt.

In der Festwoche nutzten über 2 500 Gäste die Möglichkeit, sich in Vorträgen und Gesprächen mit den Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern über neue Innovationen zu informieren. Die über 350 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter des Fraunhofer IPA hatten zu diesem Zweck in allen Versuchsfeldern und Laboren Projektlösungen und Exponate aufgebaut. Den Besuchern wurde ein spannendes Programm geboten, ergänzt durch kreative Attraktionen.

Im Vorfeld zum Jubiläum haben die Fachabteilungen des Fraunhofer IPA Innovationen entwickelt, die Industrieunternehmen einen langfristigen Nutzen bringen sollen. Im Folgenden finden Sie eine Themenübersicht:

- ISELLA 2 – Biomechanisch orientierter Leichtbauroboterarm mit QuadHelix-Antrieben
- »CREMS« – Clean Reliability Equipment Monitoring System
- Selen- und Indiumsichten für die CIS-Solarzelle
- Tabl-O-bot – Der kleine Roboter für den Tisch
- RecycVision – Zuverlässige automatische Klassifikation von Altgeräten
- »Walking Officer« – Ein Krückeninformationssystem für die Rehabilitation
- Voice-Control-API (VCA)
- Total Energy Efficiency Management (TEEM)
- »µProductionTower« – Mikroproduktion in einer neuen Dimension
- Spracherkennung in »Second Life« integriert
- Intuitiv programmierbarer Schweißroboter denkt mit
- Neuartige Beinprothese – Gehen ohne Gehstützen
- Zerstörungsfreie Qualitätsprüfung bei Kupplungsscheiben



- FactoREEmotePlanning
- Roboter lernen Strom sparen – Energieeffizienz in der Robotik
- Koordinierte mobile Manipulation – Feinmotorik für elektronische Butler und Industrieroboter
- Oberflächen werden intelligent – hörbar, sichtbar und fühlbar gemachte Effekte

#### Neue Abteilung »Lacke und Pigmente«

Zum Ende des Jahres 2009 hat das Fraunhofer IPA das bisherige Forschungsinstitut für Pigmente und Lacke übernommen. Damit ergänzt das Fraunhofer IPA sein Forschungsportfolio im Bereich Oberflächentechnik und bündelt die erweiterten Kompetenzen in seiner neuen Abteilung »Lacke und Pigmente«.

50 Jahre lang betrieb die Forschungsgesellschaft für Pigmente und Lacke e. V. (FPL) Forschung für die Pigment-, Farben- und Lackindustrie sowie die Lackanwender. Schwerpunkte des FPL waren u. a. die Aus- und Fortbildung auf diesen Arbeitsgebieten sowie analytische und anwendungstechnische Arbeiten.

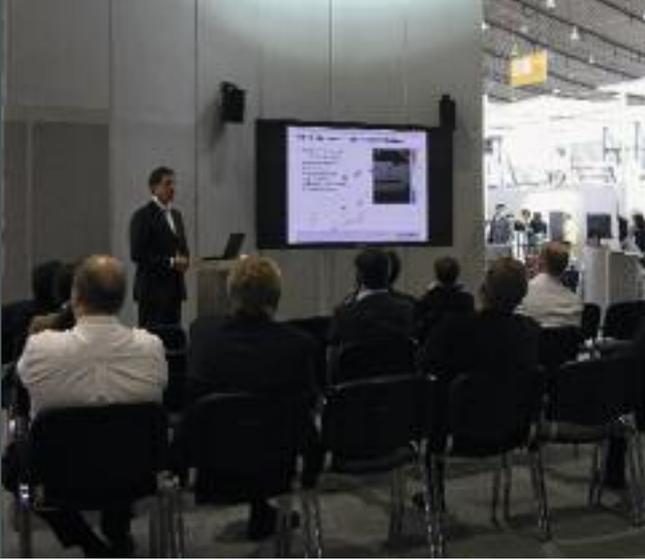
Ziel der von der öffentlichen Hand geförderten Forschungsprojekte war bisher, der Industrie und hier besonders den kleinen und mittleren Unternehmen nachhaltige Impulse für deren Produkt- und Anwendungsinnovationen zu geben.

Eine weitere wichtige Aufgabe des FPL hat in enger Zusammenarbeit mit der Universität Stuttgart in der Ausbildung des wissenschaftlichen Nachwuchses bestanden. Über 300 Doktorarbeiten wurden bisher am FPL auf dem Gebiet der Lack- und Pigmentforschung praxisnah durchgeführt. Dazu kamen die Aus- bzw. Fortbildung von Fachleuten aus der Industrie.

Zum Dienstleistungsangebot der neuen Abteilung Lacke und Pigmente gehören die Bearbeitung anwendungstechnischer Fragestellungen sowie die Entwicklung und Anwendung von Mess- und Prüfmethode für Beschichtungsstoffe und Beschichtungen. Dazu zählen auch die Erstellung von Gutachten und Schadensanalysen und die Mitwirkung an der Erarbeitung von technischen Regelwerken der Lackbranche.

#### Kernkompetenzen der Abteilung Lacke und Pigmente und Forschungsschwerpunkte

- Organische Modifizierung von Pigment- bzw. Partikeloberflächen für leichtere Dispergierungen und bessere Stabilisierung
- Struktur- und Eigenschaftsbeziehungen von Beschichtungsstoffen (einschließlich UV-, Wasser- und Pulverlacke) sowie von rheologieadditiven Laserbeschriftungen von Beschichtungen und Kunststoffen
- Charakterisierung des Trocknungs- und Härtungsvorgangs von Beschichtungsstoffen
- Filmbildung und Haftmechanismen von Beschichtungen auf Metallen und Kunststoffen
- Mechanische und thermomechanische Eigenschaften von Beschichtungen
- Korrosionsschutz von Stahl und Nichteisenmetallen
- Elektrochemische Untersuchungen von Beschichtungen auf Metallen
- Wetterbeständigkeit, Alterungs- und Verschmutzungsverhalten von Beschichtungen
- Mikroskopische Untersuchungen von Beschichtungen und von Substratoberflächen
- Instrumentelle Analytik bei Beschichtungen (z. B. IR, Farbmessung, GC, DMA und andere thermische Verfahren)



### Fraunhofer IPA Event-Forum mit Schwerpunktthema »3-D-Bildverarbeitung in der Mess- und Prüftechnik«

Nach dem erfolgreichen Start im Jahr 2008 wurde auf der Messe Control 2009 vom 5.–8. Mai 2009 in Stuttgart zum zweiten Mal ein Event-Forum mit Sonderschau veranstaltet. Der Fachbesucher hatte dort die Möglichkeit, sich gezielt und umfassend über zukunftsweisende Technologien mit dem Schwerpunkt auf der »3-D-Bildverarbeitung in der Mess- und Prüftechnik« zu informieren und diese live zu erleben.

Auf der vom Messeveranstalter Schall gesponsorten Event-Forum-Standfläche organisierte das Fraunhofer IPA sowohl ein Vortragsforum mit praxisnahen Präsentationen namhafter Referenten aus Industrie und Forschung als auch eine Sonderschau mit ausgewählten Exponaten und Live-Demonstrationen. Zum diesjährigen Technologieschwerpunkt 3-D-Bildverarbeitung fanden täglich zwei Vortragsblöcke statt, die zahlreiche Fachbesucher auf dem Stand versammelten. In den Sessions wurde in praxisnahen Vorträgen sowohl die unterschiedliche Sensorik zur 3-D-Bilddatenaufnahme erläutert als auch die Auswertung der Messdaten veranschaulicht sowie ihr Potenzial in der Mess- und Prüftechnik an vielfältigen industriellen Anwendungen präsentiert. (S. Bilder oben)

Zu den Ausstellern, die mit Live-Vorfürhungen an ihren Messgeräten den Besuchern die 3-D-Bildaufnahme und Bildverarbeitung anschaulich demonstrierten, gehörten die Firmen GOM mbH, Holometric Technologies, OBE Ohnmacht & Baumgärtner GmbH und Werth Messtechnik GmbH.

Die positive Resonanz auf das Event-Forum zeigt, dass es durch die Kombination aus Fachvorträgen und Ausstellung mit Live-Vorfürhungen gelungen ist, die 3-D-Bildverarbeitung interessant und informativ zu präsentieren und damit dem Fachpublikum einen umfassenden Überblick zu geben. Für die Control 2010 ist daher schon das dritte Event-Forum geplant, diesmal zum Schwerpunktthema »Energieeffizienz in der Produktion«.

### Durch Funktionsmuster zur Serienreife

14. Anwenderforum RPD mit dem Schwerpunkt Herstellungsverfahren und zerstörungsfreie Testmethoden in der Produktentwicklung

Das Anwenderforum RPD konnte auch in seiner 14. Auflage ein Wachstum verzeichnen. Am 30. September 2009 versammelten sich auf dem Gelände des Institutszentrums der Fraunhofer-Gesellschaft in Stuttgart über 250 zufriedene Fachbesucher und 48 Aussteller, um sich über aktuelle Trends, Entwicklungen und Forschungsergebnisse zu informieren. 21 Referenten boten dem interessierten Publikum ein anwendungsorientiertes Programm: In drei Vortragsblöcken präsentierte die Rapid-Manufacturing- sowie Computertomographie-Branche Highlights aus der Industrie und der Forschung.

Neben dem vielfältigen Vortragsprogramm ermöglichte die Ausstellungsmesse einen Überblick über Neuheiten in den Bereichen Rapid Prototyping, röntgenbasierte Computertomographie, Reverse Engineering und Volumendigitalisierung. Zusätzlich gaben die Experten des Fraunhofer IPA einen Einblick über ihr Arbeitsfeld in entsprechenden Laboren.

Dauerhaftes Ziel des Anwenderforums ist die Förderung des kommunikativen Informations- und Meinungsaustauschs zwischen Anwendern und Entwicklern. Der Dialogcharakter steht dabei beim Fachpublikum im Vordergrund. So bietet die Arbeitsmesse die Möglichkeit, sich in persönlichen Gesprächen fachlich auszutauschen, Kundenkontakte zu intensivieren und neue Partner zu gewinnen. Die Veranstalter stärken die Kompetenz, in dem sie das Anwenderforum seit zwei Jahren mit einem Diskussionsforum über Zukunftspotenziale von Rapid Prototyping abschließen.

Das 15. Anwenderforum RPD findet am Mittwoch, den 13. Oktober 2010, statt. Interessierte Besucher erhalten auf der Homepage der Veranstaltung, <http://rpd.ipa.fraunhofer.de>, weitere Informationen sowie die Möglichkeit der Anmeldung.

---

# EHRUNGEN UND PREISE 2009

---

## Fraunhofer IPA Innovationspreis 2009

Seit 1993 werden am Fraunhofer IPA jährlich intern drei Innovationspreise ausgelobt. Sie werden als Anreiz verstanden, systematisch Verfahren, Produkte und Organisationsformen zu entwickeln, die Innovationen auf den Weg bringen. Am 23. Oktober 2009 präsentierten Wissenschaftler des Fraunhofer IPA und seinem universitären Schwesterinstitut, dem Institut für Industrielle Fertigung und Fabrikbetrieb (IFF), neun Themen und Projekte aus den Gebieten Robotik, Medizintechnik, Produktions- und Prozessautomatisierung, Prüfsysteme und Lackiertechnik ihren Kolleginnen und Kollegen sowie der Jury.

Die beiden Institutsleiter Prof. Engelbert Westkämper und Prof. Alexander Verl und die externen Juroren Dr. Wolfgang Rauh, Leiter Entwicklung der Werth Messtechnik GmbH, Gießen, Dr. Norbert Leopold, Geschäftsführer der HWP Planungsgesellschaft mbH, Stuttgart, und Dr. Jochen Schließer, Festo AG, Esslingen vergaben die Auszeichnungen nach den Kriterien Kundennutzen, Kreativität und methodisch-wissenschaftlicher Ansatz:

1. Preis:

### **Assistomosis – Neues Instrument für die assistierte Bypass-Chirurgie**

Preisträger: Christian Reis, Dominik Kaltenbacher

Zur Vorbeugung eines Herzinfarkts bzw. zu seiner Behandlung gibt es in der Gefäßchirurgie verschiedene Verfahren einen Bypass zu legen. Der minimal-invasive direkte Koronararterien-Bypass stellt für den Patienten die schonendste Methode dar, ist für den Herzchirurgen jedoch höchst anspruchsvoll: Durch zwei Rippen hindurch, die mit einem Spezialinstrument aufgeweitet sind, erfolgt der Zugang zum während der Operation weiter schlagenden Herzen, um ein Blutgefäß mit einem Durchmesser von ca. 4 mm an ein Herzkranzgefäß anzunähen.

Das mit dem 1. Preis prämierte Konzept von Christian Reis und Dominik Kaltenbacher setzt bei diesem Verfahren an,

optimiert es aber mit einem neuen Instrument entscheidend: »Assistomosis« umgeht das manuelle Nähen und lässt eine schnellere Verbindung von Herzkranz- und Bypassgefäß zu, indem speziell entwickelte Haltenadeln zum Einsatz kommen, die die beiden zu verbindenden Gefäße positionieren. Durch seitlich angebrachte Klammerapplikatoren des Instruments werden Clips zur Verbindung der beiden Gefäße appliziert. Ein chirurgischer Laser schafft dann die Durchgangsöffnung. Das offene Ende des Bypass-Gefäßes wird schließlich mit einem chirurgischen Clip verschlossen.

(Siehe Jahresbericht 2009, Seite 50 »Assistomosis – Neues Instrument für die assistierte Bypass-Chirurgie«)

2. Preis:

### **IPAnema – Paralleler Seilroboter für hochdynamische Handhabung**

Preisträger: Dr. Andreas Pott

Was im ersten Augenblick anachronistisch anmutet, stellt sich als Hauptvorteil des Roboters »IPAnema« heraus: die Nutzung von Seilwinden als Antriebssystem. Diese Module sind nicht nur kostengünstige und gut etablierte Bauelemente. Sie ermöglichen auch mehrere Tonnen Nutzlast, kurze Taktzeiten und einen großen Arbeitsraum. »IPAnema« basiert auf Seilen, die durch mehrere Winden angetrieben werden und einen Endeffektor im Raum bewegen. Die neue Roboterkinematik erlaubt freie und voll kontrollierbare Bewegungen.

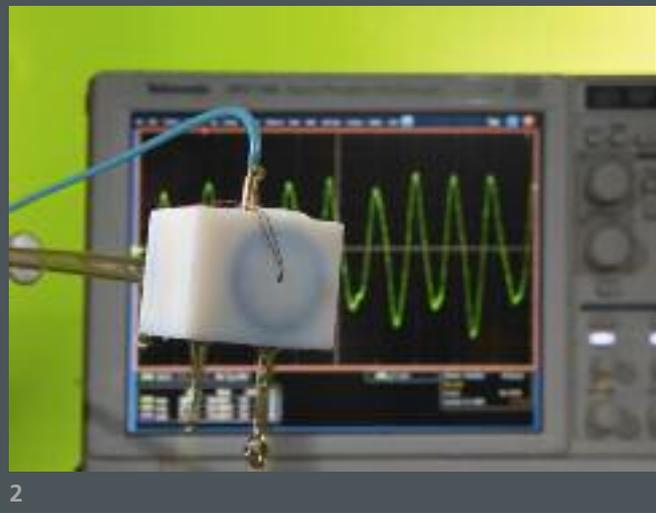
(Siehe Jahresbericht 2009, Seite 36 »Paralleler Seilroboter IPAnema«)

3. Preis:

### **ISELLA 2 – Biomechanisch orientierter Leichtbauroboterarm mit QuadHelix-Antrieben**

Preisträger: Arne Rost

Der Leichtbauroboterarm ISELLA 2 stellt exemplarisch die Fähigkeiten des am Fraunhofer IPA neu entwickelten QuadHelix-



Antriebs dar. Dieses bidirektional wirkende, seilzugbasierte Antriebssystem verwendet Elektromotoren in Kombination mit hochfesten Kunstfaserseilen in einem kompakten Aufbau, um rotatorische und translatorische Stellbewegungen auszuführen. Der ISELLA 2 mit vier Freiheitsgraden im Arm und drei Freiheitsgraden im Greifer nutzt hierbei pro Arm-Freiheitsgrad einen QuadHelix-Antrieb. Bei geringem Energiebedarf und geringen Gesamtsystemkosten sind so hohe Zuladungen im ISELLA 2 möglich.

(Siehe Jahresbericht 2009, Seite 37 »Bidirektionale Seilantriebe in der Servicerobotik«)

### MessTec & Sensor Masters Award 2009 für fluidischen Energiewandler

Die Redaktion »MessTec & Automation« des GIT VERLAGS vergab auch 2009 wieder den MessTec & Sensor Masters Award für besonders innovative Produkte aus der Messtechnik und Sensorik. Eine unabhängige Fachjury wählte aus allen Vorschlägen sechs Produkte aus, mit dabei der »fluidische Energiewandler« vom Fraunhofer IPA. Dieser wurde am 11. März im Stuttgarter SI-Centrum dem Publikum präsentiert, das ihn anschließend mit dem 2. Platz auszeichnete.

»Das ist ein beachtenswerter Erfolg, berücksichtigt man die Konkurrenz der nominierten Sensor-Produkte aus der Industrie«, teilte erfreut Dr. Friedemann Tonner, der Projektleiter aus der Abteilung »Prozessengineering funktionaler Materialien« mit. Außer dem fluidischen Energiewandler waren der »Telemetrie-zwerg« aus dem Hause CAESAR Datensysteme, ein Kolben-Telemetriesystem der Firma Manner Sensortelemetrie, ein kontaktloser Multiturn-Sensor von Megatron, ein optischer Derotator von Polytec und ein Messmikrofon für hohe Arbeitstemperaturen der Firma Synotech nominiert. Der fluidische Energiewandler kann Strom im Mikro- oder Milliwatt-Bereich erzeugen: Wenn Gas oder Wasser durch die Leitungen fließen, nutzt der Fluidwandler deren kinetische Energie. Damit können sich

Sensoren künftig selbst mit Strom versorgen. Solche energieautarke integrierte Sensoren werden für Druckluftanlagen vieler Betriebe gebraucht. Tritt irgendwo im System ein Leck auf, sinkt der Luftdruck und die Produktion steht still, bis die durchlässige Stelle gefunden ist. Um Kostenausfälle durch Fehler in der Anlage gering zu halten, überwachen Sensoren konstant den Druck. Bisher werden sie mit Batterien gespeist oder aufwändig technisch verkabelt. An unzugänglichen Stellen können sie allerdings oft nur mit Mühe oder gar nicht angebracht werden. Mit der neuen Technologie lassen sich wartungsarme zyklisch arbeitende Sensoren mit so viel Energie versorgen, dass die Daten ausgelesen und übertragen werden können. Die fluid-elektrische Wandlung erfolgt innerhalb einer festen Geometrie, durch die das Medium in einer bestimmten Bahn geleitet wird. Dabei wird der konstante Fluidstrom in Oszillation versetzt. Es entsteht eine periodische Druckschwankung in den Rückkopplungszweigen, die wiederum an Piezokeramiken gekoppelt wird. »So wandeln wir die fluidische Energie mittels Piezokeramiken in elektrische Energie um«, fasst Dr. Tonner das Prinzip zusammen. »Der Vorteil ist, dass sowohl Luft als auch Wasser zur Energieerzeugung genutzt werden können. Dazu kommt, dass wir keine beweglichen Teile in unserer Geometrie haben. Die Struktur kann man mit einfachen Verfahren herstellen – das spart Kosten.« Das neue Verfahren kann überall da eingesetzt werden, wo Flüssigkeiten oder Gase durch feste Geometrien geleitet werden – beispielsweise in Versorgungsnetzen oder in der Medizintechnik. »Unser Ziel ist es, in absehbarer Zeit bisher batteriebetriebene Geräte wie Wasserzähler autark mit Energie zu versorgen, sodass komplett unabhängige Systeme entstehen«, sagt Tonner.

1 v. l. n. r. vorne: Christian Mayer, Dominik Kaltenbacher, Arne Rost; Mitte: Prof. Alexander Verl, Dr. Wolfgang Rau, Leiter Entwicklung der Werth Messtechnik GmbH, Gießen; hinten: Dr. Jochen Schließer, Festo AG, Esslingen, Hans F. Jacobi, Fraunhofer IPA, Dr. Norbert Leopold, Geschäftsführer der HWP Planungsgesellschaft mbH, Stuttgart.

2 In den Druckkammern des Fluidwandlers wandeln Piezokeramiken die Druckschwankung in elektrische Energie um.



## 2. Preis für »i-doT«

Die Wissenschaftler Tobias Brode und Andreas Traube vom Fraunhofer IPA haben mit ihrem Verfahren »i-doT: immediate drop on demand technology«, den 2. Preis des Wettbewerbs »Science2Start« der BioRegio STERN Management GmbH gewonnen. Das entwickelte Verfahren übernimmt die wesentlichen Liquid-Handling-Funktionen herkömmlicher Laborrobotersysteme sowie vieler automatisierter Mikrodosiersysteme bei viel geringeren Kosten in Anschaffung und Betrieb.

Einer der häufigsten Handhabungsschritte in der Bioprozesstechnik ist das Handling von Flüssigkeiten. Die Verarbeitung dieser Medien sowie die Reinigung des Dosiersystems kosten in herkömmlichen Systemen nicht nur Zeit und Geld, sondern bringen auch Einbußen in der Qualität mit sich. Das bisherige Problem bei bestehenden Systemen waren die Pipettenspitzen, die nach jedem Kontakt mit Proben entweder gereinigt oder ausgetauscht werden mussten, um Kreuzkontamination zu vermeiden.

Am Fraunhofer IPA wurde ein Verfahren entwickelt, mit dem sich ein Großteil der Pipettierschritte in einem kompakten Gerät vollautomatisiert und damit schnell, kostengünstig und flexibel durchführen lassen: Der i-doT ist in der Lage, Volumina berührungslos aus einer Mikrotiterplatte in eine andere zu übergeben. Die Lösungsidee besteht darin, eine »miniaturisierte Pumpe« in den Boden der Einzelwells zu integrieren, sodass die Probe – schaltbar nach unten – aus dem Einzelwell herausfließen kann. Da Proben direkt aus der nur leicht veränderten Multiwellplatte entnommen werden können, ist dieses Verfahren sehr kostengünstig. Von außen kommen keine weiteren Komponenten mit den Proben in den Wells in Berührung, wie dies beispielsweise bei Mikropipetten mit vergleichbaren Dosiervolumina der Fall ist. Dadurch sind Kreuzkontaminationen zwischen Einzelgefäßen ausgeschlossen. Der i-doT garantiert damit eine direkte, schnelle und kontaminationsfreie Probenentnahme aus Mikrotiterplatten ohne Verwendung von Disposable-Pipettierspitzen. Auch die Verarbeitung hochviskoser

Medien (bis zu 800 mPas) ist möglich. Aufgrund des einfachen Aufbaus können i-doT-Platten kostengünstig als Einmalprodukt hergestellt werden.

Die BioRegio STERN Management GmbH zeichnete die innovativsten Ideen mit Vermarktungspotenzial mit insgesamt 2250 Euro aus. Eine hochkarätige Jury aus Wissenschaftlern und Wirtschaftsvertretern prüfte und bewertete die eingereichten Vorschläge. Prämiert wurden die drei besten Projekte, die neben wissenschaftlicher Expertise auch die Bedingungen für wirtschaftlichen Erfolg überzeugend darstellen konnten.

## SEMI Europe Standards Merit Award 2009 für eine Richtlinie zur Standardisierung von Kommunikationsschnittstellen bei Photovoltaik-Fertigungsanlagen

Der Branchenverband der Halbleiter- und Photovoltaikindustrie, SEMI Europe, verlieh am 22. September den SEMI Europe Standards Merit Award 2009 an die »PV Equipment Interface Specification (PV-EIS) Taskforce«. Zu den Preisträgern gehören Mathias Meier und Kevin Reddig, beide Fraunhofer IPA.

Die PV Equipment Interface Specification (PV-EIS) Taskforce entwickelte den »SEMI PV2 Guide for PV Equipment Communication Interfaces«, eine Richtlinie, die den Rahmen zur Standardisierung der Kommunikations-Schnittstellen von Photovoltaik-Fertigungsanlagen vorgibt. Dieser Standard wurde im Juli 2009 veröffentlicht und ist ein wichtiger Meilenstein für die Photovoltaikindustrie, da er eine einheitliche IT-Schnittstelle für Anlagen in PV-Fertigungen definiert. Daraus ergeben sich für die Photovoltaikindustrie zahlreiche Vorteile wie z. B. kürzere Anlaufzeiten für Fabriken, weitere über die Schnittstelle verfügbare Funktionalitäten, vereinfachte Spezifikationen der Automatisierungsanforderungen sowie Einsparpotenziale für die Anlagenhersteller.



»Den SEMI Europe Standards Award gibt es seit 2001, aber zum ersten Mal wird er an ein Team verliehen«, betonte Carlos Lee von der SEMI Europe PV Group und gratuliert: »Die PV EIS Taskforce hat eineinhalb Jahre unablässig und gemeinschaftlich gearbeitet – mit außergewöhnlichen Ergebnissen. Der Preis ist wohlverdient. Herzlichen Glückwunsch!« Der Preis wurde im Rahmen der European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition in Hamburg von Anton Milner, dem Vorstandsvorsitzenden von Q-Cells, überreicht.

*3 V. l. n. r.: Prof. Dr. h.c. Lothar Späth, Tobias Brode, Andreas Traube und Oberbürgermeister Dr. Jürgen Zieger von Esslingen.*

*4 Stellvertretend für das Fraunhofer IPA nahmen Joachim Seidelmann (links) und Florian Maier (2. von rechts) den Preis, überreicht vom Q-Cells Vorstandsvorsitzenden Anton Milner (rechts), entgegen.*

---

# GREMIEN 2009

---

## **Academy for Industrial Management (AIM)**

*Prof. Dr. Wilfried Sihn – Mitglied*

## **acatech – Konvent für Technikwissenschaften der Union der deutschen Akademien der Wissenschaften e. V.**

*Prof. Dr. Engelbert Westkämper – Mitglied*

- Follow-up-Gruppe »Technologische Innovationen«

*Dr. Klaus Erlach – Mitglied*

## **AMA Fachverband für Sensorik e. V.**

*Hartmut Eigenbrod – Member*

## **American Electroplaters and Surface Finishers Society (AESF)**

- International Branch

*Dr. Armin Gemmler – Member*

## **Arbeitsgemeinschaft Wärmebehandlung und Werkstofftechnik e. V.**

- Fachausschuss »Eigenspannungen«

*Katja Romankiewicz – Mitglied*

## **Austrian Foundation of Quality Management (AFQM)**

*Prof. Dr. Wilfried Sihn – Mitglied im Vorstand*

## **Automated Imaging Association**

*Hartmut Eigenbrod – Member*

## **Bundesverband Logistik Austria**

- Präsidium

*Prof. Dr. Wilfried Sihn – Mitglied*

## **Centrum für Integrative Neurowissenschaften (CIN)**

*Prof. Dr. Alexander Verl – Vorstandsmitglied*

## **Competenz Centrum Ultrapräzise Oberflächenbearbeitung e. V. (CC UPOS e. V.)**

*Prof. Dr. Engelbert Westkämper – Mitglied*

## **Deutsches Flachdisplay Forum DFF**

*Joachim Seidelmann – Mitglied*

## **Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG)**

- Fachkollegiat Produktionstechnik

*Prof. Dr. Engelbert Westkämper – Mitglied*

- Großgeräteausschuss

*Prof. Dr. Alexander Verl – Mitglied*

## **Deutsche Forschungsgesellschaft für Oberflächenbehandlung (DFO)**

- Fachausschuss »Automations- und Prozesstechnik in der Lackierung«

*Dieter Ondratschek – Mitglied*

- Fachausschuss »Beschichtungsstoffe«

*Martin Metzner – Mitglied*

- Fachausschuss »Beschichten von Kunststoffen«

*Ulrich Hoffmann – Mitglied*

- Fachausschuss »Holzbeschichtung«

*Ulrich Hoffmann – Mitglied*

- Fachausschuss »Oberflächenbehandlung von Leichtmetallen«

*Ulrich Strohbeck – Mitglied*

- Fachausschuss »Oberflächenbehandlung von Stahl und Multisubstraten«

*Dieter Ondratschek – Mitglied*

- Fachausschuss »Qualitätssicherung und Prüfverfahren«

*Dr. Matthias Schneider – Mitglied*

**Deutsche Gesellschaft für Galvano- und Oberflächentechnik (DGO)**

- Fachausschuss »Chemische Metallabscheidung«

*Dr. Armin Gemmler – Mitglied*

- Fachausschuss »Forschung«

*Martin Metzner – Mitglied*

- Fachausschuss »Galvanoformung«

*Klaus Schmid – Mitglied*

- Fachausschuss »Mikrosysteme«

*Dr. Armin Gemmler – Mitglied*

- Fachausschuss »Prozesslenkung und Automatisierung« (FAPLA)

*Dr. Hans-Jochen Fetzer – Fachausschussleiter*

**Deutsche Gesellschaft für Geometrie und Grafik (DGfGG)**

*Dr. Sabine Roth-Koch – Mitglied*

**Deutsche Gesellschaft für Holzforschung e. V. (DGfH)**

- Fachausschuss »Holzbe- und -verarbeitung«

*Ulrich Hoffmann – Mitglied*

**Deutsche Gesellschaft für Qualität e. V. (DGQ)**

*Dr. Alexander Schloske – Mitglied*

*Prof. Dr. Engelbert Westkämper – Mitglied*

- Delegiertenversammlung

*Dr. Alexander Schloske – Delegierter*

**Deutsche Gesellschaft für Robotik (DGR)**

*Prof. Dr. Alexander Verl – Vorstandsvorsitzender*

**Deutsche Gesellschaft für zerstörungsfreie Prüfung e. V.**

- Arbeitsgruppe »Optische Formerfassung«

*Dr. Sabine Roth-Koch – Mitglied*

**Deutsche Kommission Elektrotechnik (DKE)**

- Elektronik Informationstechnik in DIN und VDE  
– Arbeitskreis 191.0.2 »Präparationsmethoden für die Analyse«

*Markus Hornberger – Mitglied*

**Deutsches Institut für Normung (DIN)**

- Normenausschuss »Fertigungsmittel für Mikrosysteme«

*Dirk Schlenker – Mitglied*

- Normenausschuss »Heiz- und Raumlufttechnik« (NHRT)

– DIN/VDI Gemeinschaftsausschuss

– Reinraumtechnik (GAA-RR) Fachausschuss 2083  
»Reinraumtechnik«

*Dr. Udo Gommel – Obmann*

- Normenausschuss »Kältetechnik«

*Dr. Hans-Jochen Fetzer – Mitglied*

- Normenausschuss »Maschinenbau« (NAM)

– NA 060-30-02AA »Robotik«

*Thomas Dietz – Mitglied*

*Christian Meyer – Mitglied*

- Normenausschuss

»Technische Grundlagen« (NATG)

– NA 152-03-02-07 UA »Eindimensionale Längenprüftechnik«

*Gerhard Kuhn – Mitglied*

- Spiegelausschuss »Reinraumtechnik«

*Dr. Udo Gommel – Mitglied*

**European Cooperation on Space Standardization (ECSS)**

- Ultra Cleaning of Flight Hardware

*Dr. Udo Gommel – Obmann*

**European Hygienic Engineering & Design Group**

*Gabriela Baum – Mitglied*

**European Laboratory Robotics Interest Group (ELRIG)**

*Christian Reis – Mitglied*

**European Machine Vision Association**

*Markus Hüttel – Mitglied*

**Fachkollegium Technikphilosophie**

*Dr. Klaus Erlach – Mitglied*

**Fertigungstechnisches Kolloquium (FTK)**

*Prof. Dr. Alexander Verl – Chairman*

**FIZ Technik e. V.**

- Benutzerrat

*Christina Herkommer – Vorsitzende*

**Forschungsvereinigung Qualitätssicherung (FQS)**

- Wissenschaftlicher Beirat

*Prof. Dr. Engelbert Westkämper – Mitglied des Forschungsbeirates*

**Forum Qualitätswissenschaften FQM**

*Prof. Dr. Wilfried Sihn – Mitglied*

**Fraunhofer-Gesellschaft e. V.**

- Fraunhofer-Allianz

– »Generative Fertigung«

*Andrzej Grzesiak – Koordinator*

– »Reinigungstechnik«

*Ralf Grimme – Mitglied*

*Markus Rochowicz – Mitglied*

– »Vision«

*Hartmut Eigenbrod – Mitglied*

- Fachgremium Fachinformation

*Christina Herkommer – Mitglied*

- Sprecherkreis Fachinformation

*Christina Herkommer – Mitglied*

- Themenverbund »Nanotechnologie«

*Ralf Grimme – Mitglied*

*Dr. Udo Gommel – Mitglied*

- Verbund Produktion

*Prof. Dr. Alexander Verl – Mitglied*

- Gutachterausschuss Interne Programme

*Prof. Dr. Alexander Verl – Mitglied*

**Gesellschaft für Prozessmanagement**

*Prof. Dr. Wilfried Sihn – Mitglied des wissenschaftlichen Beirats*

**Hochschule der Medien Stuttgart**

- Fakultät Information und Kommunikation

*Christina Herkommer – Mitglied*

**Industriearbeitskreis Gratminimierung**

*Markus Rochowicz – Mitglied*

**Informatik Verbund Stuttgart (IVS) Geschäftsstelle**

*Prof. Dr. Engelbert Westkämper – Mitglied*

**Institut für Mikroelektronik Stuttgart – IMS CHIPS**

*Prof. Dr. Alexander Verl – Mitglied des Kuratoriums*

**International Board of Flexible Automation and Integrated Manufacturing (FAIM)**

*Prof. Dr. Alexander Verl – Editorial Board*

**International Federation of Robotics (IFR)**

- Service Robotics Group

*Martin Hägele – Chair*

#### **International Organization for Standardization (ISO)**

- ISO 16323 »Spiegelausschuss Revision«

*Markus Rochowicz – Leiter*

- ISO/TC 184/SC 2 »Robots for industrial environments«

– Robots for Personal Care

*Theo Jacobs – Mitglied*

– Service Robots

*Theo Jacobs – Mitglied*

- ISO/TC 209/SC/WG 8 »Cleanrooms and associated controlled environments«

– Part 8: Airborne Molecular Contamination, Mitarbeit bei der Erstellung des 14644-8, German representative

*Dr. Udo Gommel – Mitglied*

- ISO/TC 209/SC/WG 9 »Cleanrooms and associated controlled environments«

– Part 9: Classification of surface particle cleanliness, Mitarbeit bei der Erstellung des 14644-9, German representative

*Dr. Udo Gommel – Mitglied*

- ISO/TC 209/WG 4 »Cleanroom Design and Construction«

*Dr. Udo Gommel – Spiegelausschussmitglied*

#### **International Society for Geometry and Graphics (ISGG)**

*Dr. Sabine Roth-Koch – Member*

#### **International Symposium on Robotics (ISR)**

*Prof. Dr. Alexander Verl – Chairman*

#### **Kompetenznetzwerk »Mikrotechnische Produktion«**

*Dirk Schlenker – Mitglied*

#### **Kuratorium Heinz-Nixdorf-Institut**

*Prof. Dr. Engelbert Westkämper – Mitglied*

#### **Manufacture BW**

*Prof. Dr. Engelbert Westkämper – Mitglied und stellvertretender Vorstand*

#### **Manufacture Platform**

- High-level-group

*Prof. Dr. Engelbert Westkämper – Mitglied*

#### **Messe AUTOMATICA**

- Fachbeirat

*Prof. Dr. Alexander Verl – Mitglied*

#### **Object Management Group (OMG)**

*Joachim Seidelmann – Mitglied*

#### **Photonics BW**

*Prof. Dr. Engelbert Westkämper – Mitglied*

#### **RAL – Deutsches Institut für Gütesicherung und Kennzeichnung e. V.**

- Güteausschuss GZ 728 »Gütegemeinschaft Rückproduktion von Kühlgeräten«

*Markus Hornberger – Mitglied*

#### **RM-Platform – The European Collaboration on Rapid Manufacturing**

- Management Board/Koordination der RM-Subplattform Deutschland

*Andrzej Grzesiak – Mitglied*

#### **Semiconductor Equipment and Materials International (SEMI) Europe**

- Arbeitsgruppe »Equipment Automation«

*Joachim Seidelmann – Technical Architect*

- Arbeitsgruppe »Photovoltaic Equipment Interface Spezifikation«

*Matthias Meier – Leiter*

- Arbeitsgruppe »Standardisierung für Photovoltaik«

*Matthias Meier – Mitglied*

*Joachim Seidelmann – Mitglied*

- Photovoltaic Transport Carrier Task Force

*Joachim Seidelmann – Leiter*

**SERCOS International e. V.**

*Prof. Dr. Alexander Verl – Mitglied des Vorstands*

**SPS/IPC/DRIVES**

*Prof. Dr. Alexander Verl – Chairman*

**Step Up – Verein zur Förderung von Effizienz und Produktivität**

*Prof. Dr. Wilfried Sihn – Wissenschaftlicher Beirat*

**Technical Committee Numerisation 3D**

*Dr. Sabine Roth-Koch – Member*

**The International Academy for Production Engineering (CIRP)**

*Prof. Dr. Alexander Verl – Associate Member*

*Prof. Dr. Engelbert Westkämper – Fellow Member*

**The Global Alliance of Rapid Prototyping Associations (GARPA)**

- Germany representative

*Andrzej Grzesiak – Mitglied*

**Universität Stuttgart**

- Fakultät 7 – Maschinenbau

– Fakultätsrat

*Prof. Dr. Alexander Verl – Mitglied*

– Mechatronik

*Prof. Dr. Alexander Verl – Studiendekan*

- Arbeitsgemeinschaft »Materialwissenschaften«

*Dr. Armin Gemmler – Mitglied*

- Engineering Graduate School of Excellence in advanced Manufacturing Engineering (GSaME)

*Prof. Dr. Alexander Verl – Mitglied*

- Research Centre for Simulation Technology und Exzellenzcluster »Simulation Technology« (SimTech)

*Prof. Dr. Alexander Verl – Forschungsleiter*

– Industriekonsortium

*Prof. Dr. Alexander Verl – Mitglied des Vorstands*

- Universitätsbibliothek

– Bibliotheksausschuss

*Christina Herkommer – Mitglied*

- Vereinigung von Freunden der Universität Stuttgart

*Prof. Dr. Engelbert Westkämper – Mitglied*

**Verband der Automobilindustrie (VDA)**

- Qualitäts Management Center

– Industrieverbund »MontSa«

*Markus Rochowicz – Leiter*

**Verband Deutscher Maschinen- und Anlagenbau (VDMA)**

- Modulare Mikrosysteme

*Dirk Schlenker – Mitglied*

- The German Engineering Federation Organic Electronics Association (OEA)

*Dirk Schlenker – Mitglied*

**Verband der Elektrotechnik**

**Elektronik Informationstechnik e. V. (VDE)**

- Mikroelektronik, Mikro- und Feinwerktechnik (GMM)

– Fachausschuss 4.8 »Mikro-Nano-Integration«

*Dirk Schlenker – Mitglied*

- Ambient Assisted Living (AAL)

– Arbeitskreis »Robotik«

*Dr. Birgit Graf – Mitglied*

**Verein Deutscher Ingenieure (VDI)**

- Arbeitskreis B7 »Fahrerlose Transportsysteme«

*Christoph Schaeffer – Mitglied*

- Arbeitskreis VDI 2083

– Blatt 14 »Chemische Kontamination (AMC/SMC)«

*Dr. Udo Gommel – Mitglied*

– Blatt 15 »Schulung von Reinraumpersonal«

*Dr. Udo Gommel – Mitglied*

– Blatt 16 »Isolatoren, Minienvironments und Separative Devices«

*Dr. Udo Gommel – stellvertretender Obmann*

- Blatt 17 »Reinraumtauglichkeit von Werkstoffen«  
*Dr. Udo Gommel – Obmann*
- Blatt 18 »Biokontamination«  
*Dr. Udo Gommel – Mitglied*
- Fachausschuss »Reinraumtechnik (FA RRT)«  
*Dr. Udo Gommel – Mitglied*
- **Ausschuss »Aufgearbeitete Motoren«**  
*Prof. Dr. Rolf Steinhilper – Mitglied*
- **Fachausschuss »Rapid Prototyping«**  
*Andrzej Grzesiak – Mitglied*
- **Fachausschuss »Reinraumtechnik 2083«**  
*Dr. Udo Gommel – Mitglied*
- **Fachausschuss »KfIT 2.5.1**  
»Manufacturing Execution Systems (MES)«  
– Arbeitsgruppe »Kosten-/Nutzenanalyse«  
*Ute Mussbach-Winter – Mitglied*
- **Richtlinienausschuss VDI 2083**  
– Blatt 9.1 »Reinheitstauglichkeit und Oberflächenreinheit«  
*Dr. Udo Gommel – Obmann*  
– Blatt 9.2 »Reinheitstauglichkeit von Verbrauchsmaterialien«  
*Dr. Udo Gommel – stellvertretender Obmann*
- **Wissensforum »Robotik«**  
*Prof. Dr. Alexander Verl – Chairman*
- **VDI-Gesellschaft Produktionstechnik (ADB)**  
*Prof. Dr. Engelbert Westkämper – Vorstand und Beirat*  
*Dr. Alexander Schloske – Mitglied*  
– Arbeitsgruppe »Richtlinien Fabrikplanung«  
*Dr. Klaus Erlach – Mitglied*
- **VDI-Koordinierungsstelle Umwelttechnik**  
– Richtlinien-Gesamtausschuss VDI 2343 »Recycling Elektr(on)ischer Geräte«  
*Markus Hornberger – Mitglied*
- **VDI/DGQ**  
– »Arbeitskreis zur Förderung der Qualität« (AMP)  
*Dr. Alexander Schloske – Leiter*

- **VDI/VDE – Gesellschaft für Mess- und Automatisierungstechnik (GMA)**  
– Fachbereich 3 »Sensoren und Messsysteme für die Fertigungstechnik« Fachausschuss 3.11 »Prüfmittelüberwachung«  
*Gerhard Kuhn – Mitglied*  
– Fachausschuss 4.13 »Steuerung und Regelung von Robotern«  
*Christoph Schaeffer – Mitglied*
- **VDI/VDE – Innovation und Technik**  
– AAL – Ambient Assisted Living  
*Christoph Schaeffer – Mitglied*

**Vereinigung Deutscher Werkzeugmaschinenhersteller**  
*Prof. Dr. Alexander Verl – Mitglied*

#### **Wirtschaftsministerium**

##### **Baden-Württemberg**

- **Verein Mikrosystemtechnik Baden-Württemberg (MST BW)**  
*Prof. Dr. Engelbert Westkämper – Gründungsmitglied*  
*Dr. Udo Gommel – Mitglied*

#### **Wissenschaftliche Gesellschaft für Produktionstechnik e. V. (WGP)**

- Prof. Dr. Engelbert Westkämper – Mitglied*
- **Fachgruppe »Robotik und Montage«**  
*Prof. Dr. Alexander Verl – Gruppensprecher*

#### **Working Group »NanoManufacturing«**

*Tanja Meyer – Mitglied*

---

# VERANSTALTUNGEN 2009

---

20. Januar 2009

## **Schlankes Auftragsmanagement**

Produktion und Informationsfluss in der Lean-Fabrik

3. Februar 2009

## **Technische Sauberkeit in der Automobilindustrie – Prüfung der Partikelverunreinigung von Bauteilen**

12. Februar 2009

## **Führerschein Wandlungsfähigkeit**

Lernfabrik – advanced Industrial Engineering  
Wandlungsfähige Unternehmensstrukturen

3. März 2009

## **»Stuttgarter Gespräche über Technologien für die Orthopädietechnik – Teil 1 Kunststoffe«**

10. März 2009

## **Montageoptimierung – »One Piece Flow« praktisch umgesetzt**

17. März 2009

## **PIT – Produzieren im Takt: das schlanke Produktionssystem für kleine und mittelständische Unternehmen**

19. März 2009

## **Wertstromoptimierung – Das Ganze sehen, um das Ganze zu verbessern**

2. April 2009

## **Technische Sauberkeit in der Automobilindustrie – Prüfung der Partikelverunreinigung von Bauteilen**

21. April 2009

## **Lean Office – Arbeitsabläufe indirekter Bereiche optimieren**

22. April 2009

## **5. Workshop für OTS-Systeme in der Robotik – Sichere Mensch-Roboter-Interaktion ohne trennende Schutzsysteme**

23. April 2009

## **FMEA Basis-Workshop: Fehlervermeidung in der Produktentwicklung**

30. April 2009

## **Wertstromoptimierung – Das Ganze sehen, um das Ganze zu verbessern**

5. und 6. Mai 2009

## **Fertigen unter reinen Bedingungen – Grundlagen, Praxis und Anregungen zur Qualitätssteigerung**

6. Mai 2009

## **Fahrerlose Transportsysteme (FTS) und mobile Roboter – Chancen, Technologie, Wirtschaftlichkeit**

7. Mai 2009

## **Schlankes Auftragsmanagement – Produktions- und Informationsflüsse in der Lean-Fabrik**

28. Mai 2009

## **3. Fraunhofer IPA Technologieforum – Roboter in der Intralogistik**

17. Juni 2009

## **Praktische Umsetzung der REACh-Verordnung in Industrieunternehmen**

18. Juni 2009

## **Review-RoHS und Integration von Medizin- und Überwachungsinstrumenten**

23. Juni 2009

**Aktuelle Analysemethoden in der Galvanotechnik –  
Theorie und Praxis**

30. Juni 2009

**Technische Sauberkeit in der Automobilindustrie –  
Prüfung der Partikelverunreinigung von Bauteilen**

14. und 15. September 2009

**International Conference – Stuttgart Nanodays**

29. September 2009

**Technische Sauberkeit in der Automobilindustrie –  
Prüfung der Partikelverunreinigung von Bauteilen**

30. September 2009

**14. Anwenderforum RPD – Durch Funktionsmuster zur  
Serienreife**

Herstellungsverfahren und zerstörungsfreie Testmethoden in  
der Produktentwicklung

1. Oktober 2009

**Kunden- und wettbewerbsorientierte Produktent-  
wicklung mit Quality Function Deployment (QFD)**

6. Oktober 2009

**Effizientes Energiemanagement in  
Industrieunternehmen**

6. und 7. Oktober 2009

**14. Stuttgarter PPS-Tage  
Spannungsfeld Auftragszentrum – Konfliktpotenziale  
und Lösungsansätze**

8. Oktober 2009

**Wertstromdesign – Das Ganze sehen, um das Ganze zu  
verbessern**

13. Oktober 2009

**Rüstzeitoptimierung – Flexibel durch minimale  
Rüstzeiten**

13. Oktober 2009

**Chemische Nickelabscheidung in der industriellen  
Anwendung**

Theorie und praktische Beispiele

13. Oktober 2009

**Rüstzeitoptimierung – Flexibel durch minimale  
Rüstzeiten**

13. Oktober 2009

**Wissensmanagement in der Medizintechnik**

Anwendungen und Grundlagen

22. Oktober 2009

**PIT – Produzieren im Takt**

Das schlanke Produktionssystem für kleine und mittelständi-  
sche Unternehmen

23. Oktober 2009

**Montage in der Krise – Wie geht es im Jahr 2010 weiter?**

Intelligente Planung – zielgerichtete Umsetzung – wirtschaft-  
licher Betrieb

29. Oktober 2009

**Schlanke Produktionsabläufe und zukünftige  
Werkstrukturen**

Konsolidieren – Sichern – Erweitern

9. November 2009

**Bearbeiten mit Industrierobotern**

Technologien, Anwendungen, Trends

10. November 2009

**Lean Office – Arbeitsabläufe indirekter Bereiche  
optimieren**

11. November 2009

**1. Hartchromtagung**

**Verfahren, aktuelle Entwicklungen und Anforderungen**

11. November 2009

**»Produzieren im Netzwerk«**

Optimierung der eigenen Wertschöpfungskette als Wettbewerbsvorteil

12. November 2009

**FMEA-Experten-Workshop**

Teil 1: Kognition, Navigation & Manipulation

19. November 2009

**Schlankes Auftragsmanagement mit Wertstromdesign**

PPS im Wertstrom

23. November 2009

**3. Fraunhofer IPA Technologieforum**

**Roboter in der Intralogistik – Aktuelle Trends, neue Technologien, moderne Anwendungen**

24. November 2009

**Technische Sauberkeit in der Automobilindustrie –**

**Prüfung der Partikelverunreinigung von Bauteilen**

25. November 2009

**Sprachverarbeitung im industriellen Einsatz (SiE)**

Interaktive Sprachsteuerung zur Optimierung industrieller Prozesse

26. November 2009

**Schlankes Auftragsmanagement – Auftragsabwicklungsprozesse »lean« gestalten**

8. Dezember 2009

**Methoden der Produktentwicklung – Mit neuen Produkten schneller am Markt**

9. Dezember 2009

**»ExFo 2009 – Internationale Stoffverbote, RoHS, EuP, REACH u. WEEE/ElektroG«**

Öffentliche Abschlusstagung des Expertenforums Produktentwicklung und -recycling

15. bis 16. Dezember 2009

**Stuttgarter Gespräche über Technologien für die Orthopädietechnik: Thema Biomechanik Innovativ**

---

# MESSEN 2009

---

18. bis 20. Februar 2009

## **nano tech**

### **International Nanotechnology Exhibition & Conference**

Tokyo Big Sight, Tokyo International Exhibition Center

Tokyo, Japan

*Themen und Exponate*

- Applikationen mit Carbon Nanotubes (CNT)
- Composite und Heizungen mit CNT

3. bis 5. März 2009

## **Logimat 2009**

### **7. Internationale Fachmesse für Distribution, Material- und Informationsfluss**

Neue Messe Stuttgart

Halle 5, Stand 131

*Themen und Exponate*

- Schlank Produzieren im Mittelstand
- Strategische Wertschöpfungsverteilung in Produktionsnetzwerken
- Maßgeschneiderte Lieferantenmanagementlösungen

3. bis 5. März 2009

## **MedTec 2009**

### **Fachmesse und Kongress – Komponenten, Materialien, Subunternehmer-Dienstleistungen und Geräte für die medizinische Geräteherstellungsindustrie Europas**

Neue Messe Stuttgart

Halle 6, Stand 1522

*Themen und Exponate*

- Innovative Lösungen für die technische Orthopädie
- Neuartiges Sensorarray für die Willkürsteuerung von Prothesen
- Funktionelle Tests von Prothesenpassteilen

- Symposium
- Überwachungssystem für Blutfiltrationszeiten
- Blutlogger-Temperaturmessgerät zur Kontrolle der Qualität von Blutkonserven

*Kongress: MedTec Conference*

»Stuttgart Talks on Technologies for Orthopaedics – Part 1 Plastics« »Stuttgarter Gespräche über Technologien für die Orthopädietechnik – Teil 1 Kunststoffe«

3. bis 8. März 2009

## **CeBIT 2009**

Messe Hannover

Halle 9, Stand B 36

(Gemeinschaftsstand der Fraunhofer-Gesellschaft)

Halle 9, Stand B 40

(Bundesministerium für Bildung und Forschung)

*Themen und Exponate*

- »Care-O-bot® 3« – Haushaltsroboter der nächsten Generation
  - Präsentiert sich und seine Fähigkeiten in einer Modellwohnung
  - Interagiert mit den Besuchern
  - Erkennt und greift unterschiedliche Objekte
  - Verteilt Getränke und Give-aways
- Projekt »DESIRE« (Deutsche Servicerobotik Initiative)
  - Technologieplattformen als Basis für die Entwicklung alltagstauglicher Schlüsselfunktionen und -komponenten für mobile Serviceroboter
  - Verteilte Entwicklung und Integration von Hardware- und Softwarekomponenten
  - Webportal als virtuelles Zentrum zur Servicerobotik-Entwicklung im Netz

4. bis 6. März 2009

**Photon's 4<sup>th</sup> Photovoltaic Technology Show Europe 2009**

Neue Messe München

Halle C2, Stand F24

*Themen und Exponate*

- Manufacturing Logistics
  - Factory Planning
  - Material Flow Simulation
  - Material Flow Optimization
  - Scale-up to Mass Production
- Manufacturing IT
  - Process and Quality Control Systems
  - Development of Shopfloor IT Systems
- Manufacturing Automation
  - Wafer Handling
  - Special Automation
  - Dispensing for Contacting

17. bis 19. März 2009

**Reinraum Lounge**

Messe Karlsruhe, Aktionsbühne

*Themen und Exponate*

- IPA-Dienstleistungsspektrum Reinraum
- Reinraumtauglichkeitszertifizierung von Anlagen, Geräten und Komponenten
- Fraunhofer »TESTED DEVICE«
- »Cleanroom Suitable Materials (CSM)«

24. bis 26. März 2009

**Cleanrooms Europe 2009**

Neue Messe Stuttgart

ICS, Stand C06

*Themen und Exponate*

- Reinraumtauglichkeitszertifizierung von Anlagen, Geräten und Komponenten
- Fraunhofer »TESTED DEVICE«
- »Cleanroom Suitable Materials (CSM)«

5. bis 8. Mai 2009

**Control 2009**

**Internationale Fachmesse für Qualitätssicherung**

Neue Messe Stuttgart

Halle 1, Stand 1502

Fraunhofer Vision-Stand

*Themen und Exponate*

- Thermographie-Prüfung von Solarzellen
- Shearographie

Halle 1, Stand 1602

Eventforum auf der Control 2009

3-D-Bildverarbeitung in der Mess- und Prüftechnik

26. bis 28. Mai 2009

**Sensor+Test 2009**

Messe Nürnberg

Gemeinschaftsstand der Fraunhofer-Gesellschaft

*Themen und Exponate*

- Sensorfusion und adaptiver Filter
- Neuartige INS-basierte Bewegungsanalyse
- Kompetenz in Erfassung, Kontrolle und Erzeugung von Bewegungen

7. Juli 2009

**40. Heidelberger Bildverarbeitungsforum**

Heidelberger Bildverarbeitungsforum als Gastveranstaltung am Fraunhofer IPA

Schwerpunkt

Bildfolgenanalyse und dynamische Prozesse

14. bis 16. Juli 2009

### **Semicon West 2009**

Moscone Center, San Francisco, USA

*Themen und Exponate*

- Digitale Fabrik für Halbleiter, Photovoltaik und Nanotechnologie
  - Automation Capability Management
  - Virtuelle Inbetriebnahme
  - Lab2Fab: Skalieren von Fertigungen
- Manufacturing IT
  - Entwicklung von Shop-Floor-IT-Systemen: MES, APC, Equipment Integration
  - Prozess- und -Quality-Control-Systeme
- Logistik
  - Fabrikplanung
  - Materialflusssimulation
  - Materialflussoptimierung
- Kontaminationskontrolle und Reinraumtechnologie
  - Qualifizierung von Anlagen, Geräten und Komponenten für den Reinraumeinsatz
  - Reinraumtaugliche Materialien
  - Reinraumtaugliches Equipment Design

21. bis 24. September 2009

### **Motek**

#### **Die internationale Fachmesse für Montage- und Handhabungstechnik**

Neue Messe Stuttgart

Halle 7, Stand 7130

*Themen und Exponate*

- Robotersysteme in Montage, Handhabung und Prozessautomatisierung
- Neue flexible Roboter-Kinematiken und innovative Greifkonzepte
- Produktion und Handhabung unter reinen Bedingungen
- Industrielle Bildverarbeitung, modellbasierte Objektlageerkennung

Sonderschau: Generative Technologien in der kundenindividuellen Handhabung und im Sondermaschinenbau (Rapid Manufacturing) – Abbildung der gesamten Prozesskette vom Systemdesign über die generative Fertigung zur Inbetriebnahme

Halle 1, Stand 1311

*Themen und Exponate*

- Generative Technologien und Materialien
- Kundenindividuelle Greifer auf Basis generativer Technologien
- Leichtbauanwendungen für Hochgeschwindigkeitshandhabung mit Deltakinematiken
- Industrielle Systeme und Funktionsintegration in Sondermaschinen
- Simulation von Materialfluss und Handhabungstechnik

21. bis 24. September 2009

### **24<sup>th</sup> European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition**

CCH – Congress Center and International Messe Hamburg

Halle B4G, Stand 9

*Themen und Exponate*

- Manufacturing Logistics
  - Factory Planning
  - Material Flow Simulation
  - Material Flow Optimization
  - Scale-up to Mass Production
- Manufacturing IT
  - Process and Quality Control Systems
  - Development of Shop Floor IT Systems
- Manufacturing Automation
  - Wafer Handling
  - Special Automation

6. bis 8. Oktober 2009

**SEMICON Europa 2009**

Messe Dresden

Gemeinschaftsstand der Fraunhofer-Gesellschaft

*Themen und Exponate*

- Digitale Fabrik für Halbleiter, Photovoltaik und Nanotechnologie
  - Automation Capability Management
  - Virtuelle Inbetriebnahme
  - Lab2Fab: Skalieren von Fertigungen
- Manufacturing IT
  - Development of Shop Floor IT Systems: MES, APC, Equipment Integration
  - Process and Quality Control Systems
- Logistik
  - Fabrikplanung
  - Materialflusssimulation
  - Materialflussoptimierung
- Kontaminationskontrolle und Reinraumtechnologie
  - Qualifizierung von Anlagen, Geräten und Komponenten für den Reinraumeinsatz
  - Reinraumtaugliche Materialien
  - Reinraumtaugliches Equipment Design

20. bis 22. Oktober 2009

**parts2clean 2009**

**Internationale Leitmesse für Reinigung in Produktion und Instandhaltung**

Neue Messe Stuttgart

Gemeinschaftsstand der Fraunhofer-Gesellschaft

Halle 1, Stand F610/G709

27.10.–29.10.2009

**Composites Europe**

**Europäische Fachmesse und Forum für Verbundwerkstoffe, Technologie und Anwendungen**

Neue Messe Stuttgart

Halle 4, Stand D-04

*Themen und Exponate*

- Thermographie
- Shearographie

3. bis 5. November 2009

**Vision 2009**

**22. Internationale Fachmesse für industrielle Bildverarbeitung und Identifikationstechnologien**

Neue Messe Stuttgart

Halle 4, 4D18

10.–13. November 2009

**productronica 2009**

**18. Weltleitmesse für innovative Elektronikfertigung**

Neue Messe München/ICM

Halle B3 Stand 246

*Themen und Exponate*

- Montage- und Integrationstechnik für die Mikrosystemtechnik/Self-Assembly
- Auftragen viskoser Medien im Niedrigstmengbereich ( $\mu\text{L}$  – nL – pL)
- Handhabung mikrotechnischer und empfindlicher Bauteile
- Skalierbare Anlagenkonzepte für die Mikro-/Nanoproduktion

24. bis 26. November 2009

### **SPS/IPC/DRIVES**

#### **Elektrische Automatisierung, Systeme und Komponenten**

Messe Nürnberg

Halle 2, Stand 259

*Themen und Exponate*

- Innovative Steuerungs- und Antriebssysteme für die Automatisierung
- Robotersysteme in Produktion und Intralogistik, Serviceroboter
- Industrielle Bildverarbeitung, modellbasierte Objektlageerkennung
- Steuerungstechnik für Werkzeugmaschinen

25. bis 28. November 2009

### **iRex 2009**

#### **International Robot Exhibition**

Tokyo International Exhibition Center, Japan

*Themen und Exponate*

- »Care-O-bot® 3« – Haushaltsroboter der nächsten Generation
  - Präsentiert sich und seine Fähigkeiten
  - Interagiert mit den Besuchern
  - Erkennt und greift unterschiedliche Objekte
  - Verteilt Getränke und Give-aways

2. bis 5. Dezember 2009

### **Euromold**

#### **Fachmesse für Werkzeug- und Formenbau, Design und Produktentwicklung**

Messe Frankfurt

Halle 8

*Themen und Exponate*

Als weltweite Leitmesse für Werkzeug- und Formenbau, Design und Produktentwicklung bildet die EuroMold seit Jahren den stark wachsenden Markt des Rapid Prototyping und Rapid Manufacturing ab.

Das Fraunhofer IPA präsentiert sich im Rahmen einer Gemeinschaftsausstellung der Fraunhofer-Allianz Generative Fertigung (bisher Fraunhofer-Allianz Rapid Prototyping) mit folgenden Themen:

- Ästhetisches Design und Produktentwicklung
- Generative Technologien und Materialien
- 3D-Drucktechnologien

---

# ERTEILTE PATENTE UND OFFENLEGUNGSSCHRIFTEN 2009

---

DE 101 40 990 B4

**Halte- und Fortbewegungsmodul für einen  
Kletterroboter**

Erf.: Bräuning, Uwe; Simons, Florian; Vollmer, Hubert

DE 102 12 965 B4

**Kletterroboter für die sichere Bewegung auf einem  
glatten Untergrund**

Erf.: Bräuning, Uwe; Simons, Florian; Schmidt, Peter;  
Wegener, Kai; Stäb, Andreas; Grandi, Gian Piero; Muscogiuri,  
Domencio

DE 103 39 906 B4

**Messapparatur für Strömungen**

Erf.: Lenz, Thomas; Hornbostel, Björn

EP 1 943 064 B1

**Roboter-Greifer und Verfahren zu dessen Herstellung**

Erf.: Becker, Ralf; Grzesiak, Andrzej

DE 10 2005 051 785 B4

**Vorrichtung und Verfahren zur verwirbelungsfreien  
Messung der Flussgeschwindigkeit und/oder Durch-  
flussmenge eines Fluids**

Erf.: Cucek, Albert

DE 10 2005 063 101 B4

**Prüfstand zur Erfassung von Partikelemissionen**

Erf.: Gommel, Udo, Smolinski, Dirk; Zorn, Christof

DE 10 2006 013 279 B4

**Pneumatisch oder hydraulisch angetriebene Matte zum  
Transport von Gegenständen**

Erf.: Hörcher, Günter; Sindelar, Ralf

DE 10 2006 013 337 B4

**Vorrichtung zum Bewegen einer Last in zumindest  
eine Raumrichtung**

Erf.: Hörcher, Günter; Sindelar, Ralf

DE 10 2006 022 855 B4

**Greifervorrichtung**

Erf.: Becker, Ralf; Grzesiak, Andrzej

DE 10 2007 021 277 B4

**Verfahren zur Herstellung einer Stützstruktur sowie  
eine Stützstruktur**

Erf.: Hoffmeister, Michael; Burgard, Matthias

DE 10 2007 030 035 A1

**Greiferwerkzeug mit Fingerwechselsystem**

Erf.: Wegener, Kai

DE 10 2007 030 036 A1

**Greiferwerkzeug mit Blähkörper**

Erf.: Wegener, Kai

DE 10 2007 031 114 A1

**Hörimplantat mit multidirektional wirkendem Aktor**

Erf.: Schäfer, Armin; Malthan, Dirk; Zenner, Hans

DE 10 2007 041 071 A1

**Vorrichtung zur Aufnahme einer Flüssigkeit sowie  
Vorrichtung zur Aufbringung von Flüssigkeiten auf  
Probenträger und Verfahren hierzu**

Erf.: Brode, Tobias; Traube, Andreas

DE 10 2007 042 442 A1

**Verfahren und System zur Kennzeichnung von Objekten**

Erf.: Mandel, Jörg; Fischer, Jan-Gregor

DE 10 2007 046 020 A1

**Vorrichtung und Verfahren zur Analyse und Synthese  
von Audiosignalen, insbesondere Tinnitus-Therapievor-  
richtung und Tinnitus-Therapieverfahren**

Erf.: Schmidberger, Ernst; Schöbel, Jens

DE 10 2007 048 385 B3

**Verfahren Herstellung eines Bauteils, das im Wege eines generativen Fertigungsprozesses hergestellt wird**

Erf.: Refle, Oliver; Becker, Ralf; Grzesiak, Andrzej

DE 10 2007 049 936 A1

**Verfahren zum Herstellen funktioneller Oberflächengebiete auf einem Flächensubstrat**

Erf.: Güttler, Stefan; Grzesiak, Andrzej; Weber, Achim; Borchers, Kirsten; Tovar, Günter

DE 10 2007 054 043 A1

**Modulare mikrofluidische Funktionsplattform**

Erf.: Keller, Markus; Schweizer, Marion

DE 10 2007 062 064 A1

**Pulverbeschichtungsvorrichtung mit platzsparender Absaugvorrichtung für Overspraypulver**

Erf.: Cudazzo, Markus;

DE 10 2007 062 067 A1

**Optisches Verfahren und Vorrichtung zur Klassifizierung von Partikeln**

Erf.: Schmauz, Günther

DE 10 2008 007 219 A1

**Verfahren und Fluidisierbehälter zur Verbesserung der Aufladung von Pulverpartikeln mittels neuer gepulster Hochspannungstechnik**

Erf.: Cudazzo, Markus; Husta, Jana; Hager, Christian

DE 10 2008 015 497 A1

**Magnetventileinheit**

Erf.: Schlenker, Dirk; Othman, Nabih

DE 10 2008 016 157 A1

**Sensorkopf zur Erfassung der Wasseraktivität und entsprechendes Messverfahren**

Erf.: Werner, Norman

DE 10 2008 020 579 A1

**Verfahren zur automatischen Objektlageerkennung und Bewegung einer Vorrichtung relativ zu einem Objekt**

Erf.: Ledermann, Thomas; Palzkill, Matthias

DE 10 2008 026 534 A1

**Vorrichtung und Verfahren zur Überdruckdetektion in einem Arbeitsvolumen eines Aktors**

Erf.: Becker, Ralf; Barth, Mike

DE 20 2009 002 746 U1

**Roboter-Greifer**

Erf.: Becker, Ralf

PCT 2009 018 793 A1

**Actuator**

Erf.: Staab, Harald; Hieger, Christof; Sonnenburg, Arne

PCT 2009 090 057 A1

**Polymer material which can be marked by laser and method for the production thereof**

Erf.: Fritz, Hans-Gerhard; Schauer, Thadeus; Englert, Paul Ludwig; Widmayer, Stephan

PCT 2009 117 995 A1

**Solenoid valve unit**

Erf.: Schlenker, Dirk; Othman, Nabih

US 2009 010 8605 A1

**Robot gripper and method for its manufacture**

Erf.: Becker, Ralf; Grzesiak, Andrzej

CN 101 512 047 A

**Method for deposition of chromium layers as hard-chrome plating, electroplating bath and hard-chrome surfaces**

Erf.: Bohnet, Jens; Metzner, Martin; Krassnitzer, Herwig; Schermanz, Karl

---

# PROMOTIONEN 2009

## GASTWISSENSCHAFTLER/STIPENDIATEN 2009

---

### Promotionen

17. Februar 2009

**Xuejie Liu**

Basic structure and formation mechanism of Ti-Si-N superhard nanocomposite coatings

5. Mai 2009

**Lars Alexander Aldinger**

Methode zur strategischen Leistungsplanung in wandlungsfähigen Produktionsstrukturen des Mittelstandes

5. Mai 2009

**Matthias Bornhäuser**

Reifegradbasierte Werkstattsteuerung

3. Juli 2009

**Günther Burr**

Ein Instrument zur Führung teilautonomer Leistungseinheiten in der der Produktion

4. November 2009

**Jens Bohnet**

Entwicklung eines Verfahrens zur Abscheidung technischer Chromschichten aus einem Chrom(III)-Elektrolyt

9. Dezember 2009

**Tom-David Graupner**

Vorgehensmodell zur Gestaltung internetbasierter Mehrwertdienste für den Maschinen- und Anlagenbau

### Gastwissenschaftler/Stipendiaten

**Daniel Grusek**

Hochschule Esslingen –  
Hochschule für Technik  
Deutschland

**Christian Mager**

Graduate School of Excellence  
Deutschland



## FACHINFORMATION UND BIBLIOTHEK

Exzellente wissenschaftliche Informationsinfrastruktur unterstützt den gesamten Wertschöpfungsprozess. Die Versorgung von Wissenschaft und Forschung mit Information und damit zusammenhängenden Dienstleistungen sichert Qualität und wissenschaftliche Verlässlichkeit.

Die bestens ausgestattete Fachinformation am Fraunhofer IPA stellt sich den aktuellen Herausforderungen gemäß dem »Rahmenkonzept für die Fachinformationsstruktur in Deutschland« der gemeinsamen Wissenschaftskonferenz des Bundes und der Länder.

Klassische Aufgaben wie Sammlung, Speicherung, Verdichtung und inhaltliche Erschließung, Herstellen der Retrievalfähigkeit, Entwicklung und Angebot von Retrieval-Tools und die Bereitstellung lückenloser institutsrelevanter Information werden

ergänzt durch Konzepte zur Verknüpfung unterschiedlicher Informationstypen, standardisierte Verbreitung von Informationen und die Integration in die jeweiligen lokalen Arbeitsumgebungen einzelner Wissenschaftler oder Forscherteams. Publikationsunterstützung im Sinne des Open Access, nicht-textuelle Medien oder Forschungsevaluierung/Bibliometrie sind hierbei wichtige Eckpunkte.

Durch Vernetzung wird Mehrwert geschaffen: Jahrzehntelange Mitarbeit im Fraunhofer Informationsnetzwerk, intensive Kontakte zu den Informationseinrichtungen außeruniversitärer Forschungsgesellschaften, zu den Medienhochschulen und Fachinformationszentren in Deutschland bedeuten für die Wissenschaftler und Projektbearbeiter des Fraunhofer IPA außergewöhnlich gute Informationsmöglichkeiten und damit Wissensvorsprung.

---

# TAGUNGEN, BÜCHER UND DISSERTATIONEN

---

Lickefett, Michael (Bearb.); Löllmann, Peter-Michael (Bearb.); Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung IPA; Management Circle:

**PIT - Produzieren im Takt: Management Circle Seminar, 28.01.-29.01. 2009, Stuttgart.**

Eschborn, Ts., 2009

Lickefett, Michael (Bearb.); Färber, Ulrich (Bearb.); Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung IPA; Management Circle:

**PIT - Produzieren im Takt: Management Circle Seminar, 19.-20. Februar 2009, Stuttgart.**

Eschborn, Ts., 2009

Burkard, Christian (Referent); Cucek, Roman (Referent); Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung IPA:

**Montageoptimierung - One-Piece-Flow praktisch umgesetzt: Workshop Stuttgart, 10. März 2009.**

Stuttgart, FpF 2009

Westkämper, Engelbert (Hrsg.); Verl, Alexander (Hrsg.); Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung IPA:

**PIT - Produzieren im Takt: Das schlanke Produktionssystem für kleine und mittelständische Unternehmen. Fraunhofer IPA-Seminar F 175, 17. März 2009, Stuttgart.**

Stuttgart: FpF - Verein zur Förderung produktionstechnischer Forschung, 2009

Erlach, Klaus (Workshopleitung); Cucek, Roman (Workshopleitung); Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung IPA:

**Produktionsoptimierung - Methode Wertstromoptimierung: Das Ganze sehen, um das Ganze zu verbessern. Workshop, Stuttgart, 19. März 2009.**

Stuttgart, 2009

Rochowicz, Markus (Referent); Schmauz, Günther (Referent); Ernst, Christian (Referent); Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung IPA:

**VDA Band 19: Technische Sauberkeit in der Automobilindustrie - Prüfung der Partikelverunreinigung von Bauteilen: Fraunhofer IPA Seminar, 2. Apr. 2009, Stuttgart.**

Stuttgart, 2009

Schöllhammer, Oliver (Leitung); Schneider, Ralph (Leitung); Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung IPA:

**LeanOffice - Arbeitsabläufe indirekter Bereiche optimieren: Fraunhofer IPA Workshop 21. April 2009, Stuttgart.**

Stuttgart, 2009

Schloske, Alexander (Moderator); Mannuß, Oliver (Moderator); Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung IPA:

**FMEA Basis-Workshop: Fehlervermeidung in der Produktentwicklung. Fraunhofer IPA Workshop, Stuttgart, 24. April 2009.**

Stuttgart, 2009

Westkämper, Engelbert (Fachbeirat); mic - management information center; Automobilproduktion:

**Digitale Fabrik @ Produktion: Zwei Welten wachsen zusammen, 5. Internationaler Fachkongress, 23. und 24. Juni 2009, München.**

Landsberg/Lech, 2009

Erlach, Klaus (Workshopleitung); Sauer, Marcus (Workshopleitung); Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung IPA:

**Produktionsoptimierung - Methode Wertstromoptimierung: Das Ganze sehen, um das Ganze zu verbessern. Workshop, Stuttgart, 30. Apr. 2009.**

Stuttgart, 2009

Westkämper, Engelbert (Hrsg.); Verl, Alexander (Hrsg.);  
Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und  
Automatisierung IPA:

**Fahrerlose Transportsysteme (FTS) und mobile Roboter: Chancen, Technologie, Wirtschaftlichkeit. Neueste Erkenntnisse und Trends in Materialfluss und mobiler Automation. 3. Fraunhofer IPA Technologieforum F 176, 6. Mai 2009, Stuttgart.**

Stuttgart: FpF - Verein zur Förderung produktionstechnischer  
Forschung, 2009

Westkämper, Engelbert (Hrsg.); Verl, Alexander (Hrsg.);  
Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und  
Automatisierung IPA:

**Schlankes Auftragsmanagement: Produktion und Informationsfluss in der Lean-Fabrik. Fraunhofer IPA Seminar F 177, 7. Mai 2009, Stuttgart.**

Stuttgart: FpF - Verein zur Förderung produktionstechnischer  
Forschung, 2009

Westkämper, Engelbert (Hrsg.); Verl, Alexander (Hrsg.);  
Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und  
Automatisierung IPA:

**5. Workshop für OTS-Systeme in der Robotik: Sichere Mensch-Roboter-Interaktion ohne trennende Schutz-  
zäune. Fraunhofer IPA Workshop F 178, 15. Juni 2009, Stuttgart.**

Stuttgart: FpF - Verein zur Förderung produktionstechnischer  
Forschung, 2009

Westkämper, Engelbert (Hrsg.); Verl, Alexander (Hrsg.);  
Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und  
Automatisierung IPA:

**Praktische Umsetzung der REACH-Verordnung in Industrieunternehmen: Vorausschauendes unternehmerisches Handeln für alle Betroffenen der REACH-Verordnung, speziell der Endproduktehersteller: Elektro-, Automobil-, Medizingeräte- und Zulieferindustrie. Fraunhofer IPA Workshop F 179, 17. Juni 2009, Stuttgart.**

Stuttgart: FpF - Verein zur Förderung produktionstechnischer  
Forschung, 2009

Hornberger, Markus (Workshopleitung); Fraunhofer-Institut für  
Produktionstechnik und Automatisierung IPA:

**Review der RoHS-Richtlinie und Integration von Medizingeräten (GK8) sowie Überwachungs- und Kontrollinstrumenten (GK9): Fraunhofer IPA Workshop 18. Juni 2009, Stuttgart.**

Stuttgart, 2009

Deutsche Gesellschaft für Galvano- und Oberflächentechnik;  
Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und  
Automatisierung IPA:

**Aktuelle Analysemethoden in der Galvanotechnik: Theorie und Praxis: Workshop, 23. Juni 2009, Stuttgart.**  
Stuttgart, 2009

Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und  
Automatisierung IPA:

**50 Jahre IPA: Wir produzieren Zukunft. Vorträge Industrietag: 2. Juli 2009.**

Stuttgart, 2009

## Tagungen, Bücher und Dissertationen

Kolaric, Ivica (Conference Chair); Roth, Siegmund (Conference Chair); Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung IPA:

**Stuttgart NanoDays '09: visions for short and medium-term applications. International Conference, September 14-15, 2009.**

Stuttgart, 2009

Grzesiak, Andrzej (Hrsg.); Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung IPA:

**14. Anwenderforum RPD: Durch Funktionsmuster zur Serientiefe. Herstellungsverfahren und zerstörungsfreie Testmethoden in der Produktentwicklung. 30. September 2009, Stuttgart.**

Stuttgart, 2009

Westkämper, Engelbert (Hrsg.); Verl, Alexander (Hrsg.); Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung IPA:

**Kunden- und wettbewerbsorientierte Produktentwicklung mit Quality Function Deployment (QFD): Gezielt Kundenanforderungen herausarbeiten und in wettbewerbsfähige Produkte umsetzen. Fraunhofer IPA Workshop F 180, 1. Oktober 2009, Stuttgart.**

Stuttgart, 2009

Westkämper, Engelbert (Hrsg.); Verl, Alexander (Hrsg.); Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung IPA:

**Spannungsfeld Auftragszentrum: Konfliktpotenziale und Lösungsansätze. 14. Stuttgarter PPS-Tage. Seminar und Workshop F 181, 6. und 7. Oktober 2009, Stuttgart.**

Stuttgart, FpF 2009

Westkämper, Engelbert (Hrsg.); Verl, Alexander (Hrsg.); Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung IPA:

**Energiemanagement zur Kostensenkung in der Produktion: TEEM - Total Energy Efficiency Management. Fraunhofer IPA Workshop F 182, 6. Oktober 2009, Stuttgart.**

Stuttgart, 2009

Hoffmann, Ulrich (Seminarleitung); Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung IPA; Technische Akademie <Wuppertal>:

**Innovative Lackieranlagen planen: TAW-Seminar, 7.-8.10.2009, Stuttgart. Wege zur wirtschaftlichen und beherrschbaren Lackiererei.**

Stuttgart, 2009

Denner, Timo (Referent); Sauer, Marcus (Referent); Westkämper, Engelbert (Hrsg.); Verl, Alexander (Hrsg.); Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung IPA:

**Rüstzeitoptimierung: Flexibel durch minimale Rüstzeit. Verschlanken Sie Ihre Produktion!: Fraunhofer IPA Workshop, Seminar für die Praxis, 13. Oktober 2009, Stuttgart.**

Stuttgart, 2009

Westkämper, Engelbert (Hrsg.); Verl, Alexander (Hrsg.); Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung IPA:

**Chemische Nickelabscheidung in der industriellen Anwendung: Theorie und praktische Beispiele. Fraunhofer IPA Workshop F 184, 13. Oktober 2009, Stuttgart.**

Stuttgart, 2009

Westkämper, Engelbert (Hrsg.); Verl, Alexander (Hrsg.); Verein zur Förderung produktionstechnischer Forschung u.a.:

**Wiki-Med - Wissensmanagement in der Medizintechnik: Anwendungen und Grundlagen. Fraunhofer IPA Tagung F 185, 13. Oktober 2009, Stuttgart.**

Stuttgart, 2009

Westkämper, Engelbert (Beirat); mic - management information center u.a.:

**4. Deutscher Maschinenbau-Gipfel: Zukunft produzieren! Berlin, 13. und 14. Oktober 2009.**

Landsberg, 2009

Westkämper, Engelbert (Hrsg.); Verl, Alexander (Hrsg.); Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung IPA:

**PIT - Produzieren im Takt: Das schlanke Produktionssystem für kleine und mittelständische Unternehmen. Fraunhofer IPA-Seminar F 183, 22. Okt. 2009, Stuttgart.**

Stuttgart: FpF - Verein zur Förderung produktionstechnischer Forschung, 2009

Westkämper, Engelbert (Hrsg.); Verl, Alexander (Hrsg.); Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung IPA:

**Montage in der Krise - Wie geht es weiter in 2010: Zeitgemäße Planung - zielgerichtete Umsetzung - wirtschaftlicher Betrieb. Fraunhofer IPA Montageforum F 186, 23. Okt. 2009, Stuttgart.**

Stuttgart: FpF - Verein zur Förderung produktionstechnischer Forschung, 2009

Westkämper, Engelbert (Hrsg.); Verl, Alexander (Hrsg.); Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung IPA:

**Bearbeiten mit Industrierobotern: Technologien - Anwendungen - Hardware/Software. Fraunhofer IPA Workshop F 187, 9. Nov. 2009, Stuttgart.**

Stuttgart: FpF - Verein zur Förderung produktionstechnischer Forschung, 2009

Schöllhammer, Oliver; Schneider, Ralph; Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung IPA:

**LeanOffice - Arbeitsabläufe indirekter Bereiche optimieren: Fraunhofer IPA Workshop, 10. Nov. 2009, Stuttgart.**

Stuttgart, 2009

Westkämper, Engelbert (Hrsg.); Verl, Alexander (Hrsg.); Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung IPA:

**Produzieren im Netzwerk: Optimierung der eigenen Wertschöpfungskette als Wettbewerbsvorteil. Fraunhofer IPA-Seminar F 188, 11. Nov. 2009, Stuttgart.**

Stuttgart: FpF - Verein zur Förderung produktionstechnischer Forschung, 2009

Westkämper, Engelbert (Hrsg.); Verl, Alexander (Hrsg.); Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung IPA:

**FMEA für Experten: Fehlervermeidung in der Produktentwicklung. Fraunhofer IPA Workshop F 189, 12. Nov. 2009, Stuttgart.**

Stuttgart: FpF - Verein zur Förderung produktionstechnischer Forschung, 2009

## Tagungen, Bücher und Dissertationen

Westkämper, Engelbert (Hrsg.); Verl, Alexander (Hrsg.);  
Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und  
Automatisierung IPA:

**Hartchromtagung: Fraunhofer IPA Tagung,  
11. November 2009, Stuttgart. Tagungsband.**

Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag, 2009

Westkämper, Engelbert (Hrsg.); Verl, Alexander (Hrsg.);  
Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und  
Automatisierung IPA:

**Schlankes Auftragsmanagement: Auftragsabwicklungs-  
prozesse "lean" gestalten. Fraunhofer IPA Seminar  
F 190, 19. November 2009, Stuttgart.**

Stuttgart: FpF - Verein zur Förderung produktionstechnischer  
Forschung, 2009

Westkämper, Engelbert (Hrsg.); Verl, Alexander (Hrsg.);  
Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und  
Automatisierung IPA:

**Roboter in der Intralogistik: Aktuelle Trends - Neue  
Technologien - Moderne Anwendungen. Fraunhofer IPA  
Technologieforum F 191, 23. November 2009, Stuttgart.**

Stuttgart: FpF - Verein zur Förderung produktionstechnischer  
Forschung, 2009

Westkämper, Engelbert (Hrsg.); Verl, Alexander (Hrsg.);  
Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und  
Automatisierung IPA:

**Schlanke Produktionsabläufe und zukunftsfähige  
Werkstrukturen: Konsolidieren - Sichern – Erweitern.  
Fraunhofer IPA Seminar F 192, 24. November 2009,  
Stuttgart.**

Stuttgart: FpF - Verein zur Förderung produktionstechnischer  
Forschung, 2009

Westkämper, Engelbert (Hrsg.); Verl, Alexander (Hrsg.);  
Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und  
Automatisierung IPA:

**Methoden der Produktentwicklung: Mit neuen  
Produkten schneller am Markt. Fraunhofer IPA Seminar  
F 193, 8. Dez. 2009, Stuttgart.**

Stuttgart: FpF - Verein zur Förderung produktionstechnischer  
Forschung, 2009

Westkämper, Engelbert (Hrsg.); Verl, Alexander (Hrsg.);  
Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und  
Automatisierung IPA:

**Internationale Stoffverbote, RoHS, REACH, EuP sowie  
ElektroG/WEEE in der Praxis: Vorausschauendes unter-  
nehmerisches Handeln für alle Beteiligten der Elektro-  
industrie und des Elektroaltgeräte-Recyclings. ExFo 2009  
- Fraunhofer IPA Expertenforum, Abschlussstagung F 194,  
9. Dezember 2009, Stuttgart.**

Stuttgart: FpF - Verein zur Förderung produktionstechnischer  
Forschung, 2009

Montnacher, Joachim (Seminarleitung); Verein Deutscher  
Ingenieure; Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und  
Automatisierung IPA:

**Dichtheitsprüfung in der Produktion: VDI-Wissensforum  
366010 (02F0060010) 12.05.2009, Düsseldorf und  
18.3.09, Stuttgart.**

Düsseldorf, 2009

Pfeffer, Matthias (Referent); Hentschel, Robert (Referent);  
Junginger, Bernd (Referent); ZWB Forum für Führungskräfte;  
Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und  
Automatisierung IPA; Plansee:

**Der Produktionsleiter: 3-Tage Zertifikatslehrgang,  
Kompaktwissen zur effektiven Steuerung der  
Produktion, 25.-27. März 2009, Mainz; 21.-23. Apr. 2009,  
München.**

Wiesbaden, 2009

Kolaric, Ivica (Conference Chair); Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung IPA; Fraunhofer Representative Office Japan:

**Beyond ESD - Advanced CNT Applications, Network-Workshop: May 21st, 2009, Tokyo, Japan.**

Stuttgart, 2009

Schraft, Rolf Dieter (Hon. Chair.); Hägele, Martin (Publication Chair); GPS Ges. für Produktionssysteme; Deutsche Ges. für Robotik; IEEE / Robotics and Automation Society:

**ICAR 2009: 14th International Conference on Advanced Robotics, June 22-26 2009, Munich, Germany.**

**Conference Proceedings.**

Stuttgart, 2009

Pfeffer, Matthias (Referent); Hentschel, Robert (Referent); Junginger, Bernd (Referent); ZWB Forum für Führungskräfte; Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und

Automatisierung IPA; Plansee:

**Der Produktionsleiter: 3-Tage Zertifikatslehrgang, Kompaktwissen zur effektiven Steuerung der Produktion, 29. Juni bis 1. Juli 2009 in Wiesbaden.**

Wiesbaden, 2009

Pham, D. T. (Hrsg.); Eldukhri, E. E. (Hrsg.); Soroka, A. J. (Hrsg.); Höpf, Michael (Programme and Organising Committee); FP6 I\*PROMS Network of Excellence; Cardiff University / Manufacturing Engineering Center <Cardiff, U.K.>; European Commission:

**Innovative Production Machines and Systems: 4th I\*PROMS Virtual Conference, 1st-14th July 2008.**

Caithness, UK: Whittles, 2009

Jähne, Bernd (Leitung); Universität <Heidelberg> / Interdisziplinäres Zentrum für Wissenschaftliches Rechnen; Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung IPA; MaxxVision:

**Bildfolgenanalyse und Dynamische Prozesse:**

**40. Heidelberger Bildverarbeitungsforum, 07. Juli 2009, Stuttgart.**

Hanau: AEON Verlag, 2009

Meier, Matthias; Ghiselli, Jack; Dhudshia, Vallabh; Standards Technology Group; Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung IPA:

**SEMI@ Photovoltaic Standards - PV Equipment Performance and Communications Overview. Part Number EPS-00102 0907a: Course, July 14, 2009, San Francisco, CA USA.**

Williston, VT, USA, 2009

Pfeffer, Matthias (Referent); Hentschel, Robert (Referent); Junginger, Bernd (Referent); ZWB Forum für Führungskräfte; Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung (IPA):

**Der Produktionsleiter: 3-Tage Zertifikatslehrgang, Kompaktwissen zur effektiven Steuerung der Produktion, 05. bis 07. Okt. 2009 in Wiesbaden und 16. bis 18. Nov. 2009 in Miesbach.**

Wiesbaden, 2009

Montnacher, Joachim (Seminarleitung); VDI-Wissensforum; Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung IPA:

**Dichtheitsprüfung in der Produktion: VDI-Wissensforum 366011 (02FO060011) 29.10.2009, Frankfurt.**

Düsseldorf, 2009

## Tagungen, Bücher und Dissertationen

Bender, Klaus (Hrsg.); Schumacher, Walter (Hrsg.); Verl, Alexander (Hrsg.); Höpf, Michael (Chairman); Mesago:  
**SPS/IPC/DRIVES 2009: Tagungsband. Elektrische Automatisierung - Systeme und Komponenten. Fachmesse und Kongress, 24.-26. Nov. 2009, Nürnberg.**  
Berlin; Offenbach: VDE-Verlag, 2009

Bischoff, Rainer (Hrsg.); Guhl, Tim (Hrsg.); Hägele, Martin (Ed. Team); Schwandner, Oliver (Ed. Team); European Robotics Technology Platform; CARE; Strategic Research Agenda:  
**Robotic Visions - to 2020 and beyond: The Strategic Research Agenda for Robotics in Europe.**  
Brüssel, 2009

Bullinger, Hans-Jörg (Hrsg.); Spath, Dieter (Hrsg.); Warnecke, Hans-Jürgen (Hrsg.); Westkämper, Engelbert (Hrsg.); Fraunhofer Gesellschaft:  
**Handbuch Unternehmensorganisation: Strategien, Planung, Umsetzung.**  
3., neu bearb. Aufl.  
Berlin u. a. : Springer, 2009  
(VDI-Buch)

Ergin, Tamer (Hrsg.); Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung IPA; Spectaris Fachverband Medizintechnik:  
**Wissensmanagement: ein Leitfaden aus der Medizintechnik.**  
Stuttgart: Fraunhofer Verlag, 2009

Erlach, Klaus (Hrsg.); Westkämper, Engelbert (Hrsg.); Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung IPA:  
**Energiewertstrom: Der Weg zur energiereffizienten Fabrik.**  
Stuttgart: Fraunhofer Verlag, 2009

Gail, Lothar (Hrsg.); Gommel, Udo (Hrsg.); Weißsieker, Horst (Hrsg.):  
**Projektplanung Reinraumtechnik.**  
Heidelberg: Hüthig, 2009

Hägele, Martin (Bearb.); Wendel, Anne (Bearb.); Setoya, Hideo (Bearb.); Risager, Claus (Bearb.); Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung IPA; International Federation of Robotics / Statistical Department; VDMA / Robotics and Automation Association:  
**World Robotics Service Robots 2009: Statistics, Market Analysis, Forecasts and Case Studies.**  
Frankfurt/Main, 2009

Jovane, Francesco; Westkämper, Engelbert; Williams, David:  
**The ManuFuture Road: Towards Competitive and Sustainable High-Adding-Value Manufacturing.**  
Berlin u. a. : Springer, 2009

Ondratschek, Dieter (Red.):  
**besser lackieren! Jahrbuch 2010.**  
67. Jahrgang  
Hannover: Vincentz, 2009

Sihn, Wilfried; Palm, Daniel; Schmitz, Klaus; Leitner, René; Fraunhofer IPA / Projektgruppe Produktionsmanagement und Logistik <Wien>:  
**Produktionsstrukturen von Automobilherstellern und ihrer Zulieferer - Gestärkt durch die Krise: Automotive Region Central and Eastern Europe.**  
Wien, 2009

Weckenmann, Albert (Mitarb.); Westkämper, Engelbert (Mitarb.); Dietlmaier, Adrian (Mitarb.); Haag, Holger (Mitarb.); Forschungsgemeinschaft Qualität (FQS); Deutsche Gesellschaft für Qualität; Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie:  
**Wirtschaftlichkeit von Messergebnissen: Anwenderleitfaden und CD-ROM.**  
1. Aufl.  
Frankfurt/Main, 2009  
(FQS-DGQ; 84-08)

Westkämper, Engelbert (Hrsg.); Zahn, Erich (Hrsg.):

**Wandlungsfähige Produktionsunternehmen: Das Stuttgarter Unternehmensmodell.**

Berlin u. a. : Springer, 2009

Westkämper, Engelbert (Projektleiter); Puzik, Arnold (Bearb.); Thoms, Volker (Projektleiter); Bräunling, Sven (Supervisor); Universität <Stuttgart> / Institut für Industrielle Fertigung und Fabrikbetrieb (IFF) u. a. :

**Clinchen hoch- und höherfester Bleche mit überlagerter Bewegung: EFB-Forschungsbericht, Forschungsvorhaben AiF Nr. : 14916BG. Schlussbericht für den Zeitraum: 1. 08. 2006 - 31. 10. 2008.**

Stuttgart, 2009

Aldinger, Lars Alexander:

**Methode zur strategischen Leistungsplanung in wandlungsfähigen Produktionsstrukturen des Mittelstandes.**

Heimsheim: Jost-Jetter, 2009

(IPA-IAO Forschung und Praxis; 491)

Bohnet, Jens:

**Entwicklung eines Verfahrens zur Abscheidung technischer Chromschichten aus einem Chrom (III)-Elektrolyt.**

Heimsheim: Jost-Jetter, 2009

(IPA-IAO Forschung und Praxis; 490)

Bornhäuser, Matthias:

**Reifegradbasierte Werkstattsteuerung.**

Heimsheim: Jost-Jetter, 2009

(IPA-IAO Forschung und Praxis; 485)

Burr, Günther:

**Ein Instrument zur Führung teilautonomer Leistungseinheiten in der Produktion.**

Heimsheim: Jost-Jetter, 2009

(IPA-IAO Forschung und Praxis; 489)

Fritsch, Dennis:

**Steuerung selbstorganisierender Multi-Roboter-Systeme für dynamische Sammelaufgaben am Beispiel der Bekämpfung maritimer Ölverschmutzungen.**

Heimsheim: Jost-Jetter, 2009

(ISW Forschung und Praxis; 173)

Knoll, Gerald:

**Nachrichtenorientierte Verteilungsplattform für hochdynamische Kommunikation in der Produktion.**

Heimsheim: Jost-Jetter, 2009

(IPA-IAO Forschung und Praxis; 486)

Laube, Thorsten:

**Methodik des interorganisationalen Technologietransfers: Ein Technologie-Roadmap-basiertes Verfahren für kleine und mittlere technologieorientierte Unternehmen.**

Heimsheim: Jost-Jetter, 2009

(IPA-IAO Forschung und Praxis; 483)

Liu, Xuejie:

**Basic structure and formation mechanism of Ti-Si-N superhard nanocomposite coatings.**

Heimsheim: Jost-Jetter, 2009

(IPA-IAO Forschung und Praxis; 481)

Staab, Harald:

**Ein Radfahrwerk mit passiver Federung für mobile Roboterassistenten.**

Heimsheim: Jost-Jetter, 2009

(IPA-IAO Forschung und Praxis; 479)

Wiedenhöfer, Markus:

**Prozessgeregeltes Mikrodosieren hochviskoser Klebstoffe.**

Heimsheim: Jost-Jetter, 2009

(IPA-IAO Forschung und Praxis; 482)

---

# ARTIKEL IN FACHZEITSCHRIFTEN PEER-REVIEWED

---

Constantinescu, Carmen; Eichelberger, Hanno; Westkämper, Engelbert:

**Durchgängige und integrierte Fabrik- und Prozessplanung: "Grid Engineering for Manufacturing".**

In: wt Werkstattstechnik online 99 (2009), Nr. 3, S. 92-98

Graf, Birgit:

**An Adaptive Guidance System for Robotic Walking Aids.**

In: Journal of Computing and Information Technology - CIT 17 (2009), Nr. 1, S. 109-120

Krüger, Jörg; Lien, Terje K. ; Verl, Alexander:

**Cooperation of human and machines in assembly lines.**

In: CIRP Annals Manufacturing Technology 58 (2009), Nr. 2, S. 628-646

Malfatti, Célia F. ; Veit, Hugo M. ; Santos, Claudia Beatriz dos; Metzner, Martin; Holeczek, Harald; Bonino, Jean-Pierre:

**Heat Treated NiP-SiC Composite Coatings: Elaboration and Tribocorrosion Behaviour in NaCl Solution.**

In: Tribology Letters 36 (2009), Nr. 2, S. 165-173

Manhabosco, Taíse M. ; Muller, Iduvirges L. ; Santos, Claudia Beatriz dos:

**Tribocorrosão da liga Ti6Al4V em solução salina tamponada com fosfato.**

In: Química nova 32 (2009), Nr. 9, S. 2263-2267

Santos, Claudia Beatriz dos; Metzner, Martin; Malfatti, Célia F.; Zoppas Ferreira, Jane:

**Corrosion process in NaCl/Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> solutions of AISI 316L stainless steel treated by ionic nitriding.**

In: Transactions of the Institute of Metal Finishing 87 (2009), Nr. 6, S. 309-314

Santos, Claudia Beatriz dos; Haubold, Lars; Holeczek, Harald; Becker, Michael; Metzner, Martin:

**Wear-Corrosion Resistance of DLC/CoCrMo System for Medical Implants with Different Surface Finishing.**

In: Tribology Letters (2009), Published Online First 19 September 2009. DOI: 10. 1007/s11249-009-9501-z, 9 S.

Uddin, Sheikh Minhaz; Mahmud, Tanvir; Wolf, Christoph; Glanz, Carsten; Kolaric, Ivica; Hulman, Martin; Neubauer, Erich; Roth, Siegmund:

**Thermal expansion co-efficient of nanotube-metal composites.**

In: Physica Status Solidi B 246 (2009), Nr. 11-12, S. 2836-2839

Verl, Alexander; Fritsch, Dennis; Winkler, Bernd:

**Hybride Systeme in der Montage: Volle Wirtschaftlichkeit bei halber Automation.**

In: wt Werkstattstechnik online 99 (2009), Nr. 9, S. 606-613

Weber, Achim; Herz, Marion; Hirth, Thomas;

Tovar, Günter E. M.; Stallkamp, Jan; Kaltenbacher, Dominik:

**C-VIS: Interoperative Tumorererkennung mit Hilfe von Nanopartikeln.**

In: Endoskopie heute 22 (2009), Nr. 1, S. 36-39

---

# WEITERE ARTIKEL IN FACHZEITSCHRIFTEN

---

Bischoff, Ralf; Güttler, Stefan:

**Printed Peptide Arrays: Synthesis of High-density Peptide Arrays Using Laser Printing.**

In: BIOforum Europe 13 (2009), Nr. 3, S. 30-31

Bohnet, Jens:

**Vom Prototyp zum Konstruktionselement: Beschichtung von Rapid Prototyping Bauteilen.**

In: mo - Metalloberfläche 63 (2009), Nr. 12, S. 27-29

Bürger, Frank:

**Reines Equipment: Mit Strömungssimulation Kontaminationsquellen vermeiden.**

In: ReinRaumTechnik 11 (2009), Nr. 2, S. 18-19

Bürger, Frank (Interview):

**Die Entwickler - Fraunhofer IPA: reinraum online sprach während der CleanRooms 2009 mit Herrn Frank Friedrich Bürger, Key Account Manager Zertifizierung Reinst- und Mikroproduktion.**

In: reinraum online Newsletter (2009), Sonderausgabe Cleanrooms Europe 03, S. 3

Connette, Christian P.:

**Die Sensorik steht im Fokus: Kosteneffiziente Verfahren zur Navigation von FTS.**

In: Hebezeuge und Fördermittel 49 (2009), Nr. 9, S. 434-435

Cudazzo, Markus; Strohbeck, Ulrich:

**Pistolenlose Pulverbeschichtung auf engstem Raum.**

In: JOT 49 (2009), Nr. 12, S. 14-17

Dürr, Peter; Fröhlich, Tobias:

**Optimierung der IT-Struktur im Auftragsabwicklungsprozess von kleinen und mittleren Unternehmen.**

In: Industrie Management 25 (2009), Nr. 3, S. 61-64

Durst, Werner:

**Automatisierung in Großraumlackieranlagen.**

In: JOT 49 (2009), Nr. 5, S. 12-13

Durst, Werner:

**Optimierter Ablauf: Schwierige Zeiten verlangen effiziente Prozesse im Lackierbetrieb.**

In: Lackiererblatt 18 (2009), Nr. 2, S. 24-27

Erlach, Klaus:

**Produktionsoptimierung - die Quadratur des Kreises: Mit Wertstromdesign zur schlanken Fabrik.**

In: Schweizer Logistik-Katalog 34 (2009), S. 54-56

Fulga, Simina; Eigenbrod, Hartmut:

**Den Mikrorissen auf der Spur: Inline-Thermographie-System prüft Solarzellen.**

In: Qualität und Zuverlässigkeit QZ 54 (2009), Nr. 9, S. 48-50

Gebhard, Gernot; Bengel, Matthias:

**Die kleinen Helfer: EtherCat für mobile Roboter.**

In: Drives & motion 8 (2009), Special Ethernet April, S. 40-41

Giesen, Tim; Puzik, Arnold:

**Taumelclinchen von höher- und hochfesten Blechen: Höchsthafte Stähle begrenzen das Anwendungsspektrum des Clinchens mit überlagerter Bewegung durch Industrieroboter.**

In: wt Werkstattstechnik online 99 (2009), Nr. 9, S. 678-683

Graf, Birgit:

**Mobile Roboterassistenten zur aktiven Unterstützung älterer Menschen.**

In: Technik in Bayern 13 (2009), Nr. 2, S. 8-9

Graf, Birgit; Greiner, Matthias; Hoppe, Stefan; Mende, Michael:

**Roboter an der "langen Leine".**

In: Computer & Automation (2009), Nr. 2, S. 41-44

## Weitere Artikel in Fachzeitschriften

Grosser, Hubert:

**2988237 - unter diesem "Namen" erblickt im Jahr 1956 der erste Industrieroboter die Welt.**

In: Produktion (2009), Nr. 21-22, S. 28

Hoffmann, Ulrich:

**In den Prozessketten der Lackiertechnik steckt Optimierungspotenzial.**

In: MM - Das IndustrieMagazin (2009), Nr. 12, S. 28-32

Hoffmann, Ulrich:

**UV-härtende Lacke auf 3D-Teilen.**

In: JOT 49 (2009), Nr. 7, S. 16-19

Hoffmann, Ulrich:

**Wasserlacke und Lack-Recycling in der Holzindustrie.**

In: JOT 49 (2009), Nr. 3, S. 10-11

Holeczek, Harald:

**Eine Branche atmet vorsichtig auf.**

In: Galvanotechnik 100 (2009), Nr. 10, S. 2355

Holeczek, Harald:

**Electroplating: Delivering flexible Solutions for Engineering Materials.**

In: Mobility (2009), Nr. 14, S. 54-58

Holeczek, Harald:

**Erneuerbare Energien und die Politik.**

In: Galvanotechnik 100 (2009), Nr. 11, S. 2593

Holeczek, Harald:

**Europäische Aktivitäten in der Photovoltaik.**

In: Galvanotechnik 100 (2009), Nr. 4, S. 924-927

Holeczek, Harald:

**Forscher und Ingenieure - zwei Welten und ein Dialog.**

In: Galvanotechnik 100 (2009), Nr. 3, S. 645

Holeczek, Harald:

**Die Karte der erneuerbaren Energien.**

In: Galvanotechnik 100 (2009), Nr. 9, S. 2087

Holeczek, Harald:

**Mittelstand und Innovation: Beitrag zu einem Kongress am 15. Januar 2009 in Stuttgart.**

In: Galvanotechnik 100 (2009), Nr. 2, S. 324-325

Holeczek, Harald:

**Nur leichte Wolken am Himmel.**

In: Galvanotechnik 100 (2009), Nr. 6, S. 1399

Holeczek, Harald:

**Photovoltaik - Energie für alle?**

In: Galvanotechnik 100 (2009), Nr. 1, S. 163

Holeczek, Harald:

**Photovoltaik - Innovation - Geschwindigkeit - Nachhaltigkeit.**

In: Galvanotechnik 100 (2009), Nr. 2, S. 323

Holeczek, Harald:

**Photovoltaik zwischen Optimismus und Anpassung: Bericht über die Intersolar 2009 in München.**

In: Galvanotechnik 100 (2009), Nr. 7, S. 1626-1628

Holeczek, Harald:

**Photovoltaik, gefragt wie nie: Bericht von der PVSEC 2009 in Hamburg.**

In: Galvanotechnik 100 (2009), Nr. 10, S. 2356-2357

Holeczek, Harald:

**Photovoltaik, gefragt wie nie: Bericht von der PVSEC 2009 in Hamburg - Teil 2.**

In: Galvanotechnik 100 (2009), Nr. 11, S. 2594-2597

Holeczek, Harald:

**Produktionsmittel für die Photovoltaik: Bericht über die Jahrestagung des VDMA in Esslingen.**

In: Galvanotechnik 100 (2009), Nr. 8, S. 1852-1856

Holeczek, Harald:

**Das Rad nicht neu erfinden: Ressourceneffiziente Produktion in der Galvanotechnik.**

In: mo - Metalloberfläche 63 (2009), Nr. 10, S. 57-58

Holeczek, Harald:

**Selbstversorgung mit Energie - nur eine Vision?**

In: Galvanotechnik 100 (2009), Nr. 5, S. 1181

Holeczek, Harald:

**Sommer, Sonne, Photovoltaik.**

In: Galvanotechnik 100 (2009), Nr. 8, S. 1851

Holeczek, Harald:

**Strom, woher kommst Du?**

In: Galvanotechnik 100 (2009), Nr. 7, S. 1625

Holeczek, Harald:

**Studien - Märkte - Menschen.**

In: Galvanotechnik 100 (2009), Nr. 4, S. 923

Holeczek, Harald:

**Turbulenz und Substanz.**

In: Galvanotechnik 100 (2009), Nr. 12, S. 2823

Holeczek, Harald:

**Über unseren Umgang mit Energie - und unser seltsames Verhältnis zu ihr.**

In: Galvanotechnik 100 (2009), Nr. 11, S. 2598

Hollmann, Rebecca:

**Programmierzeit um rund 50% reduziert.**

In: Produktion (2009), Nr. 42, S. 15

Hornberger, Markus:

**Den Energieeinsatz in der Produktion optimieren.**

In: Intelligenter produzieren (2009), Nr. 5, S. 34-35

Klingauf, Peter; Schneider, Urs (Interview):

**In Zukunft sind bessere Lösungen gefordert: Orthopädietechnik: Technologien und Materialien auf dem Prüfstand.**

In: medizin & technik (2009), Nr. 1, S. 24

Knaupp, Markus; Grzesiak, Andrzej; Weber, Achim; Hirth, Thomas; Tovar, Günter E. M. ; Borchers, Kirsten:

**Ink-Jet Printing of Proteins and Functional Nanoparticles for Automated Functionalization of Surfaces: Poster Presentation. BioSTAR 2008, October 9-11, 2008, Stuttgart.**

In: Tissue Engineering: Part A 15 (2009), Nr. 3, S. 723

Knoch, Sandra; Schöning, Sebastian:

**The Hybrid Lab: Uniting Manual Workplaces, Automation, Logistics, and Information Technology for the Laboratory of the Future.**

In: BIOforum Europe 13 (2009), Nr. 8-9, S. 28-29

Konrad, Konstantin; Böttinger, Fabian; Seidelmann, Joachim:

**Design for fab scalability.**

In: Photovoltaics International (2009), Nr. 3, S. 12-15

Kramel, Evelyn; Tran, Manh Hung:

**Kreuzabrieb als neues Testverfahren.**

In: JOT 49 (2009), Nr. 10, S. 8, 11

Ledermann, Thomas; Meyer, Christian:

**Mittelstand stärken - SMErobot: eine neue Robotergeneration für kleine und mittelständische Fertigungen.**

In: Giesserei-Erfahrungsaustausch 53 (2009), Nr. 3, S. 10-12

## Weitere Artikel in Fachzeitschriften

Lucke, Dominik; Constantinescu, Carmen;  
Westkämper, Engelbert:

**Fabrikdatenmodell für kontextbezogene Anwendungen:  
Ein Datenmodell für kontextbezogene Fabrik-  
wendungen in der "Smart Factory".**

In: wt Werkstattstechnik online 99 (2009), Nr. 3, S. 106-110

Mandel, Jörg; Ost, Stefanie:

**Durchgängige "Build-to-Order-Produktion" als  
Schlüsselfaktor für den Serienfertiger von morgen.**

In: wt Werkstattstechnik online 99 (2009), Nr. 4, S. 279-280

Meier, Matthias; Konrad, Konstantin:

**PVECI - a new PV standard supporting efficient and  
effective production.**

In: Photovoltaics International (2009), Nr. 4, S. 30-35

Mentgen, Annika; Westkämper, Engelbert (Interview):

**Bürokratien in der Krise über Bord werfen.**

In: Produktion (2009), Nr. 39, S. 5

Mentgen, Annika; Westkämper, Engelbert (Interview):

**Energie-Effizienz auf Platz 3: Exklusiv-Interview mit  
Prof. Engelbert Westkämper.**

In: Produktion (2009), Cleantech Journal Nr. 3, 2 S.

Metzner, Martin:

**Galvanische Beschichtungstechnologien - Fit für das 21.  
Jahrhundert.**

In: Ingenieurspiegel (2009), Nr. 1, S. 78-80

Metzner, Martin:

**Innovative elektrochemische  
Beschichtungstechnologien.**

In: Oberflächen - Polysurfaces 50 (2009), Nr. 4, S. 6-8

Okhan, Eftal; Hentschel, Robert:

**Variantenbeherrschung in Montage und Logistik:  
Innovative Werkzeuge zur Planung und Anpassung von  
Montagesystemen im Maschinen- und Anlagenbau.**

In: wt Werkstattstechnik online 99 (2009), Nr. 9, S. 643-645

Ondratschek, Dieter:

**Beschichtungen mit Nanomaterialien.**

In: JOT 49 (2009), Nr. 1, S. 18-19

Ondratschek, Dieter:

**Energie- und materialeffizient lackieren: Die  
Wettbewerbsfähigkeit sichern und die Umwelt entla-  
sten.**

In: besser lackieren! 11 (2009), Nr. 1, S. 8

Ondratschek, Dieter:

**Geeignete Technik zur Spritzapplikation finden:  
Lackverbrauch senken und Energiekosten reduzieren.**

In: besser lackieren! 11 (2009), Nr. 18, S. 8

Ondratschek, Dieter:

**Großraumlackieranlagen energiesparend und effizient  
betreiben: Ein aktuelles Praxisbeispiel zeigt, mit wel-  
chen Maßnahmen sich die Energiekosten nachhaltig  
reduzieren lassen.**

In: besser lackieren! 11 (2009), Nr. 14, S. 8

Ondratschek, Dieter:

**Komplexe Lacktrocknung effizient simulieren: IPA und  
DFO schließen Forschungsprojekt mit neu entwickeltem  
Simulationspaket ab.**

In: besser lackieren! 11 (2009), Nr. 20, S. 8

Ondratschek, Dieter:

**Die Kratzfestigkeit von Lacken bestimmen: Effektive  
Prüfverfahren kennen und anwenden.**

In: besser lackieren! 11 (2009), Nr. 19, S. 8

Ondratschek, Dieter:

**Kunststoff: Lackierfehler vermeiden: Runter mit den hohen Nacharbeitskosten!**

In: besser lackieren! 11 (2009), Nr. 4, S. 8

Ondratschek, Dieter:

**Lackieranlagen für Großobjekte richtig planen und so die Lackierkosten senken: Anforderungen an die Luft- und Wärmetechnik sowie Arbeits- und Umweltschutz kennen und gezielt umsetzen.**

In: besser lackieren! 11 (2009), Nr. 21, S. 8

Ondratschek, Dieter:

**Lackieren vom Kleinteil bis zum Automobil: Praxisgerechte Beschichtungsversuche im Lackiertechnikum.**

In: besser lackieren! 11 (2009), Nr. 5, S. 8

Ondratschek, Dieter:

**Langwellige Lackschichtstrukturen mit Hilfe der Bildverarbeitung beurteilen: Erscheinungsbild von großflächigen Lackierungen sicher erfassen.**

In: besser lackieren! 11 (2009), Nr. 6, S. 8

Ondratschek, Dieter:

**Materialien sparen - Potenziale erkennen: IPA macht durch Untersuchungen des Lackierprozesses Schwachstellen auffindig.**

In: besser lackieren! 11 (2009), Nr. 12, S. 8

Ondratschek, Dieter:

**Nanomaterialien für die industrielle Beschichtung: Abschluss des EU-Forschungsprojekts "MULTIPROTECT".**

In: JOT 49 (2009), Nr. 7, S. 62-64

Ondratschek, Dieter:

**Neue Wege der Spritzstrahlreinigung durch effiziente Prozesssimulation: Mit Hilfe spezieller Computersimulationen die Planung und Einstellung von Anlagen und Prozessen vereinfachen.**

In: besser lackieren! 11 (2009), Nr. 8, S. 8

Ondratschek, Dieter:

**Neue Wege zur intelligenten Regelung von Reinigungsprozessen: Mit innovativer Sensor- und Informationstechnik fehlerfrei vorbehandeln.**

In: besser lackieren! 11 (2009), Nr. 17, S. 8

Ondratschek, Dieter:

**Online-Sensorik eröffnet neue Lackrecycling-Konzepte: Lackoverspray kontinuierlich überwachen und aufarbeiten.**

In: besser lackieren! 11 (2009), Nr. 11, S. 8

Ondratschek, Dieter:

**Pistolenlose Pulverbeschichtungstechnik aus dem Baukasten: Schnelle Reaktion auf Marktveränderungen mit hochflexiblem Anlagenkonzept möglich.**

In: besser lackieren! 11 (2009), Nr. 2, S. 8

Ondratschek, Dieter:

**Pulvern ohne Sprühpistolen spart Druckluft und Strom: Neue Generation des elektrostatischen Fluidisierbettverfahrens entwickelt.**

In: besser lackieren! 11 (2009), Nr. 13, S. 8

Ondratschek, Dieter:

**Reproduzierbare und sichere Lackierversuche: Lackiertechnikum des Fraunhofer IPA ermöglicht genaue Tests und Ergebnisse.**

In: besser lackieren! 11 (2009), Nr. 16, S. 8

Ondratschek, Dieter:

**Sol-Gel-Materialien sicher applizieren: Produktionsgerechte Beschichtungsprozesse erarbeitet.**

In: besser lackieren! 11 (2009), Nr. 10, S. 8

Ondratschek, Dieter:

**Strömungen optimal simulieren: Numerische Simulation vermeidet künftig Lackfehler.**

In: besser lackieren! 11 (2009), Nr. 15, S. 8

Ondratschek, Dieter:

**Trends in der Lackiertechnik.**

In: Oberflächen - Polysurfaces 50 (2009), Nr. 4, S. 10-12

Ondratschek, Dieter:

**Von fünf auf zwei Lackieranlagen: Wie Betreiber Energie- und Lackierkosten drastisch senken können: Kritische Kostenanalyse des Ist-Zustandes von Lackierprozessen kann hohes Optimierungspotenzial aufzeigen.**

In: besser lackieren! 11 (2009), Nr. 9, S. 8

Ondratschek, Dieter:

**Zielgenau lackieren: Maskierung redundant.**

In: besser lackieren! 11 (2009), Nr. 3, S. 8

Ost, Stefanie; Mandel, Jörg:

**Kundenauftragsspezifische Produktionsnetzwerke in der Automobilindustrie.**

In: ZWF Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb 104 (2009), Nr. 3, S. 164-169

Paul, Holger; Westkämper, Engelbert (Interview):

**Jeder Transport über die Straße ist eine Verlust: Im Gespräch: Engelbert Westkämper, Leiter des Fraunhofer-Instituts für Produktionstechnik und Automatisierung, Stuttgart.**

In: Frankfurter Allgemeine Zeitung (2009), vom 20. 04. 2009, S. 15

Pfeffer, Matthias; Gottmann, Juliane:

**Chancen nutzen in Krisenzeiten durch Produktionsoptimierung: Versteckte Barreserven heben und Strukturen für den kommenden Aufschwung schaffen.**

In: ZWF Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb 104 (2009), Nr. 5, S. 358-361

Pfeiffer, Kai:

**Einsatzfall Bohrinself: Inspektionsroboter MIMROex in explosionsgefährdeten Bereichen.**

In: Hebezeuge und Fördermittel 49 (2009), Nr. 9, S. 432-433

Pflüger, Marius; Bengel, Matthias:

**Automatisch rekonfiguriert.**

In: Computer & Automation (2009), Nr. 1, S. 38-41

Pott, Andreas; Meyer, Christian:

**Automated handling of concrete elements using wire robots: Winches operated in a coordinated fashion open up new streamlining potentials.**

In: BFT International 75 (2009), Nr. 7, S. 28-31

Prinz, Andrea; Ost, Stefanie:

**Bei den Netzwerkkosten die Handbremse anziehen: Tool zur Netzwerkanalyse bringt Transparenz in das komplexe Produktionsnetzwerk der Haas-Gruppe.**

In: Logistik für Unternehmen 23 (2009), Nr. 7/8, S. 44-46

Puzik, Arnold; Drust, Manuel:

**Genauigkeit von Industrierobotern lässt sich gezielt verbessern.**

In: MM - Das IndustrieMagazin (2009), Nr. 8, S. 66-67

Puzik, Arnold; Drust, Manuel:

**Industrieroboter - Der Roboter von morgen arbeitet präzise wie ein Schweizer Uhrwerk.**

In: Robotics & Automation Report (2009), Nr. 1

Reddig, Kevin:

**Overview of automation in the photovoltaic industry.**

In: Photovoltaics International (2009), Nr. 4, S. 18-29

Riffelmacher, Philipp; Kluge, Stefan; Westkämper, Engelbert:

**Wandlungsfähige Produktion durch integrierten Einsatz digitaler Werkzeuge.**

In: Industrie Management 25 (2009), Nr. 3, S. 29-32

Rochowicz, Markus; Ernst, Christian; Schmauz, Günther:

**Sauber ist oft schon rein genug: Arbeiten an neuem Regelwerk kommen voran.**

In: JOT 49 (2009), Nr. 3, S. 60-63

Romankiewicz, Katja; Stollorz, Katharina; Metzner, Martin:

**Eigenschaftsmodifikation von chrombasierten Schichtsystemen durch modularen Einbau mikro- und nanoskaliger Dispersionspartikel.**

In: Galvanotechnik 100 (2009), Nr. 11, S. 2460-2468

Santos, Claudia Beatriz dos; Metzner, Martin:

**Combined Wear-Corrosion Loads - Tribocorrosion Characterisation.**

In: Galvanotechnik 100 (2009), Nr. 10, S. 2227-2232

Santos, Claudia Beatriz dos; Beuermann, S. ; Zellermann, A. ; Metzner, Martin; Mayer, C.:

**Surface functionalisation and autonomic repairing: bio-inspired materials.**

In: Galvanotechnik 100 (2009), Nr. 12, S. 2712-2716

Schaeffer, Christoph:

**Innovative Anwendungen für FTS: 3. FTS-Technologieforum am Fraunhofer IPA.**

In: Hebezeuge und Fördermittel 49 (2009), Nr. 9, S. 414-415

Scheibe, Andreas:

**Numerische Simulation der Trocknungskinetik.**

In: JOT 49 (2009), Nr. 4, S. 12-13

Schloske, Alexander; Rauschenbach, Matthias:

**Funktionale Sicherheit nach ISO 26262.**

In: ... that moves! (2009), Nr. 2, S. 6

Schloske, Alexander; Thieme, Paul; Westkämper, Engelbert:

**Was Nacharbeit kostet: Verschwendungskosten in administrativen Prozessen.**

In: Qualität und Zuverlässigkeit QZ 54 (2009), Nr. 10, S. 64-65

Schmid, Klaus; Wiedemann, Erik; Schwanzer, Peter:

**Elektrolytprüfstand - die Hullzelle geht in die dritte Dimension Teil 1: Einführung und Systemaufbau.**

In: Galvanotechnik 100 (2009), Nr. 11, S. 2491-2498

Seitz, Stefan:

**Nicht ohne meinen Avatar: Factory Second Life - Produzieren in virtuellen Welten.**

In: KEM (2009), Nr. 10, S. 18-19

Traube, Andreas; Brode, Tobias; Reis, Christian:

**Direct Sampling for Microwell Plates: Smart Ways of Biological Liquid Processing.**

In: GIT Laboratory Journal (2009), Nr. 7/8, S. 24-26

Traube, Andreas; Brode, Tobias; Reis, Christian:

**Direct Sampling for Microwell Plates: Smart Ways of Biological Liquid Processing.**

In: BIOforum Europe 13 (2009), Nr. 6/7, S. 34-36

Verl, Alexander; Stotz, Martin; Kühnle, Jens:

**3-D-4-Robots: Neues System zur automatisierten Handhabung ungeordneter Werkstücke: Lösung des Griffs in die Kiste.**

In: Schweizer Logistik-Katalog 34 (2009), S. 122-124

## Weitere Artikel in Fachzeitschriften

Wanner, Martin-Christoph; Czarnietzki, Reiner:

**Untersuchung ausgewählter Fertigungsreihenfolgen bei der Paneel- und Sektionsfertigung auf einer Kompaktwerft.**

In: PPS Management 14 (2009), Nr. 1, S. 44-48

Westkämper, Engelbert:

**Digital Engineering of Factory and Process <chin.>**

In: Hangkong-gongyi-jish 329 (2009), Nr. 7, S. 26-33

Westkämper, Engelbert:

**Digitale Fabrik - Leitthema in der Produktionstechnik.**

In: wt Werkstattstechnik online 99 (2009), Nr. 3, S. 91

Westkämper, Engelbert:

**Zuhause ist es doch am schönsten: Engelbert Westkämper plädiert für den Standort Deutschland und die stärkere Vernetzung von Automobil- und Maschinenbau.**

In: Automotive Agenda 2 (2009), Nr. 4, S. 63-64

Westkämper, Engelbert (Interview):

**Gemeinsam mehr erreichen: Schwerpunkt Interview.**

In: trends in automation (2009), Nr. 2, S. 12-15

Wochinger, Thomas; Schatz, Anja:

**Abwicklung von Geschäftsprozessen mittels Fehlerbaumanalyse.**

In: ERP Management 5 (2009), Nr. 2, S. 51-53

Wößner, Johannes F.:

**Teilautomatisierte Montageanlage lässt sich flexibel anpassen.**

In: MM - Das IndustrieMagazin 115 (2009), Nr. 37, S. 32-34

---

# BUCHKAPITEL UND KONFERENZBEITRÄGE

## PEER-REVIEWED

---

Graf, Birgit; Staab, Harald:

### **Service Robots and Automation for the Disabled/Limited.**

In: Nof, Shimon Y. (Hrsg.): Springer Handbook of Automation. Berlin u.a.: Springer, 2009, S. 1485-1502

Wiendahl, Hans-Hermann:

### **Adaptive Production Planning and Control - Elements and Enablers of Changeability.**

In: ElMaraghy, Hoda A. (Hrsg.): Changeable and Reconfigurable Manufacturing Systems. London, UK: Springer, 2009, S. 197-212

Guhl, Tim P. ; Schwandner, Oliver; Bischoff, Rainer:

### **Developing a strategic research agenda for robotics in Europe.**

In: Basañez, Luis (Ed.) u.a. ; International Federation of Robotics u.a.: 40th International Symposium on Robotics: ISR 2009, Barcelona, March 10-13, 2009, Proceedings incl. Special Sessions. Barcelona, 2009, S. 351-356

Boufercha, Nourdin; Sägebarth, Joachim; Schlenker, Dirk; Sandmaier, Hermann:

### **Flüssigkeitsbasierte Mikromontage mit Nanostrukturen.**

In: Hoffmann, Martin (wiss. Leiter); VDE/VDI-Gesellschaft Mikroelektronik, Mikro- und Feinwerktechnik (GMM): Mikro-Nano-Integration: Beiträge des 1. GMM-Workshops vom 12. bis 13. März 2009 in Seeheim. Berlin; Offenbach: VDE-Verlag, 2009, 5 S.

Herz, Marion; Rank, Andreas; Tovar, Günter E. M. ; Hirth, Thomas; Kaltenbacher, Dominik; Stallkamp, Jan; Weber, Achim:

### **In vitro study of mouse fibroblast tumor cells with TNF coated and Alexa488 marked silica nanoparticles with an endoscopic device for real time cancer visualization.**

In: Lendlein, Andreas (Ed.); Materials Research Society: Active Polymers: Symposium NN held at the MRS Spring Meeting April 14 - 17, 2009, San Francisco, California, U. S. A. Warrendale, PA, USA, 2009, Paper# 1190-NN11-23, 8 S.

Pott, Andreas; Bruckmann, Tobias; Mikelsons, Lars:

### **Closed-form Force Distribution for Parallel Wire Robots.**

In: Kecskeméthy, Andrés (Ed.) u.a.: Computational Kinematics: Proceedings of the 5th International Workshop on Computational Kinematics, May 6-8, 2009, Duisburg. Berlin u.a.: Springer, 2009, S. 25-34

Connette, Christian P. ; Parlitz, Christopher; Hägele, Martin; Verl, Alexander:

### **Singularity Avoidance for Over-Actuated, Pseudo-Omnidirectional, Wheeled Mobile Robots.**

In: IEEE / Robotics and Automation Society: 2009 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA): Conference Proceedings. Kobe, Japan, May 12-17, 2009. Piscataway, NJ, USA: IEEE Press, 2009, S. 4124-4130

Lucke, Dominik; Constantinescu, Carmen; Westkämper, Engelbert:

### **Context Data Model, the Backbone of a Smart Factory.**

In: Tichkiewitch, Serge (Chairman) ; Westkämper, Engelbert (Scientific Committee) ; CIRP: Sustainable Development of Manufacturing Systems: 42nd CIRP Conference on Manufacturing Systems, Grenoble, June 3-5, 2009. Grenoble, 2009, 4 S.

Ye, Qiaoyan; Pulli, Karlheinz; Scheibe, Andreas:

**Prediction of Turbulent Heat Transfer for Industrial Drying Processes - Turbulence Model Assessment.**

In: NAFEMS: The Analysis Advantage: Perspectives on Engineering Simulation for Today and Beyond. Summary of Proceedings NAFEMS World Congress, June 16th-19th 2009, Crete, Greece.  
Glasgow, UK: NAFEMS, 2009, 13 S.

Bengel, Matthias:

**Model-based Configuration - A Workpiece-centred Approach.**

In: Dai, Jian S. (Chair); The American Society of Mechanical Engineers u.a.: ReMAR 2009: Proceedings of the 2009 ASME/IFTOMM International Conference on Reconfigurable Mechanisms and Robots. 22-24 June 2009, London, UK. London, UK, 2009, S. 689-695

Kühnle, Jens; Verl, Alexander; Xue, Zhixing; Rühl, Steffen; Zöllner, J. Marius; Dillmann, Rüdiger; Grundmann, Thilo; Eidenberger, Robert; Zöllner, Raoul D.:

**6D Object Localization and Obstacle Detection for Collision-Free Manipulation with a Mobile Service Robot.**

In: GPS Gesellschaft für Produktionssysteme; Schraft, Rolf Dieter (Honorary Chair); Hägele, Martin (Publication Chair) u.a.: ICAR 2009: 14th International Conference on Advanced Robotics, June 22-26 2009, Munich, Germany. Conference Proceedings. Stuttgart, 2009, 6 S.

Reiser, Ulrich; Klauser, Regina; Parlitz, Christopher; Verl, Alexander:

**DESIRE WEB 2.0 - Integration Management and Distributed Software Development for Service Robots.**

In: GPS Gesellschaft für Produktionssysteme; Schraft, Rolf Dieter (Honorary Chair); Hägele, Martin (Publication Chair) u.a.: ICAR 2009: 14th International Conference on Advanced Robotics, June 22-26 2009, Munich, Germany. Conference Proceedings. Stuttgart, 2009, 6 S.

Ye, Qiaoyan; Pulli, Karlheinz; Scheibe, Andreas; Domnick, Joachim; Gruseck, Daniel:

**Numerical Simulation of Turbulent Heat Transfer in Industrial Drying Processes.**

In: Seibert, K. Werner (Ed.) u.a. ; ANSYS: Simulation for Innovative Design: Proceedings of the 4th EASC 2009 European Automotive Simulation Conference, Munich, Germany, 6th - 7th July 2009. Canonsburg, PA, USA, 2009, S. 399-407

Graf, Birgit; Parlitz, Christopher; Hägele, Martin:

**Robotic Home Assistant Care-O-bot® 3 Product Vision and Innovation Platform.**

In: Human-Computer Interaction - HCI International 2009: Interaction Design and Usability. 13th International Conference, HCI International 2009 with 10 further Associated Conferences, San Diego, CA, USA, July 19-24, 2009. Proceedings and Posters. Berlin u.a.: Springer, 2009, S. 312-320

Constantinescu, Carmen; Eichelberger, Hanno; Frank, Thorsten:

**Flow-based Approach for Holistic Factory Engineering and Design.**

In: Teti, Roberto (Chairman); University of Naples Federico II u.a.: Innovative Production Machines and Systems: 2nd International Researchers Symposium 2009, 22-24 July 2009, Ischia, Italia.  
Neapel, Italien, 2009, 6 S.

Stefanica, Florina; Constantinescu, Carmen; Westkämper, Engelbert:

**Theoretical Aspects of Factory and Manufacturing Processes Configuration and Engineering.**

In: Teti, Roberto (Chairman); University of Naples Federico II u.a.: Innovative Production Machines and Systems: 2nd International Researchers Symposium 2009, 22-24 July 2009, Ischia, Italia.  
Neapel, Italien, 2009, 6 S.

Reiser, Ulrich; Parlitz, Christopher; Klein, Peter:

**Care-O-bot® 3 - Vision of a robot butler.**

In: Beyond Gray Droids: Domestic Robot Design for the 21st Century: Workshop in Cambridge, UK on 1 September 2009 at HCI 2009.  
Cambridge, UK, 2009, 4 S.

Kaltenbacher, Dominik; Rotinat-Libersa, Christine; Reis, Christian; Di Betta, Marie; Vayssade, Anne-Laure; Stallkamp, Jan:

**Development of new instruments for beating heart bypass anastomosis during mini-invasive procedures.**

In: Dössel, Olaf (Ed.) u.a.: World Congress on Medical Physics and Biomedical Engineering: September 7 - 12, 2009 Munich, Germany.  
Berlin u.a.: Springer, 2009, S. 833-836

Wittenberg, Thomas; Drechsler, Klaus; Kaltenbacher, Dominik; Friedl, Sven; Rotinat-Libersa, Christine; Reis, Christian; Di Betta, Marie; Sakas, Georgios; Perrot, Yann; Stallkamp, Jan; Kondruweit, Markus:

**"MISS Heart": Assisting Systems for Minimal Invasive Smart Suturing in Cardiac Surgery - A Conceptually Closed-Loop Approach.**

In: Dössel, Olaf (Ed.) u.a.: World Congress on Medical Physics and Biomedical Engineering: September 7 - 12, 2009 Munich, Germany.  
Berlin u.a.: Springer, 2009, S. 445-448

Puzik, Arnold; Pott, Andreas; Meyer, Christian; Verl, Alexander:

**Industrial Robots for Machining Processes in Combination with an Additional Actuation Mechanism for Error Compensation.**

In: Universität <Warwick>: 7th International Conference on Manufacturing Research 2009: ICMR 09. Conference Programme, 8-10 September 2009, Warwick, UK.  
Warwick, United Kingdom, 2009, 6 S.

Roth-Koch, Sabine; Westkämper, Engelbert:

**Freehand Sketches in Virtual Product Development.**

In: Universität <Warwick>: 7th International Conference on Manufacturing Research 2009: ICMR 09. Conference Programme, 8-10 September 2009, Warwick, UK.  
Warwick, United Kingdom, 2009, 6 S.

Mandel, Jörg:

**Kompetenzbasierte optimale Wertschöpfungsverteilung im Produktionsnetzwerk.**

In: Technische Universität <Chemnitz> / Institut für Betriebswissenschaften und Fabrikssysteme u.a.: Vernetzt planen und produzieren VPP2009: 7. Chemnitzer Fachtagung, Tagungsband. Chemnitz, 17. September 2009.  
Chemnitz, 2009, S. 305-309

Rauschecker, Ursula; Böttinger, Fabian; Michen, Marcus;  
Maier, Florian; Fischmann, Christian:

**IT Infrastructure In PV Factory Lifecycle.**

In: Sinke, W. (Hrsg.) u.a. ; WIP - Renewable Energies u.a.:  
24th European Photovoltaic Solar Energy Conference / CD-  
ROM: The compiled State-of-the-Art of PV Solar Technology  
and Deployment. Proceedings of the International Conference  
held in Hamburg, 21-25 September 2009.  
München, 2009, S. 1387-1389

Schatz, Anja; Westkämper, Engelbert; Bornhäuser, Matthias:

**Takt-Oriented Production - A PPC Method Meeting the  
Requirements of the Tooling Industry.**

In: Gantar, Gasper (Ed.); TECOS Slovenian Tool and Die  
Development Centre: ICIT & MPT 2009: 7th International  
Conference on Industrial Tools and Material Processing  
Technologies, Ljubljana, Slovenia, October 4th - 7th 2009.  
Conference Proceedings.  
Celje, 2009, S. 37-44

Bengel, Matthias; Pfeiffer, Kai; Graf, Birgit; Bubeck, Alexander;  
Verl, Alexander:

**Mobile Robots for Offshore Inspection and  
Manipulation.**

In: Institute of Electrical and Electronics Engineers u.a.: IROS  
2009: The 2009 IEEE/RSJ International Conference on Robots  
and Intelligent Systems, St. Louis, MO, USA, Oct. 11-15,  
2009.  
Piscataway, NJ: IEEE, 2009, S. 3317-3322

Bubeck, Alexander; Reiser, Ulrich; Pfeiffer, Kai; Hägele, Martin:  
**Distributed Access to a Centralized Testing and  
Benchmarking Facility via the DESIRE Webportal.**

In: Institute of Electrical and Electronics Engineers u.a.: IROS  
2009 / Workshop, Tutorials.  
Piscataway, NJ: IEEE, 2009, Workshop on Performance  
Evaluation and Benchmarking for Next Intelligent Robots and  
Systems at IEEE/RSJ IROS 2009, St. Louis, MO, USA, 15  
October, 2009, 5 S.

Reiser, Ulrich; Connette, Christian P. ; Fischer, Jan; Kubacki,  
Jens; Bubeck, Alexander; Weisshardt, Florian; Jacobs, Theo;  
Parlitz, Christopher; Hägele, Martin; Verl, Alexander:

**Care-O-bot® 3 - Creating a product vision for service  
robot applications by integrating design and technology.**

In: Institute of Electrical and Electronics Engineers u.a.: IROS  
2009: The 2009 IEEE/RSJ International Conference on Robots  
and Intelligent Systems, St. Louis, MO, USA, Oct. 11-15,  
2009.  
Piscataway, NJ: IEEE, 2009, S. 1992-1998

Kempf, Michael:

**A Bayesian Hierarchical Model For Reliability Analyses.**

In: Subramanian, A. (Ed.) u.a.; Theory, Applications and  
Practice, Anaheim California, Oct. 18-21, 2009.  
Anaheim, CA, 2009, S. 575-580

Graf, Birgit; Reiser, Ulrich; Hägele, Martin; Mauz, Kathrin;  
Klein, Peter:

**Robotic Home Assistant Care-O-bot® 3 - Product Vision  
and Innovation Platform.**

In: IEEE / Robotics and Automation Society: IEEE Workshop on  
Advanced Robotics and its Social Impacts - ARSO 2009:  
Workshop Proceedings, Tokyo, Japan, November 23-25, 2009.  
Piscataway, NJ: IEEE, 2009, S. 139-144 (G1. pdf)  
Arbeiter, Georg; Bubeck, Alexander; Fischer, Jan; Graf, Birgit:

**Teilautonome mobile Roboter zur Fernwartung prozess-technischer Anlagen.**

In: Bender, Klaus (Hrsg.); Schumacher, Walter (Hrsg.); Verl, Alexander (Hrsg.); Höpf, Michael (Chairman); Mesago: SPS/IPC/DRIVES 2009: Tagungsband. Elektrische Automatisierung - Systeme und Komponenten. Fachmesse und Kongress, 24. -26. Nov. 2009, Nürnberg. Berlin; Offenbach: VDE-Verlag, 2009, S. 173-181

Seitz, Stefan; Hermann, Marco; Wimpff, Daniel-Percy:

**Setting Up a Virtual Factory Based on 3D Internet Platforms.**

In: Breitlauch, Linda (Hrsg.); Eurosis u.a.: Game-On 2009: 10th International Conference on Intelligent Games and Solutions, November 26-28, 2009, Düsseldorf. Ostend, Belgium, 2009, S. 83-87

---

# SONSTIGE ARTIKEL

---

Bantel, Thomas; Dunker, Thomas:

**Gestaltungsvorschläge für die Produktionsstruktur.**

In: Westkämper, Engelbert (Hrsg.) u. a.: Wandlungsfähige Produktionsunternehmen: Das Stuttgarter Unternehmensmodell.

Berlin u. a.: Springer, 2009, Kapitel 6.4.6, S. 236-238

Bantel, Thomas; Brinzer, Boris; Dunker, Thomas; Kapp, Ralf; Klemm, Peter; Löffler, Benno; Priese, Jörg; Pritschow, Günter; Wiendahl, Hans-Hermann:

**Das Stuttgarter Unternehmensmodell in der Theorie - Planung und Steuerung.**

In: Westkämper, Engelbert (Hrsg.) u. a.: Wandlungsfähige Produktionsunternehmen: Das Stuttgarter Unternehmensmodell.

Berlin u. a.: Springer, 2009, Kapitel 5.2, S. 84-114

Baumgärtner, Otto:

**Beschichtungsverfahren, -geräte und -anlagen: Tauchen/Elektrottauchen/Autophorese.**

In: Ondratschek, Dieter (Red.): besser lackieren! Jahrbuch 2010.

Hannover: Vincentz, 2009, S. 199-213

Baumgärtner, Otto:

**Trocknen: Hochfrequenztrocknung.**

In: Ondratschek, Dieter (Red.): besser lackieren! Jahrbuch 2010.

Hannover: Vincentz, 2009, S. 292-296

Behringer, Stephan:

**Die Anbindung von Lieferanten an eine schlanke Produktion.**

In: Westkämper, Engelbert (Hrsg.); Verl, Alexander (Hrsg.); Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung IPA: Schlanges Auftragsmanagement: Produktion und Informationsfluss in der Lean-Fabrik. Fraunhofer IPA Seminar F 177, 7. Mai 2009, Stuttgart. Stuttgart: FpF - Verein zur Förderung produktionstechnischer Forschung, 2009, S. 68-81

Behringer, Stephan:

**Lieferanten als kritischer Faktor im Auftragsmanagement.**

In: Westkämper, Engelbert (Hrsg.); Verl, Alexander (Hrsg.); Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung IPA: Schlanges Auftragsmanagement: Auftragsabwicklungsprozesse "lean" gestalten. Fraunhofer IPA Seminar F 190, 19. November 2009, Stuttgart. Stuttgart: FpF - Verein zur Förderung produktionstechnischer Forschung, 2009, S. 47-58, 20 Folien

Behringer, Stephan:

**Marktschwankungen beherrschen durch flexible Beschaffungsstrukturen.**

In: Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung IPA: 50 Jahre IPA: Wir produzieren Zukunft. Vorträge Industrietag: 2. Juli 2009. Stuttgart, 2009, 19 Folien

Berger, Stefan; Erke, Alena; Jöns, Ingela:

**Kurzfristige Reaktionen auf die Turbulenzen - Mitarbeitereinweisung.**

In: Westkämper, Engelbert (Hrsg.) u. a.: Wandlungsfähige Produktionsunternehmen: Das Stuttgarter Unternehmensmodell.

Berlin u. a.: Springer, 2009, Kapitel 6.3.5, S. 221-222

Berger, Stefan; Mangold, Christoph; Meyer, Sebastian;  
Westkämper, Engelbert; Zahn, Erich:  
**Das Stuttgarter Unternehmensmodell in der Theorie -  
Wissen im Kontext der Wandlungsfähigkeit.**

In: Westkämper, Engelbert (Hrsg.) u. a.: Wandlungsfähige  
Produktionsunternehmen: Das Stuttgarter  
Unternehmensmodell.  
Berlin u. a.: Springer, 2009, Kapitel 5.6, S. 186-201

Bessey, Eberhard; Bueno, Rikardo; Decubber, Chris; Chlebus,  
Edward; Göricke, Dietmar; Groothedde, René; Hanisch,  
Christoph; Jovane, Francesco; Mendonca, José; Paci, Augusta  
M. ; Westkämper, Engelbert; Williams, David:  
**Research, Technology and Development for  
Manufacturing.**

In: Jovane, Francesco; Westkämper, Engelbert; Williams, David  
The ManuFuture Road: Towards Competitive and Sustainable  
High-Adding-Value Manufacturing.  
Berlin u. a.: Springer, 2009, S. 89-121

Bohnet, Jens:  
**Abscheidung technischer Chromschichten aus Chrom3+.**  
In: Westkämper, Engelbert (Hrsg.); Verl, Alexander (Hrsg.);  
Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und  
Automatisierung IPA: Hartchromtagung: Fraunhofer IPA  
Tagung, 11. November 2009, Stuttgart. Tagungsband.  
Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag, 2009, S. 51-63, 23 Folien

Breitling, Frank; Lindenstruth, Volker; Güttler, Stefan:  
**Adaptive chemische Synthesen durch 3D-Druckver-  
fahren: Ein neues Produktionsverfahren für Chemie,  
Biotechnik und Medizin.**  
In: Landesstiftung Baden-Württemberg: Dokumentation zum  
Forschungstag 2009 "Hochtechnologieforschung": 07. Juli  
2009, Stuttgart.  
Stuttgart, 2009, S. 196-197

Brode, Tobias; Traube, Andreas:  
**i-doT - A New Immediate Drop on Demand Technology  
for High Flexible and Automated Liquid Handling:  
Poster.**

In: Association for Laboratory Automation: LabAutomation  
2009: Where Science, Technology and Industry Come  
Together. January 24-28, 2009, Palm Springs, California, USA.  
Geneva, ILL. , U. S. A. , 2009, 1 S.

Brode, Tobias:  
**i-doT Schneller Drucken und Dosieren.**  
In: Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und  
Automatisierung IPA: 50 Jahre IPA: Wir produzieren Zukunft.  
Vorträge Industrietag: 2. Juli 2009.  
Stuttgart, 2009, 11 Folien

Bruns, Axel:  
**Digitale Fabrik - Der Weg von der Digitalen Fabrik zur  
Virtuellen Fabrik - Dynamische Simulation und Virtuelle  
Realität.**  
In: Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und  
Automatisierung IPA: 50 Jahre IPA: Wir produzieren Zukunft.  
Vorträge Industrietag: 2. Juli 2009.  
Stuttgart, 2009, 13 Folien

Bubeck, Alexander:  
**Open-Source-Komponenten für die synchrone und  
dezentrale Echtzeitregelung in mobilen Robotern.**  
In: Mesago Messe Frankfurt GmbH: Trendsession: Open  
Source Software in der Automatisierungstechnik: Potentiale  
und Strategien, im Rahmen derSPS/IPC/Drives/ Elektrische  
Automatisierung, Fachmesse & Kongress, 24-26. Nov. 2009,  
Nürnberg.  
Stuttgart, 2009, 9 Folien

## Sonstige Artikel

Bürger, Frank; Schweizer, Marion:

### **Design von Equipment im reinen und hygienischen Bereich.**

In: Gail, Lothar (Hrsg.); Gommel, Udo (Hrsg.); Weißsieker, Horst (Hrsg.): Projektplanung Reinraumtechnik. Heidelberg: Hüthig, 2009, Kap. 3. 1, S. 79-107

Connette, Christian P.:

### **FTS-Navigation mit kostengünstigen Sensoren.**

In: Westkämper, Engelbert (Hrsg.); Verl, Alexander (Hrsg.); Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung IPA: Fahrerlose Transportsysteme (FTS) und mobile Roboter: Chancen, Technologie, Wirtschaftlichkeit. Neueste Erkenntnisse und Trends in Materialfluss und mobiler Automation. 3. Fraunhofer IPA Technologieforum F 176, 6. Mai 2009, Stuttgart. Stuttgart: FpF - Verein zur Förderung produktionstechnischer Forschung, 2009, S. 80-95, 29 Folien

Constantinescu, Carmen:

### **Digitale Fabrik - Systematisches und durchgängiges Engineering von Fabriken, Anlagen und Prozessen.**

In: Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung IPA: 50 Jahre IPA: Wir produzieren Zukunft. Vorträge Industrietag: 2. Juli 2009. Stuttgart, 2009, 25 Folien

Constantinescu, Carmen; Heinkel, Uwe:

### **Mittelfristige Reaktionen im Unternehmen - Propagation der Vertriebszahlen.**

In: Westkämper, Engelbert (Hrsg.) u. a.: Wandlungsfähige Produktionsunternehmen: Das Stuttgarter Unternehmensmodell. Berlin u. a.: Springer, 2009, Kapitel 6.4.2, S. 224-228

Constantinescu, Carmen; Heinkel, Uwe; Kornienko, Sergey; Kornienko, Olga; Levi, Paul; Mitschang, Bernhard; Rantzau, Ralf:

### **Das Stuttgarter Unternehmensmodell in der Theorie - Informationstechnologien für den Wandel.**

In: Westkämper, Engelbert (Hrsg.) u. a.: Wandlungsfähige Produktionsunternehmen: Das Stuttgarter Unternehmensmodell. Berlin u. a.: Springer, 2009, Kapitel 5.5, S. 160-185

Constantinescu, Carmen; Bruns, Axel:

### **Visualisierung und Simulation von Energiewerten in der Digitalen Fabrik.**

In: Westkämper, Engelbert (Hrsg.); Verl, Alexander (Hrsg.); Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung IPA: Energiemanagement zur Kostensenkung in der Produktion: TEEM - Total Energy Efficiency Management. Fraunhofer IPA Workshop F 182, 6. Oktober 2009, Stuttgart. Stuttgart, 2009, S. 101-116, 29 Folien

Constantinescu, Carmen; Heinkel, Uwe; Kornienko, Sergey; Kornienko, Olga:

### **Wie ist das Unternehmen auf die Turbulenz vorbereitet? - Vorhandene Informationssysteme.**

In: Westkämper, Engelbert (Hrsg.) u. a.: Wandlungsfähige Produktionsunternehmen: Das Stuttgarter Unternehmensmodell. Berlin u. a.: Springer, 2009, Kapitel 6.2.4, S. 209-211

Cudazzo, Markus; Klein, Wolfgang:

### **Arbeitsicherheit beim Lackieren: Gefährliche Arbeitsstoffe und Schutzmaßnahmen beim Lackieren.**

In: Ondratschek, Dieter (Red.): besser lackieren! Jahrbuch 2010. Hannover: Vincentz, 2009, S. 577-588

Cudazzo, Markus; Hoffmann, Ulrich; Pulli, Karlheinz;  
Strohbeck, Ulrich; Vogelsang, Harald:  
**Innovative Pulverlackierprozesse erobern neue Märkte.**  
In: Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und  
Automatisierung IPA: 50 Jahre IPA: Wir produzieren Zukunft.  
Vorträge Industrietag: 2. Juli 2009.  
Stuttgart, 2009, 35 Folien

Cudazzo, Markus; Demmler, Matthias; Gedan-Smolka,  
Michaela; Strohbeck, Ulrich; Vogelsang, Harald:  
**Powder coil coating: with innovative processes towards  
new products and surfaces.**  
In: European Coil Coating Association: Advances in Coil  
Coating Technologies: 43th ECCA Autumn Congress, Brussels  
(Belgium), 23-24 November 2009.  
Brüssel, Belgien, 2009, 29 Folien

Dickerhof, Markus; Schmidt, Andreas; Fillon, Bertrand; Juillet,  
Pierre; Bolt, Pieter; Wögerer, Christian; Segal, Joel; Konrad,  
Konstantin; Matthews, Chris:  
**Results of the MINAM Survey 2008/2009: Roadmapping  
for the Micro-Nano-Production community in Europe.**  
In: Danish Technological Institute: Commercialization of Micro  
and Nano Systems - COMS2009: Copenhagen, Denmark,  
August 30 - September 4, 2009.  
Copenhagen, Denmark, 2009, 23 Folien

Domnick, Joachim; Gruseck, Daniel; Pulli, Karlheinz; Scheibe,  
Andreas; Ye, Qiaoyan:  
**Investigations of the Drying Process of a Water Based  
Paint Film for Automotive Applications.**  
In: Karlsruhe Institute of Technology / Group Thin Film  
Technology: Advances in Coating and Drying of Thin Films:  
ECS 09, 8th European Coating Symposium, Karlsruhe, Sept.  
7-9, 2009, Conference Book.  
Karlsruhe, 2009, S. 117-120

Domnick, Joachim; Scheibe, Andreas; Ye, Qiaoyan:  
**Unsteady simulation of the painting process with high  
speed rotary bells.**  
In: University of Denver <Denver, Colorado, USA>: ICLASS  
2009 - Book of Abstracts: International Conference on Liquid  
Atomization and Spray Systems, July 26-30, 2009, Vail,  
Colorado, USA.  
Denver, Co. , U. S. A. , 2009, 1 S.

Drust, Manuel:  
**Optische Messtechnik und Methoden für die  
Genauigkeitssteigerung von Industrierobotern.**  
In: Westkämper, Engelbert (Hrsg.); Verl, Alexander (Hrsg.);  
Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und  
Automatisierung IPA: Bearbeiten mit Industrierobotern:  
Technologien - Anwendungen - Hardware/Software.  
Fraunhofer IPA Workshop F 187, 9. Nov. 2009, Stuttgart.  
Stuttgart: FpF - Verein zur Förderung produktionstechnischer  
Forschung, 2009, S. 66-77, 22 Folien

Dully, Stefan:  
**Schadstoffmanagement.**  
In: Westkämper, Engelbert (Hrsg.); Verl, Alexander (Hrsg.);  
Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und  
Automatisierung IPA: Internationale Stoffverbote, RoHS,  
REACH, EuP sowie ElektroG/WEEE in der Praxis:  
Vorausschauendes unternehmerisches Handeln für alle  
Beteiligten der Elektroindustrie und des Elektroaltgeräte-  
Recyclings. ExFo 2009 - Fraunhofer IPA Expertenforum F 194,  
Abschlussstagung, 9. Dezember 2009, Stuttgart.  
Stuttgart: FpF - Verein zur Förderung produktionstechnischer  
Forschung, 2009, S. 46-56, 19 Folien

Dully, Stefan:

**SchadstoffScout - Automatisches Identifizieren von schadstoffhaltigen Bauteilen durch automatisches Analysieren der Zeichnungen mit Optical Character Recognition (OCR) und Klassifizieren mit Hilfe von Support Vector Machines.**

In: Hornberger, Markus (Workshopleitung); Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung IPA: Review der RoHS-Richtlinie und Integration von Medizingeräten (GK8) sowie Überwachungs- und Kontrollinstrumenten (GK9): Fraunhofer IPA Workshop, 18. Juni 2009, Stuttgart. Stuttgart, 2009, 32 Folien

Dully, Stefan:

**Zertifizierung der Erstbehandlungsanlagen nach ElektroG.**

In: Westkämper, Engelbert (Hrsg.); Verl, Alexander (Hrsg.); Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung IPA: Internationale Stoffverbote, RoHS, REACh, EuP sowie ElektroG/WEEE in der Praxis: Vorausschauendes unternehmerisches Handeln für alle Beteiligten der Elektroindustrie und des Elektroaltgeräte-Recyclings. ExFo 2009 - Fraunhofer IPA Expertenforum F 194, Abschlussagung, 9. Dezember 2009, Stuttgart. Stuttgart: FpF - Verein zur Förderung produktionstechnischer Forschung, 2009, S. 122-135, 26 Folien

Durst, Werner:

**Fahrzeuglackierung: Anlagentechnische Trends in der Autoreparatur- und Nutzfahrzeuglackierung.**

In: Ondratschek, Dieter (Red.): besser lackieren! Jahrbuch 2010. Hannover: Vincentz, 2009, S. 500

Durst, Werner:

**Fahrzeuglackierung: Anlagentechnische Trends in der Vorbereitung zur Autoreparaturlackierung.**

In: Ondratschek, Dieter (Red.): besser lackieren! Jahrbuch 2010. Hannover: Vincentz, 2009, S. 501-507

Durst, Werner:

**Innovative Lackieranlagen für Nutz- und Sonderfahrzeuge zur Energiereduzierung.**

In: Suchentrunk, Richard (Hrsg.): Jahrbuch Oberflächentechnik 2009. Bad Saulgau: Leuze, 2009, S. 141-152

Effenberger, Ira:

**3-D-Bildverarbeitung und Objekterkennung.**

In: Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung IPA: 50 Jahre IPA: Wir produzieren Zukunft. Vorträge Industrietag: 2. Juli 2009. Stuttgart, 2009, 22 Folien

Effenberger, Ira:

**Optische 3-D-Messtechnik und -Objekterkennung: Intelligente 3-D-Objekt- und Objektlageerkennung.**

In: Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung der angewandten Forschung / Fraunhofer-Allianz Vision: Innovative Technologien für die industrielle Qualitätssicherung mit Bildverarbeitung: Fraunhofer Vision Technologietag 2009, 8. -9. Oktober 2009, Kaiserslautern. Tagungsband. Erlangen, 2009, 22 Folien

Eigenbrod, Hartmut:

**Sensorbasierte Prozessüberwachung als Garant für Qualität.**

In: Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung IPA: 50 Jahre IPA: Wir produzieren Zukunft. Vorträge Industrietag: 2. Juli 2009. Stuttgart, 2009, 17 Folien

Eigenbrod, Hartmut:

**Unsichtbares sichtbar machen: Wärmefluss-Thermographie für prozessintegrierte Mikrorissprüfungen.**

In: Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung der angewandten Forschung / Fraunhofer-Allianz Vision: Innovative Technologien für die industrielle Qualitätssicherung mit Bildverarbeitung: Fraunhofer Vision Technologietag 2009, 8. -9. Oktober 2009, Kaiserslautern. Tagungsband. Erlangen, 2009, 18 Folien

Eigenbrod, Hartmut; Fulga, Simina:

**Wärmefluss-Thermographie zur Rissdetektion an Solarzellen.**

In: Österreichische Gesellschaft für Thermografie: Thermografie Forum Eugendorf: 10. -13. Sept. 2009, Eugendorf/Salzburg. Klosterneuburg, 2009, 1 S.

Ergin, Tamer:

**Tools und Werkzeuge für das Wissensmanagement im Unternehmen.**

In: Westkämper, Engelbert (Hrsg.); Verl, Alexander (Hrsg.); Verein zur Förderung produktionstechnischer Forschung u. a.: Wiki-Med - Wissensmanagement in der Medizintechnik: Anwendungen und Grundlagen. Fraunhofer IPA Tagung F 185, 13. Oktober 2009, Stuttgart. Stuttgart, 2009, S. 101-107, 11 Folien

Ergin, Tamer:

**Das Verbundprojekt Wiki-Med.**

In: Westkämper, Engelbert (Hrsg.); Verl, Alexander (Hrsg.); Verein zur Förderung produktionstechnischer Forschung u. a.: Wiki-Med - Wissensmanagement in der Medizintechnik: Anwendungen und Grundlagen. Fraunhofer IPA Tagung F 185, 13. Oktober 2009, Stuttgart. Stuttgart, 2009, S. 40-62, 43 Folien

Erismis, Harun; Geiß, Michael; Nemec, Dominik:

**Leitfähige Lacke mit Carbon Nanotubes.**

In: Forschungsinstitut für Pigmente und Lacke <Stuttgart> u. a.: Nanotechnologie in der Lackpraxis: 6. Fachkonferenz, 28. Oktober 2009, Stuttgart. Hannover, 2009, 22 Folien

Erismis, Harun; Nemec, Dominik; Geiß, Michael; Simatovic, Tomislav; Fros, Agnes:

**Screen printed Sol-Gel electronics based on carbon materials.**

In: Kolaric, Ivica (Conference Chair) u. a. ; Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung IPA: Stuttgart NanoDays '09: visions for short and medium-term applications. International Conference, September 14-15, 2009. Stuttgart, 2009, S. 362-371, 17 Folien

Erlach, Klaus:

**Energieeffizienzanalyse mit Energiewertstrom - Unterstützung und Umsetzung bei der Fabrikplanung und Produktionsoptimierung.**

In: Westkämper, Engelbert (Hrsg.); Verl, Alexander (Hrsg.); Verein zur Förderung produktionstechnischer Forschung; Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung IPA: Energiemanagement zur Kostensenkung in der Produktion: TEEM - Total Energy Efficiency Management. Fraunhofer IPA Workshop F 182, 6. Oktober 2009, Stuttgart. Stuttgart, 2009, S. 40-53, 25 Folien

Erlach, Klaus:

### **Mit Wertstromdesign "PIT" gestalten - Lean-Production-Methoden für die Werkstattfertigung.**

In: Westkämper, Engelbert (Hrsg.); Verl, Alexander (Hrsg.); Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung IPA: PIT - Produzieren im Takt: Das schlanke Produktionssystem für kleine und mittelständische Unternehmen. Fraunhofer IPA-Seminar F 183, 22. Okt. 2009, Stuttgart.  
Stuttgart: FpF - Verein zur Förderung produktionstechnischer Forschung, 2009, S. 19-30, 20 Folien

Erlach, Klaus:

### **Mit Wertstromdesign zur schlanken Fabrik: Kundenspezifische Produktionen effizient analysieren und schlank gestalten.**

In: Westkämper, Engelbert (Hrsg.); Verl, Alexander (Hrsg.); Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung IPA: Schlankes Auftragsmanagement: Produktion und Informationsfluss in der Lean-Fabrik. Fraunhofer IPA Seminar F 177, 7. Mai 2009, Stuttgart.  
Stuttgart: FpF - Verein zur Förderung produktionstechnischer Forschung, 2009, S. 27-44

Erlach, Klaus:

### **Mit Wertstromdesign zur schlanken Fabrik: wertstromorientierte Fabrikplanung.**

In: Westkämper, Engelbert (Hrsg.); Verl, Alexander (Hrsg.); Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung IPA: Schlanke Produktionsabläufe und zukunftsfähige Werkstrukturen: Konsolidieren - Sichern - Erweitern, Fraunhofer IPA-Seminar F 192, 24. November 2009, Stuttgart.  
Stuttgart: FpF - Verein zur Förderung produktionstechnischer Forschung, 2009, S. 7-29, 42 Folien

Erlach, Klaus:

### **Der Wertstrom zeigt die Klippen im Produktionsablauf.**

In: Westkämper, Engelbert (Hrsg.); Verl, Alexander (Hrsg.); Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung IPA: Montage in der Krise - Wie geht es weiter in 2010: Zeitgemäße Planung - zielgerichtete Umsetzung - wirtschaftlicher Betrieb. Fraunhofer IPA Montageforum F 186, 23. Okt. 2009, Stuttgart.  
Stuttgart: FpF - Verein zur Förderung produktionstechnischer Forschung, 2009, S. 74-88, 28 Folien

Ernst, Christian; Schmauz, Günther:

### **Planung und Betrieb eines Sauberraumes in der feinerwerktechnischen Produktion: Spezifische Anforderungen und Lösungen.**

In: Gail, Lothar (Hrsg.); Gommel, Udo (Hrsg.); Weißsieker, Horst (Hrsg.): Projektplanung Reinraumtechnik. Heidelberg: Hüthig, 2009, Kap. 5.4, S. 307-315

Ernst, Christian; Schmauz, Günther; Rochowicz, Markus:

### **Der Sauberraum in der Automobil- und Zulieferindustrie.**

In: Krieg, Mark C. (Fach. Koord.); fairexperts GmbH u. a.: Reinigung in Produktion und Instandhaltung: 20. -22. Oktober 2009, Stuttgart. 7. Internationale Leitmesse, Forum begleitend zur parts2clean.  
Neuffen, 2009, 19 Folien

Fetzer, Hans-Jochen:

### **Grundlagen der chemischen Nickelabscheidung.**

In: Westkämper, Engelbert (Hrsg.); Verl, Alexander (Hrsg.); Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung IPA u. a.: Chemische Nickelabscheidung in der industriellen Anwendung: Theorie und praktische Beispiele. Fraunhofer IPA Workshop F 184, 13. Oktober 2009, Stuttgart.  
Stuttgart, 2009, S. 7-22, 29 Folien

Fetzer, Hans-Jochen:

**Hinweise zum Update und Erstellung von Stoffsicherheitsbericht und Sicherheitsdatenblättern.**

In: Westkämper, Engelbert (Hrsg.); Verl, Alexander (Hrsg.); Verein zur Förderung produktionstechnischer Forschung u. a.: Praktische Umsetzung der REACH-Verordnung in Industrieunternehmen: Vorausschauendes unternehmerisches Handeln für alle Betroffenen der REACH-Verordnung, speziell der Endproduktehersteller: Elektro-, Automobil-, Medizingeräte- und Zulieferindustrie. Fraunhofer IPA Workshop F 179, 17. Juni 2009, Stuttgart. Stuttgart, 2009, S. 79-93, 28 Folien

Fetzer, Hans-Jochen:

**HPLC- und IC-Verfahren in der Galvanotechnik.**

In: Deutsche Gesellschaft für Galvano- und Oberflächentechnik u. a.: Aktuelle Analysenmethoden in der Galvanotechnik: Theorie und Praxis: Workshop, 23. Juni 2009, Stuttgart. Stuttgart, 2009, 12 S., 24 Folien

Fetzer, Hans-Jochen:

**Neue europäische GHS-Verordnung - Gibt es eine Neueinstufung von Nickel?**

In: Westkämper, Engelbert (Hrsg.); Verl, Alexander (Hrsg.); Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung IPA u. a.: Chemische Nickelabscheidung in der industriellen Anwendung: Theorie und praktische Beispiele. Fraunhofer IPA Workshop F 184, 13. Oktober 2009, Stuttgart. Stuttgart, 2009, S. 132-140, 16 Folien

Fetzer, Hans-Jochen:

**Vorgehensweise und Erkenntnisse aus der Analyse von Produkten bezüglich der RoHSKonformität - Screening und chemische Analyse.**

In: Hornberger, Markus (Workshopleitung); Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung IPA: Review der RoHS-Richtlinie und Integration von Medizingeräten (GK8) sowie Überwachungs- und Kontrollinstrumenten (GK9): Fraunhofer IPA Workshop, 18. Juni 2009, Stuttgart. Stuttgart, 2009, 24 Folien.

Fischmann, Christian; Giesen, Tim; Goh, Dillon; Hoffmeister, Michael; Wertz, Roland:

**Analysis And Evaluation of Thin-Wafer Handling Methods.**

In: Sinke, W. (Hrsg.) u. a. ; WIP - Renewable Energies u. a.: 24th European Photovoltaic Solar Energy Conference / CD-ROM: The compiled State-of-the-Art of PV Solar Technology and Deployment. Proceedings of the International Conference held in Hamburg, 21-25 September 2009. München, 2009, S. 1352-1355

Fisser, Frank:

**Grob- und Feinplanung in der Montage.**

In: Westkämper, Engelbert (Hrsg.) u. a.: Wandlungsfähige Produktionsunternehmen: Das Stuttgarter Unternehmensmodell. Berlin u. a.: Springer, 2009, Kapitel 6.4.10, S. 253-256

Fisser, Frank; Heisel, Uwe; Kircher, Christian; Klemm, Peter; Le Blond, Jan; Lehr, Patricia; Meitzner, Martin; Pritschow, Günter; Westkämper, Engelbert; Wurst, Ulrich:

**Das Stuttgarter Unternehmensmodell in der Theorie - Technik und Strukturen.**

In: Westkämper, Engelbert (Hrsg.) u. a.: Wandlungsfähige Produktionsunternehmen: Das Stuttgarter Unternehmensmodell. Berlin u. a.: Springer, 2009, Kapitel 5.3, S. 115-138

## Sonstige Artikel

Fritsch, Dennis:

### **Hybride Montage - wo liegt der richtige Automatisierungsgrad?**

In: Westkämper, Engelbert (Hrsg.); Verl, Alexander (Hrsg.); Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung IPA: Montage in der Krise - Wie geht es weiter in 2010: Zeitgemäße Planung - zielgerichtete Umsetzung - wirtschaftlicher Betrieb. Fraunhofer IPA Montageforum F 186, 23. Okt. 2009, Stuttgart.  
Stuttgart: FpF - Verein zur Förderung produktionstechnischer Forschung, 2009, S. 54-73, 37 Folien

Fritsch, Dennis:

### **Der Industrieroboter im Jahr 2015: Vom Großserien-Schweißexperten zum Generalisten - und wie Sie schon heute davon profitieren können.**

In: Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung IPA: 50 Jahre IPA: Wir produzieren Zukunft. Vorträge Industrietag: 2. Juli 2009.  
Stuttgart, 2009, 47 Folien

Glanz, Carsten:

### **Carbon Nanotubes: Metall-Matrix-Komposite für den Leichtbau.**

In: Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung IPA: 50 Jahre IPA: Wir produzieren Zukunft. Vorträge Industrietag: 2. Juli 2009.  
Stuttgart, 2009, 14 Folien

Goetz, Jürgen:

### **Automatisierte Prüfsysteme für den Schienenverkehr.**

In: Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung IPA: 50 Jahre IPA: Wir produzieren Zukunft. Vorträge Industrietag: 2. Juli 2009.  
Stuttgart, 2009, 21 Folien

Gommel, Udo; Keller, Markus:

### **Industrielle Produktion im Reinraum.**

In: Clusterland Oberösterreich GmbH: Reinraum & Hygiene: GC-Veranstaltung, Donnerstag, 5. November 2009, Schlierbach, Österreich.  
Linz, 2009, 48 Folien

Gommel, Udo; Konrad, Konstantin; Keller, Markus:

### **MINAM - Application to be established as an ETP (European Technology Platform for Micro- and NanoManufacturing): Presentation at the Minam Meeting, 28th April 2009, Brussels.**

In: European Technology Platform for Micro- and NanoManufacturing MINAM: MINAM WebPortal: Website of the European Technology Platform for Micro- and NanoManufacturing (MINAM).  
7 Folien

Gommel, Udo; Konrad, Konstantin:

### **MINAM becoming an European Technology Platform: Presentation at the OSG & IMG Meeting, 2009-01-14, Brussels.**

In: European Technology Platform for Micro- and NanoManufacturing MINAM: MINAM WebPortal: Website of the European Technology Platform for Micro- and NanoManufacturing (MINAM).  
7 Folien

Gommel, Udo:

### **Qualifizierung von Betriebsmitteln im Reinraum: Anlagen, Gerätschaften, Werkstoffe.**

In: Gail, Lothar (Hrsg.); Gommel, Udo (Hrsg.); Weißsieker, Horst (Hrsg.): Projektplanung Reinraumtechnik. Heidelberg: Hüthig, 2009, Kap. 4.5, S. 199-227

Gommel, Udo; Keller, Markus:

**Reinraumtaugliches Equipment Design.**

In: Concept Heidelberg: GMP-/FDA-Anforderungen an das Anlagendesign: 10. /11. November 2009, Heidelberg. Heidelberg, 2009, 25 S.

Graf, Birgit:

**Heizmännchen für Haus und Garten: Neue Schlüsseltechnologien und Anwendungsfelder der Servicerobotik.**

In: Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung IPA: 50 Jahre IPA: Wir produzieren Zukunft. Vorträge Industrietag: 2. Juli 2009. Stuttgart, 2009, 31 Folien

Graf, Birgit:

**Robotics at Fraunhofer IPA - Industrial Robots.**

In: Granrath, Lorenz (Leitung); Fraunhofer Representative Office Japan u. a.: Mechatronics Seminar: November 30, 2009 in Yokkaichi, Japan. Tokyo, JP, 2009, 33 Folien

Grzesiak, Andrzej:

**Generative Fertigungstechnologien zur Herstellung komplexer 3D Mikrosysteme.**

In: Ansorge, Frank (Tutoralleiter); Mesago: Tutorial 1: Generative Technologien für "System in Package" - eine neuartige Technologie: Systemintegration in der Mikroelektronik, Messe & Kongress, Nürnberg 5. -7. Mai 2009, Tutorialdokumentation. Stuttgart, 2009, S. 1-11, 21 Folien

Grzesiak, Andrzej:

**Generative Technologien in der Produktentstehung: Von Rapid Prototyping zu Rapid Manufacturing.**

In: Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung IPA: 50 Jahre IPA: Wir produzieren Zukunft. Vorträge Industrietag: 2. Juli 2009. Stuttgart, 2009, 26 Folien

Grzesiak, Andrzej:

**Germany: Wohlers Report Part 4: Asia and Europe.**

In: Wohlers, Terry T.: Wohlers Report 2009: State of the Industry. Annual Worldwide Progress Report. Fort Collins, Co, USA: Wohlers Associates, 2009, S. 112-113

Grzesiak, Andrzej:

**Kosten und termingerechte Neuentwicklung durch Kundenintegration in der Produktentstehung.**

In: Innovations- und Technologietransfer Salzburg GmbH u. a.: Rapid Prototyping - Vorsprung durch flexible Produktentwicklung: Donnerstag, 2. April 2009, Hallein, Österreich. Salzburg, 2009, 29 Folien

Grzesiak, Andrzej; Becker, Ralf:

**Light weight design for additive Manufacturing of plastic components in the automation - design rules and Industrial test cases.**

In: Rietzel, Dominik (Hrsg.) u. a. ; Friedrich-Alexander-Universität <Erlangen-Nürnberg> / Lehrstuhl für Kunststofftechnik: Additive Fertigung - vom Prototyp zur Serie. Erlangen, 2009, S. 83-96

Hägele, Martin:

**Robotics.**

In: Bullinger, Hans-Jörg (Ed.): Technology Guide: Principles, Applications, Trends. Berlin u. a.: Springer, 2009, S. 486-491

Hager, Christian; Baumgärtner, Otto:

**Qualitäts- und Prozesssicherung in Lackierbetrieben: Online-Sensorik eröffnet neue Lackierkonzepte.**

In: Ondratschek, Dieter (Red.): besser lackieren! Jahrbuch 2010. Hannover: Vincentz, 2009, S. 434-438

Harscher, Alexander; Kreck, Guido; Schweizer, Marion:

### **Reinraumtechnik bei der Herstellung von Medizinprodukten.**

In: Gail, Lothar (Hrsg.); Gommel, Udo (Hrsg.); Weißsieker, Horst (Hrsg.): Projektplanung Reinraumtechnik. Heidelberg: Hüthig, 2009, Kap. 5.3, S. 294-306

Henke, Jürgen:

### **Fehler-Prozess-Matrix (FPM) zur qualitäts- und kostenmäßigen Risikobeurteilung über Kunden-Lieferantenketten.**

In: Westkämper, Engelbert (Hrsg.); Verl, Alexander (Hrsg.); Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung IPA: Methoden der Produktentwicklung: Mit neuen Produkten schneller am Markt. Fraunhofer IPA Seminar F 193, 8. Dez. 2009, Stuttgart. Stuttgart, 2009, S. 139-154, 29 Folien

Henke, Jürgen:

### **Sprachverarbeitung in industriellen Anwendungen.**

In: Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung IPA: 50 Jahre IPA: Wir produzieren Zukunft. Vorträge Industrietag: 2. Juli 2009. Stuttgart, 2009, 15 Folien

Hentschel, Robert:

### **Montageplanung im Maschinen- und Anlagenbau: Chancen und Grenzen der "Lean-Prinzipien" in der Planung von komplexen Montagen.**

In: Westkämper, Engelbert (Hrsg.); Verl, Alexander (Hrsg.); Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung IPA: Schlanke Produktionsabläufe und zukunftsfähige Werkstrukturen: Konsolidieren - Sichern - Erweitern, Fraunhofer IPA-Seminar F 192, 24. November 2009, Stuttgart. Stuttgart: FpF - Verein zur Förderung produktionstechnischer Forschung, 2009, S. 89-105, 30 Folien

Hoffmann, Ulrich:

### **Anforderungen an die Lackierprozesse.**

In: Hoffmann, Ulrich (Seminarleitung); Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung IPA u. a.: Innovative Lackieranlagen planen: TAW-Seminar, 7.-8. 10. 2009, Stuttgart. Wege zur wirtschaftlichen und beherrschbaren Lackiererei. Stuttgart, 2009, 23 Folien

Hoffmann, Ulrich; Kuyucu, Metin:

### **Beschichtungsmaterialien: Nanomaterialien.**

In: Ondratschek, Dieter (Red.): besser lackieren! Jahrbuch 2010. Hannover: Vincentz, 2009, S. 111-125

Hoffmann, Ulrich; Kuyucu, Metin:

### **Beschichtungsverfahren, -geräte und -anlagen: Selektives Beschichten.**

In: Ondratschek, Dieter (Red.): besser lackieren! Jahrbuch 2010. Hannover: Vincentz, 2009, S. 256-269

Hoffmann, Ulrich:

### **Fallbeispiele und Planspiele am PC.**

In: Hoffmann, Ulrich (Seminarleitung); Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung IPA u. a.: Innovative Lackieranlagen planen: TAW-Seminar, 7.-8. 10. 2009, Stuttgart. Wege zur wirtschaftlichen und beherrschbaren Lackiererei. Stuttgart, 2009, 84 Folien

Hoffmann, Ulrich:

### **Lackieren von Holz: Besonderheiten der Holzlackierung.**

In: Ondratschek, Dieter (Red.): besser lackieren! Jahrbuch 2010. Hannover: Vincentz, 2009, S. 474-489

Hoffmann, Ulrich:

**Lackieren von Kunststoffteilen: Überblick über Besonderheiten der Kunststoffteilelackierung.**

In: Ondratschek, Dieter (Red.): besser lackieren! Jahrbuch 2010.

Hannover: Vincentz, 2009, S. 444-463

Hoffmann, Ulrich:

**Lackiergerechte Konstruktion und Teileherstellung.**

In: Hoffmann, Ulrich (Seminarleitung); Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung IPA u. a.: Innovative Lackieranlagen planen: TAW-Seminar, 7.-8. 10. 2009, Stuttgart. Wege zur wirtschaftlichen und beherrschbaren Lackiererei.

Stuttgart, 2009, 30 Folien

Hoffmann, Ulrich:

**Neue Prozess- und Geräteentwicklungen: Lackfilmverlauf bei Großobjekten.**

In: Ondratschek, Dieter (Red.): besser lackieren! Jahrbuch 2010.

Hannover: Vincentz, 2009, S. 512-516

Hoffmann, Ulrich:

**Personal und Lackierbetrieb: Effizienzerhöhung durch Mitarbeiterschulung.**

In: Ondratschek, Dieter (Red.): besser lackieren! Jahrbuch 2010.

Hannover: Vincentz, 2009, S. 401-405

Hoffmann, Ulrich:

**Planung und Optimierung von Lackierprozessen mit Nutzung der Einparpotenziale bei Material und Energie.**

In: Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung IPA: 50 Jahre IPA: Wir produzieren Zukunft. Vorträge Industrietag: 2. Juli 2009.

Stuttgart, 2009, 38 Folien

Hoffmann, Ulrich:

**Planung und Optimierung von Lackierprozessen und -anlagen: Innovative Planungsmethode "CoaTway®".**

In: Ondratschek, Dieter (Red.): besser lackieren! Jahrbuch 2010.

Hannover: Vincentz, 2009, S. 332-347

Hoffmann, Ulrich:

**Planung und Optimierung von Lackierprozessen und -anlagen: Optimierungsmethoden.**

In: Ondratschek, Dieter (Red.): besser lackieren! Jahrbuch 2010.

Hannover: Vincentz, 2009, S. 347-361

Hoffmann, Ulrich:

**Planungsmethoden.**

In: Hoffmann, Ulrich (Seminarleitung); Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung IPA u. a.: Innovative Lackieranlagen planen: TAW-Seminar, 7.-8. 10. 2009, Stuttgart. Wege zur wirtschaftlichen und beherrschbaren Lackiererei.

Stuttgart, 2009, 49 Folien

Hoffmann, Ulrich:

**Prüftechniken für Lackierbetriebe: Bestimmung von Lackiererei-Kenndaten.**

In: Ondratschek, Dieter (Red.): besser lackieren! Jahrbuch 2010.

Hannover: Vincentz, 2009, S. 326-330

Hoffmann, Ulrich:

**Technologieübersicht.**

In: Hoffmann, Ulrich (Seminarleitung); Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung IPA u. a.: Innovative Lackieranlagen planen: TAW-Seminar, 7.-8. 10. 2009, Stuttgart. Wege zur wirtschaftlichen und beherrschbaren Lackiererei.

Stuttgart, 2009, 44 Folien

Hollmann, Rebecca:

### **InTeach - eine intuitiv programmierbare Schweißroboterzelle.**

In: Westkämper, Engelbert (Hrsg.); Verl, Alexander (Hrsg.);  
Verein zur Förderung produktionstechnischer Forschung u. a.:  
5. Workshop für OTS-Systeme in der Robotik: Sichere  
Mensch-Roboter-Interaktion ohne trennende Schutzzäune.  
Fraunhofer IPA Workshop F 178, 15. Juni 2009, Stuttgart.  
Stuttgart, 2009, S. 40-50, 19 Folien

Hollmann, Rebecca:

### **Sprachinteraktion als Bestandteil einer intuitiven Programmierumgebung für Industrieroboter.**

In: VDI/VDE-Gesellschaft Meß- und Automatisierungstechnik  
(GMA) / Fachausschuß 4.13 Steuerung und Regelung von  
Robotern: Mensch-Roboter-Interaktion: 42. Sitzung de  
VDI/VDE-GMA-FA 4.13 am 20. Januar 2009 in  
Oberpfaffenhofen.  
Weßling, 2009, 18 Folien

Hornberger, Markus:

### **Aktueller Stand der EU-Richtlinien RoHS, ELV, WEEE/ElektroG, EuP und der EU-Verordnung REACH.**

In: Westkämper, Engelbert (Hrsg.); Verl, Alexander (Hrsg.);  
Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und  
Automatisierung IPA: Internationale Stoffverbote, RoHS,  
REACH, EuP sowie ElektroG/WEEE in der Praxis:  
Vorausschauendes unternehmerisches Handeln für alle  
Beteiligten der Elektroindustrie und des Elektroaltgeräte-  
Recyclings. ExFo 2009 - Fraunhofer IPA Expertenforum F 194,  
Abschlussstagung, 9. Dezember 2009, Stuttgart.  
Stuttgart: FpF - Verein zur Förderung produktionstechnischer  
Forschung, 2009, S. 16-29, 26 Folien

Hornberger, Markus; Thomas, Sylvia:

### **Aufgaben eines "nachgeschalteten Anwenders": Vorgehensweise, Hilfestellungen zum Informationsmanagement.**

In: Westkämper, Engelbert (Hrsg.); Verl, Alexander (Hrsg.);

Verein zur Förderung produktionstechnischer Forschung u. a.:  
Praktische Umsetzung der REACH-Verordnung in  
Industrieunternehmen: Vorausschauendes unternehmerisches  
Handeln für alle Betroffenen der REACH-Verordnung, speziell  
der Endproduktehersteller: Elektro-, Automobil-,  
Medizingeräte- und Zulieferindustrie. Fraunhofer IPA  
Workshop F 179, 17. Juni 2009, Stuttgart.  
Stuttgart, 2009, S. 67-78, 22 Folien

Hornberger, Markus:

### **Ausblick auf das ExFo 2010 RoHS, REACH, EuP und WEEE/ElektroG.**

In: Westkämper, Engelbert (Hrsg.); Verl, Alexander (Hrsg.);  
Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und  
Automatisierung IPA: Internationale Stoffverbote, RoHS,  
REACH, EuP sowie ElektroG/WEEE in der Praxis:  
Vorausschauendes unternehmerisches Handeln für alle  
Beteiligten der Elektroindustrie und des Elektroaltgeräte-  
Recyclings. ExFo 2009 - Fraunhofer IPA Expertenforum F 194,  
Abschlussstagung, 9. Dezember 2009, Stuttgart.  
Stuttgart: FpF - Verein zur Förderung produktionstechnischer  
Forschung, 2009, S. 137-144, 14 Folien

Hornberger, Markus:

### **Compliance-Anforderungen an Produkte (REACH, RoHS und IG 101).**

In: Westkämper, Engelbert (Hrsg.); Verl, Alexander (Hrsg.);  
Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und  
Automatisierung IPA u. a.: Chemische Nickelabscheidung in  
der industriellen Anwendung: Theorie und praktische  
Beispiele. Fraunhofer IPA Workshop F 184, 13. Oktober 2009,  
Stuttgart.  
Stuttgart, 2009, S. 85-117 (4S. , 52 Folien)

Hornberger, Markus:

**Einführung und Überblick zu REACH - aktuelle Umsetzung und nationale Feinheiten.**

In: Westkämper, Engelbert (Hrsg.); Verl, Alexander (Hrsg.); Verein zur Förderung produktionstechnischer Forschung u. a.: Praktische Umsetzung der REACH-Verordnung in Industrieunternehmen: Vorausschauendes unternehmerisches Handeln für alle Betroffenen der REACH-Verordnung, speziell der Endproduktehersteller: Elektro-, Automobil-, Medizingeräte- und Zulieferindustrie. Fraunhofer IPA Workshop F 179, 17. Juni 2009, Stuttgart. Stuttgart, 2009, S. 14-26, 24 Folien

Hornberger, Markus:

**Energieeffizienz in der Produktion.**

In: Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung IPA: 50 Jahre IPA: Wir produzieren Zukunft. Vorträge Industrietag: 2. Juli 2009. Stuttgart, 2009, 21 Folien

Hornberger, Markus:

**Maßgebliche Änderungen durch die Revision der RoHS-Richtlinie ab 2010 für den Produzenten/Importeur von EEE.**

In: Westkämper, Engelbert (Hrsg.); Verl, Alexander (Hrsg.); Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung IPA: Internationale Stoffverbote, RoHS, REACH, EuP sowie ElektroG/WEEE in der Praxis: Vorausschauendes unternehmerisches Handeln für alle Beteiligten der Elektroindustrie und des Elektroaltgeräte-Recyclings. ExFo 2009 - Fraunhofer IPA Expertenforum F 194, Abschlussstagung, 9. Dezember 2009, Stuttgart. Stuttgart: PpF - Verein zur Förderung produktionstechnischer Forschung, 2009, S. 32-45, 26 Folien

Hornberger, Markus:

**Neues zu Internationalen Stoffverboten - weltweit GLOBAL RoHS.**

In: Hornberger, Markus (Workshopleitung); Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung IPA: Review der RoHS-Richtlinie und Integration von Medizingeräten (GK8) sowie Überwachungs- und Kontrollinstrumenten (GK9): Fraunhofer IPA Workshop, 18. Juni 2009, Stuttgart. Stuttgart, 2009, 36 Folien

Hornberger, Markus:

**Praktisches Vorgehen zur Umsetzung der RoHS nach Review: Dokumentation, Prüfkonzeppte, Erstmusterprüfung. Einführung von Prozessen zur Einhaltung der RoHS im Unternehmen.**

In: Hornberger, Markus (Workshopleitung); Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung IPA: Review der RoHS-Richtlinie und Integration von Medizingeräten (GK8) sowie Überwachungs- und Kontrollinstrumenten (GK9): Fraunhofer IPA Workshop, 18. Juni 2009, Stuttgart. Stuttgart, 2009, 64 Folien

Hornberger, Markus:

**REACH - nächste Schritte für die betroffenen Unternehmen.**

In: Westkämper, Engelbert (Hrsg.); Verl, Alexander (Hrsg.); Verein zur Förderung produktionstechnischer Forschung u. a.: Praktische Umsetzung der REACH-Verordnung in Industrieunternehmen: Vorausschauendes unternehmerisches Handeln für alle Betroffenen der REACH-Verordnung, speziell der Endproduktehersteller: Elektro-, Automobil-, Medizingeräte- und Zulieferindustrie. Fraunhofer IPA Workshop F 179, 17. Juni 2009, Stuttgart. Stuttgart, 2009, S. 96-105, 18 Folien

Hornberger, Markus:

### **TEEM - Energieeffizienz in der Produktion.**

In: Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung IPA: 50 Jahre IPA: Wir produzieren Zukunft. Vorträge Industrietag: 2. Juli 2009. Stuttgart, 2009, 57 Folien

Hummel, Vera; Rönnecke, Thomas; Westkämper, Engelbert:

### **Ganzheitliche Produktionssysteme.**

In: Westkämper, Engelbert (Hrsg.) u. a.: Wandlungsfähige Produktionsunternehmen: Das Stuttgarter Unternehmensmodell. Berlin u. a.: Springer, 2009, Kapitel 3, S. 25-46

Hummel, Vera; Westkämper, Engelbert:

### **Grundlagen des Stuttgarter Unternehmensmodells.**

In: Westkämper, Engelbert (Hrsg.) u. a.: Wandlungsfähige Produktionsunternehmen: Das Stuttgarter Unternehmensmodell. Berlin u. a.: Springer, 2009, Kapitel 4, S. 47-66

Hüttel, Markus:

### **Bildverarbeitung, Signalanalyse und generative Fertigungstechniken (Rapid Prototyping).**

In: Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung IPA: 50 Jahre IPA: Wir produzieren Zukunft. Vorträge Industrietag: 2. Juli 2009. Stuttgart, 2009, 8 Folien

Janz, Danina:

### **Vorgehen zur Umsetzung internationaler Stoffverbote im Unternehmen und Integration im Qualitätsmanagement.**

In: Hornberger, Markus (Workshopleitung); Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung IPA: Review der RoHS-Richtlinie und Integration von Medizingeräten (GK8) sowie Überwachungs- und Kontrollinstrumenten (GK9): Fraunhofer IPA Workshop, 18. Juni 2009, Stuttgart. Stuttgart, 2009, 24 Folien

Jovane, Francesco; Westkämper, Engelbert:

### **The European Strategic Initiative ManuFuture.**

In: Jovane, Francesco; Westkämper, Engelbert; Williams, David: The ManuFuture Road: Towards Competitive and Sustainable High-Adding-Value Manufacturing. Berlin u. a.: Springer, 2009, S. 53-87

Jovane, Francesco; Westkämper, Engelbert:

### **The ManuFuture Road to High-Adding-Value Competitive Sustainable Manufacturing.**

In: Jovane, Francesco; Westkämper, Engelbert; Williams, David: The ManuFuture Road: Towards Competitive and Sustainable High-Adding-Value Manufacturing. Berlin u. a.: Springer, 2009, S. 149-163

Jovane, Francesco; Westkämper, Engelbert; Williams, David:

### **Toward Competitive Sustainable Manufacturing.**

In: Jovane, Francesco; Westkämper, Engelbert; Williams, David: The ManuFuture Road: Towards Competitive and Sustainable High-Adding-Value Manufacturing. Berlin u. a.: Springer, 2009, S. 31-52

Kapp, Ralf; Löffler, Benno:

### **Ausblick digitale Modellfabrik.**

In: Westkämper, Engelbert (Hrsg.) u. a.: Wandlungsfähige Produktionsunternehmen: Das Stuttgarter Unternehmensmodell. Berlin u. a.: Springer, 2009, Kapitel 6.5, S. 268-270

Kapp, Ralf; Löffler, Benno:

### **Konfiguration der Produktionslogistik.**

In: Westkämper, Engelbert (Hrsg.) u. a.: Wandlungsfähige Produktionsunternehmen: Das Stuttgarter Unternehmensmodell. Berlin u. a.: Springer, 2009, Kapitel 6.4.7, S. 238-243

Kapp, Ralf; Löffler, Benno:

**Kurzfristige Reaktionen auf die Turbulenzen - Reaktion der Produktionsplanung.**

In: Westkämper, Engelbert (Hrsg.) u. a.: Wandlungsfähige Produktionsunternehmen: Das Stuttgarter Unternehmensmodell.

Berlin u. a.: Springer, 2009, Kapitel 6.3.1, S. 213-215

Kapp, Ralf; Löffler, Benno:

**Mittelfristige Reaktionen im Unternehmen - Neuausrichtung der Produktion.**

In: Westkämper, Engelbert (Hrsg.) u. a.: Wandlungsfähige Produktionsunternehmen: Das Stuttgarter Unternehmensmodell.

Berlin u. a.: Springer, 2009, Kapitel 6.4.4, S. 230-232

Kapp, Ralf; Löffler, Benno:

**Neue Anforderungen an das Auftragsmanagement.**

In: Westkämper, Engelbert (Hrsg.) u. a.: Wandlungsfähige Produktionsunternehmen: Das Stuttgarter Unternehmensmodell.

Berlin u. a.: Springer, 2009, Kapitel 6.4.5, S. 232-236

Keller, Markus:

**Design And Test Of Industrial Robots For The Use In Cleanrooms.**

In: Granrath, Lorenz (Leitung); Fraunhofer Representative Office Japan u. a.: Mechatronics Seminar: November 30, 2009 in Yokkaichi, Japan.

Tokyo, JP, 2009, 34 Folien

Keller, Markus:

**Reinraum- und Reinheitstauglichkeit von Materialien, Komponenten und Maschinen.**

In: Inspire GmbH <Bensheim>: Lounges 2009: 17. -19. März 2009, Karlsruhe. HygieniCon, GMP Lounge, Facility Lounge, Processing Lounge, Reinraum Lounge, Wasser Lounge.

Vortrag auf der Reinraum-Lounge, 19. 3. 2009, 42 Folien

Keller, Markus:

**Reinraumtaugliche Materialien / Reinraumtaugliches Design.**

In: Concept Heidelberg: Aktuelle Technologien der Sterilherstellung: 3. Konferenz, 03. /04. März. 2009, Mannheim.

Heidelberg, 2009, 60 Folien

Kirchner, Sören; Briel, Ralf von; Wiendahl, Hans-Hermann; Winkler, Ralph:

**Wandlungsfähige Produktionsunternehmen: Anhang.**

In: Westkämper, Engelbert (Hrsg.) u. a.: Wandlungsfähige Produktionsunternehmen: Das Stuttgarter Unternehmensmodell.

Berlin u. a.: Springer, 2009, Kapitel 7, S. 271-310

Kleber, Wolfgang; Strohbeck, Ulrich:

**Beschichtungsverfahren, -geräte und -anlagen:**

**Elektrostatisches Sprühen von Flüssiglack.**

In: Ondratschek, Dieter (Red.): besser lackieren! Jahrbuch 2010.

Hannover: Vincentz, 2009, S. 159-176

Kleber, Wolfgang; Ondratschek, Dieter:

**Forschungs- und Beratungsstellen für lackiertechnische Fragen.**

In: Ondratschek, Dieter (Red.): besser lackieren! Jahrbuch 2010.

Hannover: Vincentz, 2009, S. 633-645

## Sonstige Artikel

Klein, Wolfgang:

**Aktives Energiemanagement mittels "Energieleitstand" - Ist-Analyse und Verbesserungsmaßnahmen in der Produktion am Beispiel Lackieranlagen.**

In: Westkämper, Engelbert (Hrsg.); Verl, Alexander (Hrsg.); Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung IPA: Energiemanagement zur Kostensenkung in der Produktion: TEEM - Total Energy Efficiency Management. Fraunhofer IPA Workshop F 182, 6. Oktober 2009, Stuttgart.  
Stuttgart, 2009, S. 92-100, 16 Folien

Klein, Wolfgang; Ondratschek, Dieter:

**Beschichtungsverfahren, -geräte und -anlagen: Abscheidung/Rückgewinnung von Lackoverspray aus Spritzlackieranlagen.**

In: Ondratschek, Dieter (Red.): besser lackieren! Jahrbuch 2010.  
Hannover: Vincentz, 2009, S. 190-198

Klein, Wolfgang:

**Emissionsminderung und Abfallvermeidung: Technik zur Abluftreinigung.**

In: Ondratschek, Dieter (Red.): besser lackieren! Jahrbuch 2010.  
Hannover: Vincentz, 2009, S. 568-575

Klein, Wolfgang:

**Mit Energiemanagement-Methoden eine ressourcen- und energieeffiziente Produktion realisieren.**

In: Automotive Circle International: Energieeffiziente Technologien und neue Farbeffekte für die Karosserielackierung: Spezial-Fachtagung 2009, 5. -6. März 2009, Bad Nauheim.  
Hannover: Vincentz, 2009, S. 10-18, 16 Folien

Klein, Wolfgang:

**Planung und Optimierung von Lackierprozessen und -anlagen: Energieeffiziente Maßnahmen.**

In: Ondratschek, Dieter (Red.): besser lackieren! Jahrbuch 2010.  
Hannover: Vincentz, 2009, S. 362-380

Klein, Wolfgang; Schneider, Matthias:

**Trocknen: UV/ES-Strahlungshärtung.**

In: Ondratschek, Dieter (Red.): besser lackieren! Jahrbuch 2010.  
Hannover: Vincentz, 2009, S. 285-291

Klein, Wolfgang:

**Vorbehandlung von metallischen Beschichtungsuntergründen.**

In: Ondratschek, Dieter (Red.): besser lackieren! Jahrbuch 2010.  
Hannover: Vincentz, 2009, S. 131-150

Knee, Philipp:

**Beschichtungsverfahren, -geräte und -anlagen: Nicht zerstäubende Flüssiglack-Beschichtungsverfahren.**

In: Ondratschek, Dieter (Red.): besser lackieren! Jahrbuch 2010.  
Hannover: Vincentz, 2009, S. 223-233

Kolaric, Ivica; Addinall, Raphael; Kosidlo, Urszula:

**A3D Gel - Actuator 2 Go: A view on how simpler actuators, from a point of view of system design and manufacturing, can lead to industrialisation.**

In: Kolaric, Ivica (Conference Chair) u. a. ; Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung IPA: Stuttgart NanoDays '09: visions for short and medium-term applications. International Conference, September 14-15, 2009. Stuttgart, 2009, S. 55-67, 26 Folien

Kolaric, Ivica; Addinall, Raphael; Kosidlo, Urszula:

**A3D gel Actuator-Limitation and Prospects of CNT Actuators for Industrial Use: A view on a simple actuator design for mass producible CNT Actuators.**

In: Research Institute for Cell Engineering u. a.: 5th World Congress on Biomimetics, Artificial Muscles and Nano-Bio, 4th Conference on Artificial Muscles: November 25-27, 2009, Osaka, Japan.  
Osaka, Japan, 2009, 1 S.

Kolaric, Ivica:

**Bottlenecks and Process Quality in CNT Applications.**

In: Kolaric, Ivica (Conference Chair); Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung IPA u. a.: Beyond ESD - Advanced CNT Applications, Network-Workshop: May 21st, 2009, Tokyo, Japan.  
Stuttgart, 2009, 26 Folien

Kolaric, Ivica:

**Carbon Nanotubes: Applikationen, Potentiale und Hindernisse.**

In: Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung IPA: 50 Jahre IPA: Wir produzieren Zukunft. Vorträge Industrietag: 2. Juli 2009.  
Stuttgart, 2009, 25 Folien

Kolaric, Ivica:

**New Models for R&D.**

In: Kolaric, Ivica (Conference Chair); Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung IPA u. a.: Beyond ESD - Advanced CNT Applications, Network-Workshop: May 21st, 2009, Tokyo, Japan.  
Stuttgart, 2009, 25 Folien

Konrad, Konstantin; Almansa, Ana:

**MINAM - Expert Group - Equipment Integration: Presentation at the OSG & IMG Meeting, 2009-01-14, Brussels.**

In: European Technology Platform for Micro- and NanoManufacturing MINAM: MINAM WebPortal: Website of the European Technology Platform for Micro- and NanoManufacturing (MINAM).  
8 Folien

Kosidlo, Urszula:

**Carbon Nanotube Actuator Applications.**

In: Kolaric, Ivica (Conference Chair); Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung IPA u. a.: Beyond ESD - Advanced CNT Applications, Network-Workshop: May 21st, 2009, Tokyo, Japan.  
Stuttgart, 2009, 25 Folien

Kosidlo, Urszula; Kolaric, Ivica:

**Carbon Nanotube Actuators.**

In: Ostbayerisches Technologie Transfer Institut (OTTI) u. a.: Carbon Nanotubes: Auf dem Weg aus der Forschung in die Anwendung, Eigenschaften, Herstellung, Verarbeitung, Produkte, Arbeitsschutz, Toxizität? 22./23. April 2009, Regensburg.  
Regensburg, 2009, S. 241-264, 44 Folien (Wissen für Profis).

Kosidlo, Urszula:

**Carbon nanotube composites.**

In: Smith, Chris (Ed.); European Plastics News u. a.: Nanocomposites and Nanotubes 2009: Exploring the path from materials and process innovation to commercial application, 18-19 March 2009, Brussels, Belgium.  
Croydon, Surrey, Great Britain, 2009, 22 Folien

Kosidlo, Urszula; Addinall, Raphael; Tonner, Friedemann;  
Kolaric, Ivica; Glanz, Carsten:

**Development and investigations on multiple carbon nanotube actuator systems for magnified performance and minimization of performance losses.**

In: Research Institute for Cell Engineering u. a.: 5th World Congress on Biomimetics, Artificial Muscles and Nano-Bio, 4th Conference on Artificial Muscles: November 25-27, 2009, Osaka, Japan.

Osaka, Japan, 2009, 1 S.

Kosidlo, Urszula; Arias Ruiz de Larramendi, Marta; Tonner, Friedemann; Park, Hye Jin; Glanz, Carsten; Skakalova, Viera; Roth, Siegmund; Kolaric, Ivica:

**Production methods of graphene and resulting material properties.**

In: Nano-Cluster Bodensee: 7th NanoEurope Symposium 2009: Moving Nanotechnology to Market; Rapperswil, Switzerland, 25th-26th November 2009.

St. Gallen, 2009, Poster Nr. 46, 1 S.

Kosidlo, Urszula; Addinall, Raphael; Tonner, Friedemann;  
Kolaric, Ivica; Glanz, Carsten:

**Theoretical versus experimental performance transfer analysis of multiple carbon nanotube actuator systems.**

In: Research Institute for Cell Engineering u. a.: 5th World Congress on Biomimetics, Artificial Muscles and Nano-Bio, 4th Conference on Artificial Muscles: November 25-27, 2009, Osaka, Japan.

Osaka, Japan, 2009, 1 S.

Kramel, Evelyn:

**Größen in der Lackiertechnik.**

In: Ondratschek, Dieter (Red.): besser lackieren! Jahrbuch 2010.

Hannover: Vincentz, 2009, S. 621-629

Kramel, Evelyn; Tran, Manh Hung:

**Prüftechniken für Lackierbetriebe: Prüfverfahren - Übersicht.**

In: Ondratschek, Dieter (Red.): besser lackieren! Jahrbuch 2010.

Hannover: Vincentz, 2009, S. 307-325

Kramel, Evelyn; Tran, Manh Hung:

**Qualitäts- und Prozesssicherung in Lackierbetrieben: Kratzfestigkeitsprüfung von Automobil-Klarlacken.**

In: Ondratschek, Dieter (Red.): besser lackieren! Jahrbuch 2010.

Hannover: Vincentz, 2009, S. 439-442

Kroll, Julia:

**Unsichtbares sichtbar machen: Hochauflösende Röntgen-Computertomographie an mikro-mechatronischen Bauteilen.**

In: Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung der angewandten Forschung / Fraunhofer-Allianz Vision: Innovative Technologien für die industrielle Qualitätssicherung mit Bildverarbeitung: Fraunhofer Vision Technologietag 2009, 8. -9. Oktober 2009, Kaiserslautern. Tagungsband.

Erlangen, 2009, 22 Folien

Kubacki, Jens:

**Artificial Intelligence.**

In: Bullinger, Hans-Jörg (Ed.): Technology Guide: Principles, Applications, Trends.

Berlin u. a.: Springer, 2009, S. 146-149

Kühnle, Jens; Winkler, Bernd; Eigenbrod, Hartmut:

**Dreidimensionale Wahrnehmung und Hindernis-modellierung für mobile und autonome Systeme.**

In: Jähne, Bernd (Leitung); Universität <Heidelberg> / Interdisziplinäres Zentrum für Wissenschaftliches Rechnen u. a.: Bildfolgenanalyse und Dynamische Prozesse: 40. Heidelberger Bildverarbeitungsforum, 07. Juli 2009, Stuttgart.

Hanau: AEON Verlag, 2009, 54 Folien

Kuyucu, Metin:

**Beschichtungsmaterialien: Beschichtungsfolien und ihre Verarbeitungsmöglichkeiten.**

In: Ondratschek, Dieter (Red.): besser lackieren! Jahrbuch 2010.

Hannover: Vincentz, 2009, S. 126-130

Kuyucu, Metin:

**Lackieren von Kunststoffteilen: CO2-Schneestrahlen.**

In: Ondratschek, Dieter (Red.): besser lackieren! Jahrbuch 2010.

Hannover: Vincentz, 2009, S. 470-472

Kuyucu, Metin:

**Lackieren von Kunststoffteilen: Innovative Vorbehandlung von Kunststoffteilen.**

In: Ondratschek, Dieter (Red.): besser lackieren! Jahrbuch 2010.

Hannover: Vincentz, 2009, S. 464-469

Le Blond, Jan:

**Generierung von Layoutvarianten.**

In: Westkämper, Engelbert (Hrsg.) u. a.: Wandlungsfähige Produktionsunternehmen: Das Stuttgarter Unternehmensmodell.

Berlin u. a.: Springer, 2009, Kapitel 6.4. 8, S. 243-248

Ledermann, Thomas:

**3-D-Objektlageerkennung für den "Griff in die Kiste".**

In: Zäh, Michael F. (Hrsg.) u. a. ; Technische Universität <München> / Institut für Werkzeugmaschinen und Betriebswissenschaften u. a.: Zuführtechnik: Herausforderung der automatisierten Montage!: Montagetechnik Fachveranstaltung, Garching, 28. Oktober 2009.

München: Utz, 2009, S. 6-1-6-19

Ledermann, Thomas:

**Automatisiertes Materialhandling: Schnelle 3-D-Objektlageerkennung für den "Griff in die Kiste".**

In: Westkämper, Engelbert (Hrsg.); Verl, Alexander (Hrsg.); Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung IPA: Roboter in der Intralogistik: Aktuelle Trends - Neue Technologien - Moderne Anwendungen. Fraunhofer IPA Technologieforum F 191, 23. November 2009, Stuttgart.

Stuttgart: FpF - Verein zur Förderung produktionstechnischer Forschung, 2009, S. 43-53, 20 Folien

Lehr, Patricia; Nowak, Michael; Schön, Michael:

**Mittelfristige Reaktionen im Unternehmen - Strategieanpassung und Zielkorrektur.**

In: Westkämper, Engelbert (Hrsg.) u. a.: Wandlungsfähige Produktionsunternehmen: Das Stuttgarter Unternehmensmodell.

Berlin u. a.: Springer, 2009, Kapitel 6.4.3, S. 229-230

Lickefett, Michael:

**Anforderungen und Methoden des Auftragsmanagements.**

In: Westkämper, Engelbert (Hrsg.); Verl, Alexander (Hrsg.); Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung IPA: Schlankes Auftragsmanagement: Produktion und Informationsfluss in der Lean-Fabrik. Fraunhofer IPA Seminar F 177, 7. Mai 2009, Stuttgart.

Stuttgart: FpF - Verein zur Förderung produktionstechnischer Forschung, 2009, S. 7-22

Lickefett, Michael; Erlach, Klaus; Pfeffer, Matthias; Adolf, Thomas; Hentschel, Robert:

**Die effiziente Fabrik: Fabrikplanung und Produktionsoptimierung.**

In: Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung IPA: 50 Jahre IPA: Wir produzieren Zukunft. Vorträge Industrietag: 2. Juli 2009.

Stuttgart, 2009, 85 Folien

Lickefett, Michael:

### **Einfluss technologischer Entscheidungen auf die Fabrik: Technologieplanung und Energieeffizienzsteigerung in der Fabrikplanung.**

In: Westkämper, Engelbert (Hrsg.); Verl, Alexander (Hrsg.); Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung IPA: Schlanke Produktionsabläufe und zukunftsfähige Werkstrukturen: Konsolidieren - Sichern - Erweitern, Fraunhofer IPA-Seminar F 192, 24. November 2009, Stuttgart.  
Stuttgart: FpF - Verein zur Förderung produktionstechnischer Forschung, 2009, S. 106-119, 24 Folien

Lickefett, Michael:

### **Grundlagen der Planung und Steuerung.**

In: Lickefett, Michael (Bearb.) u. a. ; Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung IPA u. a.: PIT - Produzieren im Takt: Management Circle Seminar, 19. -20. Februar 2009, Stuttgart.  
Eschborn, Ts. , 2009, 22 Folien

Lickefett, Michael; Erlach, Klaus:

### **Lean Production und Produktionsplanung im Praxisbeispiel: Anwendung im Maschinen- und Anlagenbau.**

In: Westkämper, Engelbert (Hrsg.); Verl, Alexander (Hrsg.); Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung IPA: Schlankes Auftragsmanagement: Produktion und Informationsfluss in der Lean-Fabrik. Fraunhofer IPA Seminar F 177, 7. Mai 2009, Stuttgart.  
Stuttgart: FpF - Verein zur Förderung produktionstechnischer Forschung, 2009, S. 82-93

Lickefett, Michael:

### **Das Produktionssystem für kleine und mittelständische Unternehmen.**

In: Westkämper, Engelbert (Hrsg.); Verl, Alexander (Hrsg.); Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung IPA: PIT - Produzieren im Takt: Das schlanke Produktionssystem für kleine und mittelständische Unternehmen. Fraunhofer IPA-Seminar F 183, 22. Okt. 2009, Stuttgart.  
Stuttgart: FpF - Verein zur Förderung produktionstechnischer Forschung, 2009, S. 7-19, 21 Folien

Lickefett, Michael:

### **Produzieren im Takt - "PIT": Grundlagen der Planung & Steuerung.**

In: Lickefett, Michael (Bearb.) u. a. ; Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung IPA u. a.: PIT - Produzieren im Takt: Management Circle Seminar, 28. 01. -29. 01. 2009, Stuttgart.  
Eschborn, Ts. , 2009, 22 Folien

Lickefett, Michael:

### **Produzieren im Takt - "PIT": Taktorientierte Produktion - das Kernelement des Produktionssystems.**

In: Lickefett, Michael (Bearb.) u. a. ; Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung IPA u. a.: PIT - Produzieren im Takt: Management Circle Seminar, 28. 01. -29. 01. 2009, Stuttgart.  
Eschborn, Ts. , 2009, 22 Folien

Lickefett, Michael:

### **Spannungsfeld Auftragszentrum: Anforderungen, Gestaltungsfelder, Praxisbeispiele.**

In: Westkämper, Engelbert (Hrsg.); Verl, Alexander (Hrsg.); Verein zur Förderung produktionstechnischer Forschung u. a.: Spannungsfeld Auftragszentrum: Konfliktpotenziale und Lösungsansätze. 14. Stuttgarter PPS-Tage. Seminar und Workshop F 181, 6. und 7. Oktober 2009, Stuttgart.  
Stuttgart, 2009, S. 7-20, 24 Folien

Lickefett, Michael:

**Taktorienteerte Produktion - das Kernelement des Produktionssystems.**

In: Lickefett, Michael (Bearb.) u. a. ; Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung IPA u. a.: PIT - Produzieren im Takt: Management Circle Seminar, 19. -20. Februar 2009, Stuttgart.  
Eschborn, Ts. , 2009, 22 Folien

Löffler, Benno:

**Die digitale Modellfabrik - Auftretende Turbulenz.**

In: Westkämper, Engelbert (Hrsg.) u. a.: Wandlungsfähige Produktionsunternehmen: Das Stuttgarter Unternehmensmodell.  
Berlin u. a.: Springer, 2009, Kapitel 6.2.8, S. 2012-213

Löffler, Benno:

**Die digitale Modellfabrik - Wandlungsnotwendigkeit.**

In: Westkämper, Engelbert (Hrsg.) u. a.: Wandlungsfähige Produktionsunternehmen: Das Stuttgarter Unternehmensmodell.  
Berlin u. a.: Springer, 2009, Kapitel 6.2.9, S. 213

Löffler, Benno:

**Die digitale Modellfabrik - Das Unternehmen - Schwäbische Pumpen-Werke (SPW).**

In: Westkämper, Engelbert (Hrsg.) u. a.: Wandlungsfähige Produktionsunternehmen: Das Stuttgarter Unternehmensmodell.  
Berlin u. a.: Springer, 2009, Kapitel 6.2.1, S. 206

Lucke, Dominik:

**Digitale Fabrik - Von der Realität in die digitale Fabrik, Kontextbezogene Anwendungen in der Produktion.**

In: Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung IPA: 50 Jahre IPA: Wir produzieren Zukunft. Vorträge Industrietag: 2. Juli 2009.  
Stuttgart, 2009, 17 Folien

Mahmud, Tanvir; Uddin, Sheikh Minhaz; Wolf, Christoph; Glanz, Christoph:

**Carbon Nanotube: Metal-Matrix-Composites based on Copper and Aluminium.**

In: Kolaric, Ivica (Conference Chair) u. a. ; Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung IPA: Stuttgart NanoDays '09: visions for short and medium-term applications. International Conference, September 14-15, 2009.  
Stuttgart, 2009, S. 201-211, 19 Folien

Mandel, Jörg:

**Flexible Produktionsnetzwerke als Wettbewerbsvorteil.**

In: Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung IPA: 50 Jahre IPA: Wir produzieren Zukunft. Vorträge Industrietag: 2. Juli 2009.  
Stuttgart, 2009, 21 Folien

Mandel, Jörg; Wochinger, Thomas:

**Generierung von Mehrwerten wie Plagiatschutz durch den gezielten Einsatz von RFID in der Wertschöpfungskette.**

In: Nomina Gesellschaft für Wirtschafts- und Verwaltungsregister: ISIS AutoID/RFID Special: Das aktuelle Anbieterverzeichnis zu AutoID/RFID. Unternehmen, Markttrends und -entwicklungen, Anwender- und Fachberichte, Glossar und Fachbegriffe. Mit Software-Markt-Übersicht.  
München, 2009, 3 S.

Mandel, Jörg:

**Wettbewerbsposition stärken durch Vernetzung.**

In: Westkämper, Engelbert (Hrsg.); Verl, Alexander (Hrsg.); Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung IPA: Produzieren im Netzwerk: Optimierung der eigenen Wertschöpfungskette als Wettbewerbsvorteil. Fraunhofer IPA-Seminar F 188, 11. Nov. 2009, Stuttgart.  
Stuttgart: FpF - Verein zur Förderung produktionstechnischer Forschung, 2009, S. 7-22, 29 Folien

## Sonstige Artikel

Mannuß, Oliver; Hämmerle, Moritz; Koch, Steffen;  
Rally, Peter J. ; Rauschenbach, Matthias:

### **Darstellung der entwickelten Methoden und Werkzeuge im Rahmen des Forschungsprojekts MATRON.**

In: Clusterland Oberösterreich GmbH: Internationales Forum Mechatronik 2009: 10. bis 11. November 2009, Linz. Linz, 2009, 6 S.

Mannuß, Oliver:

### **Produktentstehungsmanagement - Erstellung und Nutzung von Produktentstehungsmodellen.**

In: Westkämper, Engelbert (Hrsg.); Verl, Alexander (Hrsg.); Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung IPA: Methoden der Produktentwicklung: Mit neuen Produkten schneller am Markt. Fraunhofer IPA Seminar F 193, 8. Dez. 2009, Stuttgart. Stuttgart, 2009, S. 17-41, 47 Folien

Meier, Matthias:

### **Approaching Factory Automation Standards for the PV-Industry: The PV-EIS example and a European perspective.**

In: Semiconductor Equipment and Materials International: 2009 SEMI PV International Standards Workshop: Friday, October 9, 2009. Taipeh, Taiwan, 2009, 23 Folien

Meier, Matthias:

### **SEMI Photovoltaic Standards - Equipment Performance and Communications. Part I: PV Standards Overview.**

In: Meier, Matthias u. a. ; Standards Technology Group u. a.: SEMI® Photovoltaic Standards - PV Equipment Performance and Communications Overview. Part Number EPS-00102 0907a: Course, July 14, 2009, San Francisco, CA USA. Williston, VT, USA, 2009, 21 Folien

Metzner, Martin:

### **Chancen der Hartverchromung.**

In: Westkämper, Engelbert (Hrsg.); Verl, Alexander (Hrsg.); Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung IPA: Hartchromtagung: Fraunhofer IPA Tagung, 11. November 2009, Stuttgart. Tagungsband. Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag, 2009, S. 7-21, 28 Folien

Metzner, Martin:

### **Galvanik 2020.**

In: Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung IPA: 50 Jahre IPA: Wir produzieren Zukunft. Vorträge Industrietag: 2. Juli 2009. Stuttgart, 2009, 45 Folien

Meyer, Christian:

### **Hochgenaue Industrieroboter für Bearbeitungsprozesse.**

In: Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung IPA: 50 Jahre IPA: Wir produzieren Zukunft. Vorträge Industrietag: 2. Juli 2009. Stuttgart, 2009, 16 Folien

Meyer, Christian:

### **Mensch-Roboter-Kooperation in der Automatisierung: Technologien, Nutzen und Anwendungsbeispiele.**

In: 3M Deutschland: Faszination Kleben: Fachsymposium am 23. -24. 11. und 25. -26. 11. 2009 in Neuss. Neuss, 2009, 22 Folien

Montnacher, Joachim; Goetz, Jürgen; Schmidt, Wolfgang;  
Rockstroh, Bernd; Kushnarev, Alexey u. a.:

**Awtomatisacija ultraswukowogo kontrolja  
schelesnodoroschnych koles i kolesnych par.**

In: Federal Agency of Railway <Moskau, Russland> / The  
Federal State Unitary Enterprise Research Institute of Bridges  
and Nondestructive testing / NDT Center u. a.: UZDM 2009 -  
Ultraswukowaj Defektoskopija Metallokonstrukcij - Sbornik  
Tezisov: XX St. Petersburger Jubiläumskonferenz am  
26. -28. Mai 2009, St. Petersburg, Russland. Von innovativen  
Geräten zu innovativen Technologien.  
Sankt-Petersburg, Russland, 2009, 40 Folien

Montnacher, Joachim:

**Grundlagen und Überblick über die Methoden der  
Dichtheitsprüfung.**

In: Montnacher, Joachim (Seminarleitung); Verein Deutscher  
Ingenieure u. a.: Dichtheitsprüfung in der Produktion: VDI-  
Wissensforum 366010 (02F0060010) 12. 05. 2009,  
Düsseldorf und 18. 3. 09, Stuttgart.  
Düsseldorf, 2009, 50 Folien

Montnacher, Joachim:

**Grundlagen und Überblick über die Methoden der  
Dichtheitsprüfung.**

In: Montnacher, Joachim (Seminarleitung); VDI-Wissensforum  
u. a.: Dichtheitsprüfung in der Produktion: VDI-Wissensforum  
366011 (02F0060011) 29. 10. 2009, Frankfurt.  
Düsseldorf, 2009, 50 Folien

Montnacher, Joachim:

**Prozessintegriertes Messen und Prüfen mit modernsten  
Diagnoseverfahren: Thermografie und Shearografie.**

In: Montnacher, Joachim (Seminarleitung); Verein Deutscher  
Ingenieure u. a.: Dichtheitsprüfung in der Produktion: VDI-  
Wissensforum 366010 (02F0060010) 12. 05. 2009,  
Düsseldorf und 18. 3. 09, Stuttgart.  
Düsseldorf, 2009, 14 Folien

Montnacher, Joachim:

**Unsichtbares sichtbar machen: Prüfung von  
Fügeverbindungen in Werkstoffverbänden mit  
Wärmefluss-Thermographie und Shearographie.**

In: Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung der angewandten  
Forschung / Fraunhofer-Allianz Vision: Innovative Technologien  
für die industrielle Qualitätssicherung mit Bildverarbeitung:  
Fraunhofer Vision Technologietag 2009, 8. -9. Oktober 2009,  
Kaiserslautern. Tagungsband.  
Erlangen, 2009, 25 Folien

Montnacher, Joachim; Wilhelm, Tina; Schmidt, Wolfgang:

**Zerstörungsfreie Prüfung an Metallen mittels aktiver  
Thermografie.**

In: Borsutzki, Michael (Hrsg.) u. a. ; Stahlinstitut VDEh u. a.:  
Fortschritte der Kennwertermittlung für Forschung und Praxis:  
3. u. 4. Dezember 2009, Bad Neuenahr.  
Düsseldorf, 2009, S. 281-286

Müller, Guido:

**Herstellung elektronischer Schaltungsträger durch  
Beschichtungstechnologien.**

In: Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und  
Automatisierung IPA: 50 Jahre IPA: Wir produzieren Zukunft.  
Vorträge Industrietag: 2. Juli 2009.  
Stuttgart, 2009, 14 Folien

Mütherich, Hendrik:

**Kommissionieren mit flexiblen Greifsystemen.**

In: Westkämper, Engelbert (Hrsg.); Verl, Alexander (Hrsg.);  
Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und  
Automatisierung IPA: Roboter in der Intralogistik: Aktuelle  
Trends - Neue Technologien - Moderne Anwendungen.  
Fraunhofer IPA Technologieforum F 191, 23. November 2009,  
Stuttgart.  
Stuttgart: FpF - Verein zur Förderung produktionstechnischer  
Forschung, 2009, S. 23-42, 37 Folien

Neher, Joachim:

### **Energiedatenerfassung in der Produktion - Technologien und Möglichkeiten.**

In: Westkämper, Engelbert (Hrsg.); Verl, Alexander (Hrsg.); Verein zur Förderung produktionstechnischer Forschung; Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung IPA: Energiemanagement zur Kostensenkung in der Produktion: TEEM - Total Energy Efficiency Management. Fraunhofer IPA Workshop F 182, 6. Oktober 2009, Stuttgart.  
Stuttgart, 2009, S. 77-91, 27 Folien

Nemec, Dominik:

### **Carbon Nanotubes gefüllte Polymere.**

In: Ostbayerisches Technologie Transfer Institut (OTTI): Elektrisch leitfähige Kunststoffe: Eigenschaften, Prüfung, Anwendung, Fachforum 24. -25. Sept. 2009, Regensburg. Regensburg, 2009, S. 11-116, 11 Folien

Nemec, Dominik:

### **Dispersionen und Compounds.**

In: Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung IPA: 50 Jahre IPA: Wir produzieren Zukunft. Vorträge Industrietag: 2. Juli 2009.  
Stuttgart, 2009, 14 Folien

Neumayer, Dirk:

### **Messen mit Computertomographie: Datenfusion zur kombinierten Auswertung von CT-Daten und anderen Messpunkten.**

In: Grzesiak, Andrzej (Hrsg.); Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung IPA: 14. Anwenderforum RPD: Durch Funktionsmuster zur Serientiefe. Herstellungsverfahren und zerstörungsfreie Testmethoden in der Produktentwicklung. 30. September 2009, Stuttgart.  
Stuttgart, 2009, 18 Folien

Oberer-Treitz, Susanne; Winkler, Bernd:

### **Sichere Mensch-Roboter-Kooperation: aktiv und passiv.**

In: Westkämper, Engelbert (Hrsg.); Verl, Alexander (Hrsg.); Verein zur Förderung produktionstechnischer Forschung u. a.: 5. Workshop für OTS-Systeme in der Robotik: Sichere Mensch-Roboter-Interaktion ohne trennende Schutzzäune. Fraunhofer IPA Workshop F 178, 15. Juni 2009, Stuttgart.  
Stuttgart, 2009, S. 70-81, 21 Folien

Okhan, Eftal:

### **Produktkonfiguration: Der schnellste Weg des Auftrags in die Produktion.**

In: Westkämper, Engelbert (Hrsg.); Verl, Alexander (Hrsg.); Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung IPA: Schlankes Auftragsmanagement: Produktion und Informationsfluss in der Lean-Fabrik. Fraunhofer IPA Seminar F 177, 7. Mai 2009, Stuttgart.  
Stuttgart: PpF - Verein zur Förderung produktionstechnischer Forschung, 2009, S. 32-46, 27 Folien

Ondratschek, Dieter:

### **Beschichtungsverfahren, -geräte und -anlagen: Reinigungs- und Spüleinrichtungen für Spritzgeräte und Lackversorgungskomponenten.**

In: Ondratschek, Dieter (Red.): besser lackieren! Jahrbuch 2010.  
Hannover: Vincentz, 2009, S. 185-189

Ondratschek, Dieter:

### **Beschichtungsverfahren, -geräte und -anlagen: Spritzlackieren ohne elektrostatische Lackaufladung.**

In: Ondratschek, Dieter (Red.): besser lackieren! Jahrbuch 2010.  
Hannover: Vincentz, 2009, S. 151-158

Ondratschek, Dieter; Niemeier, Wolfgang:

**Beschichtungsverfahren, -geräte und anlagen:  
Lackversorgungseinrichtungen mit dem Schwerpunkt  
der Verarbeitung von 2-K-Lackmaterialien.**

In: Ondratschek, Dieter (Red.): besser lackieren! Jahrbuch  
2010.

Hannover: Vincentz, 2009, S. 177-184

Ondratschek, Dieter:

**Energie- und materialeffiziente Lackierprozesstechnik  
als Erfolgsfaktor.**

In: Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und  
Automatisierung IPA: 50 Jahre IPA: Wir produzieren Zukunft.  
Vorträge Industrietag: 2. Juli 2009.

Stuttgart, 2009, 12 Folien

Ondratschek, Dieter:

**Lackiergeräte für Flüssiglacke und Automatisierung.**

In: Hoffmann, Ulrich (Seminarleitung); Fraunhofer-Institut für  
Produktionstechnik und Automatisierung IPA u. a.: Innovative  
Lackieranlagen planen: TAW-Seminar, 7.-8. 10. 2009,  
Stuttgart. Wege zur wirtschaftlichen und beherrschbaren  
Lackiererei.

Stuttgart, 2009, 55 Folien

Ondratschek, Dieter:

**Lackiertechnik - im Umfeld von Wirtschaft und  
Umweltgesetzgebung.**

In: Ondratschek, Dieter (Red.): besser lackieren! Jahrbuch  
2010.

Hannover: Vincentz, 2009, S. 16-21

Ondratschek, Dieter:

**Weiterbildungsmaßnahmen / Handlungshilfen.**

In: Ondratschek, Dieter (Red.): besser lackieren! Jahrbuch  
2010.

Hannover: Vincentz, 2009, S. 631

Parlitz, Christopher:

**Assistenzroboter im Haushalt - aktueller  
Entwicklungsstand heute und morgen.**

In: Westkämper, Engelbert (Hrsg.); Verl, Alexander (Hrsg.);  
Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und  
Automatisierung IPA: Fahrerlose Transportsysteme (FTS) und  
mobile Roboter: Chancen, Technologie, Wirtschaftlichkeit.  
Neueste Erkenntnisse und Trends in Materialfluss und mobiler  
Automation. 3. Fraunhofer IPA Technologieforum F 176,  
6. Mai 2009, Stuttgart.

Stuttgart: FpF - Verein zur Förderung produktionstechnischer  
Forschung, 2009, S. 107-119

Pfeiffer, Kai:

**Mobile Roboterplattform für Anwendungen im EX-  
gefährdeten Bereich (EX-Zone 1 und 2).**

In: Westkämper, Engelbert (Hrsg.); Verl, Alexander (Hrsg.);  
Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und  
Automatisierung IPA: Fahrerlose Transportsysteme (FTS) und  
mobile Roboter: Chancen, Technologie, Wirtschaftlichkeit.  
Neueste Erkenntnisse und Trends in Materialfluss und mobiler  
Automation. 3. Fraunhofer IPA Technologieforum F 176,  
6. Mai 2009, Stuttgart.

Stuttgart: FpF - Verein zur Förderung produktionstechnischer  
Forschung, 2009, S. 96-106

Pfeiffer, Kai; Rost, Arne:

**Vom künstlichen Muskel zum innovativen Roboterarm.**

In: Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und  
Automatisierung IPA: 50 Jahre IPA: Wir produzieren Zukunft.  
Vorträge Industrietag: 2. Juli 2009.

Stuttgart, 2009, 40 Folien

## Sonstige Artikel

Puzik, Arnold:

### **Präzisionsbearbeitung mit Robotern?: Mit 3-D-Piezo-Ausgleichsaktorik zur µm-genauen spanenden Bearbeitung.**

In: Westkämper, Engelbert (Hrsg.); Verl, Alexander (Hrsg.); Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung IPA: Bearbeiten mit Industrierobotern: Technologien - Anwendungen - Hardware/Software. Fraunhofer IPA Workshop F 187, 9. Nov. 2009, Stuttgart. Stuttgart: FpF - Verein zur Förderung produktionstechnischer Forschung, 2009, S. 21-32, 22 Folien

Rauschenbach, Matthias:

### **Risikoabsicherung von mechatronischen Systemen.**

In: Westkämper, Engelbert (Hrsg.); Verl, Alexander (Hrsg.); Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung IPA: Methoden der Produktentwicklung: Mit neuen Produkten schneller am Markt. Fraunhofer IPA Seminar F 193, 8. Dez. 2009, Stuttgart. Stuttgart, 2009, S. 119-138, 38 Folien

Reddig, Kevin:

### **Produktionstechnische Herausforderungen im Zukunftsmarkt Photovoltaik.**

In: Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung IPA: 50 Jahre IPA: Wir produzieren Zukunft. Vorträge Industrietag: 2. Juli 2009. Stuttgart, 2009, 13 Folien

Reinerth, Hans:

### **Mit Flächenoptimierung zum schlanken Layout.**

In: Westkämper, Engelbert (Hrsg.); Verl, Alexander (Hrsg.); Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung IPA: Schlanke Produktionsabläufe und zukunftsfähige Werkstrukturen: Konsolidieren - Sichern - Erweitern, Fraunhofer IPA-Seminar F 192, 24. November 2009, Stuttgart. Stuttgart: FpF - Verein zur Förderung produktionstechnischer Forschung, 2009, S. 51-71, 39 Folien

Reiser, Ulrich:

### **Robotics at Fraunhofer IPA - Service Robots.**

In: Granrath, Lorenz (Leitung); Fraunhofer Representative Office Japan u. a.: Mechatronics Seminar: November 30, 2009 in Yokkaichi, Japan. Tokyo, JP, 2009, 68 Folien

Rochowicz, Markus; Konrad, Konstantin; Meyer, Tanja:

### **Safety and quality aspects of nanomaterials production an handling.**

In: Kolaric, Ivica (Conference Chair) u. a. ; Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung IPA: Stuttgart NanoDays '09: visions for short and medium-term applications. International Conference, September 14-15, 2009. Stuttgart, 2009, S. 372-380, 16 Folien

Rochowicz, Markus:

### **Sauberkeitsspezifikationen der PV-Industrie.**

In: Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung IPA: 50 Jahre IPA: Wir produzieren Zukunft. Vorträge Industrietag: 2. Juli 2009. Stuttgart, 2009, 14 Folien

Romankiewicz, Katja:

### **Röntgenfluoreszenzanalyse (RFA): Grundlagen und Anwendungen.**

In: Deutsche Gesellschaft für Galvano- und Oberflächentechnik u. a.: Aktuelle Analysenmethoden in der Galvanotechnik: Theorie und Praxis: Workshop, 23. Juni 2009, Stuttgart. Stuttgart, 2009, S. 1-10, 20 Folien

Romankiewicz, Katja:

**Veränderung der Chromeigenschaften durch Modulation des Abscheidestroms.**

In: Westkämper, Engelbert (Hrsg.); Verl, Alexander (Hrsg.); Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung IPA: Hartchromtagung: Fraunhofer IPA Tagung, 11. November 2009, Stuttgart. Tagungsband. Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag, 2009, S. 37-50, 25 Folien

Rommel, Steve:

**Optimierung und Absicherung von Prozessen mit Hilfe statistischer Versuchsplanung.**

In: Westkämper, Engelbert (Hrsg.); Verl, Alexander (Hrsg.); Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung IPA: Methoden der Produktentwicklung: Mit neuen Produkten schneller am Markt. Fraunhofer IPA Seminar F 193, 8. Dez. 2009, Stuttgart. Stuttgart, 2009, S. 155-168, 26 Folien

Rosenberg, Harald von:

**Zukunft der Low-Cost-Navigation: Sensorik, Algorithmen und Anwendungen.**

In: Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung IPA: 50 Jahre IPA: Wir produzieren Zukunft. Vorträge Industrietag: 2. Juli 2009. Stuttgart, 2009, 14 Folien

Santos, Claudia Beatriz dos:

**Combined Wear-Corrosion Loads - Tribocorrosion Characterisation.**

In: Suchentrunk, Richard (Hrsg.): Jahrbuch Oberflächentechnik 2009. Bad Saulgau: Leuze, 2009, S. 258-263

Scheibe, Andreas:

**Neue Prozess- und Geräteentwicklung: Simulation von Lacktrocknern.**

In: Ondratschek, Dieter (Red.): besser lackieren! Jahrbuch 2010. Hannover: Vincentz, 2009, S. 517-523

Schlenker, Dirk:

**Skalierbar Produzieren mit dem µProductionTower.**

In: Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung IPA: 50 Jahre IPA: Wir produzieren Zukunft. Vorträge Industrietag: 2. Juli 2009. Stuttgart, 2009, 8 Folien

Schloske, Alexander; Mannuß, Oliver; Henke, Jürgen:

**Besondere Merkmale in Theorie und Praxis sowie deren Durchgängigkeit über die FMEA-Arten bis hin zum Control-Plan.**

In: Westkämper, Engelbert (Hrsg.); Verl, Alexander (Hrsg.); Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung IPA: FMEA für Experten: Fehlervermeidung in der Produktentwicklung. Fraunhofer IPA Workshop F 189, 12. Nov. 2009, Stuttgart. Stuttgart, 2009, S. 104-128, 48 Folien

Schloske, Alexander:

**CAQ-Systeme.**

In: Bullinger, Hans-Jörg (Hrsg.); Spath, Dieter (Hrsg.); Warnecke, Hans-Jürgen (Hrsg.); Westkämper, Engelbert (Hrsg.); Fraunhofer Gesellschaft: Handbuch Unternehmensorganisation: Strategien, Planung, Umsetzung. Berlin u. a.: Springer, 2009, Kap. 11. 8, S. 804-813

## Sonstige Artikel

Schloske, Alexander:

### **Effizientes und effektives Erstellen von Prozess-FMEA: Tipps und Tricks.**

In: APIS: XV. Benutzertreffen IQ-Software: Tagungsband, 22. -23. 09. 2009, Kassel.  
Braunschweig, 2009, S. 44-74, 59 Folien

Schloske, Alexander:

### **Entwicklung sicherer mechatronischer Systeme "Funktionale Sicherheit".**

In: Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung IPA: 50 Jahre IPA: Wir produzieren Zukunft. Vorträge Industrietag: 2. Juli 2009.  
Stuttgart, 2009, 29 Folien

Schloske, Alexander; Mannuß, Oliver; Henke, Jürgen:

### **Erstellung von Basis-FMEAs mit IQ-FMEA.**

In: Westkämper, Engelbert (Hrsg.); Verl, Alexander (Hrsg.); Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung IPA: FMEA für Experten: Fehlervermeidung in der Produktentwicklung. Fraunhofer IPA Workshop F 189, 12. Nov. 2009, Stuttgart.  
Stuttgart, 2009, S. 84-103, 38 Folien

Schloske, Alexander; Mannuß, Oliver; Henke, Jürgen:

### **FMEA und Funktionale Sicherheit.**

In: Westkämper, Engelbert (Hrsg.); Verl, Alexander (Hrsg.); Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung IPA: FMEA für Experten: Fehlervermeidung in der Produktentwicklung. Fraunhofer IPA Workshop F 189, 12. Nov. 2009, Stuttgart.  
Stuttgart, 2009, S. 129-170, 82 Folien

Schloske, Alexander; Henke, Jürgen:

### **FPM: Fehlerprozessmatrix zur qualitäts- und kostenmäßigen Risikobeurteilung.**

In: Westkämper, Engelbert (Hrsg.); Verl, Alexander (Hrsg.); Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung IPA: FMEA für Experten: Fehlervermeidung in der Produktentwicklung. Fraunhofer IPA Workshop F 189, 12. Nov. 2009, Stuttgart.  
Stuttgart, 2009, S. 171-186, 29 Folien

Schloske, Alexander; Mannuß, Oliver; Henke, Jürgen:

### **Die häufigsten Fehler bei der FMEA-Anwendung und wie ich sie vermeiden kann: 7 Regeln zur effektiven FMEA-Anwendung.**

In: Westkämper, Engelbert (Hrsg.); Verl, Alexander (Hrsg.); Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung IPA: FMEA für Experten: Fehlervermeidung in der Produktentwicklung. Fraunhofer IPA Workshop F 189, 12. Nov. 2009, Stuttgart.  
Stuttgart, 2009, S. 19-38, 37 Folien

Schloske, Alexander:

### **Kunden- und wettbewerbsorientierte Produktentwicklung mit Quality Function Deployment (QFD).**

In: Westkämper, Engelbert (Hrsg.); Verl, Alexander (Hrsg.); Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung IPA: Kunden- und wettbewerbsorientierte Produktentwicklung mit Quality Function Deployment (QFD): Gezielt Kundenanforderungen herausarbeiten und in wettbewerbsfähige Produkte umsetzen. Fraunhofer IPA Workshop F 180, 1. Oktober 2009, Stuttgart.  
Stuttgart, FpF 2009, S. 14-52, 75 Folien

Schloske, Alexander:

**Kundenorientierte Produktentwicklung mit Hilfe von Quality Function Deployment (QFD).**

In: Westkämper, Engelbert (Hrsg.); Verl, Alexander (Hrsg.); Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung IPA: Methoden der Produktentwicklung: Mit neuen Produkten schneller am Markt. Fraunhofer IPA Seminar F 193, 8. Dez. 2009, Stuttgart.  
Stuttgart, 2009, S. 75-101, 51 Folien

Schloske, Alexander:

**Methoden zur Risikoabsicherung.**

In: Westkämper, Engelbert (Hrsg.); Verl, Alexander (Hrsg.); Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung IPA: Methoden der Produktentwicklung: Mit neuen Produkten schneller am Markt. Fraunhofer IPA Seminar F 193, 8. Dez. 2009, Stuttgart.  
Stuttgart, 2009, S. 102-118, 32 Folien

Schloske, Alexander:

**Methodenübersicht und -klassifizierung entlang des Produktentstehungsprozesses.**

In: Westkämper, Engelbert (Hrsg.); Verl, Alexander (Hrsg.); Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung IPA: Methoden der Produktentwicklung: Mit neuen Produkten schneller am Markt. Fraunhofer IPA Seminar F 193, 8. Dez. 2009, Stuttgart.  
Stuttgart, 2009, S. 42-63, 41 Folien

Schloske, Alexander:

**Produkt- und Qualitätsmanagement.**

In: Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung IPA: 50 Jahre IPA: Wir produzieren Zukunft. Vorträge Industrietag: 2. Juli 2009.  
Stuttgart, 2009, 9 Folien

Schloske, Alexander; Thieme, Paul:

**Qualität als entscheidender Wettbewerbsfaktor.**

In: Bullinger, Hans-Jörg (Hrsg.); Spath, Dieter (Hrsg.); Warnecke, Hans-Jürgen (Hrsg.); Westkämper, Engelbert (Hrsg.); Fraunhofer Gesellschaft: Handbuch Unternehmensorganisation: Strategien, Planung, Umsetzung. Berlin u. a.: Springer, 2009, Kap. 3. 4, S. 150-153

Schloske, Alexander; Thieme, Paul:

**Qualitätsmanagementsysteme.**

In: Bullinger, Hans-Jörg (Hrsg.); Spath, Dieter (Hrsg.); Warnecke, Hans-Jürgen (Hrsg.); Westkämper, Engelbert (Hrsg.); Fraunhofer Gesellschaft: Handbuch Unternehmensorganisation: Strategien, Planung, Umsetzung. Berlin u. a.: Springer, 2009, Kap. 10. 6, S. 665-675

Schloske, Alexander; Mannuß, Oliver:

**Reduzierung von Verfügbarkeitsrisiken in Produktionssystemen: Anwendung der Konstruktions- und Verfügbarkeits-FMEA.**

In: Westkämper, Engelbert (Hrsg.); Verl, Alexander (Hrsg.); Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung IPA: FMEA für Experten: Fehlervermeidung in der Produktentwicklung. Fraunhofer IPA Workshop F 189, 12. Nov. 2009, Stuttgart.  
Stuttgart, 2009, S. 187-198, 22 Folien

Schloske, Alexander:

**Risikomanagement mit der FMEA.**

In: Kamiske, Gerd F. (Hrsg.): Qualitätstechniken für Ingenieure. Düsseldorf: Symposion Publishing, 2009, S. 285-327

Schloske, Alexander:

**TEEM - Total Energy Efficiency Management - Mit Energiemanagement zur energieeffizienten Produktion.**

In: Westkämper, Engelbert (Hrsg.); Verl, Alexander (Hrsg.); Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung IPA: Energiemanagement zur Kostensenkung in der Produktion: TEEM - Total Energy Efficiency Management. Fraunhofer IPA Workshop F 182, 6. Oktober 2009, Stuttgart.  
Stuttgart, 2009, S. 14-29, 29 Folien

Schloske, Alexander; Mannuß, Oliver; Henke, Jürgen:

**Tipps und Tricks zur FMEA-Erstellung mit IQ-FMEA.**

In: Westkämper, Engelbert (Hrsg.); Verl, Alexander (Hrsg.); Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung IPA: FMEA für Experten: Fehlervermeidung in der Produktentwicklung. Fraunhofer IPA Workshop F 189, 12. Nov. 2009, Stuttgart.  
Stuttgart, 2009, S. 39-83, 88 Folien

Schmauz, Günther; Ernst, Christian; Rochowicz, Markus:

**Gestaltung und Betrieb eines Sauberraumes in der Automobil- und Zulieferindustrie.**

In: VDI-Gesellschaft Bauen und Gebäudetechnik: Reinraumtechnik: Neue Herausforderungen in der Pharma-, Halbleiter- und Nanotechnik: 13. VDI-Tagung, Frankfurt/Main, 26. und 27. Oktober 2009.  
Düsseldorf: VDI Verlag, 2009, S. 131-140

Schmauz, Günther; Ernst, Christian:

**»LiSA« Messsystem zur schnellen und automatisierten Bestimmung der Bauteilsauberkeit und Überwachung von Reinigungsprozessen.**

In: Krieg, Mark C. (Fach. Koord.); fairexperts GmbH u. a.: Reinigung in Produktion und Instandhaltung: 20. -22. Oktober 2009, Stuttgart. 7. Internationale Leitmesse, Forum begleitend zur parts2clean.  
Neuffen, 2009, 17 Folien

Schmid, Ralph:

**"Taktorientierte Produktion" - das Kernelement des Produktionssystems für Werkstattfertiger.**

In: Westkämper, Engelbert (Hrsg.); Verl, Alexander (Hrsg.); Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung IPA: PIT - Produzieren im Takt: Das schlanke Produktionssystem für kleine und mittelständische Unternehmen. Fraunhofer IPA-Seminar F 183, 22. Okt. 2009, Stuttgart.  
Stuttgart: PpF - Verein zur Förderung produktionstechnischer Forschung, 2009, S. 31-44, 24 Folien

Schmid, Ralph:

**Anforderungen an eine effiziente Auftragsbearbeitung durch die ganzheitliche Betrachtung des Produktionsprozesses - von der Konstruktion zum Kunden.**

In: Westkämper, Engelbert (Hrsg.); Verl, Alexander (Hrsg.); Verein zur Förderung produktionstechnischer Forschung u. a.: Spannungsfeld Auftragszentrum: Konfliktpotenziale und Lösungsansätze. 14. Stuttgarter PPS-Tage. Seminar und Workshop F 181, 6. und 7. Oktober 2009, Stuttgart.  
Stuttgart, 2009, S. 69-87

Schmid, Ralph:

**Anforderungen an eine schlanke Auftragsbearbeitung durch die ganzheitliche Betrachtung des Produktionsprozesses - von der Konstruktion bis zum Kunden.**

In: Westkämper, Engelbert (Hrsg.); Verl, Alexander (Hrsg.); Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung IPA: Schlankes Auftragsmanagement: Auftragsabwicklungsprozesse "lean" gestalten. Fraunhofer IPA Seminar F 190, 19. November 2009, Stuttgart.  
Stuttgart: PpF - Verein zur Förderung produktionstechnischer Forschung, 2009, S. 59-74, 30 Folien

Schmid, Ralph:

**Effizientes Auftragsmanagement für schlanke Produktionen.**

In: Westkämper, Engelbert (Hrsg.); Verl, Alexander (Hrsg.); Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung IPA: Schlankes Auftragsmanagement: Produktion und Informationsfluss in der Lean-Fabrik. Fraunhofer IPA Seminar F 177, 7. Mai 2009, Stuttgart. Stuttgart: FpF - Verein zur Förderung produktionstechnischer Forschung, 2009, S. 7-24, 34 Folien

Schmid, Ralph:

**Produktion und Logistik zukunftsorientiert planen und steuern.**

In: Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung IPA: 50 Jahre IPA: Wir produzieren Zukunft. Vorträge Industrietag: 2. Juli 2009. Stuttgart, 2009, 25 Folien

Schneider, Matthias:

**Trocknen: IR-Strahlungstrocknung.**

In: Ondratschek, Dieter (Red.): besser lackieren! Jahrbuch 2010. Hannover: Vincentz, 2009, S. 280-284

Schneider, Urs:

**Individuelle Mobilität durch mechatronische Prothesen.**

In: Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung IPA: 50 Jahre IPA: Wir produzieren Zukunft. Vorträge Industrietag: 2. Juli 2009. Stuttgart, 2009, 25 Folien

Schöllhammer, Oliver:

**Beschleunigung von administrativen Prozessen mit LeanOffice.**

In: Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung IPA: 50 Jahre IPA: Wir produzieren Zukunft. Vorträge Industrietag: 2. Juli 2009. Stuttgart, 2009, 10 Folien

Schwandner, Oliver:

**Szenariotechnik und Roadmapping.**

In: Westkämper, Engelbert (Hrsg.); Verl, Alexander (Hrsg.); Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung IPA: Methoden der Produktentwicklung: Mit neuen Produkten schneller am Markt. Fraunhofer IPA Seminar F 193, 8. Dez. 2009, Stuttgart. Stuttgart, 2009, S. 64-74, 20 Folien

Schwandner, Oliver:

**Vorstellung eines Referenzprojekts zum Quality Function Deployment (QFD).**

In: Westkämper, Engelbert (Hrsg.); Verl, Alexander (Hrsg.); Verein zur Förderung produktionstechnischer Forschung u. a.: Kunden- und wettbewerbsorientierte Produktentwicklung mit Quality Function Deployment (QFD): Gezielt Kundenanforderungen herausarbeiten und in wettbewerbsfähige Produkte umsetzen. Fraunhofer IPA Workshop F 180, 1. Oktober 2009, Stuttgart. Stuttgart, 2009, S. 53-67, 28 Folien

Schwenk, Daniel:

**Holzbearbeitungszentrum EnPro1.**

In: Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung IPA: 50 Jahre IPA: Wir produzieren Zukunft. Vorträge Industrietag: 2. Juli 2009. Stuttgart, 2009, 18 Folien

Steinhilper, Rolf:

**Remanufacturing und Recycling.**

In: Bullinger, Hans-Jörg (Hrsg.); Spath, Dieter (Hrsg.); Warnecke, Hans-Jürgen (Hrsg.); Westkämper, Engelbert (Hrsg.); Fraunhofer Gesellschaft: Handbuch Unternehmensorganisation: Strategien, Planung, Umsetzung. Berlin u. a.: Springer, 2009, Kap. 4. 5, S. 273-293

## Sonstige Artikel

Strohbeck, Ulrich:

**Beschichtungsverfahren, -geräte und -anlagen:  
Pulverbeschichten.**

In: Ondratschek, Dieter (Red.): besser lackieren! Jahrbuch 2010.

Hannover: Vincentz, 2009, S. 234-255

Strohbeck, Ulrich:

**Pulverlackiertechnologie.**

In: Hoffmann, Ulrich (Seminarleitung); Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung IPA u. a.: Innovative Lackieranlagen planen: TAW-Seminar, 7.-8. 10. 2009, Stuttgart. Wege zur wirtschaftlichen und beherrschbaren Lackiererei.

Stuttgart, 2009, 55 Folien

Thieme, Paul:

**Qualitäts- und Prozesssicherung in Lackierbetrieben:  
Qualitäts- und Umweltmanagement - der Schlüssel zum  
Unternehmenserfolg?**

In: Ondratschek, Dieter (Red.): besser lackieren! Jahrbuch 2010.

Hannover: Vincentz, 2009, S. 422-433

Traube, Andreas; Brode, Tobias:

**Immediate drop on demand technology (i-doT): Direct  
High Throughput Liquid Handling out of MWPs.**

In: European Laboratory Robotics Interest Group: Drug Discovery 2009: Liverpool, 7-8th September 2009.

o. O. , 2009, 23 Folien

Verl, Alexander:

**Anwendungsorientierte Forschung in der  
Produktoptimierung.**

In: Kirk, Christian (Hrsg.); Baden-Württemberg: Wirtschaftsstandort Metropolregion Stuttgart: Chancen und Perspektiven einer Region.

Darmstadt: Europäischer Wirtschafts Verlag, 2009, S. 60-65

Verl, Alexander:

**Automatisierung made in Stuttgart.**

In: Westkämper, Engelbert (Hrsg.); Verl, Alexander (Hrsg.); Wissenschaftliche Gesellschaft Produktionstechnik u. a.: Intelligente Produktionssysteme: Bericht zur WGP Summer School, Stuttgart, 21. -24. Juli 2009.

Stuttgart, 2009, S. 42-45, 8 Folien

Verl, Alexander; Höpf, Michael:

**Effizientes Beobachten und Bedienen mit Robotern in  
der Prozessindustrie.**

In: VDI/VDE-Gesellschaft Mess- und Automatisierungstechnik (GMA): Automation 2009: Der Automatisierungskongress in Deutschland. Fit for Efficiency. 16. und 17 Juni 2009, Baden-Baden.

Düsseldorf, 2009, 12 S.

Verl, Alexander:

**Future Prospects of the EU Robotics Research - The  
Fraunhofer IPA Perspective.**

In: CECO u. a.: International Symposium on Intelligent Robot and Mechatronics ISIR 2009: Final Program. June 24th, 2009, CECO, Changwon, Korea.

Changwon, Korea, 2009, 7 Folien

Wahren, Sylvia:

**DIN EN 16001 Einführung eines  
Energiemanagementsystems - Nutzen und Vorteile für  
Unternehmen.**

In: Westkämper, Engelbert (Hrsg.); Verl, Alexander (Hrsg.); Verein zur Förderung produktionstechnischer Forschung; Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung IPA: Energiemanagement zur Kostensenkung in der Produktion: TEEM - Total Energy Efficiency Management. Fraunhofer IPA Workshop F 182, 6. Oktober 2009, Stuttgart.

Stuttgart, FpF 2009, S. 30-39, 18 Folien

Wahren, Sylvia:

**REACH - nächste Schritte für die betroffenen Unternehmen.**

In: Westkämper, Engelbert (Hrsg.); Verl, Alexander (Hrsg.); Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung IPA: Internationale Stoffverbote, RoHS, REACH, EuP sowie ElektroG/WEEE in der Praxis: Vorausschauendes unternehmerisches Handeln für alle Beteiligten der Elektroindustrie und des Elektroaltgeräte-Recyclings. ExFo 2009 - Fraunhofer IPA Expertenforum F 194, Abschlussstagung, 9. Dezember 2009, Stuttgart. Stuttgart: FpF - Verein zur Förderung produktionstechnischer Forschung, 2009, S. 70-80, 19 Folien

Wanner, Martin-Christoph:

**Ships.**

In: Bullinger, Hans-Jörg (Ed.): Technology Guide: Principles, Applications, Trends. Berlin u. a.: Springer, 2009, S. 300-303

Wesoly, Michael; Bucher, Michael; Ohlhausen, Peter:

**Wissensmanagement.**

In: Bullinger, Hans-Jörg (Hrsg.); Spath, Dieter (Hrsg.); Warnecke, Hans-Jürgen (Hrsg.); Westkämper, Engelbert (Hrsg.); Fraunhofer Gesellschaft: Handbuch Unternehmensorganisation: Strategien, Planung, Umsetzung. Berlin u. a.: Springer, 2009, Kap. 11.1, S. 700-717

Westkämper, Engelbert:

**Digital production.**

In: Bullinger, Hans-Jörg (Ed.): Technology Guide: Principles, Applications, Trends. Berlin u. a.: Springer, 2009, S. 482-485

Westkämper, Engelbert:

**Digitale Produktion - Herausforderung und Nutzen.**

In: Bullinger, Hans-Jörg (Hrsg.); Spath, Dieter (Hrsg.); Warnecke, Hans-Jürgen (Hrsg.); Westkämper, Engelbert (Hrsg.); Fraunhofer Gesellschaft: Handbuch Unternehmensorganisation: Strategien, Planung, Umsetzung. Berlin u. a.: Springer, 2009, Kap. 8.1, S. 515-529

Westkämper, Engelbert:

**Intelligente Produktionssysteme - Motivation, Einführung & Ziele.**

In: Westkämper, Engelbert (Hrsg.); Verl, Alexander (Hrsg.); Wissenschaftliche Gesellschaft Produktionstechnik u. a.: Intelligente Produktionssysteme: Bericht zur WGP Summer School, Stuttgart, 21. -24. Juli 2009. Stuttgart, 2009, S. 23-35

Westkämper, Engelbert; Carpanzano, Emanuele; Constantinescu, Carmen; Decubber, Chris; Elsner, Philip; Groothedde, René; Hellingrath, Bernd; Höpf, Michael; Holeczek, Harald; Jovane, Francesco; Koriath, Hans-Joachim; Nollau, Sebastian; Paci, Augusta M. ; Pflaum, Hartmut; Reh, Daniel; Stender, Siegfried; Schäfer, Wolfgang; Schaeffer, Christoph; Williams, David; Witthaut, Markus u. a.:

**The Proactive Initiative ManuFuture Roadmap.**

In: Jovane, Francesco; Westkämper, Engelbert; Williams, David The ManuFuture Road: Towards Competitive and Sustainable High-Adding-Value Manufacturing. Berlin u. a.: Springer, 2009, S. 123-147

Westkämper, Engelbert; Balve, Patrick:

**Technologiemanagement in produzierenden Unternehmen.**

In: Bullinger, Hans-Jörg (Hrsg.); Spath, Dieter (Hrsg.); Warnecke, Hans-Jürgen (Hrsg.); Westkämper, Engelbert (Hrsg.); Fraunhofer Gesellschaft: Handbuch Unternehmensorganisation: Strategien, Planung, Umsetzung. Berlin u. a.: Springer, 2009, Kap. 3.2, S. 126-140

## Sonstige Artikel

Westkämper, Engelbert:

### **Turbulentes Umfeld von Unternehmen.**

In: Westkämper, Engelbert (Hrsg.) u. a.: Wandlungsfähige Produktionsunternehmen: Das Stuttgarter Unternehmensmodell. Berlin u. a.: Springer, 2009, Kapitel 2, S. 7-23

Westkämper, Engelbert:

### **Wandlungsfähige Organisation und Fertigung in dynamischen Umfeldern.**

In: Bullinger, Hans-Jörg (Hrsg.); Spath, Dieter (Hrsg.); Warnecke, Hans-Jürgen (Hrsg.); Westkämper, Engelbert (Hrsg.); Fraunhofer Gesellschaft: Handbuch Unternehmensorganisation: Strategien, Planung, Umsetzung. Berlin u. a.: Springer, 2009, Kap. 2.1, S. 25-37

Westkämper, Engelbert:

### **Wandlungsfähige Produktionsunternehmen - Einführung.**

In: Westkämper, Engelbert (Hrsg.) u. a.: Wandlungsfähige Produktionsunternehmen: Das Stuttgarter Unternehmensmodell. Berlin u. a.: Springer, 2009, Kapitel 1, S. 1-5

Westkämper, Engelbert (Interview):

### **Nachhaltigkeit ist die Zukunft.**

In: Fraunhofer Gesellschaft: Fraunhofer Technologie. Perspektiven. Hannover: Heise, 2009, S. 17

Wilhelm, Tina:

### **Thermografie- und Shearografieanwendungen zur prozessintegrierten Bauteildiagnose.**

In: Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung IPA: 50 Jahre IPA: Wir produzieren Zukunft. Vorträge Industrietag: 2. Juli 2009. Stuttgart, 2009, 24 Folien

Wilhelm, Tina; Montnacher, Joachim; Schmidt, Wolfgang:  
**Ultraschallangeregte Thermographie zur prozessintegrierten Qualitätskontrolle.**

In: Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung der angewandten Forschung / Fraunhofer-Allianz Vision: Wärmefluss-Thermographie als zerstörungsfreies Prüfverfahren für die Qualitätssicherung in der Produktion: Handbuch. Seminar mit Praktikum, 12. und 13. November 2009, Erlangen. Braunschweig, 2009, 10 S.

Wochinger, Thomas:

### **Anforderungen und Lösungen für ein schlankes Auftragsmanagement.**

In: Westkämper, Engelbert (Hrsg.); Verl, Alexander (Hrsg.); Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung IPA: Schlankes Auftragsmanagement: Produktion und Informationsfluss in der Lean-Fabrik. Fraunhofer IPA Seminar F 177, 7. Mai 2009, Stuttgart. Stuttgart: FpF - Verein zur Förderung produktionstechnischer Forschung, 2009, S. 25-31, 13 Folien

Wöltje, Kay:

### **Einsatz von Simulationssystemen bei der Planung von Montagesystemen.**

In: Westkämper, Engelbert (Hrsg.); Verl, Alexander (Hrsg.); Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung IPA: Montage in der Krise - Wie geht es weiter in 2010: Zeitgemäße Planung - zielgerichtete Umsetzung - wirtschaftlicher Betrieb. Fraunhofer IPA Montageforum F 186, 23. Okt. 2009, Stuttgart. Stuttgart: FpF - Verein zur Förderung produktionstechnischer Forschung, 2009, S. 89-106, 34 Folien

---

# ZEITSCHRIFTEN (HERAUSGEBERSCHAFT)

---

Holeczek, Harald (Redaktion der Rubrik Photovoltaik):

**Galvanotechnik: Älteste Fachzeitschrift für die Praxis der Oberflächentechnik.**

Saulgau: Leuze

Verl, Alexander (Editorial Board):

**Industrial Robot: The international journal of industrial and service robotics.**

Bradford, UK: Emerald Group Publishing Ltd.

Westkämper, Engelbert (Redaktionsbeirat); Verband Deutscher Maschinen- und Anlagenbau:

**Intelligenter produzieren.**

Frankfurt/M.: VDMA Verlag

Sharon, Andre (Ed.-in-Chief); Hägele, Martin (Ed.) u.a.; Schraft, Rolf Dieter (Editorial Board):

**Robotics and Computer-Integrated Manufacturing: An international journal of manufacturing, product and process development.**

Amsterdam u.a.: Elsevier

Westkämper, Engelbert (wiss. Leit.); Verl, Alexander (wiss. Beirat); Spaeth, Birgit (Red.):

**wt Werkstattstechnik online.**

Düsseldorf: Springer-VDI Verlag



---

# IMPRESSUM

---

## **Herausgeber**

Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und  
Automatisierung IPA, Stuttgart

## **Institutsleitung**

Prof. Dr.-Ing. Prof. e. h. Dr.-Ing. e. h. Dr. h. c. mult.  
Engelbert Westkämper  
Prof. Dr.-Ing. Alexander Verl

## **Anschrift**

Nobelstraße 12 | 70569 Stuttgart  
Postfach 800469 | 70504 Stuttgart  
Telefon +49 711 970-00 | Fax -1399  
[www.ipa.fraunhofer.de](http://www.ipa.fraunhofer.de)

## **Redaktion**

Hubert Grosser  
Luzia Schuhmacher  
Jörg-D. Walz  
Anita Wenzel-Ortlieb

## **DTP**

Hanne Betz

Titelbild Die virtuelle Fabrik bringt Effizienz in die Produktion  
und den Vertrieb

## **Druck**

GO Druck Media GmbH,  
Kirchheim unter Teck

© Fraunhofer IPA