



**Fraunhofer**

**IPT**

FRAUNHOFER-INSTITUT FÜR PRODUKTIONSTECHNOLOGIE IPT



**JAHRESBERICHT**  
**2014**  
**ANNUAL REPORT**

**FRAUNHOFER IPT**

**JAHRESBERICHT**  
**2014**  
**ANNUAL REPORT**

# VORWORT

## FOREWORD

*Prof. Dr.-Ing. Robert Schmitt*

*Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Dr. h.c. Dr. h.c. Fritz Klocke*

*Prof. Dr.-Ing. Dipl.-Wirt. Ing. Günther Schuh*

*Prof. Dr.-Ing. Christian Brecher*

Liebe Leserinnen und Leser,

das Jahr 2014 war wieder ein AWK-Jahr: Das 26. Aachener Werkzeugmaschinen-Kolloquium drehte sich dieses Mal ganz um das Thema »Industrie 4.0« und zeigte einem hochkarätigen Publikum aus Wissenschaft und Wirtschaft die Aachener Perspektive dazu auf: Denn hier geht es nicht nur um neue Formen intelligenter Produktions- und Automatisierungstechnik, sondern auch um eine zukünftige Gestaltung von Produktion, Engineering und Produktionsumfeld, die auch den demografischen Wandel in Deutschland berücksichtigt.

Auch wir haben uns 2014 in gewisser Weise neu aufgestellt: Unser lang ersehnter Neubau wurde im Spätherbst bezugsfertig an uns übergeben. Dank des unermüdlichen Einsatzes vieler engagierter Menschen können wir ihn nun mit Leben füllen. Ein Ziel der Planung war es, Platz zu schaffen für Kommunikation und Kreativität quer durch alle Abteilungen. Im Herzen des Neubaus entsteht deshalb nun ein, sich noch in der Ausgestaltung befindlicher, aber schon nutzbarer Lounge-Bereich, in dem wir unsere interne Vernetzung, die wir bereits durch regelmäßige Infotage und andere Maßnahmen angestoßen haben, konsequent weiterführen.

Und so arbeiten wir auch im Außenfeld weiter an unserem Netzwerk: Auf dem RWTH Aachen Campus entstehen gerade zahlreiche neue Forschungscluster und -zentren, die uns thematisch und organisatorisch eng verbunden sind. In unseren Geschäftsfeldern und in Konsortialstudien mit Industrie- und Forschungspartnern greifen wir Trends wie »Additive Manufacturing« oder die Herausforderungen im Turbomaschinenbau auf und gewinnen weitere neue Impulse. Ein Beispiel dafür ist die Zusammenarbeit mit dem Fraunhofer-Institut für Lasertechnik ILT im Innovationscluster »AdaM«: Gemeinsam mit Partnern aus der Luftfahrt und dem Energiesektor wollen wir die sehr gute Zusammenarbeit nach Projektende in ein Aachener Zentrum für Turbomaschinen einmünden lassen, um die wertvollen Dialoge und Geschäftsbeziehungen weiter zu verstetigen.

Dear readers,

The year 2014 was another AWK year: the 26<sup>th</sup> edition of the Aachener Werkzeugmaschinen-Kolloquium was dedicated to the subject "Industry 4.0" and familiarized an audience of highly respected experts from science and industry with the potentials and perspectives of this development as seen from our vantage point in Aachen. "Industry 4.0", after all, is not only about new forms of intelligent production and automation technology, but also about the future of manufacturing, engineering and their social environment, something that also includes the demographic changes in Germany.

We, too, have experienced some sort of change in the past year: our much anticipated new building was finally completed, and we could move in late in the autumn. Thanks to the untiring commitment of many dedicated people, we can now begin to fill our new premises with life. It was one objective of our plans to create space for communication and creativity across all departments and disciplines. This is why, at the heart of the new building, we are now developing a lounge area – which is still partly under construction, although ready for use – that will provide us with many opportunities of taking the idea of internal networking to another level, after we have made a promising start through the introduction of regular information forums and other events.

The cultivation of external networks, meanwhile, is another focus of our work: several new research clusters and centers with close ties to our work and our organizational structures are currently under construction on the campus of the RWTH Aachen University. In our business units and in the consortial studies that we conduct together with partners from the fields of industry and research, we are committed to developing fresh insights and to overcoming technological challenges in areas such as additive manufacturing and the construction of turbo engines. One example for this is our close collaboration with the Fraunhofer Institute for Laser Technology ILT in the



Unsere Projektgruppe Entwurfstechnik Mechatronik in Paderborn hat sich prächtig entwickelt und sieht im Frühjahr 2015 ihrer Evaluation entgegen. Ziel ist die Umwandlung der Gruppe in ein eigenständiges Institut. Wir sehen der Begutachtung mit Zuversicht entgegen und freuen uns auch auf den »Blick von außen«, den die Gutachter uns geben werden. Wir werden die Ratschläge gern aufgreifen und in die Weiterentwicklung der Gruppe einbringen.

Einige Glückwünsche können wir schon jetzt übermitteln: zunächst an das Fraunhofer CMI, unser Center in Boston/USA. Als Keimzelle für Fraunhofer USA feierte es im Jahr 2014 sein 20-jähriges Bestehen. Hierzu gratulieren wir herzlich! Und ein weiterer Glückwunsch, der mir persönlich besonders am Herzen liegt, geht an meinen Weggefährten im Direktorium des Fraunhofer IPT: an Christian Brecher. Ihm wünsche ich in seiner neuen Funktion als stellvertretender Institutsleiter des Fraunhofer IPT viel Erfolg und Freude an der nun noch umfassenderen Zusammenarbeit in unserer gemeinsamen Wirkungsstätte!

Gemeinsam danken wir natürlich all jenen, die mit ihrer Arbeit und Förderung die Grundlage für all das Erreichte schaffen: unseren Kunden, Partnern, Förderern und Freunden des Instituts ebenso wie der mit uns gewachsenen hervorragenden Mannschaft an Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern. Ohne sie wären die beschriebenen Entwicklungen in diesem Jahresbericht nicht möglich. Wir freuen uns darauf, weiterhin vertrauensvoll und partnerschaftlich mit ihnen zusammen zu arbeiten und auch 2015 wieder zahlreiche spannende Projekte zum Erfolg zu führen.

Aachen, im Februar 2015

Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Dr. h.c. Dr. h.c. Fritz Klocke

“AdaM” innovation cluster: we are currently planning to continue the excellent cooperation with our partners in the aviation and energy industries beyond the end of the project by establishing a Turbo Engine Center here in Aachen, which will provide an institutional base for our technological dialogue and the further cultivation of our business relationship.

Our Paderborn-based Project Group for Mechatronic Systems Design has developed extremely well and will be evaluated in the spring of 2015. We are planning to convert this Group into an independent institute and are confidently looking forward to the forthcoming assessment and any advice the external experts may offer for the further development.

Please allow me to convey my congratulations to a couple of particularly successful members of the Fraunhofer family: first to the Fraunhofer CMI, our Boston-based center and the nucleus for Fraunhofer USA, which celebrated its 20<sup>th</sup> anniversary in 2014. Here's to you! Secondly, and on a particularly personal note, I would like to give my best wishes to Christian Brecher, my long-time companion in the Board of the Fraunhofer IPT and the new Deputy Chief Executive of the Fraunhofer IPT. I hope that he will continue to enjoy our close cooperation, now that we are taking it to an ever higher level in our newly constructed common premises.

Together, of course, we would like to express our gratitude to those whose efforts, work and continuous support provide the foundation for everything we have achieved: our clients, partners, sponsors and friends of the Institute as well as the truly outstanding team of employees. Without any and all of these people, none of the developments described in this annual report would have been possible. We are looking forward to continuing our strong partnership and to reinforcing our bonds of mutual trust while successfully completing another series of exciting projects throughout the coming year.

Aachen, February 2015

# **INHALT**

## **CONTENTS**

2	<b>Vorwort</b> Foreword	28	<b>Das Institut in Zahlen</b> Facts and Figures
6	<b>Das Fraunhofer IPT im Profil</b> In Profile: The Fraunhofer IPT	31	<b>Kuratorium</b> Board of Trustees
8	<b>Das Erfolgsrezept: Menschen und Maschinen</b> Our Formula for Success: Technology plus Human Resources	32	<b>Unsere Geschäftsfelder</b> Our Business Units
13	<b>Ausstattung</b> Equipment	70	<b>Unsere Ziele: Produktion der Zukunft</b> Our Objective: Production for the Future
16	<b>Organigramm</b> Organizational Chart	82	<b>Unsere Kompetenzen</b> Our Competencies
18	<b>Die Fraunhofer-Gesellschaft</b> The Fraunhofer-Gesellschaft	116	<b>Unsere Außenstellen</b> Our Branch Offices
20	<b>Denken in Prozessketten</b> To Consider the Entire Process	126	<b>Ereignisse, Publikationen, Referenzen</b> Events, Publications, References
22	<b>Leitbild</b> Mission Statement	152	<b>Impressum</b> Editorial Notes
24	<b>Exzellente Zusammenarbeit</b> Excellent Cooperation	153	<b>Informations-Service</b> Information Service
26	<b>Spin-Offs</b> Spin Offs		

# DAS FRAUNHOFER IPT IM PROFIL

## IN PROFILE: THE FRAUNHOFER IPT

Wer heute mit Produkten und Dienstleistungen erfolgreich an globalen Märkten teilhaben will, muss immer wieder die eigenen Grenzen überschreiten und Veränderungen schnell und flexibel mitgestalten. Das Fraunhofer IPT vereint dazu langjähriges Wissen und Erfahrung aus allen Gebieten der Produktionstechnik. In den Bereichen

- Prozesstechnologie
- Produktionsmaschinen
- Produktionsqualität und Messtechnik
- Entwurfstechnik Mechatronik sowie
- Technologiemanagement

bieten wir unseren Kunden und Projektpartnern angewandte Forschung und Entwicklung mit unmittelbar umsetzbaren Ergebnissen. Dabei begreifen wir die Produktion nicht nur in ihren einzelnen Schritten, sondern betrachten bei unserer Arbeit die Gesamtheit ihrer Prozesse und die Verbindungen zwischen den jeweiligen Gliedern der Prozesskette – von der Vor- und Produktentwicklung über die Produktionsvorbereitung und die Fertigung bis zur Montage.

Wir entwickeln und optimieren neue und bestehende Methoden, Technologien und Prozesse für die Produktion der Zukunft. In einer ganzheitlichen Sichtweise betrachten wir die produktionstechnischen Herausforderungen unserer Kunden immer auch im Kontext der dazugehörigen Prozessketten. Auf diese Weise schaffen wir nicht nur hoch spezialisierte Einzeltechnologien, sondern erarbeiten im Auftrag unserer Kunden Systemlösungen für die Produktion.

Anybody who wants to launch his products and services successfully on today's global market must learn to exceed his own limitations and to shape the process of change, thinking on his feet and remaining for ever willing to adapt himself to the continuously changing requirements. With its broad range of skills in all fields of production technology and its many years of practical experience, the Fraunhofer IPT is uniquely positioned to provide its clients and project partners with applied research and development services that generate immediately marketable results. In the areas:

- Process technology
- Production machines
- Production quality and metrology
- Mechatronic systems design
- Technology management

we understand the production process not as a mere sequence of isolated events. Our work has always taken into account the many ways in which the individual elements of the process chain are interconnected and interlinked, integrating the early and advanced stages of product development with the planning and preproduction processes as well as the production itself and the subsequent assembly into a single functional whole.

We develop and optimize new and existing methods, technologies and processes to create the production environment of the future. Using an integrated perspective, we always analyze the production technology challenges of our clients in the context of the process chains involved. This allows us to go beyond the development of individual technologies which are capable of performing highly specific tasks, designing customized system solutions for our clients' production requirements.



### **Branchen, Produkte und Technologien im Fokus**

In unseren Geschäftsfeldern bündeln wir die Kompetenzen der Abteilungen, unserer Projektgruppe sowie des Fraunhofer CMI und unseres Partnerinstituts an der RWTH Aachen, des Werkzeugmaschinenlabors WZL. Diese interdisziplinäre Sicht aus der Perspektive der Industrie versetzt uns in die Lage, Aufgaben auch über die Grenzen eng gesteckter Arbeitsgebiete hinaus zu lösen.

Unser Leistungsspektrum orientiert sich an den individuellen Aufgaben und Herausforderungen innerhalb bestimmter Branchen, Technologien und Produktbereiche:

- Automobilbau und -zulieferer
- Energie
- Life Sciences
- Maschinen- und Anlagenbau
- Optik
- Präzisions- und Mikrotechnik
- Turbomaschinen
- Werkzeug- und Formenbau

### **Technologien für den Vorsprung**

Besonderen Wert legen wir auf den ständigen Austausch mit der Industrie und die Weiterentwicklung unseres Maschinenparks. Damit sichern wir Ihnen und uns technologische Aktualität für den entscheidenden Vorsprung in der Produktion. Unsere Labore und Maschinenhallen sind auf 5000 m<sup>2</sup> mit modernster Technik ausgestattet. Insgesamt umfasst das Fraunhofer IPT rund 9000 m<sup>2</sup> Fläche.

### **Industries, products and technologies**

Our business units combine the skills and the knowledge of the individual departments, the Fraunhofer CMI and our partner institute at the RWTH Aachen University, the Laboratory for Machine Tools and Production Engineering WZL. This interdisciplinary view – which is informed by and aligned with the perspective of industrial researchers – allows us to approach and develop solutions which require thinking beyond the narrow confines of any particular discipline.

Our range of services reflects the needs, requirements and challenges of a number of industries, technologies and product groups:

- Automotive industry including suppliers
- Energy
- Life sciences
- Mechanical engineering
- Optical industries
- Precision engineering and microtechnology
- Turbomachinery
- Tool and die making

### **Technologies that provide a cutting edge**

We put great importance on our continuous contacts and exchanges with industrial corporations and the permanent updating of our equipment. This allows us to ensure that we always remain abreast of the latest technological trends and developments – and that we can provide you with that all-important competitive edge in your production technologies. Our laboratories and production facilities feature state of the art technology and cover an area of 5000 m<sup>2</sup>. The entire Fraunhofer IPT occupies an area of app. 9000 m<sup>2</sup>.

# DAS ERFOLGSREZEPT: MENSCHEN UND MASCHINEN OUR FORMULA FOR SUCCESS: TECHNOLOGY PLUS HUMAN RESOURCES

Mehr als 460 Menschen arbeiten am Fraunhofer IPT aktiv mit viel Kreativität und Engagement an der Umsetzung aktueller Projekte. Alle Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter des Instituts bringen ihre Kompetenzen abteilungsübergreifend in interdisziplinäre Teams ein: Flache Hierarchien und die Verantwortung des Einzelnen für das Ganze bieten Raum für eigene Ideen und motivieren, die gemeinsam gesteckten Ziele zu erreichen.

Wir orientieren uns dabei an einem Leitbild von Professionalität, Partnerschaftlichkeit und Effizienz. Diese zentralen Werte haben wir uns nicht von oben herab auferlegt, sondern sie stammen als echtes Selbstverständnis aus der Mitte unseres Instituts und werden seit Jahren aktiv von allen Angehörigen des Fraunhofer IPT gelebt.

Das Fraunhofer IPT bietet seinen Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern damit ein exzellentes Arbeitsumfeld und eine Plattform zur fachlichen und persönlichen Entwicklung für anspruchsvolle Tätigkeiten am Institut, in anderen Bereichen der Wissenschaft, in der Wirtschaft und für die Gesellschaft. Der »Transfer durch Köpfe« – das Weitertragen von Fachwissen über Personen – zählt zu den Aufgaben des Fraunhofer IPT.

## **Hervorragende Bedingungen für junge Ingenieurinnen und Ingenieure**

Seit mehr als zehn Jahren versucht das Fraunhofer IPT verstärkt Wissenschaftlerinnen für Forschungsprojekte zu gewinnen. Insgesamt beschäftigte das Fraunhofer IPT im Jahr 2014 zwölf Wissenschaftlerinnen und 115 Wissenschaftler. Dies entspricht einer Frauenquote von zehn Prozent. Auch wenn es in den Ingenieurwissenschaften noch immer schwierig ist, weiblichen Nachwuchs zu rekrutieren, so glauben wir, gerade durch familienfreundliche Arbeitsbedingungen mittelfristig den Anteil an Wissenschaftlerinnen erhöhen zu können. Wie schon im Jahr 2013 haben wir auch 2014 wieder die Veranstaltung »Women in Science!« mit einem Workshop und Informationen zum

More than 460 highly committed and creative people are currently helping the Fraunhofer IPT to achieve its vision and to implement its various projects. All of the Institute's employees contribute their skills and knowledge to cross-departmental, interdisciplinary teams: our flat-hierarchy organizational structure which reflects the duty of each individual to assume responsibility for the entire project creates space for innovative ideas and ensures that our highly motivated workforce strives hard to achieve the jointly identified objectives.

We firmly and unconditionally believe in professionalism, partnership and efficiency. We did not discover the importance of these values for the purpose of phrasing a mission statement, but in the daily routines of our Institute. For many years, these principles have guided and informed the work of everybody at the Fraunhofer IPT.

The Fraunhofer IPT therefore provides its employees with an excellent working environment and a platform for their professional and personal development, enabling them to assume a wide range of responsibilities at the Institute, in academic science or other research institutions, in the industry and in the wider society. The Fraunhofer IPT is committed to assisting the global knowledge transfer, to ensure that society as a whole will eventually benefit from the skills and the expertise of gifted scientists.

## **Excellent conditions for young engineers**

Over the past ten years, the Fraunhofer IPT has stepped up its efforts of recruiting larger numbers of female scientists for its research programs. In 2014, the Fraunhofer IPT employed 12 women in a workforce of 127 scientists, a ratio of 10 percent. Even though our attempt to recruit larger numbers of young women for jobs in the engineering sciences will remain difficult for some time to come, we believe that we can – in the medium term – help to create a more even gender ratio



Fraunhofer IPT speziell für Studentinnen der MINT-Fächer (Mathematik, Informatik, Naturwissenschaft und Technik) angeboten. Die Veranstaltung war sehr gut besucht und die Resonanz hervorragend, so dass sie auch im kommenden Jahr wieder stattfinden wird.

Damit unsere Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter Familie und Beruf besser verbinden können, bietet das Fraunhofer IPT auch Teilzeitbeschäftigungen an. Die meisten der jungen Eltern am Institut nehmen mittlerweile die Elternzeit in Anspruch, um während der ersten Monate nach der Geburt für Partner und Kind da zu sein. Darüber hinaus ist die Verwaltung des Fraunhofer IPT den Mitarbeitern behilflich bei der Suche nach geeigneten Kita-Plätzen. Neu eingerichtet wurde auch ein Eltern-Kind-Büro.

### **Karrieren beginnen am Fraunhofer IPT**

Die grundlegende Personalpolitik des Fraunhofer IPT hat sich seit Gründung des Instituts nur wenig verändert: Ziel ist es, jungen wissenschaftlichen Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern in einem Zeitraum von rund fünf Jahren einen umfassenden Einblick in die Projektarbeit zu bieten und gleichzeitig bis zum Ende dieses Zeitraums die Promotion zu ermöglichen. Um diese Ziele zu erreichen, werden die Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter direkt ab der ersten Stunde am Institut auf ihre zukünftigen Aufgaben vorbereitet und geschult.

Innerhalb von fünf Jahren haben die Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter die Möglichkeit, die Funktion eines Gruppenleiters auszuüben und anschließend als Oberingenieur die Leitung einer Abteilung zu übernehmen. Die Oberingenieure verbleiben im Durchschnitt etwa weitere fünf Jahre am Institut, sodass in jedem Jahr mindestens eine wissenschaftliche Nachwuchskraft die Chance hat, sich dieser Führungsaufgabe zu stellen.

specifically by providing family-friendly working conditions. As in 2013, we hosted the second "Women in Science!" event in 2014, containing a workshop and providing information about the Fraunhofer IPT specifically designed to attract female students of the so-called MINT subjects (mathematics, informatics, natural sciences and technology). The event was well attended and will be repeated again in 2015.

In order to allow our male and female members of staff to reconcile their careers and family lives more effectively, the Fraunhofer IPT is offering them part-time occupation schemes. Some young parents in our scientific staff have gone on parental leave, taking advantage of the chance to share the first few months of their children's lives with their partners. In general, our administration is always pleased to assist the members of staff in their search for suitable child care facilities. Furthermore the Fraunhofer IPT provides working parents with a parent-and-child office.

### **Careers start at the Fraunhofer IPT**

The basic principles of human resource management have changed little since the Fraunhofer IPT was established more than 30 years ago: it is our objective to provide young scientists with a comprehensive project work experience and to allow them, during this period of roughly five years, to complete their doctoral theses. In order to help them reach these objectives, the employees of the Institute are immediately – starting with the moment of their arrival – subjected to an intensive training and preparation schedule designed to allow them to accomplish their future tasks.

In the space of five years, some of our employees may become Group Managers and, subsequently, assume the responsibilities of a Chief Engineer for one of our Departments. Chief Engineers remain on average for another five years at the

Um die wissenschaftlichen Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter auch auf die Zeit nach der Tätigkeit am Fraunhofer IPT vorzubereiten, beraten, trainieren und coachen wir sie bei ihrer persönlichen Karriereplanung. Hierfür nutzen wir eine in Zusammenarbeit mit dem WZL der RWTH Aachen eine eigens gegründete Personalberatung, die »Karrierepool WZL Aachen PS GmbH«. Diese unterstützt die wissenschaftlichen Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter des Fraunhofer IPT und des WZL der RWTH Aachen bei der Planung und Umsetzung ihres nächsten Karriereschritts und baut Kontakte zu Unternehmen auf, die Fach- und Führungskräfte rekrutieren möchten. Diese Beratung bei der Karriereplanung wird von fast allen unseren wissenschaftlichen Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern genutzt. Im Jahr 2014 haben 25 von ihnen das Institut in Richtung Industrie verlassen.

### **Mit professionellem Personalmarketing dem Fachkräftemangel begegnen**

Bei dieser Personalpolitik ist es erforderlich, jährlich etwa 25 neue wissenschaftliche Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter zu rekrutieren. Trotz der immer noch recht angespannten Bewerberlage ist es uns jedoch stets gelungen, diese Stellen zu besetzen. Rund ein Drittel der neu eingestellten Mitarbeiter haben das Fraunhofer IPT bereits während ihres Studiums als studentische Hilfskraft oder durch Studien- und Abschlussarbeiten kennengelernt. Doch hat in den vergangenen Jahren auch die Zahl der Bewerber, die an Universitäten außerhalb Aachens studiert haben, zugenommen.

Um auf dem hart umkämpften Arbeitsmarkt passende Bewerber noch besser für das Fraunhofer IPT begeistern zu können, unterstützte das Institut im zweiten Halbjahr 2014 den Neustart einer fraunhoferweiten Personalmarketingkampagne. Ziel war es, sowohl das Image der Fraunhofer-Gesellschaft als Ganzes zu stärken, als auch die konkreten Aktivitäten der Institute vor Ort unter potenziellen Bewerbern bekannter zu machen. Die sogenannte »DOCH-Kampagne« wurde im

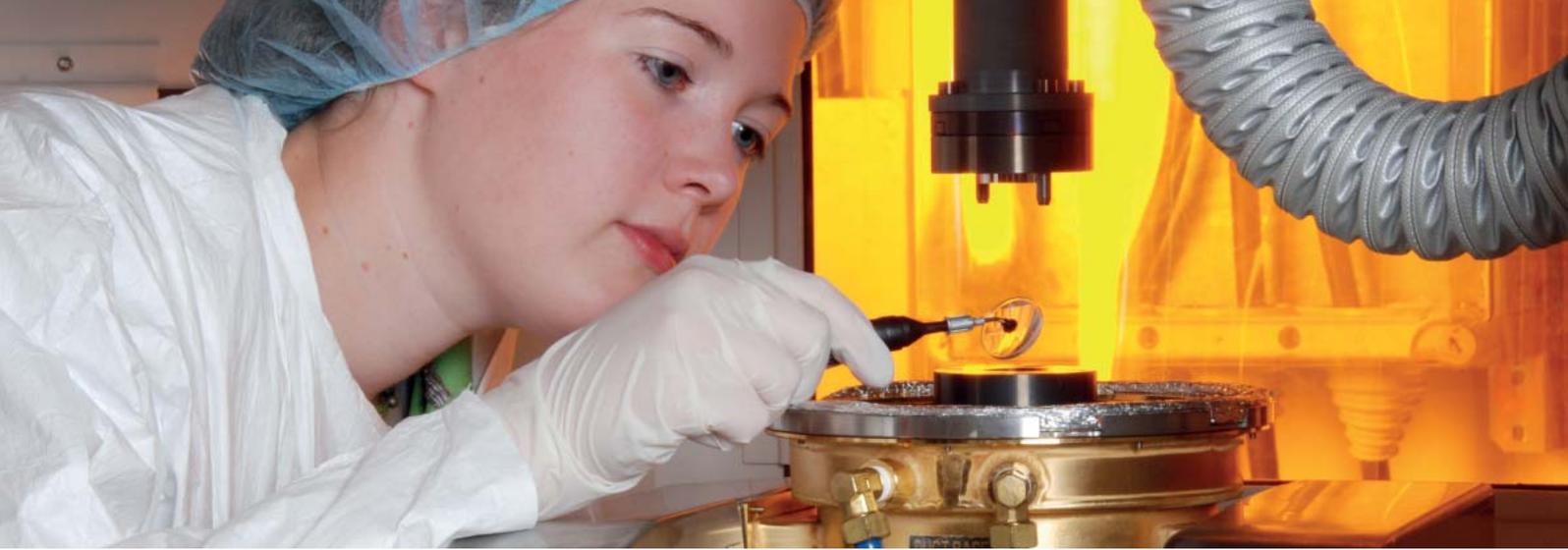
Institute, which means that at least one such vacancy arises in any given year, providing a talented young scientist with the opportunity of meeting the challenges of managerial responsibility.

In order to prepare our young scientists for their post-Fraunhofer IPT careers, we provide them with suitable training, advice and career coaching. For this purpose, we use – in close cooperation with the WZL of the RWTH Aachen University – the "Karrierepool WZL Aachen PS GmbH". This personnel consulting service has been designed to support the scientific members of staff at the Fraunhofer IPT and the WZL in planning the next steps of their careers and in implementing these career plans. The organization establishes contacts between the young scientists and corporations in search of suitable candidates for their R&D departments and managerial positions. Nearly all members of our scientific staff are taking advantage of these services to plan their subsequent careers. In 2014, 25 of our young scientists have left the Institute for a job in an industrial corporation.

### **Professional personnel marketing to combat the lack of skilled employees**

Due to this personnel policy of ours, we need to recruit about 25 young scientists per year to fill our staff vacancies. Despite a general fall in the number of candidates over the past few years, we have so far managed to fill these vacancies every year. Almost a third of new employees already started working at the Fraunhofer IPT during their studies as student workers or writing theses. In the past few years, also the proportion of candidates who completed their studies at universities outside the Aachen region has substantially increased.

To entice applicants of the highly competitive job market for the Fraunhofer IPT, the institute supported the start of a fraunhofer-wide personnel marketing campaign in the second half of the year. The goal of this campaign was to strengthen



November 2014 erstmalig groß ausgerollt. An der RWTH Aachen wurden in zeitlicher Nähe zu verschiedenen externen Karriereveranstaltungen, an denen das Fraunhofer IPT als Aussteller teilnahm, auch ein Messestand sowie 3D-DOCH-Buchstaben vor der Hauptmensa aufgestellt. Eine weitreichende Plakatierung in der Aachener Innenstadt und – im Rahmen der 2014 fortgeführten Buskampagne auch in den Aachener Linienbussen – begleiteten den Kampagnenstart.

Zusätzlich fanden auch im Jahr 2014 wieder regelmäßige Informationstage für Studierende statt. Dabei können Interessenten das Institut mit seinen unterschiedlichen Facetten hautnah kennenlernen und sich im persönlichen Gespräch mit Mitarbeitern über ihre Karrierechancen am Fraunhofer IPT informieren: Die Studierenden und Absolventen erhalten im Rahmen eines kurzen Vortrags und einer Hallenbesichtigung Einblicke in die fachlichen Themen und den Arbeitsalltag am Institut. Bei einem anschließenden Mittagsimbiss können sie sich mit den Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern austauschen, erste Kontakte knüpfen und sich über aktuelle Einstiegs- und Karriereperspektiven informieren.

Dieses professionelle Personalmarketing bildet für das Fraunhofer IPT eine gute Grundlage, um auch in den kommenden Jahren aus einem weiten Pool an hochqualifizierten Mitarbeitern schöpfen zu können.

### **Weiteres Wachstum in Aachen und Paderborn**

In den vergangenen fünf Jahren ist das Fraunhofer IPT von 349 weiter auf 466 Mitarbeiter angewachsen, allein die Zahl der Festangestellten erhöhte sich seit 2009 von 155 auf 216.

Der Neubau in der Steinbachstraße wurde im November 2014 abgeschlossen und offiziell an das Fraunhofer IPT übergeben. Er umfasst nach Abschluss der Bauarbeiten eine Gesamtfläche von rund 2950 m<sup>2</sup>, davon 1500 m<sup>2</sup> Bürofläche, sowie 1450 m<sup>2</sup> Hallen, Labore und Reinräume. Die bisherige Infra-

the image of the Fraunhofer-Gesellschaft as a whole, but also to advertise the institutes' activities in Aachen to potential applicants. The so-called "DOCH-campaign" was introduced with special events and activities in November 2014. Various external career events with participation of the Fraunhofer IPT were held at the RWTH Aachen University. An exhibition booth was set up in front of the central canteen, as well as large 3D-"DOCH" letters. A far-reaching posting of Aachen's inner city and busses accompanied the start of the campaign.

In addition to the campaign, we hosted regular information days for students. Here, students had the possibility to get to know the Fraunhofer IPT with its different branches and inform about potential career opportunities in discussions with employees. Students were able to gain insights into scientific topics and everyday work by visiting the shop floor. Afterwards, the participants could exchange with researchers and establish first contacts while enjoying a lunchtime snack.

These successful personnel marketing initiatives provided a good basis for future recruitment drives of the Fraunhofer IPT, helping to ensure that the Institute will continue to benefit from a large pool of highly-qualified employees.

### **Increasing headcounts at Aachen and Paderborn**

Over the past five years, the headcount of the Fraunhofer IPT has steadily grown from 349 to 466 employees. The number of staff with a permanent employment contract has increased from 155 in 2009 to 216.

The new building at the Steinbachstrasse was completed in November 2014 and handed over to the Fraunhofer IPT. It comprises a total surface area of 2950 m<sup>2</sup>, 1500 m<sup>2</sup> of which is office space, 1450 m<sup>2</sup> shop floor, laboratory and clean rooms. The institute's original infrastructure was left almost completely unaltered. In connection to the original offices a new complex with five floors was built. The new building cost

struktur blieb zum großen Teil unverändert. Im Anschluss an den bestehenden Bürotrakt entstand ein neuer Bürokomplex mit fünf Stockwerken. Insgesamt kostete der Neubau rund 14 Millionen Euro, dazu kamen zweieinhalb Millionen für das Parkhaus, die je zur Hälfte der Bund und das Land NRW trugen.

Starken Einfluss auf das Wachstum hatte im Jahr 2014 auch wieder die Fraunhofer-Projektgruppe Entwurfstechnik Mechatronik in Paderborn. Die Projektgruppe, die im Jahr 2011 mit Anbindung an das Fraunhofer IPT gegründet wurde, arbeitet eng mit dem Heinz Nixdorf Institut der Universität Paderborn zusammen. Die an der Fraunhofer-Projektgruppe beteiligten Professoren Wilhelm Schäfer und Ansgar Trächtler sind Lehrstuhlinhaber und leiten leistungsfähige Arbeitsgruppen am Heinz Nixdorf Institut. Prof. Dr.-Ing. Jürgen Gausemeier unterstützt als Senior-Professor die Projektgruppe beratend. Die Abteilung »Produktentstehung« wird kommissarisch von Dr.-Ing. Roman Dumitrescu geleitet. Erreicht die Projektgruppe, die mit zunächst 15 Mitarbeitern im Jahr 2010 gestartet ist, bis zur Evaluierung im Jahr 2015 alle geforderten Ziele, kann die Institutsgründung erfolgen. Die Projektgruppe entwickelt sich in einem innovativen Umfeld: Sie ist seit November 2011 wichtiger Bestandteil des Forschungs- und Entwicklungsclusters »Zukunftsmeile Fürstenallee« in Paderborn und leitet bereits den BMBF-geförderten Spitzencluster »it's OWL« mit 174 Clusterpartnern in der Region Ostwestfalen-Lippe.

a total of 14 million euro, two and a half million were added for the multi-floor car park. Construction costs will be evenly shared between the federal government and the government of the Land of North-Rhine Westphalia.

A substantial part of this growth is accounted for by the 2011 establishment of the Fraunhofer Project Group for Mechatronic Systems Design in Paderborn. This project group is linked to the Fraunhofer IPT, closely cooperating with the Heinz Nixdorf Institute of the University of Paderborn. The professors involved in the Fraunhofer Project Group Wilhelm Schäfer and Ansgar Trächtler are chair holders and lead highly efficient working groups at the Heinz Nixdorf Institute. Prof. Dr.-Ing. Jürgen Gausemeier advisingly supports the project group as Senior Professor. The department "Product engineering" is temporarily managed by Dr.-Ing. Roman Dumitrescu. If the project group – which started in 2011 with 15 employees – manages to achieve all of its targets by the time of the first major evaluation in 2015, a new institute may be established as early as the following year. The project group will be able to develop in an innovation-friendly environment: since November 2011, it is one of the key elements of the Paderborn-based research and development cluster "Zukunftsmeile Fürstenallee" and is already heading the Leading Edge Cluster "it's OWL" – with funding from the German Federal Ministry of Education and Research – that features 174 partner organizations from the Ostwestfalen-Lippe region in northwest Germany.

# AUSSTATTUNG EQUIPMENT

## Schleif- und Polieranlagen

### Grinding and polishing machines and systems

- D40 Diamantbearbeitung
- Polierzelle PM3
- Moore Nanotech 350 FG
- Moore Nanotech 500 FG
- Walter Helitronic Vision 400
- ABB IRB 4400 Zelle 1
- ABB IRB 4400 Zelle 2
- Satisloh All
- Synchrospeed 120SL
- Uschi Spheromatic
- Toshiba ULG-100D(H3)
- Toshiba ULG-100D(SH3)
- Elb SWN 10 NC-K
- Schneider Surfacing Center SCG100-1
- Schneider Surfacing Center SCG100-2

## Anlagen zur Replikation von Glas- und Kunststoff-optiken

### Equipment for optics replication of glass and plastics

- Arburg Spritzgussmaschine 720 A
- Arburg Spritzgussmaschine mit Handhabungssystem
- Moore Nanotech 065 GPM
- Toshiba GMP-207 HV
- Toshiba GMP-211 V
- Laminiereinheit zu Rollpräge
- Rollprägeanlage
- HEX02
- Moore Nanotech 140GPM
- Toshiba GMP 311V
- FFUP
- Füller Glaspresse

## Präzisions- und Hochleistungsbearbeitungszentren

### Precision and high performance machining centers

- LT Ultra MTC 410
- Precitech Nanoform 250
- Weika
- Kern Micro
- Kern Pyramid Nano
- Mikromat 8V HSC
- Moore Nanotech 350 FG
- Leifeld PNC/CNC 75
- Monforts RNC 400 Laserturn
- Minimill
- DMG HSC55 linear
- CNC Drehmaschine - Gildemeister
- DMU50
- Maho 600 E2
- Maho 600 E2
- Alzmetall GS 1000
- Alzmetall AB 4/HAST
- Alzmetall AX 3-T
- Mössner Rekord
- Tafelschere Schröder
- Weiler Commodor 75 GS
- Weiler Primus LZ-G
- Mikron HPM 800U HD
- Monforts Unicen 1000

## AUSSTATTUNG EQUIPMENT

### **Beschichtungsanlagen**

#### **Coating systems**

- PVD-Beschichtungsanlage: Cemecon 800/9
- Galvanik Nickel-Phosphor

### **Lasergeräte und Handhabungsanlagen**

#### **Lasers and auxiliary equipment**

- Kern Evo
- Mikron HSM 600U
- Pro-PKD Laserbearbeitungssystem
- Laserline Diodenlasersystem LDF 5000-40
- Trumpf TruMicro 2220
- MicrohCell
- Trumpf TruCoax 2000
- Satisloh GI-3PL
- Mobile Montagezelle
- Sysmelec Montageaufbau
- Häcker VICO XTec
- Bolenz + Schäfer Portal
- IR-Thermoforming-Prüfstand
- Kuka 360-2
- Stanzmaschine Boschert
- Alzmetall LOB
- Monforts LaserTurn

### **Sondereinrichtungen**

#### **Specialist equipment**

- Flexpaet
- LT Ultra MMC 1100-2Z
- LT Ultra MMC1300
- UHM
- HEGA Ultraschallreinigungsanlage
- GrossKammer-REM
- Mikro-Pullwinding-Anlage
- Schunk PowerCube SCARA Roboter
- Zwei-Photonen-Lithographie-System  
Nanoscribe Photonic Professional

### **Datenverarbeitung und Simulationswerkzeuge**

#### **Data processing and simulation tools**

- Triamec Prozessüberwachungsgerät
- Zemax



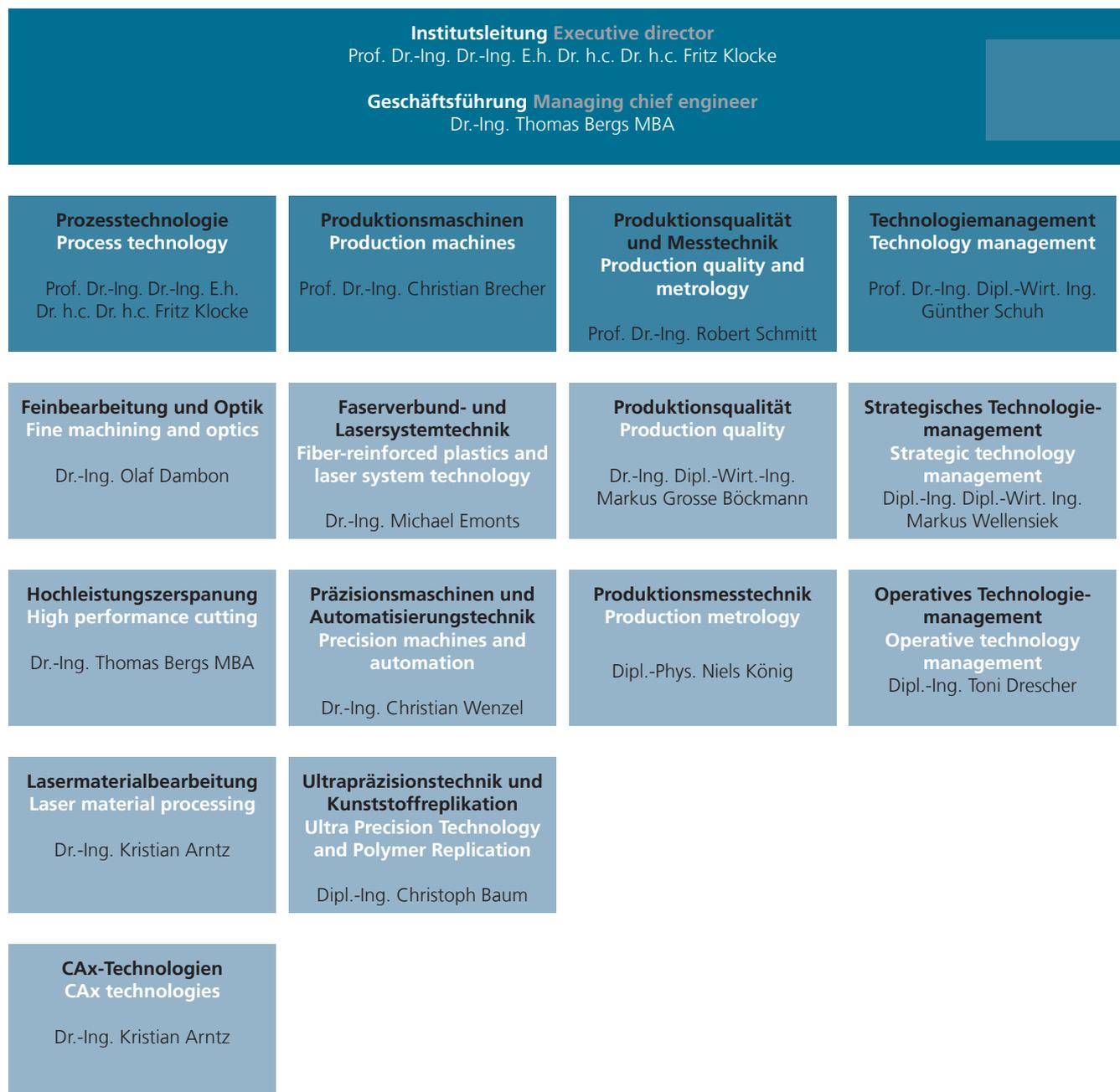
## **Mess- und Prüfeinrichtungen**

### **Metrology and testing equipment**

- Zeiss O-Inspect Koordinatenmessgerät
- Schwingungsprüfstand
- Rauheitsmessgerät Taylor Hobson Form Talysuit Series
- Rundheitsmessgerät Talyrond 262
- Koordinatenmessgerät Werth Video Check IP
- Profilometer FRT Micro Prof 100
- Mikro-Härteprüfer Leco M-400-H
- Härteprüfer Wolpert UH-250
- Weißlichtinterferometer
- Laserinterferometer Wyko 6000
- Lasermikroskop Leica DM RXE
- Zygo Verifive Formprüfinterferometer
- Koordinatenmessgerät Werth VideoCheck UA
- Mahr Formtester MMQ 400 mit optischer Antastung
- Trioptics Wellenfrontmesssystem
- Steinbichler Comet 5 Streifenprojektionssystem
- Deflektometriesystem 3D Shape SpecGage 3D
- Weißlichtinterferometer Bruker NPFlex
- Werkzeugmessmaschine Walter Helicheck Plus

# ORGANIGRAMM

## ORGANIZATIONAL CHART



### Direktorium Board of directors

Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Dr. h.c. Dr. h.c. Fritz Klocke, Prof. Dr.-Ing. Christian Brecher,  
Prof. Dr.-Ing. Robert Schmitt, Prof. Dr.-Ing. Dipl.-Wirt. Ing. Günther Schuh

Stand 1.1.2015

#### Interne Dienstleistung Services

Dr.-Ing. Thomas Bergs MBA

#### Projektgruppe Entwurfstechnik Mechatronik, Paderborn Fraunhofer Project Group Mechatronic Systems Design

Prof. Dr.-Ing. habil. Ansgar Trächtler

#### Fraunhofer Center for Manufacturing Innovation CMI, USA

Prof. Dr. Andre Sharon

#### Verwaltung Administration

Josef von Heel

#### Produktentstehung Product engineering

Dr.-Ing. Roman Dumitrescu

#### EDV, Haustechnik, PR IT , building services and PR

Dr.-Ing. Thomas Bergs MBA

#### Regelungstechnik Control engineering

Prof. Dr.-Ing. habil. Ansgar Trächtler  
Dr.-Ing. Christian Henke

#### Strategische Forschungs- planung Strategic Research Planning

Dipl.-Ing. Axel Demmer

#### Softwaretechnik Software engineering

Prof. Dr. Wilhelm Schäfer  
Dr. Matthias Meyer

#### Strategische Geschäftsfeld- entwicklung Business development

Dipl.-Ing. Torsten Moll

# DIE FRAUNHOFER-GESELLSCHAFT

## THE FRAUNHOFER-GESELLSCHAFT

Forschen für die Praxis ist die zentrale Aufgabe der Fraunhofer-Gesellschaft. Die 1949 gegründete Forschungsorganisation betreibt anwendungsorientierte Forschung zum Nutzen der Wirtschaft und zum Vorteil der Gesellschaft. Vertragspartner und Auftraggeber sind Industrie- und Dienstleistungsunternehmen sowie die öffentliche Hand.

Die Fraunhofer-Gesellschaft betreibt in Deutschland derzeit 66 Institute und Forschungseinrichtungen. Knapp 24 000 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter, überwiegend mit natur- oder ingenieurwissenschaftlicher Ausbildung, erarbeiten das jährliche Forschungsvolumen von mehr als 2 Milliarden Euro. Davon fallen rund 1,7 Milliarden Euro auf den Leistungsbereich Vertragsforschung. Über 70 Prozent dieses Leistungsbereichs erwirtschaftet die Fraunhofer-Gesellschaft mit Aufträgen aus der Industrie und mit öffentlich finanzierten Forschungsprojekten. Knapp 30 Prozent werden von Bund und Ländern als Grundfinanzierung beigesteuert, damit die Institute Problemlösungen entwickeln können, die erst in fünf oder zehn Jahren für Wirtschaft und Gesellschaft aktuell werden.

Internationale Kooperationen mit exzellenten Forschungspartnern und innovativen Unternehmen weltweit sorgen für einen direkten Zugang zu den wichtigsten gegenwärtigen und zukünftigen Wissenschafts- und Wirtschaftsräumen.

Mit ihrer klaren Ausrichtung auf die angewandte Forschung und ihrer Fokussierung auf zukunftsrelevante Schlüsseltechnologien spielt die Fraunhofer-Gesellschaft eine zentrale Rolle im Innovationsprozess Deutschlands und Europas. Die Wirkung der angewandten Forschung geht über den direkten Nutzen für die Kunden hinaus: Mit ihrer Forschungs- und Entwicklungsarbeit tragen die Fraunhofer-Institute zur Wettbewerbsfähigkeit der Region, Deutschlands und Europas bei. Sie fördern Innovationen, stärken die technologische Leistungsfähigkeit, verbessern die Akzeptanz moderner Technik und sorgen für Aus- und Weiterbildung des dringend benötigten wissenschaftlich-technischen Nachwuchses.

Research of practical utility lies at the heart of all activities pursued by the Fraunhofer-Gesellschaft. Founded in 1949, the research organization undertakes applied research that drives economic development and serves the wider benefit of society. Its services are solicited by customers and contractual partners in industry, the service sector and public administration.

At present, the Fraunhofer-Gesellschaft maintains 66 institutes and research units. The majority of the nearly 24,000 staff are qualified scientists and engineers, who work with an annual research budget of more than 2 billion euros. Of this sum, around 1.7 billion euros is generated through contract research. More than 70 percent of the Fraunhofer-Gesellschaft's contract research revenue is derived from contracts with industry and from publicly financed research projects. Almost 30 percent is contributed by the German federal and Länder governments in the form of base funding, enabling the institutes to work ahead on solutions to problems that will not become acutely relevant to industry and society until five or ten years from now.

International collaborations with excellent research partners and innovative companies around the world ensure direct access to regions of the greatest importance to present and future scientific progress and economic development.

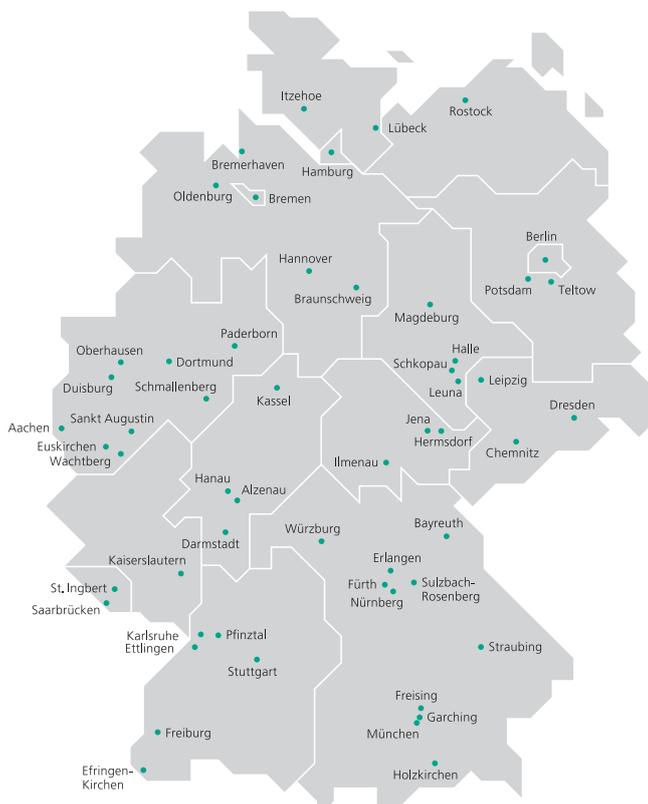
With its clearly defined mission of application-oriented research and its focus on key technologies of relevance to the future, the Fraunhofer-Gesellschaft plays a prominent role in the German and European innovation process. Applied research has a knock-on effect that extends beyond the direct benefits perceived by the customer: Through their research and development work, the Fraunhofer Institutes help to reinforce the competitive strength of the economy in their local region, and throughout Germany and Europe. They do so by promoting innovation, strengthening the technological base, improving the acceptance of new technologies, and helping to train the urgently needed future generation of scientists and engineers.

Ihren Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern bietet die Fraunhofer-Gesellschaft die Möglichkeit zur fachlichen und persönlichen Entwicklung für anspruchsvolle Positionen in ihren Instituten, an Hochschulen, in Wirtschaft und Gesellschaft. Studierende eröffnen sich aufgrund der praxisnahen Ausbildung und Erfahrung an Fraunhofer-Instituten hervorragende Einstiegs- und Entwicklungschancen in Unternehmen.

Namensgeber der als gemeinnützig anerkannten Fraunhofer-Gesellschaft ist der Münchner Gelehrte Joseph von Fraunhofer (1787–1826). Er war als Forscher, Erfinder und Unternehmer gleichermaßen erfolgreich.

As an employer, the Fraunhofer-Gesellschaft offers its staff the opportunity to develop the professional and personal skills that will allow them to take up positions of responsibility within their institute, at universities, in industry and in society. Students who choose to work on projects at the Fraunhofer Institutes have excellent prospects of starting and developing a career in industry by virtue of the practical training and experience they have acquired.

The Fraunhofer-Gesellschaft is a recognized non-profit organization that takes its name from Joseph von Fraunhofer (1787–1826), the illustrious Munich researcher, inventor and entrepreneur.



# DENKEN IN PROZESSKETTEN

## TO CONSIDER THE ENTIRE PROCESS

Im Auftrag unserer Kunden entwickeln und optimieren wir Lösungen für die moderne Produktion. Dabei begreifen wir die Produktion nicht nur in ihren einzelnen Schritten, sondern betrachten bei unserer Arbeit die Gesamtheit ihrer Prozesse und die Verbindungen zwischen den jeweiligen Gliedern der Prozesskette: Unser Blick auf die Prozesskette reicht von der Forschung und Entwicklung über die Beschaffung der eingesetzten Rohstoffe und Dienstleistungen bis hin zur eigentlichen Produktion. Gleichzeitig behalten wir alle relevanten Geschäfts- und Managementprozesse im Auge.

### **Forschung und Entwicklung**

Bereits in den frühen Phasen der Produktentstehung, in der Forschung und Entwicklung, unterstützen wir unsere Kunden mit unserem Know-how: Gemeinsam identifizieren wir neue Technologien, erstellen Konzepte und entwickeln Prototypen. Dabei legen wir besonderen Wert auf die optimale Leistungsfähigkeit der eingesetzten Anlagen, Materialien und Prozesse, damit die Produkte unserer Kunden später erfolgreich im Wettbewerb bestehen.

### **Beschaffung**

Was Unternehmen nicht selbst herstellen, beschaffen sie bei ihren Lieferanten. Damit sie sicher gehen, dass sie die zugekauften Waren und Dienstleistungen günstig und zuverlässig in bester Qualität erhalten, nehmen wir die Lieferantenbasis unserer Kunden und die gelieferten Leistungen genau unter die Lupe: Wir strukturieren den Beschaffungsmarkt, helfen bei der Auswahl der richtigen Partner und erarbeiten anhand bewährter Methoden individuelle Maßnahmen, um die Beschaffungskosten unserer Kunden zu optimieren.

On behalf of our clients, we develop and optimize solutions for modern production facilities. Rather than considering production activities as individual operations, our work involves looking at all production processes and the links between all the elements of the overall process in their entirety: When we analyze our client's processes, we take in everything from research and development through the acquisition of raw material and services to the final production stages. At the same time, we keep an eye on all the relevant business and management processes.

### **Research and development**

Right at the early phases of product emergence – the research and development phase – we can use our expertise to help our customers identify new technologies, create concepts and develop prototypes. We place a great deal of importance on getting equipment, material and processes to perform optimally, giving our client's products the best chances of competing in the market.

### **Purchasing**

Whatever a company cannot make itself, it buys in from its suppliers. Companies need to be able to rely on their suppliers to provide top quality goods and services at reasonable prices, so we take a close look at their supply base and the services it provides. We structure the purchasing market for our clients, help them to choose the right partners and develop individual courses of action using tried-and-tested methods in order to optimize their purchasing costs.



### Produktion

Das Fraunhofer IPT gilt nicht ohne Grund als erfahrener Ansprechpartner für alle Fragen der Produktion: Von der Bestimmung des Status Quo über das Produktionskonzept, die Technologieauswahl und Systemgestaltung bis hin zur Entwicklung, Optimierung und Umsetzung von Prozessen und Prozessketten – zu jedem dieser Themen können unsere Projektpartner auf unser langjähriges Know-how und ein engagiertes Team aus Experten der unterschiedlichsten Disziplinen zurückgreifen. Konzepte, Technologien und Systeme betrachten wir dabei niemals isoliert, sondern immer im Kontext ihrer praktischen industriellen Anwendung.

### Management

Manche Situationen erfordern es, auch grundlegende Managementprozesse, die technologiestrategische Ausrichtung oder das strategische und operative Management als Ganzes kritisch auf den Prüfstand zu stellen. Wir hinterfragen Strukturen und Abläufe in allen Phasen von Forschung und Entwicklung, Beschaffung und Produktion und erarbeiten gemeinsam mit unseren Kunden neue, erfolversprechende Vorgehensweisen, ohne Bewährtes dabei einfach über Bord zu werfen. Besonders wichtig ist es uns, dass Neuerungen gerade in sensiblen Bereichen auch von den jeweiligen Mitarbeitern getragen werden.

### Production

The Fraunhofer IPT is seen by its clients as an experienced partner for all issues related to production – and not without good reason. Whether we are determining their status quo, analyzing their production concept, selecting technology, designing a system, or developing, optimizing and implementing processes, they can rely on our motivated team of experts representing different disciplines and many years of expertise. We never look at concepts, technologies and systems in isolation, but see them within the context of our client's industrial practice.

### Management

In some situations, it becomes necessary to critically review one's fundamental management processes, the technology strategy or the strategic and operative management as a whole. We analyze structures and processes at all phases of research and development, purchasing and production and help our partners to develop a new, more promising approach without abandoning best practices. We consider it particularly important that their employees stand firmly behind any changes, especially in sensitive areas.



# LEITBILD

## MISSION STATEMENT

### **Industriennahe Forschung und Beratung**

Aufgabe des Fraunhofer IPT ist die Umsetzung wissenschaftlicher Erkenntnisse in wirtschaftlich nutzbare, einzigartige Innovationen auf dem Gebiet der Produktion. Das Fraunhofer IPT fördert und betreibt anwendungsorientierte Forschung, Umsetzung von Forschungsergebnissen und Beratung mit Relevanz und Wirkung zum unmittelbaren Nutzen für die Industrie und leistet dadurch einen signifikanten Beitrag zu deren Wettbewerbsfähigkeit.

### **Exzellenz und Einzigartigkeit**

Das Fraunhofer IPT erbringt Forschungs- und Beratungsleistungen exzellenter Qualität auf Basis wissenschaftlich anerkannter Vorgehensweisen und nutzt hierfür eine modernste technische Ausstattung. Es ist das Ziel des Fraunhofer IPT, in der Vertragsforschung national und international die Technologie- und Meinungsführerschaft in seinen Schwerpunktthemen zu erreichen.

### **Transparente Entwicklungsleitlinien**

Das Fraunhofer IPT arbeitet nach einheitlichen Entwicklungsleitlinien, durch die die Kompetenzen der einzelnen Fachbereiche aufeinander abgestimmt und miteinander projektbezogen zusammengeführt werden. Darüber hinaus setzt es auf interdisziplinäre Zusammenarbeit mit anerkannten Partnern aus Industrie und Forschung. Dies sind die Grundlagen dafür, dass das Fraunhofer IPT Systemlösungen aus einer Hand realisiert.

### **Qualifizierte und motivierte Mitarbeiter**

Die Leistungsfähigkeit des Fraunhofer IPT wird maßgeblich durch die fachlichen und sozialen Kompetenzen der Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter bestimmt. Mit großem Commitment zum Institut sowie durch hohe Motivation und Professionalität in der Projektbearbeitung sind die Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter des Instituts die tragende Säule der Leistungsfähigkeit. Das Fraunhofer bietet ihren Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern

### **Applied research and consulting**

The task of the Fraunhofer IPT is to transfer research findings into economically viable and unique innovations in the field of production. The Fraunhofer IPT promotes and conducts applied research, implements research results in an industrial context, and provides relevant and effective consulting services for the direct benefit of industry, thereby contributing significantly to the competitiveness of companies.

### **Excellent and exceptional**

The Fraunhofer IPT offers research and consulting services of excellent quality on the basis of scientifically recognized procedures and using state-of-the-art facilities. It is the goal of the Fraunhofer IPT to achieve technological and opinion leadership in its key focus areas with respect to contract research at both a national and international level.

### **Transparent development guidelines**

The Fraunhofer IPT works according to standard development guidelines that coordinate the competence areas of the individual departments and allow them to be integrated on a project basis. Value is also placed on interdisciplinary collaboration with recognized partners from industry and research. The Fraunhofer IPT uses these synergies to offer system solutions from a single source.

### **Qualified and motivated employees**

The performance of the Fraunhofer IPT is determined to a decisive degree by the technical and social competence of its staff. With a high level of commitment to the Institute and exceptional motivation and professionalism in projects, the employees of the Fraunhofer IPT are the foundation of our success. The Fraunhofer IPT provides its employees with an excellent working environment and a platform for professional and personal development that equips them for challenging tasks at the Institute as well as in other areas of science, in industry and in society. "Knowledge transfer via people",



ein exzellentes Arbeitsumfeld und eine Plattform zur fachlichen und persönlichen Entwicklung für anspruchsvolle Aufgaben im Institut, in anderen Bereichen der Wissenschaft, in der Wirtschaft und der Gesellschaft. Der »Transfer durch Köpfe« – das Weitertragen von Fachwissen über Personen – gehört zu den Aufgaben des Fraunhofer IPT.

#### **Kultur und Werte**

Die Zusammenarbeit am Fraunhofer IPT ist geprägt durch einen respektvollen Umgang miteinander, der durch Thementransparenz, Offenheit, Kollegialität, Verständnis und Vertrauen charakterisiert ist. Dieser Anspruch bildet auch die Basis in der Zusammenarbeit mit unseren Partnern.

#### **Kundenorientierung**

Das Fraunhofer IPT richtet seine Tätigkeit konsequent am Nutzen der Kunden aus. Kundenzufriedenheit ist für das Fraunhofer IPT ein maßgeblicher Erfolgsindikator. Auf Basis unserer Fähigkeiten und Professionalität in der Vertragsforschung pflegen wir langfristige Partnerschaften.

#### **Effiziente Organisation**

Die exzellenten Leistungen des Fraunhofer IPT basieren auf optimalen internen Abläufen und fundiertem Methodeneinsatz. Verwaltung, technische Dienstleistungen sowie Marketing und Mediengestaltung sind aktiv in die Leistungserbringung eingebunden und ermöglichen, dass sich die Fachabteilungen auf technologische und methodische Innovationen konzentrieren können. Alle Organisationseinheiten des Fraunhofer IPT tragen so zur hohen Kundenzufriedenheit bei.

#### **Wirtschaftlicher Erfolg und unternehmerisches Handeln**

Grundvoraussetzung für die selbstbestimmte Eigenständigkeit und die gezielte Weiterentwicklung des Fraunhofer IPT ist wirtschaftlicher Erfolg. Durch die eigenständige Finanzierung von Institutsaktivitäten können technologische Potenziale in Zukunftsthemen zielgerichtet angegangen und Erfolg versprechende Lösungen für die Kunden abgeleitet werden.

i.e. external transfer of know-how gained at the Institute, is actively encouraged at the Fraunhofer IPT.

#### **Culture and values**

The working environment at the Fraunhofer IPT is marked by mutual respect, content transparency, openness, cooperativeness, understanding and trust. Collaboration with our partners also rests on these values.

#### **Customer orientation**

All activities of the Fraunhofer IPT are carried out for the direct benefit of the customer. Customer satisfaction is a decisive success indicator for the Fraunhofer IPT. Our capabilities and professionalism in contract research lead to long-term partnerships.

#### **Efficient organization**

The excellent work of the Fraunhofer IPT is based on optimum internal procedures and sound use of methods. Administrative and technical departments as well as marketing and media design are actively incorporated into our services, enabling the engineering departments to concentrate on technological and methodological innovations. All organizational units of the Fraunhofer IPT therefore play a role in ensuring the high level of customer satisfaction.

#### **Economic success and entrepreneurship**

Economic success is crucial to the self-management and to the strategic development of the Fraunhofer IPT. The independent financing of the Institute allows the technological potential in future issues to be approached in a targeted way, so that promising solutions may be derived for the customer.

# EXZELLENT ZUSAMMENARBEIT

## EXCELLENT COOPERATION

Unsere Mitgliedschaft in Netzwerken und Kooperationen versetzt uns in die Lage, interdisziplinäre Aufgaben auch über die Grenzen unseres Instituts hinaus zu lösen. So fördern wir nicht nur den Wissenstransfer, sondern auch die praxisnahe Aus- und Weiterbildung. Das umfassende Forschungsspektrum der Fraunhofer-Gesellschaft und die Nähe zur RWTH Aachen eröffnen uns einen weiteren umfangreichen Wissenspool, aus dem wir schöpfen können.

- Am Standort Aachen kooperieren wir in allen unseren Arbeitsgebieten eng mit dem Werkzeugmaschinenlabor WZL der RWTH Aachen, dessen vier leitende Lehrstuhlinhaber auch das Direktorium des Fraunhofer IPT stellen.
- In Paderborn beschloss das Fraunhofer IPT im Frühjahr 2011 die Einrichtung der Fraunhofer-Projektgruppe Entwurfstechnik Mechatronik, die sich mit der Entwicklung mechatronischer Systeme für die Regelungstechnik, Softwaretechnik und Produktentstehung befasst.
- Internationalen Auftraggebern mit Standort USA stellen wir unsere Leistungen über das Fraunhofer Center for Manufacturing Innovation CMI in Boston vor Ort zur Verfügung.

### **Schnittstelle zwischen Industrie und Wissenschaft**

Unsere Forschungs- und Entwicklungsdienstleistungen reichen von strategischer Vorlaufforschung über bilaterale Industrieprojekte bis hin zur Koordination industrieller Projektkonsortien. Dabei stehen für uns praxisgerechte Lösungen und unmittelbar umsetzbare Ergebnisse für die Industrie immer im Mittelpunkt unserer Arbeit.

Our membership in networks and cooperative projects gives us the ability to solve interdisciplinary problems that would otherwise be beyond the scope of a single institute. This is not only a means to encourage the exchange of knowledge but also to carry out practical training and education. The extensive research spectrum covered by the Fraunhofer-Gesellschaft and the proximity to the RWTH Aachen University gives us access to a far greater pool of knowledge to draw from.

- In Aachen, we cooperate closely with the Laboratory for Machine Tools and Production Engineering WZL of the RWTH Aachen University in all our areas of expertise. The four senior professors at the WZL are also the directors of the Fraunhofer IPT.
- Since spring of 2011 the Fraunhofer IPT runs the Fraunhofer Project Group for Mechatronic Systems Design in Paderborn. This project group works on the development of mechatronic systems for control engineering, software engineering and product engineering.
- International clients based in the USA are provided with on-the-spot services via the Fraunhofer Center for Manufacturing Innovation CMI in Boston.

### **Connecting industry and science**

Our R&D services range from strategic groundwork research and bilateral industrial projects to the coordination of industrial project consortia in, for instance, joint projects funded by the EU. Throughout our work, we focus on generating practical solutions that can be directly implemented in industry.



### **Bilaterale Industrieprojekte**

Kurz- bis mittelfristig angelegte Auftragsforschung für Industriekunden bei individueller Auftragsgestaltung sowie langfristig angelegte Projekte zur gemeinsamen Lösungsfindung in einem konkurrenzarmen Umfeld.

- Technologie- und Methodenberatung
- Machbarkeitsstudien, Analysen und Bewertungen
- Techniken, Maschinen und Methoden
- Prototypen- und Maschinenbau

### **Öffentlich geförderte Projekte**

Mittel- bis langfristig angelegte Forschungsprojekte in einem Verbund aus Forschungs- und Industriepartnern.

- BMBF- und EU-Verbundprojekte
- Koordination industrieller Projektkonsortien
- Beratung für nationale und EU-Forschungsanträge

### **Internationale Projekte**

- Marktbewertung
- Standortaufbau
- Know-how-Transfer

### **Strategische Vorlaufforschung**

- Sonderforschungsbereiche und DFG-Grundlagenprojekte
- Studien

### **Dienstleistungen**

- Marktstudien
- Konstruktion und Kleinserienfertigung
- Messaufgaben
- Simulation

### **Bilateral industrial projects**

Short to medium-term contract research for industrial clients with individual commissioning and joint, long-term problem-solving projects in areas in which competition is minimal.

- Advice on technologies and methods
- Feasibility studies, analysis and assessments
- Techniques, machines and methods
- Prototype and machine construction

### **Public funding**

Medium to long-term research projects carried out by a network of research and industrial partners.

- Joint BMBF projects and EU projects
- Coordination of industrial project consortia
- Advice on national and EU research contracts

### **International projects**

- Market evaluation
- Site establishment
- Know-how transfer

### **Strategic preliminary research**

- Special research fields and fundamental projects contracted out by the German Research Foundation (DFG)
- Studies

### **Services**

- Market studies
- Design and small series
- Measuring activities
- Simulations

# SPIN-OFFS

## SPIN OFFS

### **Aixtooling GmbH**

Die Aixtooling GmbH wurde 2005 als Spin-off Unternehmen des Fraunhofer IPT mit der Vision gegründet, das Präzisionsblankpressen von optischen Gläsern in Europa als eine Standardtechnologie der optischen Industrie zu etablieren. Das Unternehmen verfügt über umfangreiche Kompetenzen in allen wichtigen Bestandteilen der Prozesskette zur replikativen Fertigung von Präzisionsoptiken aus Glas. Kernkompetenz der Aixtooling GmbH sind das Werkzeugdesign, die Prozessauslegung sowie die Herstellung ultrapräziser Werkzeugsysteme.

### **Innolite GmbH**

Die Innolite GmbH wurde im August 2008 aus dem Fraunhofer IPT gegründet. Initiales Kerngeschäft ist der ultrapräzise Formenbau für die Replikation von Kunststoffoptiken sowie die direkte Fertigung von Metalloptik. 2009 sind erste erfolgreiche Projekte im Bereich des Kunststoffspritzprägens abgeschlossen worden. In enger Zusammenarbeit mit den Kooperationspartnern Arburg und dem IKV der RWTH Aachen konnte ein entscheidender Beitrag für die Kunden der Innolite GmbH hinzugezogen werden.

### **WBA Aachener Werkzeugbau Akademie GmbH**

Die WBA Aachener Werkzeugbau Akademie GmbH bündelt die Kompetenzen des Fraunhofer IPT und des Werkzeugmaschinenlabors WZL der RWTH Aachen für die Unternehmen des Werkzeug-, Formen- und Vorrichtungsbau. Die im Jahr 2010 gegründete GmbH besitzt einen eigenen Demonstrations-Werkzeugbau und bietet Weiterbildungsangebote an, bis hin zu einem Masterprogramm der RWTH Aachen. Mit dem Partnermodell der WBA wird auch kleinen und mittleren Unternehmen die Durchführung gemeinsamer, praxisnaher Forschungsprojekte ermöglicht. Darüber hinaus berät die WBA gemeinsam mit den Aachener Instituten Unternehmen der Branche zu technologischen und organisatorischen Fragen.

### **Aixtooling GmbH**

Aixtooling GmbH was founded in 2005 as a spin-off company of the Fraunhofer IPT, with the vision of establishing precision molding of optical glass as a standard technology for the optical industry in Europe. The company has extensive competencies in every significant component of the process chain for the replicative fabrication of precision glass optics. The core competencies of Aixtooling GmbH are mold design, process layout, and the fabrication of ultra-precision molding systems.

### **Innolite GmbH**

Innolite GmbH was founded in August 2008 as a spin off of the Fraunhofer IPT. Their core business has since been the ultra-precision mold-making for the replication of plastic optics as well as the direct manufacturing of metal optics. In 2009 the first successful projects in the field of plastic injection compression molding were completed. A decisive contribution to our customers was first made possible thanks to the close cooperation with our partners Arburg and the Institute of Plastics Processing IKV of the RWTH Aachen University.

### **WBA Aachener Werkzeugbau Akademie GmbH**

The WBA Aachener Werkzeugbau Akademie GmbH concentrates the competencies of the Fraunhofer IPT and the Laboratory for Machine Tools and Production Engineering WZL of the RWTH Aachen University for tool, mold, and die making companies. The WBA was founded in 2010 and owns a tool shop for demonstration purposes. The corporation offers continuing education programs as well as a master's program in collaboration with the RWTH Aachen University. In the partnership model of the WBA, small and medium sized companies are able to work on research projects that have a practical orientation. Besides, the WBA answers technological and organizational questions of companies of the industry.



### **son-x GmbH**

Die son-x GmbH wurde im Sommer 2011 in Aachen als Spin-off Unternehmen des Fraunhofer IPT gegründet und bietet Bearbeitungssysteme für die ultraschallunterstützte Ultrapräzisionsbearbeitung an. Diese Technologie ermöglicht die direkte Bearbeitung von Stahl mit monokristallinen Diamantwerkzeugen in optischer Qualität. Durch die langjährige Tätigkeit der Mitarbeiter von son-x im Bereich der Ultrapräzisionsbearbeitung und der Optikfertigung wurde ein umfangreiches Know-how aufgebaut.

### **polyscale GmbH & Co. KG**

Kernkompetenzen von polyscale sind die Mikrostrukturierung von großen Oberflächen, das optische Design zur Erstellung flächiger Lichtleiter höchster Leistungsfähigkeit und die Überführung der Ergebnisse in marktreife Serienprodukte für die einzelnen Zielmärkte in enger Zusammenarbeit mit dem Kunden. Insbesondere individuelle Weiterentwicklungen oder komplette Entwicklungsprojekte werden in enger Kooperation mit dem Fraunhofer IPT durchgeführt.

### **KEX Knowledge Exchange AG**

Die KEX Knowledge Exchange AG ist ein professioneller Informationsdienstleister für Technologie- und Marktinformationen, der im Jahr 2013 gegründet wurde. Intelligente Wissensmanagementsysteme, eine umfassende Anbindung an exklusive Informationsquellen und ein einzigartiges Expertennetzwerk ermöglichen effektives Scanning, Scouting und Monitoring von Technologien und Märkten. Mittels einer bedarfsspezifischen Aufbereitung von Informationen ist die KEX in der Lage, vielfältige unternehmerische Entscheidungen zu unterstützen.

### **son-x GmbH**

son-x GmbH was founded in the summer of 2011 in Aachen, Germany, as a spin-off company of the Fraunhofer IPT that offers tooling systems for ultrasonic-assisted ultra-precision machining. By means of this technology, son-x enables direct machining of hardened steel and other materials with single-crystal diamond tools in an optical quality. Through the long-term experience of son-x's employees in the field of ultra-precision machining and optics manufacturing, a strong basis of know-how could be established.

### **polyscale GmbH & Co. KG**

polyscale develops, manufactures and distributes micro-structured components with optical features. A complex production process allows new properties of structured surfaces, opening various fields of applications. polyscale concentrates on LED-driven technologies to develop and manufacture light guide plates. polyscale's light guide solutions provide customized products for various industries to meet the highest possible standards of performance, efficiency and individuality.

### **KEX Knowledge Exchange AG**

The KEX Knowledge Exchange AG is a professional information provider for technology and market information, founded in 2013. Intelligent knowledge management systems, complete accessibility to exclusive sources of information and a unique network of experts allow effective scanning, scouting and monitoring of technologies and markets. By means of a demand-specific compilation and assessment of information, the KEX is best placed to support a wide range of business decisions.

# DAS INSTITUT IN ZAHLEN

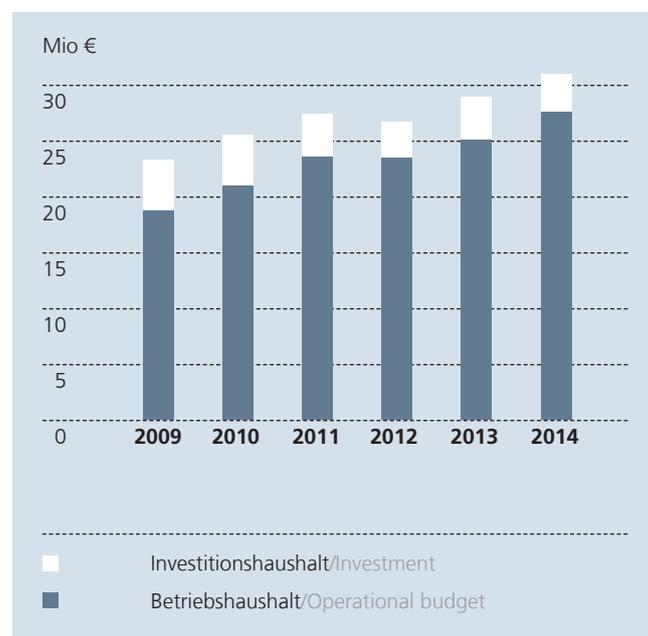
## FACTS AND FIGURES

### Haushalt

Die Finanzstruktur der Fraunhofer-Gesellschaft unterscheidet zwischen dem Betriebs- und dem Investitionshaushalt. Der Betriebshaushalt umfasst alle Personal- und Sachaufwendungen sowie deren Finanzierung durch externe Erträge und institutionelle Förderung. Der integrierte Finanzplan der Fraunhofer-Gesellschaft erlaubt die Mittelbewegung zwischen beiden Haushalten.

### Budget

The financial structure of the Fraunhofer-Gesellschaft distinguishes between operational and investment budgets. The operational budget includes all personnel and material costs, external profits and funding. The Fraunhofer-Gesellschaft's integrated financial plan allows for transfers between budgets.



### **Betriebshaushalt**

Der Betriebshaushalt hatte im Jahr 2014 ein Volumen von circa 27,5 Mio €. Er wies für das Berichtsjahr eine Eigenfinanzierungsquote des Instituts von etwa 76 Prozent auf.

### **Vertragsforschung**

Die Erträge aus Forschungsprojekten, die von Bundes- und Länderministerien gefördert wurden, sind gestiegen und trugen mit 6,0 Mio € bzw. 29 Prozent zur Eigenfinanzierung bei.

Die Erträge aus Projekten mit der EU-Kommission sind auf 2,0 Mio € gesunken. Da die EU nicht 100 Prozent der Kosten erstattet, sind die Fraunhofer-Institute aufgrund ihrer begrenzten Grundfinanzierung in der Akquisition von EU-Projekten eingeschränkt.

Das Fraunhofer IPT führte gemeinsam mit der Industrie Verbundprojekte durch, die zusammen mit den Erträgen aus der Auftragsforschung für Industrie, Wirtschaft und Wirtschaftsverbände eine Höhe von 11,9 Mio €, also 57 Prozent des Eigenfinanzierungsanteils erreichten.

Die Zahlen geben den vorläufigen Jahresabschluss 2014 an.

### **Operational budget**

The operational budget amounted to approx. 27.5 million euros in 2014, with 76 percent self-financing.

### **Contract research**

Profits generated through research in national and statefunded projects increased slightly, contributing 6.0 million euros to the institute's financing (29 percent).

Profits generated through EU-funded projects decreased to 2.0 million euros. EU projects are not fully-financed, calling for a contribution from the research institute. Fraunhofer Institutes therefore limit their applications for such projects.

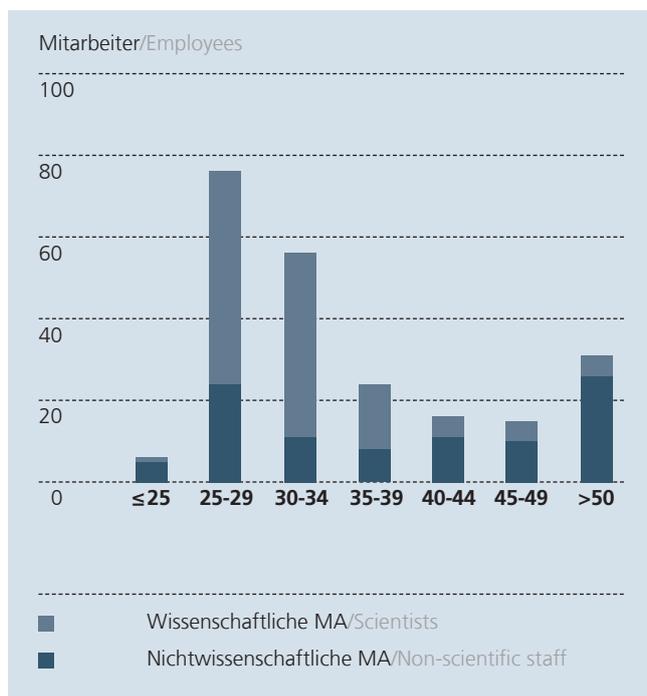
The Fraunhofer IPT took on projects in cooperation with industrial partners which, combined with the profits from contract research for industry, business and trade associations, contributed 11.9 million euros to the institute's finances (57 percent).

The figures indicate the preliminary annual financial statement of 2014.

**Personalstruktur des Fraunhofer IPT**

Im Jahr 2014 waren im Schnitt 466 Mitarbeiter am Institut beschäftigt. Der Personalbestand der festangestellten wissenschaftlichen und nicht-wissenschaftlichen Mitarbeiter wuchs in diesem Jahr auf 216 Mitarbeiter an. Der Anteil der Wissenschaftler lag bei circa 59 Prozent. Kennzeichnend ist ein hoher Anteil an jungen Mitarbeitern zwischen 25 und 35 Jahren, vorwiegend wissenschaftliche Mitarbeiter, die häufig nach dem Studium am Institut ins Berufsleben einsteigen. Daneben zeigt sich ein solider Sockel an nicht-wissenschaftlichen Mitarbeitern durchgängig über alle Altersklassen.

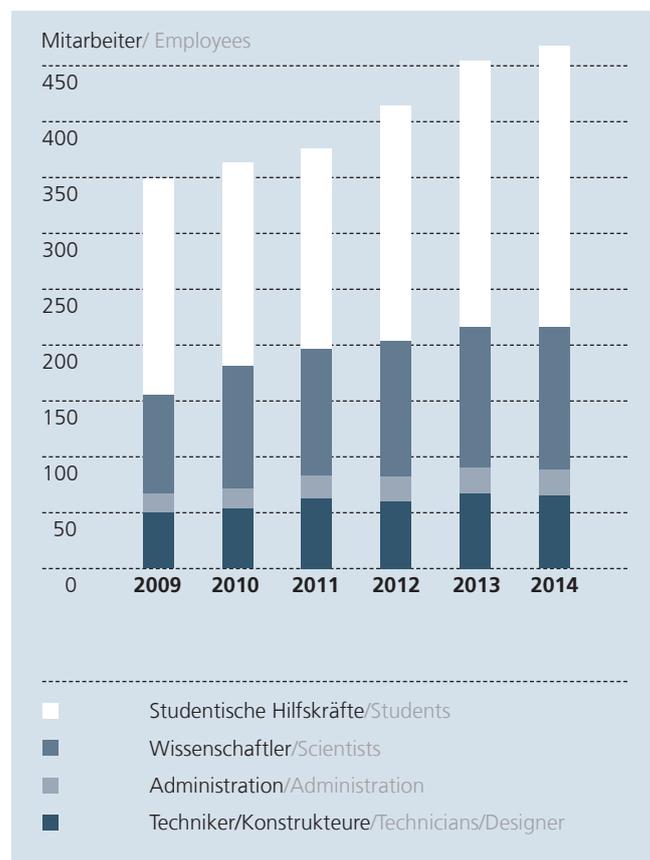
Am Fraunhofer Center for Manufacturing Innovation CMI in Boston, USA, waren in diesem Jahr 27 Mitarbeiter beschäftigt. Die Zahl der festangestellten wissenschaftlichen Mitarbeiter betrug 2014 15 Mitarbeiter. Zwei nicht-wissenschaftliche Festangestellte unterstützten sie bei der Projektarbeit.



**Personnel structures at the Fraunhofer IPT**

An average of 466 staff was employed at the institute in 2014, with around 215 permanent staff members in scientific and non-scientific departments (circa 59 percent scientific staff). Remarkable is the high proportion of young employees aged 25 to 35, mostly graduates starting their career at the Fraunhofer IPT as scientific staff. Besides, there is a continuously strong base of non-scientific staff of all ages.

The Fraunhofer Center for Manufacturing Innovation CMI in Boston, USA, employed a staff of 27 in the past year, 15 of which were permanent scientific staff with a support staff of two.



# KURATORIUM

## BOARD OF TRUSTEES

Die Kuratorien der einzelnen Fraunhofer-Institute stehen der Institutsleitung und dem Vorstand der Gesellschaft beratend zur Seite. Ihnen gehören Persönlichkeiten der Wissenschaft, der Wirtschaft und der öffentlichen Hand an. Zum Kuratorium des Fraunhofer IPT gehörten im Berichtsjahr folgende Mitglieder:

Each of the Fraunhofer Institutes has a Board of Trustees to advise the management of the Institute and the Management Board of the Fraunhofer-Gesellschaft. They include personalities from academic life, business and government. The members of the Board of Trustees of the Fraunhofer IPT in the year under review were as follows:

Dr.-Ing. Stefan Nöken  
Hilti AG, Schaan/Liechtenstein

Prof. Dr.-Ing. Eberhard Abele  
Institut für Produktionsmanagement, Technologie und  
Werkzeugmaschinen (PTW) der Technischen Universität  
Darmstadt  
Institute of Production Management, Technology and  
Machine Tools of Technische Universität Darmstadt

Prof. Dr.-Ing. Kirsten Bobzin  
Institut für Oberflächentechnik der RWTH Aachen  
Surface Engineering Institute, RWTH Aachen University

Dr.-Ing. Uwe H. Böhlke  
Oerlikon Balzers Coating AG, Balzers/Liechtenstein

Dr.-Ing. Matthias Fauser  
Dr. Johannes Heidenhain GmbH, Traunreut

Dipl.-Ing. Hans-Dieter Franke  
Management Partner MPower GmbH, Stuttgart

Dr.-Ing. Markus Hilleke  
Schrag Kantprofile GmbH, Hilchenbach

Manfred Nettekoven  
Kanzler der RWTH Aachen  
Chancellor of the RWTH Aachen University

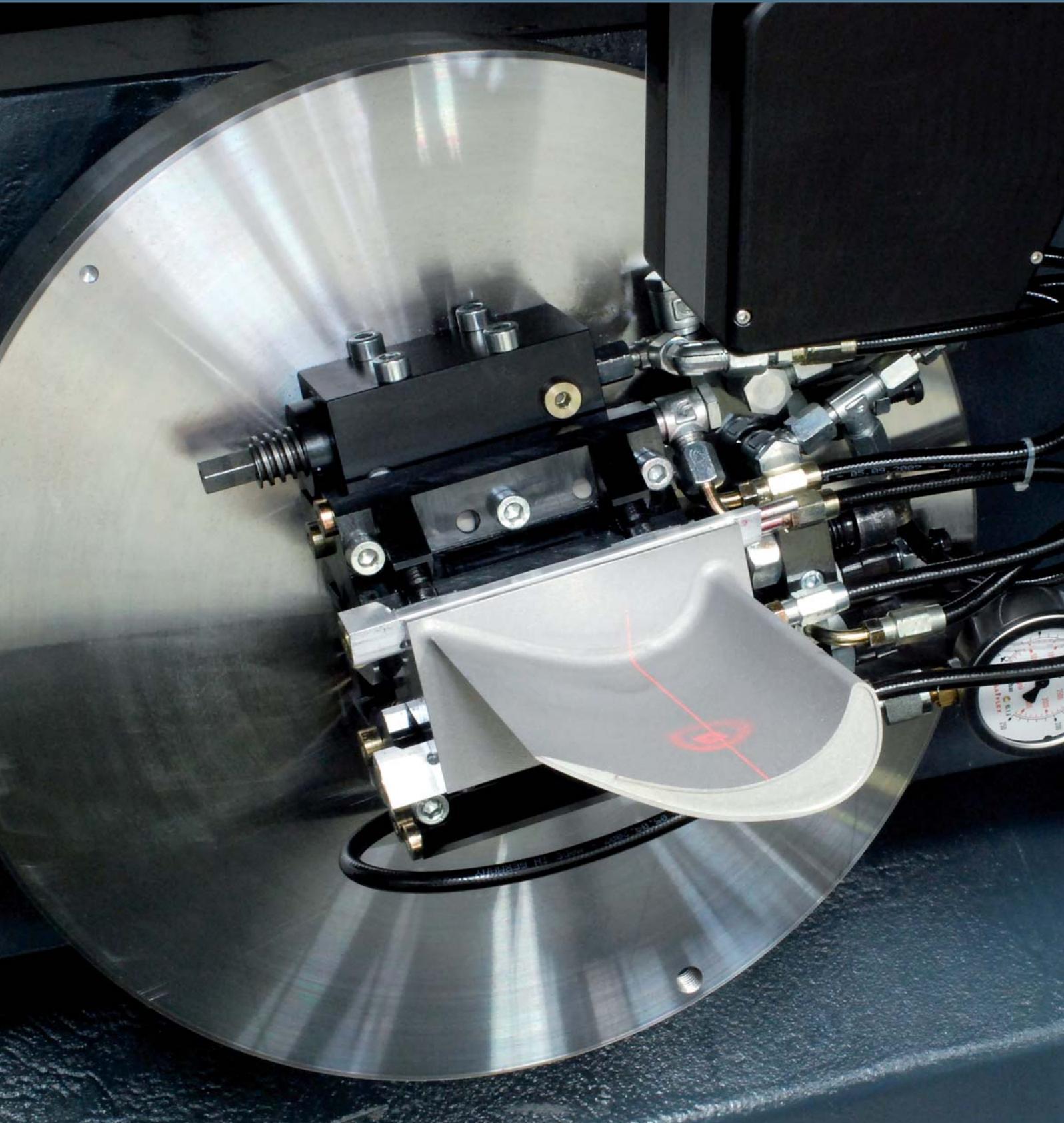
MinRat Hermann Riehl  
Bundesministerium für Bildung und Forschung, Bonn  
Federal Ministry of Education and Research, Bonn

Karl Schultheis, MdL  
Mitglied des Landtags Nordrhein-Westfalen, Düsseldorf  
Member of the North Rhine-Westphalian Landtag, Düsseldorf

Dr. Markus Weber  
Carl Zeiss AG, Oberkochen

Dr.-Ing. Hans-Henning Winkler  
Unternehmensberatung, Tuttlingen

# UNSERE GESCHÄFTSFELDER OUR BUSINESS UNITS



Wer in der Produktionstechnik erfolgreich sein will, muss immer wieder über die eigenen Grenzen blicken, Veränderungen schnell erkennen und flexibel mitgestalten. In unseren Geschäftsfeldern orientieren wir uns daher besonders an den strategischen Bedarfen verschiedener Branchengruppen. Hier zeichnet uns ein tiefgehendes Verständnis für die individuellen Anforderungen und Möglichkeiten der entsprechenden Kundengruppen aus, sodass wir die Entwicklungen entscheidend vorantreiben können.

Wir führen in unseren Geschäftsfeldern das breite Kompetenzspektrum unserer Fachabteilungen zusammen und können unseren Kunden so durchgängige und bedarfsgerechte Lösungen anbieten. Abhängig von den jeweiligen Schwerpunkten greifen wir auch auf unser erweitertes Netzwerk zurück und binden die Kompetenzen unserer Partner ein. Eine besonders enge Kooperation verbindet uns hier mit dem Fraunhofer CMI und dem Werkzeugmaschinenlabor WZL der RWTH Aachen. Dies versetzt uns in die Lage, interdisziplinäre Aufgaben auch über die Grenzen eng gesteckter Arbeitsgebiete hinweg zu lösen.

Being successful in the field of production technology requires the ability to overcome one's limitations and the willingness to react fast and flexibly in the face of sudden changes. In our business units we take a close look on the strategic demands of different industries, being well known for our profound knowledge of their individual needs and scopes and for driving further developments.

In our business units we use the wide expertise of our departments and provide comprehensive solutions to our customers. Depending on the task we employ our enhanced network and involve partners, in particular the Fraunhofer CMI and the Laboratory for Machine Tools and Production Engineering WZL of the RWTH Aachen University. This enables us to solve interdisciplinary problems.

**34 Turbomaschinen**  
Turbomachinery

**40 Leichtbau-Produktionstechnik**  
Production of Lightweight Components

**46 Werkzeugbau**  
Tool and Die Making

**52 Optik**  
Optics

**58 Integrierte mechatronische Systeme**  
Integrated Mechatronical Systems

**64 Life Sciences Engineering**

# TURBOMASCHINEN

## TURBOMACHINERY

Höhere Effizienz und niedrigere Emissionswerte sind die zentralen Ziele bei der Entwicklung moderner Turbomaschinen. Kennzeichnend sind zum Beispiel hochwarmfeste Werkstoffe, komplexe Geometrien und integrierte Komponenten. Das Fraunhofer IPT erforscht und entwickelt im Geschäftsfeld »Turbomaschinen« Technologien zur Herstellung und Reparatur von Komponenten des Turbomaschinenbaus für die Luftfahrt, die Energie- und Automobil- sowie Öl- und Gasindustrie. Wir optimieren nicht nur konventionelle Fertigungstechnologien, sondern entwickeln auch zukunftsweisende Lösungen für den Turbomaschinenbau. Durchgängiges Prozesskettendesign, Fertigungsverfahren, messtechnische Systeme, Prozessautomatisierung sowie Technologie- und Qualitätsmanagement sind unsere Spezialität. Durch unser langjähriges Netzwerk greifen wir auf das Know-how weiterer wissenschaftlicher Einrichtungen in Deutschland zu. Besonders enge Zusammenarbeit verbindet uns sowohl mit dem Fraunhofer-Institut für Lasertechnik ILT als auch dem Werkzeugmaschinenlabor WZL der RWTH Aachen.

### Unsere Leistungen

- Optimierung von Einzeltechnologien wie Fräsen, Schleifen, Lasermaterialbearbeitung oder Wasserstrahlschneiden
- Technologieübergreifende Leistungen wie Qualitäts- und Risikomanagement sowie Technologie- und Marktpotenzialanalysen
- Absicherung der Prozessfähigkeit mittels Maschinencharakterisierung oder Prozessüberwachung
- Robuste und adaptive Auslegung durchgängiger Fertigungs- und Reparaturprozessketten durch Spann- und Referenzsysteme sowie optischer Messtechnik

### Kontakt/Contact

Dipl.-Ing. Alexander Schäfer  
Telefon/Phone +49 241 8904-367  
alexander.schaefer@ipt.fraunhofer.de

Increased efficiency and lower emissions – these are the key objectives in today's development of turbomachinery. Such engines are, for example, made from highly heat-resistant materials, and they feature complex geometries as well as integrated components. In its business unit for "Turbomachinery", the Fraunhofer IPT explores and develops technologies for the production and maintenance of turbo engine components for the aerospace, energy, automotive, oil and gas industries. We optimize conventional production technologies and develop new, groundbreaking solutions for jet engine and turbine construction. We specialize on integrated process chain design, production techniques, metrology systems, process automation, technology management and quality management. Our long-standing network of contacts allows us to access the know-how of many scientific and academic institutions all over Germany. We enjoy specifically close working relationships with the Fraunhofer Institute for Laser Technology ILT and the Laboratory for Machine Tools and Production Engineering WZL of the RWTH Aachen University.

### Our services

- Optimization of single technologies such as milling, grinding, laser material processing or water jet cutting
- Overall quality and risk management as well as technology and market studies
- Ensuring process capability by machine tool characterization or process monitoring
- Robust and adaptive design of integrated manufacturing and repair process chains by use of clamping and reference systems as well as optical metrology



### **Fraunhofer-Innovationscluster »Adaptive Produktion für Ressourceneffizienz in Energie und Mobilität – AdaM«**

Ein Großteil der Energieversorgung wird noch für längere Zeit auf fossile Energieträger angewiesen sein, denn erneuerbare Energien können die heutigen Bedarfe noch nicht vollständig und zuverlässig decken. Für die Automobil-, Flugzeug- und Energiebranche sind deshalb neue Antriebskonzepte mit deutlich reduzierten Emissionswerten und geringem Treibstoffverbrauch essentiell. Ziel des Fraunhofer-Innovationsclusters »Adaptive Produktion für Ressourceneffizienz in Energie und Mobilität – AdaM« ist es, einen weiteren Beitrag zur nachhaltigen Steigerung der Ressourceneffizienz in Energieversorgung und Mobilität zu leisten. Im Vordergrund der Entwicklungen stehen neue Turbomaschinenkonzepte und Designs von Turbomaschinen-Komponenten mit einem messbar höheren Wirkungsgrad und niedrigeren CO<sub>2</sub>-Emissionen im Energiewandlungsprozess. Erreicht werden soll dies durch flexible und gleichzeitig robuste Herstellungs- und Reparaturketten sowie leicht anpassbare Einzeltechnologien für die Produktion von Turbomaschinen. Die Leistungsfähigkeit der Prozesskette zeigt ein Demonstrator in Form eines Schaufelclusters aus sechs Doppelschaufeln. Bisher konnten die Schaufeln für Turbinen nur paarweise als Twinblades hergestellt werden. Nun lassen sie sich wesentlich einfacher und schneller montieren. Außerdem wurde im Rahmen der Arbeiten im Innovationscluster auch der Fuß des Schaufelclusters optimiert: Dieser war bisher herstellungsbedingt massiv, nun ist durch die Kombination von Fräsen und Selective Laser Melting erstmals eine Wabenstruktur möglich. Das gesamte Bauteil wird dadurch um etwa 30 Prozent leichter. Die erweiterte Design-Freiheit durch die Kombination der leistungsfähigen Verfahren bietet außerdem mehr Möglichkeiten, die Effizienz der Turbomaschinen zu erhöhen. Die Bewertung der Ressourceneffizienz erfolgt dabei in Form einer Lebenszyklusbetrachtung und berücksichtigt auch die Herstellung, den Betrieb und die Reparatur der Turbomaschinen. Die zugehörigen Entwicklungsarbeiten stehen in enger Kooperation mit führenden Unternehmen aus

### **Fraunhofer Innovation Cluster "Adaptive Production for Resource Efficiency in Energy and Mobility"**

For now and the foreseeable future, we will need to cover a substantial part of our energy needs with fossil fuels. Renewable energies cannot yet fully and reliably meet today's demand. For car manufacturers, the aerospace industries and energy suppliers, this means that they will require new drive concepts with significantly reduced emissions and low fuel consumption. The Fraunhofer Innovation Cluster "AdaM" aims to make a contribution to more resource efficiency in power generation and transport. The research concentrates on new turbo engine concepts and the design of turbomachinery components that combine measurably higher levels of efficiency with reduced CO<sub>2</sub> emissions in the energy conversion process. The idea is to reach this objective through flexible yet, at the same time, robust manufacturing and repair chains as well as through individual easy-to-adapt technologies for the production of turbomachinery. The technological capacity of the process chain is illustrated by a demonstrator which consists of six double blades arranged in the shape of a cluster. Until recently, it was only possible to manufacture turbine blades in pairs as so-called twin blades. Now, they can be assembled much more quickly and conveniently. The researchers of the innovation cluster also managed to optimize the base of the blade cluster: the conventional production process did not permit anything but a massive base, but the combination of milling processes with the technology of selective laser melting has made it possible for the first time to introduce a base with a honeycomb structure. This serves to reduce the total weight of the component by about 30 percent. The combination of two high-performance technologies has also opened up new perspectives for industrial designers, creating opportunities for the construction of turbines with higher levels of efficiency. Existing levels of resource efficiency will, for the first time, be assessed through a lifecycle assessment which takes into account the production, the operation and the maintenance of the turbomachinery. Research and development works

Nordrhein-Westfalen wie Siemens Power Generation in Mülheim an der Ruhr und MAN Diesel & Turbo SE in Oberhausen sowie mit zahlreichen kleinen und mittleren Zulieferern. Für die beteiligten OEMs und Zulieferer im Wirtschaftsraum NRW entsteht so eine einzigartige Plattform, die dazu beiträgt, die Wettbewerbsposition des Landes NRW und der beteiligten Unternehmen nachhaltig zu sichern und auszubauen. Die Finanzierung des Fraunhofer-Innovationsclusters stammt mit 5 Mio. € aus Mitteln der beteiligten Partnerunternehmen; jeweils 2,5 Mio. € steuern das Land NRW (Förderkennzeichen PRO/0042) und die Fraunhofer-Gesellschaft bei.

### **Maschinenqualifizierung**

Zukunftsweisende Technologien lassen sich in der Entwicklung moderner Turbomaschinen erst dann wirtschaftlich in die Praxis umsetzen, wenn geeignete Fertigungsverfahren existieren. Hier setzt das Fraunhofer IPT an und erforscht Technologien zur Herstellung und Reparatur zentraler Komponenten der Branche: Bauteile wie BLISKS und Radialverdichter sind strömungsmechanisch optimiert und weisen eng tolerierte Freiflächengeometrien auf, die über eine gute Oberflächenqualität verfügen müssen. Hohe thermo-mechanische Belastungen während des Betriebs erfordern zudem den Einsatz schwer zu zerspanender Materialien. Um die Komponenten wirtschaftlich herzustellen, muss die eingesetzte Maschinenteknik hohe Anforderungen erfüllen. Welche Anforderungen dies im Einzelnen sind und welche Werte erreicht werden müssen untersuchte das Fraunhofer IPT gemeinsam mit dem WZL der RWTH Aachen. Prozesstechnologen sowie Maschinen- und Messtechnikexperten haben zusammen ein systematisches Vorgehen entwickelt, mit dem die Eignung von 5-Achs-Bearbeitungszentren für die Turbomaschinenherstellung effizient und schlüssig quantifiziert werden kann. Ausgangspunkt dabei ist entweder eine konkrete Komponente oder ein ganzes Bauteilspektrum: Aus technischen Zeichnungen und den CAD/CAM-Daten werden in einem ersten Schritt merkmalsbasierte Anforderungen abgeleitet. Diese umfassen

are performed in close cooperation with leading industrial companies from the federal state of North-Rhine Westphalia such as Siemens Power Generation (Mülheim an der Ruhr), MAN Diesel & Turbo SE (Oberhausen) and many SME suppliers. This approach provides a unique platform for the project's local OEMs and suppliers, helping to assure and improve the competitive position of NRW state and its manufacturing companies. The Fraunhofer's innovation cluster is being funded with 5 million euros that have been contributed by the partner companies and 2.5 million euros each from the state government (contract number PRO/0042) and the Fraunhofer-Gesellschaft.

### **Qualification of Machines**

High levels of efficiency and low emission values are two key objectives of modern turbine development. Groundbreaking technologies in this field, however, can only become an economically viable option for industrial corporations once they have been converted into actual manufacturing techniques. This is where the Fraunhofer IPT enters the picture, exploring technologies for the production and repair of central components within the industry: components such as BLISKS and radial compressors feature optimized fluid mechanics and fluid geometries with excellent surface qualities and fluid geometries with a narrow band of tolerance limits. The high levels of thermo-mechanical stress to which these components are regularly exposed also require the use of hard materials that are difficult to machine. The engineering technology to manufacture such components cost-effectively must therefore meet highly ambitious standards. With a view to analyzing these standards in greater detail and to establishing the target parameters that must be achieved, the Fraunhofer IPT and the WZL of the RWTH Aachen University have conducted a joint study. Experts in process technology, engineering and metrology have developed a procedure of assessing, with efficiency and a high degree of reliability, how suitable individual 5-axial machining centers are for the production of turbo engines. As



geometrische Randbedingungen wie Krümmungsradien und Aspektverhältnisse, fertigungstechnische Überlegungen zu Bearbeitungsstrategien und eingesetzten Werkzeugen sowie konkrete Bauteilanforderungen an Toleranzen und Oberflächen. Zur Ermittlung der Maschineneignung werden diese Zielgrößen mit der technischen Leistungsfähigkeit des Bearbeitungszentrums korreliert. Die messtechnische Überprüfung der entsprechenden Kennwerte umfasst alle wesentlichen Eigenschaften der Werkzeugmaschine: Volumetrische Genauigkeit der Vorschub- sowie der Dreh- und Schwenkachsensysteme, Rund- und Planlauf der Spindel sowie die statische und dynamische Steifigkeit der gesamten Maschinenstruktur. Anhand speziell gefertigter Prüfwerkstücke erfolgen weitere Schritte der Maschinencharakterisierung, die die Messergebnisse absichern und ergänzen. Hier bezieht das Fraunhofer IPT die Rotationsachsen mit ein: Der Geometrie eines neu entwickelten Bauteils sind Sinusfunktionen zugrunde gelegt, die verschiedene Bearbeitungsstrategien zulassen und auf diese Weise die verschiedenen Maschinenfehler getrennt auflösen.

### **Prozessketten und -technologien zur Fertigung nickelbasierter HPC-BLISKS**

Gemeinsam mit dem WZL der RWTH Aachen und der EMAG ECM GmbH untersuchte das Fraunhofer IPT verschiedene konventionelle und weiterführende Bearbeitungsstrategien nickelbasierter hochdruckverdichtender HPC-BLISKS auf technologische und wirtschaftliche Eigenschaften. Ein objektiver Vergleich setzt eine umfassende Auswertung der vorhandenen Technologien voraus. Neben dem konventionellen Fräsen aus dem Vollen ist das präzise elektrochemische Abtragen (PECM) eine vielversprechende Alternative. Zu einem vergleichbaren Ansatz sind bisher keine detaillierten und verlässlichen Informationen erhältlich. Deshalb diente zunächst eine HPC-BLISK-Geometrie als Referenz für alle weiteren Studien, die aus einer Anzahl realer BLISK-Designs abgeleitet und weiterentwickelt wurde. Diese ermöglichte es den Forschungspartnern,

a starting point, they use either a specific component or an entire range of components. As a first step, feature-based requirements are established on the basis of technical drawings and the available CAD/CAM data. These requirements include geometric conditions such as curvature radii and aspect relations, considerations of production engineering concerning the possible manufacturing strategies and machine tool equipment as well as specific component requirements for tolerance limits and surface qualities. In order to establish how suitable the machine under review actually is, these target parameters are then compared with the actual performance data of the machining centre. Measuring values are compiled to assess all significant properties of the machine tool: volumetric accuracy of the feeding system and of the rotary axis as well as the pivoting axis systems, concentricity and coaxiality of the spindle and static as well as dynamic rigidity of the machine structure. Further assessments of the machine to complement and corroborate the measuring values are conducted on the basis of experiments performed on specifically manufactured test specimens. For this purpose, the Fraunhofer IPT extends the scope of its analysis to include the rotary axes: the geometries of newly developed components are based on sinus functions that permit different processing strategies, resolving different machine errors in separate ways.

### **Process Chains and Process Technologies for the Production of Nickel-Based HPC BLISKS**

In close coordination with the WZL of the RWTH Aachen University and EMAG ECM GmbH, the Fraunhofer IPT has analyzed a range of conventional and advanced industrial strategies for the processing of nickel-based high-pressure compressor BLISKS, establishing their technological and commercial potentials. An objective comparison must be based on a comprehensive survey of the existing technologies. Precision-electrochemical machining (PECM) provides a promising alternative to the conventional milling of solid blocks. No detailed and reliable data, however, have so far been made

verschiedene Fertigungsprozessketten und -technologien an vorhandenen Werkzeugmaschinen unabhängig von Kundenwünschen miteinander zu vergleichen. Im Projekt wurden neben unterschiedlichen Fertigungstechnologien auch mögliche Prozessketten ausgewertet. Dafür verglichen die Forscher zwei konventionelle Herstellungswege: das mehrachsige Fräsen, kombiniert mit dem Polieren, oder DC-ECM, gefolgt von PECM – mit verschiedenen alternativen Prozesswegen wie dem drahtbasierten Laserauftragschweißen, Hochdruckwasserstrahlschneiden, Polieren oder PECM. Außerdem wurden aktuelle Methoden zur Fertigung der qualitativ bestmöglichen Strömungsflächen zukünftiger Flugzeugmotorenteile in Betracht gezogen. Ziel waren dabei nahezu hochglanzpolierte Oberflächen, um den Kraftstoffverbrauch weiter zu senken. Die jeweilige Bearbeitung der Oberflächen erfolgte entweder durch das automatisierte Polieren oder, abhängig vom Material des ursprünglichen Rohlings, durch PECM. Das Ergebnis der Untersuchungen lieferte eine Klassifizierung der Fertigungstechnologien nach ihrem Bearbeitungspotenzial und je nachdem, ob eine Alternative zum Schruppen, Veredeln oder Polieren besteht. Basierend auf der ausgewählten Referenzgeometrie und dem Werkstückmaterial Inconel 718 stand die Ressourceneffizienz im Vordergrund des technologischen und wirtschaftlichen Vergleichs der verschiedenen Fertigungsprozessketten und -technologien. Zusätzlich wurde der individuelle Aufwand zur CAD-/CAM-Unterstützung für jede der Technologien analysiert. Während des 28. Aachener Werkzeugmaschinen-Kolloquiums 2014 wurden erste Ergebnisse des Projekts vorgestellt. Aufgrund der durchgehend positiven Resonanz wird das Projekt fortgeführt, um zu jeder der Technologien mindestens ein Demonstrationsbauteil anzufertigen und alle relevanten Prozessdaten für die gewünschte Wirtschaftsanalyse zu dokumentieren.

available for a well-informed comparison. This is why an HPC BLISK geometry was used as reference for all further studies that had been derived and developed on the basis of several actual BLISK designs, thus allowing all partners of the research project to subject different manufacturing process chains and technologies to a detailed comparison on existing machine tools, irrespective of any specific customer requirements. The project also focused its attention on an analysis of potential process chains. For this purpose, the researchers compared two conventional manufacturing strategies: multi-axial milling, combined with a polishing step, and DC-ECM, followed by PECM – featuring several alternative process steps such as wire-based laser deposit welding, high-pressure water jet cutting, polishing and PECM. Current methods of producing flow surfaces of future air plane engine components in maximum quality were also under consideration. The objective was to provide surfaces with the highest possible surface quality (mirror polish) in order to achieve a maximum reduction in fuel consumption. Surfaces were treated either by automatic polishing or, depending on the material of the original blank, by PECM. The analyses yielded a league table of manufacturing technologies according to their technological potential and to their provision of an alternative to roughing, finishing and polishing. Based on the selected reference geometry and the material chosen for the workpiece (Inconel 718), the comparison of the technological and commercial potential of the various manufacturing technologies and process chains was mainly based on their resource efficiency. Time and effort required to provide CAD/CAM support were also taken into consideration. Initial results of the project were presented at the 28<sup>th</sup> Aachen Machine Tool Colloquium, AWK in Aachen in 2014. Due to the unanimously positive resonance, the project will be continued. The next objective is to produce at least one demonstrator component for each technology and to compile all relevant process data for a cost-effectiveness analysis.



### **Konsortialstudie »Picture of the Future for Turbomachinery Manufacturing«**

Gemeinsam mit insgesamt 22 Partnern, darunter 15 Industrieunternehmen und sieben Forschungseinrichtungen diskutierte das Fraunhofer IPT im Rahmen einer zwölfmonatigen Konsortialstudie Trends zur Herstellung und Szenarien zur Marktentwicklung von Turbomaschinen. Das Teilnehmerfeld der Unternehmen deckte dabei ein breites, interdisziplinäres Interessenspektrum ab und reichte vom OEM, über Zulieferer bis hin zum Technologieanbieter für Bearbeitungstechnologie. Die thematische Ausrichtung der Studie definierten alle Teilnehmer im Kick-off des Projektes selbst. So präsentierten Vertreter der beteiligten Forschungsinstitute und Experten aus der Industrie technologische Entwicklungen zur Bearbeitung, zur generativer Fertigung, zur Prozesskettengestaltung, zur Messtechnik und zum Datenmanagement ein. Darüber hinaus rundeten Beiträge zu zukünftigen Designkonzepten, zu Trends in der Werkstofftechnik, zu neuen Materialien und zu Beschichtungen das Spektrum ab. Im Rahmen einer Marktstudie erarbeitete das Fraunhofer IPT während des Projektverlaufs anhand von einschlägigen Quellen einen vollständigen Blick auf die Anzahl an zu erwartenden Flugzeugtriebwerken, stationären Gasturbinen und Kompressoren sowie Turboladern in den nächsten Jahren. Ergänzt um eine spezifischen Analyse öffentlich zugänglicher Informationen zu den relevanten Triebwerksprogrammen leitete es dabei auch relevante Aussagen zu Stückzahl und Geometriespektrum auf Komponentenebene ab. Alle beteiligten Partner können die Ergebnisse der Studie in ihre individuelle Planungen zur Ausrichtung ihres Portfolios einbinden. Neben den zahlreichen Erkenntnissen über Technologien und Märkte entstand im Rahmen der Studie ein weiterer Zweig des exzellentes Netzwerks zur Herstellung von Turbomaschinen, das im Laufe des nächsten Jahres verstetigt und im Rahmen eines kontinuierlichen Zentrums verankert werden soll.

### **Consortium Study "Picture of the Future for Turbomachinery Manufacturing"**

Together with 22 partners, 15 of them industrial companies and seven of them research institutions, the Fraunhofer IPT discussed trends and potential scenarios in the market development of turbomachinery in the course of a twelve month consortium study. The participants of the companies mirrored the various interdisciplinary interests and included OEMs, suppliers and technology providers for processing technology. All of them defined the topical orientation of the study themselves in the project's kick-off meeting. Representatives of research institutes and experts from the industry presented technological developments of machining, additive manufacturing, process chain design, metrology and data management. Moreover, contributions about design concepts, high and super alloys as well as advanced materials and coatings completed the thematic range of the study. Within a market study during the project, the Fraunhofer IPT compiled a detailed analysis of relevant sources and provided an overview of the number of aero engines, industrial gas turbines and compressors, and turbochargers that are expected in the coming years. The Fraunhofer IPT also derived relevant information about the expected number of pieces and geometry extends on component level using a specific analysis of public information on the engine programs. All participants are able to integrate these results into their individual portfolio planning. Next to the insights on technologies and markets, the consortium study created another branch of an excellent network in the machining of turbomachinery that will be strengthened and consolidated within a continuous center.

# LEICHTBAU-PRODUKTIONSTECHNIK

## PRODUCTION OF LIGHTWEIGHT COMPONENTS

Die Nutzung innovativer Leichtbaumaterialien ermöglicht ein breites technologisches Anwendungsspektrum innerhalb vielfältiger Industriezweige. Bei vielen Anwendungen verhindern jedoch wirtschaftliche Gründe immer noch den Einsatz dieser innovativen Materialien – vor allem dann, wenn große Stückzahlen gefordert sind. Im Geschäftsfeld »Leichtbau-Produktionstechnik« entwickelt das Fraunhofer IPT innovative Lösungen für die Großserienproduktion von Leichtbaukomponenten. Für Branchen wie Automotive und Aerospace, aber auch im Umfeld der erneuerbaren Energien oder der Verfahrenstechnik bündeln wir unsere Kompetenzen aus der Produktionstechnologie mit unserem Wissen über die besonderen Herausforderungen der Verarbeitung von Leichtbaumaterialien. Im Auftrag unserer Kunden und Partner entwickeln wir Prozesse, Anlagen, Werkzeuge und Software für das Fügen, Umformen und Trennen, die Handhabung und die Qualitätssicherung von Faserverbundwerkstoffen, von Hochleistungsmetallen, von Keramiken und Multimaterialsystemen.

### Unsere Leistungen

- Produktionsgerechte Entwicklung von Multimaterial- und Faserverbundstrukturen
- Entwicklung und Automatisierung von Produktionssystemen für Multimaterial- und Faserverbundstrukturen
- Handhabung flexibler Halbzeuge
- System- und Prozessentwicklung für das automatisierte Fügen und Trennen von Leichtbaukomponenten
- Online-Qualitätssicherung
- Funktionsintegration in Faserverbund- und Multimaterialstrukturen
- Leichtbaugerechte Produktionsplanung

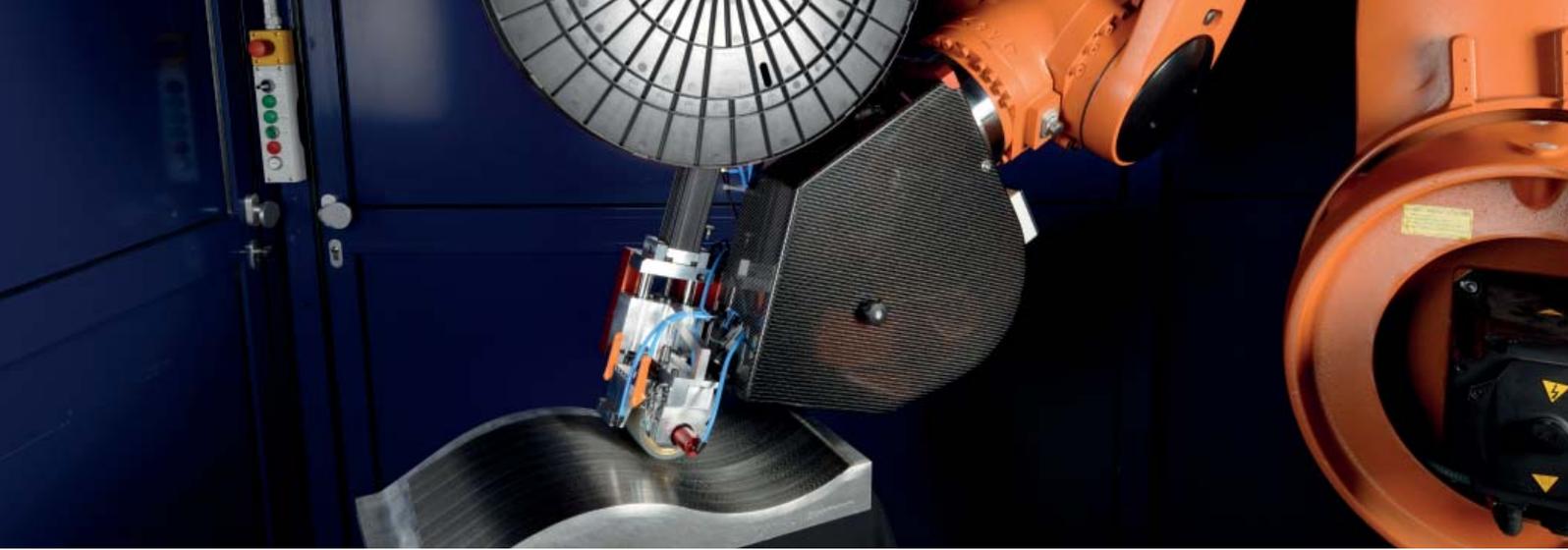
### Kontakt/Contact

Dipl.-Wirt.-Ing. Simon Ryschka  
Telefon/Phone +49 241 8904-419  
simon.ryschka@ipt.fraunhofer.de

The range of lightweight construction materials has expanded enormously over the years. However, economic considerations often prevent the deployment of these innovative materials for many areas of application, particularly when large quantities are required. In the business unit "Production of Lightweight Components", the Fraunhofer IPT is therefore developing innovative manufacturing systems and technologies for the large-scale production of lightweight components. We focus our expertise and knowledge on challenges of the production processes for lightweight materials within the automotive and aerospace industry as well as the oil and gas industry, process engineering and other industries. On behalf of our clients and partners, we develop processes, manufacturing installations, machine tools and software for primary and reforming operations, for joining, handling, functionalizing, reinforced plastics, high-performance metals, ceramics and multi-material systems.

### Our services

- Production-oriented development of multi-material and fiber-reinforced structures
- Development and automation of production systems for the manufacture of multi-material and fiber-reinforced structures
- Handling flexible semi-finished goods
- Development of automated joining, fastening, cutting and disconnecting systems for lightweight components
- Online-quality assurance
- Integration of functions in fiber composite and multi-material structures
- Lightweight component-oriented production planning



### **Multi-Material-Head – Konfigurierbarer Tapelegekopf für die Serienfertigung**

Für eine effiziente und kostengünstige Serienfertigung von Produkten aus Leichtbaumaterialien ist es unerlässlich, die Herstellungsverfahren zu automatisieren. Hier setzt das Fraunhofer IPT mit seinem »Multi-Material-Head« an, einem konfigurierbaren Tapelegesystem für die Produktion von Bauteilen aus unidirektionalen, endlosfaserverstärkten Kunststoffen und für das lokale Verstärken von Bauteilen und Halbzeugen aus Faserverbundkunststoffen (FVK).

Der kompakte Tapelegekopf ist modular aufgebaut, um unterschiedliche endlosfaserverstärkte Thermoplast-Tapes, Duroplast-Prepregs und Dry-Fiber-Rovings mit derselben Anlage verarbeiten zu können. Die Basisplattform, die sich an unterschiedliche Roboter- und Portalsysteme anpassen lässt, kann je nach Anforderung mit austauschbaren Materialführungs- und Schneideeinheiten, Kühl- oder Heizelementen sowie individuellen Zusatzmodulen bestückt werden.

Als Wärmequellen können beispielsweise sowohl Lasersysteme als auch Infrarotstrahler dienen. Die Anlage lässt sich auf diese Weise schnell umrüsten, je nachdem ob thermoplastische Tapes, duroplastische Prepregs oder Dry-Fiber-Rovings verarbeitet werden sollen. Das macht das System besonders für kleinere Unternehmen oder Forschungsinstitute interessant, die mit nur einer Anlage drei unterschiedliche Technologien einsetzen können.

Das Fraunhofer IPT passt den »Multi-Material-Head« individuell an die Anforderungen des Anwenders an und stellt dafür die entsprechenden Module bereit. Je nach Bedarf kann dann ein einzelner Standardkopf zum Einsatz kommen oder ein Komplettsystem inklusive Roboter und Kinematik, das für den jeweiligen Einsatzzweck konfiguriert wird.

### **Multi-Material-Head – configurable tape placement head for serial manufacturing**

If serial manufacture is to be efficient and cost-effective, however, it is vital to automate the manufacturing processes for lightweight components. The Fraunhofer IPT is gearing up for action with its "Multi-Material-Head", a configurable tape placement system for the production of components made of unidirectional, continuous fiber-reinforced plastics (FRP) and for localized reinforcement of components and semi-finished products made of FRP.

The compact tape placement head has a modular structure, permitting it to process unidirectional continuous fiber-reinforced thermoplastic tapes, duroplastic prepregs and dry fiber rovings on the same machine. The base platform, which can be adjusted to fit various robot and portal systems, can be equipped with interchangeable material feed and cutting units, cooling or heating elements as well as additional customized modules, depending on requirements.

Both laser systems and infrared emitters, for example, can be used as heat sources. The machine can thus be retooled swiftly to adapt to the processing requirements of thermoplastic tapes, duroplastic prepregs or dry fiber rovings. Consequently, the system is of particular interest to smaller companies or research institutes which will thus have access to three different technologies using only one machine.

One of the services the Fraunhofer IPT offers its clients is to customize the "Multi-Material-Head" and to supply the corresponding modules to meet user requirements. Depending on the intended use, an individual standard head or a complete system including robotics and kinematics can be configured specifically for a particular purpose by a team of developers at the Fraunhofer IPT.

### **Faseroptischer Sensor mit sieben Millionen Messpunkten zur Bauteilüberwachung**

Flugzeugtragflächen werden regelmäßig auf Schäden überprüft. Die für die Wartungsarbeiten eingesetzten, konventionellen Messmethoden wie das Ultraschall-Verfahren, der Einsatz von Röntgenstrahlung oder von Wirbelströmen können kleinste Risse identifizieren. Gemeinsam ist diesen konventionellen Messverfahren allerdings, dass ihre Verfügbarkeit auf den Zeitraum begrenzt ist, wenn das Flugzeug auf dem Boden steht. Effizienter wäre es, den Zustand der Tragflächen bereits zu erfassen, wenn sich das Flugzeug noch im Flugmodus befindet. Damit lassen sich nicht nur schneller Hinweise für die Wartung des Flugzeugs auf dem Boden gewinnen. Auch können dadurch die gesammelten Erkenntnisse über Dehnungen und Temperaturveränderungen beispielsweise zu einer aktiven Änderung des Strömungsprofils genutzt werden, um den Treibstoffverbrauch des Flugzeugs zu senken. Die Voraussetzung dafür ist jedoch, dass die Tragflächen großflächig und in Echtzeit vermessen werden. Das Fraunhofer IPT optimiert deshalb ein Verfahren, das eine nahezu kontinuierliche Dehnungs- und Temperaturmessung in Bauteilen aus faserverstärkten Kunststoffen ermöglicht. Dazu nutzt das Fraunhofer IPT bis zu 70 Meter lange Fasersonden, die an bis zu sieben Millionen Messstellen sowohl Temperaturunterschiede von 0,1 Grad Celsius als auch Dehnungen um 1 Mikrometer pro Meter registrieren. Aufgrund ihres geringen Durchmessers und ihrer Flexibilität können sie sehr einfach in Bauteile und Halbzeuge aus faserverstärkten Kunststoffen eingebaut werden.

### **Hohlprofile aus thermoplastischen Faserverbundkunststoffen nach Maß**

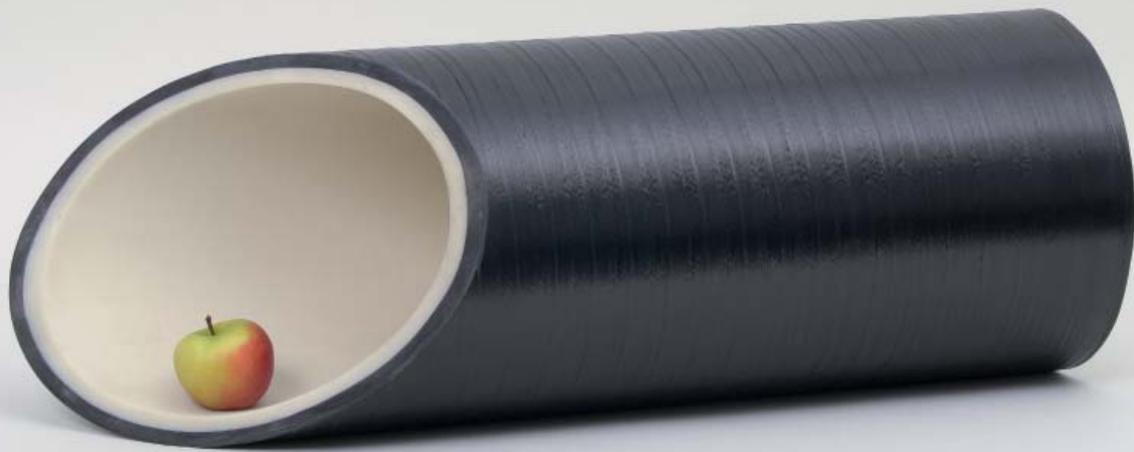
Effiziente, leichte, korrosions- und chemiebeständige Fluidfördersysteme sind für viele Industriezweige wie die Luftfahrt, die Verfahrenstechnik, die Öl- und Gasindustrie oder die Energiewirtschaft essentiell. Das Fraunhofer IPT erarbeitete ein Thermoforming-Verfahren, um aus gewickelten, thermo-

### **A fiber optic sensor with seven million measuring points to monitor components**

Aircraft wings are checked regularly for damage. Maintenance checking techniques such as ultrasound, x-rays or turbulent flows are used to find even the smallest cracks in the aircraft wings. However, these methods can only be used, when the aircraft is on the ground. It would be therefore more efficient to monitor the wings' conditions during the flight, providing information about about expansion and temperature changes that could be used, for example, to change the flow profile during the flight and therefore reduce the aircraft's fuel consumption. The precondition for this is that the wings must be measured extensively and in real time. The Fraunhofer IPT has, therefore, optimized a process that allows the quasi-continuous measurement of expansion and temperature in components made from fiber-reinforced plastics, using probes that are up to 70 meters long. These fiber probes record both the temperature variations of 0.1 degree Celsius and expansions of 1 micrometer per meter in up to seven million checkpoints. These small calibres and the flexibility mean that they can very easily be built into components and semi-finished products made from fiber-reinforced plastics.

### **Customized hollow profiles made of thermoplastic fiber composites**

Efficient, light, corrosion and chemical resistant fluid transport systems including fuel lines are essential in many sectors of industry including aviation, process engineering, the oil and gas industry as well as power industry. The Fraunhofer IPT has developed a thermoforming-process which enables individually curved profiles to be manufactured from coiled, thermoplastic FRP in a process which is economical in terms of both time and cost. This system can be used to produce defined radii with given cross-sections whilst retaining the structural efficiency of the original material. Bending molds, bending cores and the interactions between the bending



plastischen FVK-Rohren zeit- und kostensparend individuell gebogene Profile herstellen zu können. Unter Beibehaltung der strukturellen Leistungsfähigkeit können definierte Radien mit bestimmtem Rohrquerschnitt erzeugt werden. Biegeformen und Biegekerne sowie der Wirkzusammenhang aus Biegeradius, Rohrdurchmesser und Lagenaufbau sind dabei von entscheidender Bedeutung. Bei dem Verfahren können günstige gerade FVK-Rohre zu individuellen Strukturen weiterverarbeitet werden. Dadurch lassen sich beispielsweise auch hochbelastbare und dennoch leichte Profil- und Rahmenstrukturen umsetzen, wie sie im Transportwesen, der Sport- und Freizeitindustrie sowie dem Anlagenbau verwendet werden. Das Verfahren entstand im Projekt »Integrative Prozesskette für die automatisierte und flexible Produktion von Bauteilen aus faserverstärkten Kunststoffen (FibreChain)«. Ziel war es, die Produktivität der Herstellung dreidimensionaler, mehrschichtiger Leichtbauteile aus endlosfaserverstärkten Thermoplasten zu verbessern – durch geringere Kosten, eine höhere Ressourcen- und Energieeffizienz sowie mehr Flexibilität. Hier entstand damit ein automatisiertes und dennoch flexibles Produktionssystem zur Serienfertigung hochleistungsfähiger und recyclebarer Leichtbaukomponenten aus endlosfaserverstärkten Thermoplasten. Das Projekt FibreChain mit 18 Partnern aus sieben europäischen Ländern wurde von der Europäischen Union innerhalb des siebten Rahmenprogramms gefördert (Förderkennzeichen FP7/2007-2013, grant agreement 2633385).

#### **Aachener Zentrum für integrativen Leichtbau (AZL)**

Die Fertigung von Produkten aus faserverstärkten Kunststoffen ist nach wie vor an vielen Stellen durch manuelle Arbeit geprägt. Entsprechend groß ist der Anteil der Lohnkosten an den Gesamtkosten. Nachhaltigen Bestand kann die Produktion von Verbundkunststoffen in Europa daher nur haben, wenn es gelingt, sie entlang der gesamten Wertschöpfungskette für die automatisierte Massenproduktion tauglich zu machen. Aufgrund der starken Wechselwirkungen der Teilprozesse

radius, pipe diameter and build-up sequence are key elements in this context. The system permits inexpensive, straight FRP pipes to be further processed to form individual structures. As a result, even heavy-duty yet light-weight profile and frame structures like those used in transport, sport and leisure industries as well as in plant engineering and construction, for example, can be produced. The system was developed as part of the “Integrative Process Chain for automated and flexible production of fiber-reinforced plastic parts (FibreChain)” project. The goal was to improve productivity in operations to manufacture three-dimensional, multi-layer lightweight parts from continuous fiber reinforced thermoplastics – via lower costs, higher levels of resource and energy efficiency as well as increased flexibility. The outcome is therefore an automated yet flexible production system for the serial manufacture of high-performance and recyclable light-weight components from continuous fiber-reinforced thermoplastics. The FibreChain project, which involved 18 partners from seven European countries, was funded by the European Union within the seventh framework programme (contract number FP7/2007-2013, grant agreement 2633385).

#### **The Aachen Center for Integrative Lightweight Production (AZL)**

The manufacturing of fiber-reinforced plastic products still requires a good deal of manual labor, and therefore the proportion of labor costs to total costs remains relatively high. This means that the production of fiber-reinforced plastics in Europe only has a long-term future if the manufacturers succeed in finding ways of adapting it to the requirements of automated mass production along the entire value-added chain. A more integrated approach is required, due to the multiple interactions between the various sub-processes of a manufacturing chain, but also because of the increasing demand for multi-material systems whose production requires integrative and interdisciplinary strategies for the entire value-added chain. The close interdisciplinary cooperation

einer Fertigungskette untereinander und der steigenden Nachfrage nach Multimaterialsystemen erfordert die Produktion mit Leichtbaumaterialien eine integrativ-interdisziplinäre Betrachtungsweise entlang der gesamten Wertschöpfungskette. Durch die enge, interdisziplinäre Zusammenarbeit zwischen den Werkstoffwissenschaften und der Produktionstechnik soll eine Umsetzung großserientauglicher Prozessketten im Leichtbau gelingen. Um dieses Ziel zu erreichen, arbeiten das Fraunhofer IPT und das AZL zusammen mit sieben weiteren Aachener Instituten mit Leichtbaubezug im Bereich der Leichtbau-Produktionstechnik: Dieses einzigartige Kompetenznetzwerk vereint auf dem RWTH Aachen Campus alle erforderlichen Fachkenntnisse entlang der gesamten Wertschöpfungskette. Für Industrieunternehmen besteht die Möglichkeit, als Partner am AZL direkt an der Forschungstätigkeit des neuen Instituts zu partizipieren.

#### **Ultraschallunterstütztes Bohren von CFK-Titan-Schichtverbunden**

Schichtverbunde, sogenannte »Stacks«, sind aus unterschiedlichen Materialien – Faserverbundwerkstoffen und Metallen – aufgebaut. Aufgrund der häufig stark unterschiedlichen Materialeigenschaften ergeben sich beim Bohren der Verbunde außerordentlich hohe Anforderungen an die Prozessführung. Das Fraunhofer IPT untersucht deshalb, wie sich solche schichtweise aufgebauten Verbundwerkstoffe ultraschallunterstützt bohren lassen. Im Projekt »VibroCool« sollen die besonderen Herausforderungen, die durch die Kombination der beiden unterschiedlichen Werkstoffe bedingt sind, durch ein neues Produktionssystem zur ultraschallgestützten Bohrbearbeitung von CFK-Titan-Schichtverbunden bewältigt werden. Ziel des Projekts ist die Entwicklung eines Werkzeughalters mit integriertem Ultraschallsystem, bei dem die Vorschubbewegung des Bohrwerkzeugs mit einer axialen Ultraschallschwingung in Mikrometerbereich überlagert wird. So soll es gelingen, die Schubkräfte und den Werkzeugverschleiß zu verringern, bei gleichzeitig besserer

between experts from material science and production technology is meant to allow the implementation of process chains that are suitable for large series production. In order to reach this objective, the Fraunhofer IPT and the AZL are working together with seven more Aachen-based institutions which are involved in lightweight component production and technology. This unique network – located on the campus of the RWTH Aachen University – combines all the knowledge and know-how that is required along the value-added chain. Industrial corporations can become partners of the AZL and thus benefit directly from the new Center's research activities.

#### **Ultrasound-assisted drilling of CFRP-titanium stacks**

“Stacks” are composite structures that consist of layers made from different materials such as carbon-fiber-reinforced plastics and metals. Due to the fact that some of these materials have highly dissimilar properties, any drilling process that may be required is subject to very specific and stringent technical requirements. This is why the Fraunhofer IPT is trying to develop new methods of performing ultrasound-assisted drilling operations that need to penetrate layers of different materials. The “VibroCool” project addresses the specific problems that result from combining carbon-fiber-reinforced plastic and titanium. It aims to develop a new system of performing ultrasound-assisted drilling operations for structures that feature layers of these two materials. It is planned to design a tool holder that features an integrated ultrasound system which will assist the forward motion of the drill tool with an axial ultrasound vibration in the micrometer range. This is meant to reduce the shearing forces and the tool wear, allowing the manufacturers to improve the quality of the processing results and to cut down their production costs at the same time. Additionally, the project aims to develop specifically optimized cooling lubricants, a new strategy of deploying such cooling lubricants and a tool spindle which is capable of processing “stacks” of fiber-reinforced plastic and titanium layers at different rotational speeds and levels of



Bearbeitungsqualität und günstigeren Kosten. Weitere Aufgaben im Projekt sind auch die Entwicklung speziell optimierter Kühlschmierstoffe und einer neuen Kühlschmierstrategie sowie einer Werkzeugspindel für die Bearbeitung der »Stacks« aus Faserverbundwerkstoff und Titan mit unterschiedlicher Drehzahl und Leistung. Außerdem entwickeln und optimieren die Projektpartner spezielle Diamantwerkzeuge für den ultraschallunterstützten Einsatz. Umfassende prozesstechnologische Untersuchungen sollen die bestmögliche Performance der neuen Komponenten sichern.

### **Großserientaugliche Leichtbau-Produktionstechnologie für Automobil-Karosserien**

Mit der Nutzung von Elektromotoren steigt das Gesamtgewicht von Fahrzeugen durch die Batterie stark an. Faserverstärkte Kunststoffe bieten als neue Werkstoffgruppe ein hohes Potenzial zur Gewichtsreduktion. Um optimale mechanische Eigenschaften bei geringem Bauteilgewicht zu erzielen und gleichzeitig die Wirtschaftlichkeit sicherzustellen, werden belastungsoptimierte Werkstoffe eingesetzt. Das umfasst eine Verringerung der Bauteildicke in weniger stark belasteten Bauteilbereichen und eine lastangepasste Faserorientierung sowie die Verwendung hybrider Materialien. Das Fraunhofer IPT entwickelt im Rahmen der »Fraunhofer Systemforschung Elektromobilität II – FSEM II« eine großserientaugliche Leichtbau-Produktionstechnologie, die verschiedene Fertigungstechnologien berücksichtigt. Ziel ist eine großserientaugliche Produktion für funktionsintegrierte, hybride Leichtbau-Karosseriebauteile. Dafür ist eine Kombination verschiedener Fertigungsprozesse und Materialien erforderlich, wie das Thermoforming thermoplastischer Faserverbundkunststoffe, lokales Verstärken mit UD-Tapes durch laserunterstütztes Tapelegen, Funktionsintegration, Bauteil-Endbearbeitung und die Handhabung von Halbzeugen mit Greifersystemen. Darüber hinaus wird die gesamte Prozesskette in einer durchgängigen CAx-Datenkette abgebildet.

engine power. The project partners are also developing and optimizing diamond tools for the use in ultrasound-assisted systems. Finally, comprehensive process-technology analyses are meant to ensure that the newly developed components will deliver the best possible performance.

### **Production technology for large series of lightweight car bodies**

Electric car engines are far heavier than fuel motors, but a rigorous use of lightweight components can compensate for this increase and improve the mechanical properties. By selecting materials in view of potential levels of mechanical stress, the mechanical properties are optimized while component weights are reduced – and the technique is economically efficient, too. This means that the strength of the component can be reduced in areas that will be exposed to lower levels of stress. Additionally, it concerns proper fiber alignment, regarding the amount of material stress they must withstand as well as hybrid materials, which are employed. As part of the "Fraunhofer Systems Research Electro-Mobility II – FSEM II", the Fraunhofer IPT is developing a production technology for lightweight components which can be used in an industrial mass production environment and which reflects the wide range of production technologies. The objective is the development of a production technology for large series of functionally integrated, hybrid lightweight elements of car bodies. For this purpose, it is necessary to combine different materials and production technologies, such as the thermo-forming of fiber-reinforced thermoplastics, the local strengthening with UD-tapes through laser-assisted tape laying, functional integration, component finishing and the handling of semi-finished products with gripper systems. Furthermore, the entire process chain will be represented in a continuous CAx data chain.

# WERKZEUGBAU

## TOOL AND DIE MAKING

Das Geschäftsfeld Werkzeugbau des Fraunhofer IPT bietet Unternehmen, Zulieferern und Kunden des Werkzeug- und Formenbaus ganzheitliche Lösungen, damit diese die vielfältigen Herausforderungen ihrer Branche erfolgreich bewältigen. Um unseren Kunden ein breites Angebot an Beratungs-, Forschungs- und Entwicklungsdienstleistungen liefern zu können, kooperieren wir eng mit dem Werkzeugmaschinenlabor WZL der RWTH Aachen und der WBA Aachener Werkzeugbau Akademie GmbH.

### Unsere Leistungen

- Individuelle Beratungsprojekte
  - Technologieauswahl, -einsatz und -optimierung
  - Kostensenkung sowie Reduktion von Durchlaufzeiten
- Forschungsprojekte
  - Auftragsforschung
  - Konsortialforschungsprojekte
  - Grundlagen- und Transferprojekte
  - Durchführung technologischer Projekte innerhalb der WBA Aachener Werkzeugbau Akademie
- Aus- und Weiterbildung
  - Kolloquium »Werkzeugbau mit Zukunft«
  - Seminare und Vorträge
- Kennzahlen-Datenbank zum Werkzeugbau
  - Benchmarking-Projekte und -Studien
- Wettbewerb zum »Werkzeugbau des Jahres«

### Kontakt/Contact

Dipl.-Kfm. Martin Bock  
Telefon/Phone +49 241 8904-159  
martin.bock@ipt.fraunhofer.de

The business unit "Tool and Die Making" of the Fraunhofer IPT provides producers, suppliers and customers of the tool and die making industry with integrated solutions, enabling them to meet the various challenges of their individual business environments. In order to provide our clients with the widest possible range of consultation, research and development services, we cooperate closely with the Laboratory for Machine Tools and Production Engineering WZL of the RWTH Aachen University and the WBA Aachener Werkzeugbau Akademie GmbH.

### Our services

- Individual consultation projects
  - Selection, implementation and optimization of technology
  - Cost-efficiency drives and reduction of cycle times
- Research projects
  - Contract research
  - Consortium research projects
  - Basic research and transfer projects
  - Implementation of technology projects in the context of the WBA Aachener Werkzeugbau Akademie
- Vocational training and professional development
  - Colloquium "Tool and Die Making for the Future"
  - Seminars and speeches
- Database of tool and die making benchmarks
  - Benchmarking projects and studies
- "Toolmaker of the Year" competition



### Mikrostrukturen zur Formentlüftung im Kunststoff-spritzguss

Beim Kunststoffspritzgießen kommen Metallformen zum Einsatz, die während des Spritzgießens geschlossen und unter hohem Druck mit heißem, flüssigem Kunststoff gefüllt werden. Dabei muss der eingespritzte Kunststoff die Luft in der Form vollständig verdrängen. Wenn das nicht gelingt und die Luft nicht schnell genug entweichen kann, verdichtet sie sich und erwärmt sich sehr stark. Die Folge: unvollständig ausgeformte Kunststoffteile, fehlerhafte Oberflächen oder sogar Verbrennungen des Kunststoffs, die das Bauteil unbrauchbar machen.

Bis heute werden solche Formentlüftungen meist erst nach der Fertigstellung des Werkzeugs, also während der Erstbemusterung, eingebracht. Dabei kommt es jedoch häufig vor, dass über die Entlüftungsflächen nicht nur die Luft, sondern auch der eingespritzte Kunststoff austritt und das Werkzeug deshalb mehrfach überarbeitet werden muss. Funktionale Mikrostrukturen zum Entlüften einzusetzen, deren Wirkung bereits während der Konstruktion eines Werkzeugs simuliert und virtuell erprobt werden könnte, ist eine hilfreiche Alternative. Standardisierte Gestaltungsregeln für solche Strukturen, die eine Entlüftung passend zur jeweiligen Anwendung beschreiben, oder gar eine umfassende Simulations- oder Konstruktionssoftware existieren jedoch bisher nicht.

Das Fraunhofer IPT untersucht deshalb seit Ende 2013 im BMBF-geförderten Forschungsprojekt »VentOpt« (Förderkennzeichen 02PK2371) gemeinsam mit drei Partnern aus der kunststoffverarbeitenden Industrie die Funktionsweise solcher Entlüftungsstrukturen und nutzt die gewonnenen Erkenntnisse zur Gestaltung und Dimensionierung der Strukturen. Indem typische Prozessparameter wie Fülldruck, Werkzeugtemperatur und die Eigenschaften des eingesetzten Kunststoffmaterials bereits bei der Auslegung berücksichtigt werden, lassen sich die Strukturen optimal an die gewünschte Anwendung anpassen.

### Microstructures for the Venting of Plastic Injection Molds

For the purposes of the plastic injection molding process, molds are filled with hot plastic melt during a closed and high-pressure injection process. The enclosed air must be evacuated in shortest time, since it will compress and heat up too much otherwise. As a consequence, fillings of plastic parts may not be completed and surface defects or even combustion may occur. Therefore, a sufficient venting of the mold has to be guaranteed, whereby its application oriented implementation is still challenging.

Until recently, any such defects in the die venting system could not be detected before the inspection of the finished component, when the production process had already been completed. Quite frequently, such inspections would also reveal that traces of the injected plastic had escaped through the die venting system. This, too, requires an additional reworking of the tool. One useful alternative to conventional die venting strategies is the application of functional microstructures whose effects can be simulated and virtually tested during the construction phase of a tool. Standardized design rules for such structures, however, that would describe suitable venting systems for individual applications have not yet been compiled, while comprehensive simulation or construction software programs are even one step further away.

To address this problem, the Fraunhofer IPT and three partner companies from the plastics industry have been analyzing the functionality of such venting structures in the "VentOpt" research project funded by the Federal German Ministry for Education and Research (contract number 02PK2371) since late 2013. The project also aims to develop an intelligent simulation software to assist the tool and mold maker with the layout of the venting already in the mold design phase. Basing on the simulation results, suitable venting structures are proposed, and their position and number in the model are indicated. For the validation of the simulation results, a special

Für den praktischen Einsatz wird im Projekt außerdem eine intelligente Simulationssoftware entwickelt. Diese soll nicht nur den Füll- sondern auch den Entlüftungsvorgang simulieren. So kann die Entlüftungsstruktur schon während der Konstruktion der Formen im CAD-Modell berücksichtigt werden. Eine Wissensdatenbank stellt sicher, dass die Software stets auf alle erforderlichen Informationen zugreifen und auf dieser Basis die jeweils passenden Mikrostrukturen sowie die optimale Position und Anzahl empfehlen kann. Als flexibles und präzises Fertigungsverfahren setzen die Projektpartner vor allem auf das Laserstrahlstrukturieren. Damit lassen sich die Strukturen gezielt und exakt in die Spritzgießformen einbringen.

Ziel der Forschungs- und Entwicklungsarbeiten ist es, Fertigungszeiten zu verkürzen sowie Materialeinsatz und Energieaufwände spürbar zu verringern, um dadurch Ressourcen zu sparen und Kosten zu senken. Die Kunststoffprodukte, die mit den neuen mikrostrukturierten Werkzeugen hergestellt werden, sind im Idealfall gratfrei und von deutlich besserer Oberflächen- und Bauteilqualität.

### **Roboterzelle zur Feinbearbeitung großer Werkzeuge**

Während die formgebende Fräsbearbeitung von Werkzeugen und Formen heute weitestgehend automatisiert abläuft, erfolgt die Feinbearbeitung zur Herstellung der geforderten Oberflächenqualität nach wie vor manuell. Für diese Tätigkeiten fehlen den Werkzeugbaubetrieben jedoch immer öfter die Fachkräfte: Der demografische Wandel und die steigende Bildungsquote erschweren es Unternehmen, geeigneten Nachwuchs für diese Tätigkeiten zu finden. Zur Automatisierung der Feinbearbeitung existierte bisher kein industrietaugliches Maschinensystem.

Innerhalb des von der Hessen Agentur betreuten Loewe-Projekts »RoWe« (HA-Projekt-Nr. 407/13-46) entwickelt das Fraunhofer IPT deshalb gemeinsam mit drei Projektpartnern

injection tool is manufactured within the project. It is equipped with several temperature and pressure sensors, which allow an accurate application of micro-structures to the injection molds.

The research and development effort aims to shorten cycle times as well as the consumption of raw materials and energy, allowing the manufacturers to use fewer resources and to cut down costs. The plastic products that stand to be manufactured with the new, micro-structured tools will be ideally free from burrs and have significantly higher surface qualities and component qualities than conventionally made products.

### **Robot Cell for the Finishing of Large Tools and Dies**

Whereas the milling operations performed in order to generate tool and die geometry are largely automated nowadays, the subsequent surface-quality enhancing finishing tasks are still requiring manual input. However, tool manufacturers are increasingly reporting a lack of skilled workers: Demographic change and the increasing level of education are making it increasingly difficult for medium-sized enterprises to recruit suitable young employees in areas such as finishing. No automated finishing systems capable of meeting industrial requirements have yet been developed.

The aim of the Loewe-Project "RoWe" undertaken by the Hessen Agentur is therefore to develop and design a robot cell capable of providing a sustainable solution to the challenges currently faced by the industry, thereby safeguarding the longterm future of Germany as a manufacturing base. To ensure successful implementation of this project, the partners involved intend to combine their own expertise in robot cell development and marketing with scientific approaches developed in the process technology sector and robot precision. For industrial application large-scale injection molds will be used in practical trials of the technology. As part of the project, the technological and economic characteristics of each



ein industrietaugliches Roboter-Feinbearbeitungszentrum. Das Projekt wird im Rahmen von Hessen Modellprojekte aus Mitteln der LOEWE – Landes-Offensive zur Entwicklung Wissenschaftlich-ökonomischer Exzellenz, Förderlinie 3: KMU-Verbundvorhaben gefördert.

Im Projekt verknüpfen die Partner ihre Expertise in der Entwicklung und -vermarktung von Roboter-Bearbeitungszentren mit wissenschaftlichen Lösungsansätzen aus der Prozesstechnologie und Robotergenauigkeit. Auf diese Weise entwickelten die Projektpartner gemeinsam ein Roboter-Bearbeitungszentrum zur automatisierten Feinbearbeitung. Zur praktischen Erprobung für den industriellen Einsatz dienen große Spritzgießwerkzeuge. Innerhalb des Projekts wurden die Entwicklungsergebnisse anhand eines Demonstratorbauteils unter technologischen und wirtschaftlichen Aspekten durch den Endanwender geprüft und bewertet. Das Bearbeitungszentrum gewährleistet eine reproduzierbare und homogene Oberflächenqualität von  $Ra = 0,3 \mu m$  mit geringer Oberflächenwelligkeit. Die Bearbeitungszeit und -kosten konnten dabei im Vergleich zur manuellen Bearbeitung um mehr als 20 Prozent reduziert werden.

#### **Fräsen und Polieren optimal aufeinander abgestimmt**

Gemeinsam mit Projektpartnern aus dem Werkzeugbau stellte das Fraunhofer IPT fest, dass bereits die richtige Wahl der Frässtrategie die Bearbeitungsdauer von Spritzgieß- und Umformwerkzeugen stark verkürzen kann. So hat beispielsweise eine um 50 Prozent stärkere seitliche Zustellung des Fräswerkzeugs, die das Schlichtfräsen deutlich beschleunigt, keinerlei negativen Einfluss auf die Dauer der anschließenden Feinbearbeitung und die Oberflächengüte des Bauteils. Für die Prozessabfolge von Schlichtfräsen und der Feinbearbeitung zum Entfernen der Fräsriefen ergibt sich dadurch im Fertigungsprozess insgesamt eine Zeitersparnis bis zu 30 Prozent.

development were evaluated by the end users on the basis of a previously defined demonstrator. The outcome of this process is the collaborative development of a robot cell capable of performing automated finishing operations on large-scale injection molds for bumper covers. The cell guarantees reproducible and homogeneous surface quality of  $Ra = 0.3 \mu m$  with slight surface waviness. Both machining time and cost were reduced by more than 20 percent in comparison with the manual machining operations.

#### **High-Quality Finishing at High Levels of Speed: The Coordination of Milling and Polishing Processes**

Together with its project partners from the tool manufacturing industry, the Fraunhofer IPT discovered that the selection of the right milling strategy alone can cut down the processing cycle times of injection molding tools and forming dies significantly. It was found, for example, that an increase of 50 percent in the stepover of the milling tool – which greatly serves to accelerate the finishing process – has no adverse impact on either the duration of the subsequent fine machining operation or the component's surface quality. This means that, so far as the process sequences of polishing and fine machining to remove the milling grooves are concerned, the duration of the manufacturing process is cut down by up to 30 percent.

The research project – which features partners from the automotive industry, their suppliers and tool and die manufacturers – aimed to provide a foundation for an optimized alignment and mutual coordination between the two consecutive production sequences. On the example of an injection mold for the production of an airbag cover, the partners established the pros and cons of various milling strategies and their impact on subsequent manual or automatic fine machining processes.

Ziel des Forschungsprojekts, an dem Automobilhersteller, -zulieferer und Unternehmen des Werkzeug- und Formenbaus mitwirkten, war es, die Grundlagen für eine optimale Abstimmung der beiden aufeinander folgenden Fertigungsprozesse zu schaffen. Am Beispiel eines Spritzgießwerkzeugs für eine Airbag-Abdeckung untersuchten die Partner, welche Vor- und Nachteile unterschiedliche Frässtrategien für die anschließende manuelle oder automatisierte Feinbearbeitung bergen.

Im direkten Vergleich zeigte sich, dass die besten Ergebnisse bei einer starken seitlichen Zustellung des Fräswerkzeugs in Kombination mit der automatisierten Feinbearbeitung erzielt wurden. Damit verkürzte sich nicht nur deutlich die Bearbeitungszeit im Fräsprozess. Das Bauteil weist bei anschließender maschineller Feinbearbeitung sogar eine geringere Oberflächenrauheit und damit eine höhere Oberflächengüte auf als nach manueller Nachbearbeitung.

### **Technologieorientierte Ressourcengestaltung für die Unikatfertigung**

Die Ressourcen eines Fertigungsbetriebs bilden den Kern der industriellen Wertschöpfung. Aus technologischer Perspektive liegt der Ressourcenfokus auf den eingesetzten Fertigungstechnologien und -maschinen sowie auf der Automatisierung. Die maschinelle Unikatfertigung zu gestalten und die richtigen Technologien, Maschinen und Automatisierungslösungen auszuwählen stellt die Entscheider vor große Herausforderungen, denn das Werkstückspektrum ist sehr heterogen und schwer prognostizierbar. Im Gegensatz zur Serienproduktion lässt sich die Fertigung daher nicht auf Basis eines einzelnen Werkstücks planen und aufbauen.

Das Fraunhofer IPT entwickelte eine dreiphasige Methodik, die dazu beitragen soll, diese Herausforderungen zu bewältigen: Ein zentraler Bestandteil ist das zu erstellende Anforderungsprofil, das einerseits auf einer retrospektiven Werkstück-

A direct comparison demonstrated that the best results can be achieved by combining a strong lateral stepover of the milling tool with an automatic fine machining sequence. This served to shorten the required milling time considerably while the automatic finishing process also produced components with lower levels of surface roughness and higher overall surface qualities than manually finished components.

### **Technology-Oriented Resource Management for the Production of Prototypes**

The resources of a manufacturing company are at the very core of their industrial value-added chain. From a technology point-of-view, attention is firmly focused on the production technologies and production machines and on the process of automation. The task of designing the production of prototypes or other one-off products for an industrial environment and of selecting the correct technologies, machines and automation solutions, presents the corporate management with a huge challenge, since the range of possible workpieces is extremely heterogeneous and it is difficult to predict what exactly may be required. This means that the process of manufacturing prototypes, in contrast to the process of mass production, cannot be planned and designed on the basis of a single end product.

The Fraunhofer IPT has developed a three-stage method designed to assist the corporate managers who are faced with such a challenge: one central element is the compilation of a requirement profile which combines a retrospective workpiece analysis with a forecast model that is based on a linear regression calculation. This profile largely determines the subsequent selection of manufacturing technologies and resources. In order to establish how relevant different production technologies are for the requirement profile, an algorithm was developed to compare and, if possible, match the requirements with the capacities of the individual technologies. On the basis of this



analyse, andererseits auf einem Prognosemodell auf Basis der linearen Regressionsrechnung beruht. Das Anforderungsprofil bestimmt damit entscheidend die nachfolgende Auswahl der Fertigungstechnologien und -ressourcen. Um die Relevanz verschiedener Fertigungstechnologien für das Anforderungsprofil festzustellen, wurde ein Algorithmus entwickelt, der die Anforderungen und die Leistungsfähigkeit der jeweiligen Technologien gegenüberstellt. Diese Erkenntnisse über die Fertigungstechnologien werden in der nächsten Phase genutzt, um potenzielle Fertigungskonzepte zu erstellen, die auf Basis der strategischen Unternehmensausrichtung bewertet werden. Sie umfassen die Fertigungstechnologien sowie die Anzahl und Größe der Fertigungsmaschinen. Das ausgewählte Fertigungskonzept wird im Anschluss detailliert ausgearbeitet, indem die enthaltenden Maschinen hinsichtlich der relevanten Ausstattungsdetails spezifiziert werden.

information about the various production technologies, the next stage of the process formulates potential manufacturing concepts, evaluating them according to the extent to which they match corporate strategies. These concepts comprise manufacturing technologies as well as the number and the dimensions of the required production facilities. The chosen manufacturing concept is then developed in much greater detail, describing the exact specifications of the individual pieces of equipment.

# OPTIK OPTICS

Ungebrochen ist der Trend zu immer kompakteren optischen Systemen mit hoher Funktionsintegration und stark wachsender Leistungsdichte. Diese gegensätzlichen Anforderungen nehmen großen Einfluss auf die Herstellung der Optikkomponenten und zeigen sich etwa bei Konsumgütern wie Mobiltelefonen und Kamerasystemen, aber auch bei hochwertigen Industriegütern für die Lasertechnik oder Telekommunikation. Die Herausforderung besteht darin, optische Komponenten mit komplexen Geometrien aus anspruchsvollen Werkstoffen kostengünstig herzustellen und in die entsprechenden Endgeräte zu integrieren. Das Fraunhofer IPT beschäftigt sich im Branchenfokus Optik mit der Fertigung, Erprobung und Montage komplexer High-End-Optiken und optischer Systeme. Die Technologieentwicklung und die Umsetzung durchgängiger Prozessketten zur direkten und replikativen Fertigung optischer Komponenten und Systeme zählen ebenso zu unseren Stärken wie der Aufbau und Einsatz leistungsfähiger Ultrapräzisionsmaschinen sowie der dazugehörigen Messtechnik für die Automatisierung der Fertigungsprozesse.

## Unsere Leistungen

- Direktfertigung von Glas- und Metalloptiken
- Formenbau und Beschichtung für die Replikation komplexer Optiken aus Glas und Kunststoff
- Automatisierte Montage optischer Systeme
- Optikprüfung mit Interferometrie, Shack-Hartmann-Wellenfrontsensor, Deflektometrie sowie Mikro- und Nano-Koordinatenmessgeräten
- Entwicklung optischer Messtechnik und faseroptischer Sensorik für Sonderaufgaben

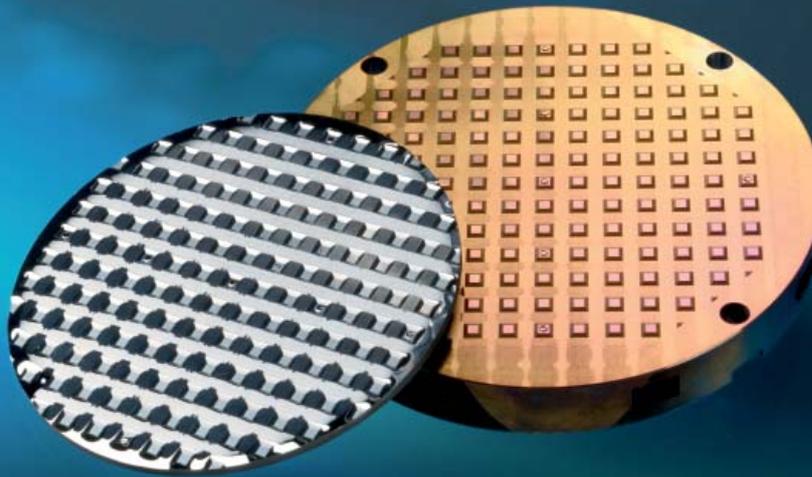
## Kontakt/Contact

Dipl.-Ing. Reik Krappig  
Telefon/Phone +49 241 8904-327  
reik.krappig@ipt.fraunhofer.de

The trend towards ever more compact optical systems with high levels of functional integration and power density continues unabated. These seemingly contradictory demands have a strong impact on the production of optical components and manifest themselves in consumer goods such as mobile phones and camera systems, but also in high-end industrial equipment for laser technology or telecommunications applications. The manufacturers are faced with the difficult task of using challenging materials for the production of optical components with complex geometries while preserving a competitive price structure. In its business unit for optics, the Fraunhofer IPT is conducting research studies into the manufacturing, the testing and the assembly of complex high-end optical components and systems. The development of new technologies and the implementation of continuous, seamless process chains for the direct and replicative production of optical components and systems are part of our core competence – as are the design and the deployment of high-performance ultra-precision machines including suitable measuring instruments for the automation of manufacturing sequences.

## Our services

- Direct manufacturing of optical components from glass or metal
- Mold construction and coating for the replication of complex optical components made from glass or plastics
- Automatic assembly of optical systems
- Testing of optical components with interferometry, Shack-Hartmann wavefront sensors, deflectometry and micro- or nano-coordinate measuring instruments
- Development of optical measuring technologies and of fiber-optical sensor systems for specific applications



### **Hochpräzise Infraroptiken ohne giftige Staubentwicklung herstellen**

Optische Systeme, die das infrarote Wellenspektrum des Lichts nutzen, finden sich heute in vielen Anwendungsfeldern – vom Sicherheitssystem bis zur Klimamessstation. Wärmebildkameras und Nachtsichtgeräte setzen schon lange auf Infrarotsysteme. Mit Fahrerassistenzsystemen halten sie Einzug ins Automobil und helfen Fahrern, in der Dunkelheit Personen und Tiere auf der Straße früher zu erkennen. In der Meteorologie unterstützen sie Vorhersagen und in der Produktion dienen sie zur Strahlführung von Infrarot-Lasern.

Chalkogenidgläser sind neue Materialien, die sich für solche Infrarotanwendungen besonders eignen. Die Optiken auf herkömmliche Weise durch Schleif- und Polierverfahren herzustellen kann jedoch gesundheitschädliche Arsen- oder Selenverbindungen freisetzen. Die einfachste und kostengünstigste Art der Herstellung solcher Optiken ist deshalb das Präzisionsblankpressen. Sie lassen sich damit in einem einzigen Bearbeitungsschritt in großen Stückzahlen herstellen. Bei der konventionellen Herstellung der infrarottransmissiven Optiken durch Schleifen und Polieren können giftige Feinstäube entstehen. Das Fraunhofer IPT setzt deshalb auf das Präzisionsblankpressen, bei dem Glasrohlinge erhitzt und durch ein Umformwerkzeug in eine einbaufähige Linse gepresst werden – ohne Nachbearbeitung und damit ohne gefährliche Staubentwicklung. So lassen sich schnell und in großer Stückzahl unterschiedlich geformte Glasoptiken fertigen. Auch Strukturen in der Optikoberfläche sind möglich, beispielsweise diffraktive Elemente, mit denen sich Abbildungsfehler korrigieren oder gezielt Brechungseffekte nutzen lassen.

### **Replikative Fertigung binärer Strukturen in Glas**

Diffraktive optische Elemente bieten Chancen zur Qualitätsverbesserung, Miniaturisierung und funktionellen Erweiterung bereits bestehender optischer Systeme. So lassen sich Abbil-

### **Manufacturing High-Precision Infrared Optics Without Toxic Dust Emissions**

Optical systems that are using light's infrared wave range feature in many applications from security systems to climate measuring stations. For many years already, infrared systems have provided the technology for thermal imaging cameras and night vision devices, but with Advanced Driver Assistance Systems for commercial automobiles – which help drivers to spot people and animals on the road at night –, they are now entering the world of household consumer goods. Infrared systems are also used for the control of infrared lasers in sophisticated production lines and for weather forecasts.

Chalcogenide glass is a particularly suitable material for these infrared systems. The use of conventional grinding and polishing techniques, however, can generate toxic arsenic and selenium compounds which is why precision glass molding is the favorable method of producing such optics. Since this technique also allows manufacturers to produce large batches of components in a single processing step, it is not only safe but also a relatively straightforward and cost-effective production method. Conventional methods of producing infrared-transmissive optical elements through grinding and polishing can generate toxic fine dust. This is why the Fraunhofer IPT prefers to use precision glass molding, a process during which glass blanks are heated and subsequently molded into an easily-to-install lens by a forming tool – without any requirement for reworking and therefore without the risk of toxic fume generation. This method allows the production of large series of glass optics of different shapes. It is additionally possible to apply structures to the surface of the components, for example diffractive elements that can serve to correct image defects and to exploit refraction effects.

dungen erzeugen, die mit üblichen refraktiven Optiken nicht realisierbar sind. Bei der Entwicklung neuer optischer Systeme werden sie jedoch in der Regel noch nicht berücksichtigt und daher auch nicht eingesetzt. Ziel des BMBF-geförderten ERANET-MANUNET-Projekts »Guide4Diffractive« (Förderkennzeichen 02PJ1230) ist es deshalb, den Produzenten und Optikdesignern dafür Richtlinien an die Hand zu geben und eine technologische Basis zur effizienten und ressourcenschonenden Produktion innovativer optischer Systeme zu schaffen.

Für die Fertigung der komplexen Glasoptiken wurde die Technologie des Präzisionsblankpressens gewählt. Das Projekt hat gezeigt, dass diffraktive Presswerkzeuge aus Glaskohlenstoff erfolgreich auf lithographischem Wege gefertigt werden können. Diese Werkzeuge dienen nun zum Präzisionsblankpressen der diffraktiven Optiken. Darüber hinaus konnte das Fraunhofer IPT Optiken mit diffraktiven Multiniveaustrukturen fertigen und diffraktive Optiken aus Quarzglas bei einer Temperatur von circa 1400 °C pressen.

Das Konsortium im Projekt »Guide4Diffractive« besteht aus acht deutschen und schweizer Projektpartnern und repräsentiert die komplette Wertschöpfungskette einer optischen Komponente. Auf diesem Wege entstand ein neues optisches Design einer konvexen diffraktiven Linse, das sich mit der Technologie des Präzisionsblankpressens herstellen lässt.

### **Schleifen und Polieren von Siliziumkarbid**

Siliziumkarbid ersetzt immer öfter Metall und Glaskeramik, wenn Spiegel und Präzisionskomponenten besondere mechanische Anforderungen erfüllen sollen. Doch die Bearbeitung der optischen Elemente ist immer noch sehr zeitaufwändig und teuer. Die Fertigung der keramischen Oberflächen erfordert deshalb einen Wechsel in den Bearbeitungstechnologien, um solche Bauteile schneller, präziser und kostengünstiger herzustellen. Das Fraunhofer IPT entwickelt zu diesem Zweck das Ultrapräzisionsschleifen und Polieren von Siliziumkarbid

### **Replicative Application of Binary Structures to Glass Surfaces**

The use of diffractive optical elements provides a potential for quality enhancements, miniaturization and the extension of the functional range in existing optical systems. Such elements provide beam shaping qualities that cannot be obtained with conventional refractive optics. Nevertheless, diffractive elements are not generally considered for either the development or the production of new optical systems – which is why the ERANET-MANUNET project "Guide4Diffractive" funded by the German Ministry for Education and Research (contract number 02PJ1230) aims to provide the manufacturers and designers of optics with appropriate guidelines and with a technological foundation for an efficient production of innovative optical systems which at the same time protects our natural resources.

It was decided to use the process of precision glass molding for the production of the complex optical components. The project demonstrated that diffractive pressing tools made from glassy carbon can be successfully manufactured on the basis of lithographic techniques. Such tools may then serve in the precision glass molding of diffractive optics. The Fraunhofer IPT was also able to produce optics with diffractive multi-level structures and to press diffractive optics from fused silica at a temperature of approx. 1400 °C.

The consortium of the "Guide4Diffractive" project comprises eight German and Swiss partners and represents the entire value-added chain of optical components. The project created a new optical design for convex diffractive lenses that can be manufactured through precision glass molding.

### **Grinding and Polishing of Silicon Carbide**

Silicon carbide is increasingly replacing metal and glass ceramics in mirrors and high-precision components that are subject to special mechanical requirements. The processing



kontinuierlich weiter, um Geometrie, Genauigkeit und Effizienz der Optiken für immer leistungsfähigere Anwendungen zu verbessern.

Auf der Optik-Fachmesse Optatec in Frankfurt am Main stellte das Fraunhofer IPT einen besonders leichtgewichtigen Siliziumkarbid-Spiegel aus, der innerhalb eines Forschungsprojekts gefertigt wurde. Dafür stimmten die Aachener Ingenieure gemeinsam mit Industriepartnern die gesamte Prozesskette zur Fertigung des Siliziumkarbidspiegels aufeinander ab: Ziel der Prozessentwicklung am Fraunhofer IPT war es, die erforderliche hohe Formgenauigkeit bereits vor der Beschichtung zu erreichen, um die Schichtdicke für die Endbearbeitung zu reduzieren. Dazu wurde die optische Fläche durch ein Ultrapräzisionsschleifverfahren bearbeitet und anschließend poliert. Dann erfolgte beim Industriepartner die Siliziumbeschichtung und das Bauteil wurde zur finalen Formkorrektur abschließend poliert.

### **Effiziente Direktfertigung komplexer optischer Prototypen**

Licht beliebig zu lenken, die Leuchtdichteverteilung einer Lichtquelle also frei wählbar zu gestalten, ist heute oft das Ziel neuer Produktentwicklungen, vor allem im Umfeld der LED-Technik. Die Herstellung der frei geformten Optiken war jedoch bisher sehr teuer. Gerade die Kosten für Einzel- und Individualoptiken erreichen schnell fünfstelligen Beträge und verwehren eine Fertigung von Kleinserien auf konventionellem Weg. Deshalb hat das Fraunhofer IPT seine Kompetenzen in den Bereichen der Prozesstechnik, der Regelungstechnik und der Programmgenerierung gebündelt und eine Maschine entwickelt, die mit Diamantwerkzeugen eine effiziente und kostengünstige Direktfertigung frei geformter Optiken in höchster optischer Güte erlaubt.

of these optical elements, however, remains time-consuming and expensive. A quick, precise and cost-effective production of such components will therefore require different technologies – which is why the Fraunhofer IPT is currently exploring new perspectives in ultra-precision grinding and polishing of silicon carbide, attempting to improve the geometries, the efficiency and the accuracy of these optical components to the point where they can comply with the requirements of high-performance applications.

On the Optatec trade fair in Frankfurt-am-Main, the Fraunhofer IPT presented a specifically lightweight silicon carbide mirror, the product of one of its research projects. Together with its industrial partners, the Fraunhofer IPT had developed the entire process chain for the production of the new mirror. The objective was to reach the required standards of dimensional accuracy before the coating took place so that the thickness of the coating could be reduced for the finishing process. For this purpose, the optical surface was subjected to an ultra-precision grinding operation and subsequently polished before the industrial partner covered the component in silicon. To conclude the sequence, the component was polished to receive its final form.

### **Efficient Direct Production of Complex Optical Prototypes**

Many new product developments – specifically those in the field of LED technology – aim to control the direction of light and to enable the free determination of a light source's luminance distribution. The problem is that the production of such free-form optics is relatively expensive. The costs in Euro for prototypes or customized optical components can easily reach five digits, practically ruling out the production of small series by conventional means. This is why the Fraunhofer IPT has decided to combine its competencies and skills in the areas of process technology, control technology and program

Ausgehend von einer gewünschten Leuchtdichteverteilung oder der Topologie einer Oberfläche kann in wenigen Minuten ein maschinenlesbares Programm generiert werden. Mit einer hochdynamischen Ultrapräzisions-Bearbeitungsmaschine, die speziell für diese Fertigungsaufgabe entwickelt wurde, lässt sich dann auf direktem Wege in wenigen Minuten eine Freiformoptik mit höchster Präzision herstellen. Durch den Verzicht auf die Replikation können damit auch Einzel- und Individualprodukte kostengünstig hergestellt werden – in Prozesszeiten und zu Kosten, die den Vergleich zu replikativen Verfahren nicht scheuen müssen.

### **Komplexe Optiken aus monokristallinem Diamant für Hochleistungsanwendungen**

Optiken zur Strahlführung und -formung sind ein elementarer Bestandteil von Lasersystemen und finden Anwendung in der Weltraumtechnik, der Medizintechnik und in der Messtechnik. Immer höhere Leistungsdichten, Anforderungen an Leichtbau und Medienbeständigkeit führen jedoch konventionelle Optikmaterialien an ihre Grenzen. Monokristalliner Diamant bietet sich deshalb als Linsenwerkstoff aufgrund seiner optischen und mechanischen Eigenschaften gerade für Hochleistungslaseranwendungen an.

Diamant, als das härteste bekannte Material, lässt sich jedoch nur schwer bearbeiten. Daher werden komplexe Optiken aus Diamant, trotz seiner besonderen Eigenschaften, bisher noch nicht eingesetzt und es existieren keine Designrichtlinien für komplexe Optiken aus diesem Material. Das Fraunhofer-interne MAVO-Projekt »Diamond4Optics« zur marktorientierten Vorlaufforschung untersucht in einer Laufzeit von drei Jahren das Potenzial des Werkstoffs für Hochleistungsanwendungen. Ziel ist es, die weltweit erste durchgehende Prozesskette zur Auslegung und Herstellung von Optiken aus monokristallinem Diamant zu entwickeln und für die Anwendung in Hochleistungs-Lasersystemen zu qualifizieren.

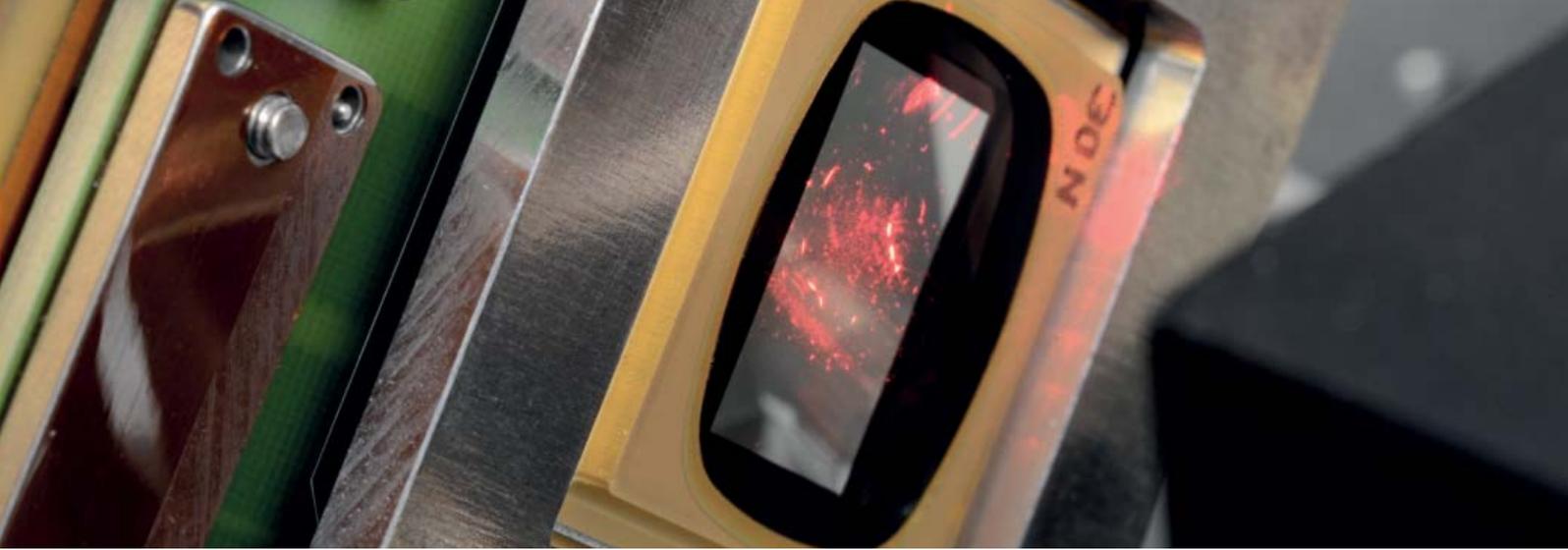
generation to develop a machine that enables an efficient and cost-effective direct production of top-quality free-form optics with diamond tools.

Based on the required luminance distribution or the topology of a surface, a machine-readable program can be generated within minutes. A highly dynamic ultra-precision machining tool, which has been designed for this specific purpose, directly produces an ultra-precision free-form optic within a few minutes. Since no replication function needs to be provided, prototypes and customized products can be manufactured at relatively low prices – costs as well as cycle times are not significantly higher than for replication processes.

### **Complex Optics Made From Mono-Crystalline Diamonds for High-Performance Applications**

Optical components for beam guidance and beam formation are integral parts of laser systems and widely used in space technology, medical technology and metrology. Conventional materials, however, are increasingly unable to match the ever higher requirements concerning output densities, lightweight construction and media resistance. Mono-crystalline diamonds offer nearly ideal optical and mechanical properties and could provide highly suitable lenses for high-performance laser applications.

Diamonds, however, are the hardest material known to man and therefore extremely difficult to machine. This is why few existing complex optical components are made from diamonds, despite this material's special qualities, and no design guidelines for complex diamond optics have so far been released. The Fraunhofer-internal MAVO-project "Diamond4Optics", with a prospective duration of three years, has been established to deliver a market-oriented feasibility study to explore the potential of diamonds as a material for high-performance applications. The objective is to develop the



Gemeinsam mit Partnern von Fraunhofer ILT und Fraunhofer IAF werden exemplarisch meniskusförmige Optiken aus monokristallinem Diamant gestaltet und hergestellt. Anhand von Testaufbauten und Messreihen am Fraunhofer ILT entwickelt das Fraunhofer IAF das Material weiter, während das Fraunhofer IPT geeignete Verfahren für die Herstellung der ultrapräzisen Siliziumformen zur Abscheidung und für das Finishing der monokristallinen Diamantoptiken untersucht.

### **Zwei-Photonen-Lithographie**

In vielen Bereichen der Optik und Photonik gewinnen funktionale Oberflächen immer stärker an Bedeutung, beispielsweise bei Hybridoptiken oder photonischen Kristallen in optischen Schaltkreisen. Ein großes Innovationspotenzial bergen vor allem echte 3D-Strukturen im Mikro- und Nanometerbereich, die sich mit klassischen mikrostrukturierenden Fertigungsverfahren nicht herstellen lassen. Das physikalische Prinzip der Zwei-Photonen-Absorption eröffnet mit dem Verfahren des direkten Laserschreibens die Chance, beliebige dreidimensionale Strukturen mit Auflösungen im Submikrometerbereich reproduzierbar zu erzeugen. Dabei steht dem Fraunhofer IPT eine breite Palette an belichtbaren Materialien zur Verfügung, die individuell auf die unterschiedlichsten Anwendungen abgestimmt werden können. Verschiedene photosensitive Materialien ermöglichen mechanisch belastbare Strukturen oder solche für chemisch sensible Systeme. Die gefertigten Strukturen können schließlich mit unterschiedlichen Materialien beschichtet oder ausgefüllt werden, um die gewünschten Eigenschaften einzustellen. Im BMBF-geförderten Verbundprojekt »LithoStrukt« (Förderkennzeichen 02PK2294) wurden die vom Fraunhofer IPT lithographisch hergestellten Optiken im Kunststoffspritzguss repliziert.

world's first ever process chain for the design and production of optical components that are made from mono-crystalline diamonds and to qualify this process chain for its application in high-performance laser systems. In close coordination with partners from the Fraunhofer ILT and the Fraunhofer IAF, meniscus-shaped optical prototypes will be shaped from mono-crystalline diamonds. Based on test setups and different series of measurements performed by the Fraunhofer ILT, the Fraunhofer IAF will develop the material, while the Fraunhofer IPT will test suitable techniques for the production of ultra-precision silicon molds designed for the separation and the finishing of the mono-crystalline diamond optics.

### **Two-Photon Lithography**

Functionalized surfaces are gaining ground in many fields of optics and photonics, including the production of hybrid optics and photonic crystals in optical circuits. A specifically large innovation potential is provided by real 3D-structures in the sub-micrometer and nanometer range, which cannot be applied with the help of conventional micro-structuring production technologies. Based on the physical principle of the two-photon absorption, the technique of Direct Laser Writing – Laser Lithography – allows engineers to generate virtually any 3D-structure in the sub-micrometer range in reproducible qualities. The Fraunhofer IPT possesses a wide range of materials for exposure that can be individually adjusted according to just about any set of requirements. Through the use of different photosensitive materials, structures for chemically sensitive systems can be created as well as structures that must be able to withstand high levels of mechanical stress. These structures can then be coated or filled with different materials to display or produce the required properties. In the joint "LithoStrukt" project funded by the German Ministry of Education and Research (contract number 02PK2294) the lithographically structured optics were replicated by injection molding.

# INTEGRIERTE MECHATRONISCHE SYSTEME

## INTEGRATED MECHATRONIC SYSTEMS

Im Geschäftsfeld »Integrierte Mechatronische Systeme« wirken gemeinsam und standortübergreifend das Fraunhofer IPT und seine Projektgruppe Entwurfstechnik Mechatronik. Ziel des Geschäftsfelds ist die Entwicklung von Produktionstechnologien zur Integration vieler unterschiedlicher Funktionen auf kleinem Raum – eine häufige Anforderung bei Produkten und Anwendungen der Medizintechnik oder in der Automobilindustrie.

Das Fraunhofer IPT setzt dabei auf das Alleinstellungsmerkmal, nicht nur eine einzelne Technologie zur Funktionsintegration zu nutzen. Vielmehr berücksichtigen und kombinieren wir unterschiedliche Technologien wie 3D-MID, Multi-Layer-Folientechnik und automatisierte Mikromontage, um optimale Lösungen für eine große Bandbreite hochintegrierter Produkte anbieten zu können.

### Unsere Leistungen

- Integrative Konzeption von Produkt und Produktionssystem, Systemanalyse und Projektmanagement
- Beratung zu Entwurfs- und Entwicklungsmethodik für komplexe mechatronische Systeme
- Auslegung und Entwicklung von Rolle-zu-Rolle-Fertigungssystemen für mehrlagige Produkte
- Entwicklung flexibler Lösungen für die automatisierte Montage optischer Systeme
- Herstellung mechanischer Komponenten für die Präzisions- und Mikrotechnik
- Messtechnik und Qualitätssicherung zur Prozessoptimierung in der Elektronikfertigung

### Kontakt/Contact

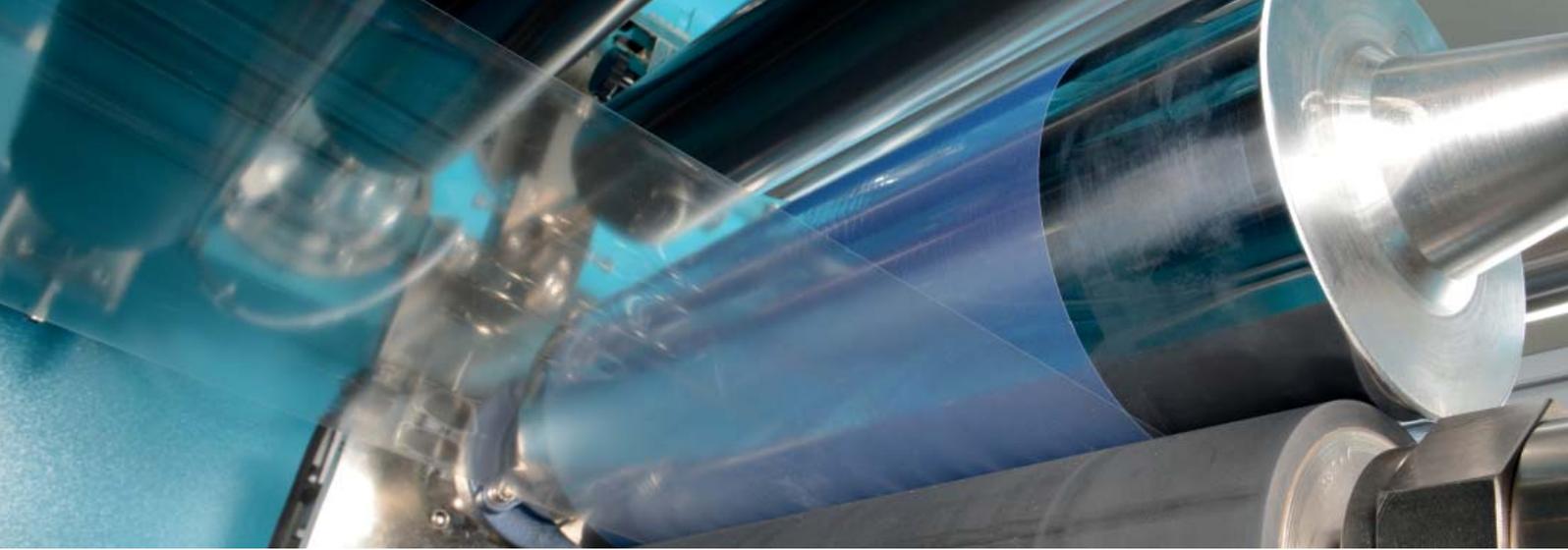
Dipl.-Ing. Michel Klatte M.Sc.  
Telefon/Phone +49 241 8904-321  
michel.klatte@ipt.fraunhofer.de

In the business field "Integrated Mechatronic Systems" the Fraunhofer IPT and its project group for Mechatronic Systems Design work together across locations. Aim of the business field is the development of production technologies for the integration of various different functions in little space – one of the most common demands of products and applications in medical technology or the automobile industry.

Using and combining different technologies like 3D-MID, multilayer foil technique or automated micro-assembly instead of only using one single technology is one of the unique characteristics of the Fraunhofer IPT. By means of this technology we can offer optimal solutions for a high range of highly integrated products.

### Our services

- Integrative conception of products and product systems, analysis of systems and project management
- Consultation in draft- and development techniques for complex mechatronic systems
- Design and development of a roll-to-roll production system for multi-layered products
- Development of flexible solutions for the automated assembly of optical systems
- Manufacturing of mechanical components for precision- and micro technology
- Metrology and quality assurance for the optimization of the process in the electronic production



### Rolle-zu-Rolle-Fertigung funktionaler Folien

Die wachsende Vielfalt an Möglichkeiten der Oberflächen-funktionalisierung in kontinuierlichen Prozessen führt dazu, dass Rolle-zu-Rolle-Verfahren immer stärker an Bedeutung gewinnen. Zur Funktionalisierung der Oberflächen bieten sich verschiedene Verfahren an, je nachdem, ob optische, elektronische oder mikrofluidische Funktionalitäten gewünscht sind – vom Prägen der Mikro- und Nanostrukturmuster auf der Oberfläche über Druck- und Beschichtungslösungen für funktionale Materialien bis hin zur Oberflächenmodifikation.

Das Fraunhofer IPT arbeitet mit unterschiedlichen Fertigungsverfahren zur Funktionalisierung von Kunststofffolien: Durch Ultrapräzisionszerspanung und Rekombinationsprozesse können funktionale Elemente wie diffraktive und refraktive Optiken, mikrofluidische Kanäle oder funktionale Nanostrukturen auf großen Oberflächen aufgebracht werden. Die gewünschten Strukturen werden dafür auf eine Walze transferiert. Ein kontinuierlicher Prägeprozess überträgt die Strukturen auf einen Kunststofffilm. So lässt sich eine kostengünstige Serienproduktion funktionaler Oberflächen erreichen.

Zusätzlich zum Prägeverfahren hat das Fraunhofer IPT eine Pilotlinie für den Druck und das Aushärten funktionaler Materialien eingerichtet. Großflächige Oberflächenmodifikationen können durch verschiedene Beschichtungsverfahren wie Schlitzdüsen und Walzenauftrag erzielt werden. Um die Komplexität möglicher Funktionen zu erhöhen, die mit gedruckten Elementen erreicht werden können, entwickelt das Fraunhofer IPT eine Produktionslösung für Inline-Mikromontage-Prozesse, beispielsweise für die Kombination siliziumbasierter SMD-Komponenten mit gedruckter Elektronik oder für das lokale Dispensieren funktionaler Reagenzien auf bioaktiven Oberflächen.

### Reel-to-Reel Manufacturing of Functionalized Foils

The growing number of technologies for functionalizing surfaces in continuous processes means that the importance of reel-to-reel techniques is steadily increasing. Different techniques may be used to functionalize the surfaces: depending on the type of required functionality (optical, electronic or micro-fluidic), surfaces can be embossed with patterns of micro- and nano-structures, print or coating solutions can be applied for functional materials, or surfaces can be modified.

The Fraunhofer IPT is using a range of technologies to functionalize polymer foils. Ultra-precision machining and recombination processes serve to apply functional elements such as diffractive or refractive optics, micro-fluidic ducts or functional nano-structures on large surfaces. For this purpose, the required structures are first transferred on to a roll and then, in a continuous embossing process, on to a polymer foil. This process allows a cost-effective mass production of functionalized surfaces.

In addition to the deployment of embossing technology, the Fraunhofer IPT has also installed a pilot line for the printing and hardening of functional materials. Large-scale surface modifications can be performed by a range of coating technologies that apply slotting nozzles or roller applications. In order to widen the functional range that can be obtained with printed elements, the Fraunhofer IPT is developing a production approach for inline micro-assembly processes, for example for the combination of silicon-based SMD-components and printed electronic boards or for the local dispensation of functional reagents on bio-active surfaces.

### Generative Herstellung von 3D-Leiterbahnen

Modernes Design, wachsende Anforderungen an Werkstoffe und der Bedarf an multifunktionalen Komponenten erfordern eine immer komplexere Gestaltung elektronischer und elektro-mechanischer Baugruppen. Im Fahrzeugbau, in der Luft- und Raumfahrt, der Medizin- oder Mobilfunktechnik, aber auch in der Industrieautomatisierung kommen deshalb vermehrt komplex gestaltete dreidimensionale Schaltungsträger, sogenannte 3D-MID oder Molded Interconnected Devices, zum Einsatz. Dabei lassen sich bereits in der Herstellung komplexer Bauteile Sensoren, Aktoren und Antennenstrukturen integrieren.

Heute dienen zumeist drei Verfahren ihrer Herstellung: Beim Zweikomponenten-Spritzguss wird die Leiterbahn direkt in der Fertigung durch einen zusätzlichen, metallisierbaren Kunststoff im Spritzgussverfahren gebildet. Beim Heißprägen wird eine vorkonturierte Metallfolie auf das fertige Kunststoffbauteil geprägt. Das Verfahren der Laserdirektstrukturierung basiert auf dotiertem Kunststoff, auf dem durch Laserstrahlung und anschließende Galvanisierung lokal Leiterbahnen generiert werden.

Das Fraunhofer IPT untersucht nun ein Fertigungsverfahren, bei dem pulverförmiges Kupfer durch Laserbestrahlung direkt am Zielort zu zusammenhängenden Leiterbahngeometrien verschmilzt. Dadurch können komplexe Leiterbahnen stoffschlüssig direkt auf beliebigen Standardkunststoffen erzeugt werden. Zur Charakterisierung und Einstellung dieses Verfahrens dient ein Inline-Prozessüberwachungssystem. Ist das Gesamtsystem einmal erfolgreich eingestellt, soll daraus ein mehrachsiger Prozess entwickelt werden. Ziel ist ein Verfahren für die direkte Herstellung von Leiterbahnen auf komplex geformten Oberflächen.

### Additive Production of 3D-Conductor Paths

Modern design, the demand for materials with ever better performance profiles and the increasing need for multifunctional components require the use of electronic and electro-mechanic assemblies with unprecedented degrees of complexity. The automotive industry, aviation, space technology, medical technology, mobile communications and industrial automation increasingly require three-dimensional circuit carriers with complex geometries, the so-called 3D-MID or Molded Interconnected Devices. With this production process it is possible to provide these complex components such as process sensors, actors and antennae structures.

There are currently three common techniques of manufacturing these components: in two-component injection molding, the conductor path is provided through injection molding during the actual production process, using an additional, easy-to-metallize plastic. In hot embossing, a pre-shaped metal foil is embossed on to the finished plastic component. In laser structuring, laser beams are locally adding conductor paths to a specially prepared plastic element before these paths are galvanized in a subsequent step.

The Fraunhofer IPT is currently exploring a manufacturing technique that uses laser beams to melt powderized copper right at the target location, thus shaping interconnected conductor path geometries. This allows the application of complex conductor paths to virtually all standard plastics by forming a bond between the two materials. In order to analyze the underlying processes, a test rig is being designed that allows the characterization and configuration of the technology within an inline process monitoring system. Once the complete system has been successfully configured, a multi-axial process will be developed. It is the eventual objective to provide an industrial process for the direct application of conductor paths to surfaces with complex geometries.



## Zuführung von Optiken in der Montage optischer Systeme

Steigende Stückzahlen in der Produktion optischer Baugruppen führen zu einem wachsenden Bedarf an Automatisierungslösungen für die Montage. Die erforderliche Maschinenteknik hat in den vergangenen Jahren große Fortschritte gemacht und erfüllt bereits weitgehend die Anforderungen der Montageaufgaben hinsichtlich Genauigkeit und Geschwindigkeit. Die am Fraunhofer IPT entwickelte Mikromanipulator-technologie auf Basis von Festkörpergelenken hat sich mittlerweile in der Industrie etabliert. Lösungen für die Zuführung der Bauteile wurden hingegen kaum weiterentwickelt.

Das Fraunhofer IPT hat deshalb eine robuste und leistungsfähige Zuführeinheit entwickelt, die mit den gängigen 2-Zoll-Speicherlösungen für Optiken und andere Mikrobauteile kompatibel ist und sich durch kurze Beladezeiten und Skalierbarkeit auszeichnet. Beispielhafte Einsatzbereiche der Zuführeinheit umfassen die Zuführung von Optiken und Trägerbauteilen für die Montage optischer Systeme, wie Strahlformungssysteme für Hochleistungsdiodenlaser, Fokussiermodule und Umlenkspiegel für die Faserkopplung sowie Spiegel und SMD-Bauteile für optisch gepumpte Halbleiterlaser.

Die Zuführeinheit für die automatisierte Mikroproduktion unterstützt die Gel-Pak® Vacuum Release™ (VR) Technologie und speichert in der aktuellen Ausführung bis zu zehn VR-Trays in einem transportablen Magazin. Die Trays werden automatisiert entnommen, vereinzelt und nach dem Entfernen der Abdeckung in eine Präsentationsposition gebracht. Durch ein Vakuum an der Unterseite des Trays können die Bauteile nun von einem Bestückungsautomaten aufgenommen und einem Bearbeitungs- oder Montageprozess zugeführt werden. Anschließend wird die Abdeckung vor der Rückführung in das Magazin wieder auf das entleerte Tray gesetzt. Nun beginnt der Zyklus erneut.

## Feeding Technologies for Optics in the Assembly of Optical Systems

Increasing production volumes in the manufacturing of optical assemblies have created a need for automated assembly solutions. The engineering technologies which are required for such solutions have progressed significantly over the past few years and today largely meet all accuracy and speed requirements. The flexure-bearing-based micro-manipulator technology developed by the Fraunhofer IPT has become an industry standard. At the same time, however, virtually no new solutions for the feeding of components have been developed.

This is why the Fraunhofer IPT has now designed a robust, high-performance feeding system that is compatible with the common 2-inch storage solutions for optics and other micro-components and that delivers short loading cycles as well as scalability. The new system can be used to feed optical components and substrate components into optical assembly facilities such as beam-shaping systems for high-performance diode lasers, focussing modules and deflection mirrors for fiber couplings or mirrors as well as SMD-components for optically pumped semi-conductor lasers.

The feeding system for automated micro-production lines supports the Gel-Pak® Vacuum Release™ (VR) technology and can (in its current version) store up to ten VR trays in a transportable magazine. The trays are automatically discharged, isolated and moved into a presentation position after the cover has been removed. The components can then be picked up by an automatic pick-and-place machine (through a vacuum on the bottom of the tray) and forwarded for further processing or assembly. At the end of the process step, the cover is put back on top of the tray, and the tray is returned to the magazine before the cycle can restart from the top.

Für die Zukunft sind Erweiterungen am Modul geplant, um die Nachverfolgbarkeit der Bauteile zu verbessern. Anhand von RFID-Chips lassen sich Informationen über einzelne Bauteile dann leichter zurückverfolgen und zuordnen, um der Qualitätssicherung und Kundenzufriedenheit gerecht zu werden.

#### **Industriearbeitskreis zur Montage optischer Systeme**

Im Juni 2014 gründete das Fraunhofer IPT gemeinsam mit dem Fraunhofer-Institut für Lasertechnik ILT einen praxisorientierten Arbeitskreis zur Montage optischer Systeme. Inzwischen umfasst der Teilnehmerkreis elf Unternehmen. Ziel des Arbeitskreises ist es, konkrete Erkenntnisse über die aktuellen Herausforderungen in der Optikmontage zu gewinnen und gemeinsam an Lösungen zu arbeiten. Die teilnehmenden Unternehmen schlagen dafür Themen vor, beispielsweise im Bereich des Handhabens, Zuführens, Fügens oder Justierens optischer Komponenten. Die Unternehmen stimmen ab, welche damit verbundenen Aufgaben von den beiden Fraunhofer-Instituten bearbeitet werden. Die Ergebnisse erhalten die Teilnehmer zur uneingeschränkten Nutzung. Zur Finanzierung der Kleinprojekte leisten die Unternehmen einen jährlichen Mitgliedsbeitrag.

#### **Methodik und Plattform für die modellbasierte Entwicklung eingebetteter multi-/many-core-Systeme**

Eingebettete Systeme werden als maßgebliche Innovationstreiber gesehen, die die Funktionalität und die Wettbewerbsfähigkeit von Produkten verschiedenster Branchen wie Automotive, Luftfahrt, Medizintechnik, Elektronik oder Produktionsanlagen deutlich verbessern. Der Trend geht dahin, dass sich eingebettete Systeme flexibel – ad-hoc – miteinander vernetzen und koordinieren. Die zunehmende Funktionalität stellt Unternehmen vor große Herausforderungen bei der Entwicklung der Systeme in der erforderlichen hohen Qualität. Mit multi- und many-core-Systemen stehen bereits leistungs-

It is planned for the near future to equip the module with an improved component-tracking function. This will allow to retrace and allocate information about individual components more easily through RFID chips, ensuring more sophisticated quality assurance procedures and enhanced customer satisfaction.

#### **Industrial Working Group for the Assembly of Optical Systems**

In June 2014, the Fraunhofer IPT and the Fraunhofer Institute for Laser Technology ILT jointly established a practice-oriented working group for the assembly of optical systems. The number of participating companies in this group has since grown to eleven. The group aims to establish and address the most urgent challenges that affect the assembly of optical components, aiming to develop joint solutions. The participating enterprises are proposing areas on which to focus the research, for example tasks in the handling, feeding, joining or adjustment of optical components. The enterprises also determine into which of these areas further studies are to be conducted by the two Fraunhofer Institutes. The participants will subsequently have free and unlimited use of any results. The sub-projects are funded through annual contributions from the enterprises.

#### **Methodology and Platform for the Model-Based Development of Embedded Multi-/Many-Core Systems**

Embedded systems are seen as key driving forces behind innovations to deliver significant improvements to the functionality and competitiveness of products from a diverse range of industries including car manufacturing, aviation, medical technology, electronics and mechanical engineering. Current trends are pointing towards the development of embedded systems that are forming flexible ad-hoc networks to coordinate with one another. Increasing functionality requirements



fähige Hardware-Lösungen zur Verfügung. Diese müssen jedoch in der Entwicklung beherrschbar und ihre korrekte Funktion und vor allem die funktionale Sicherheit (Safety) der entstehenden Systeme weiterhin gewährleistet sein.

Das Projekt »AMALTHEA4public«, mit 28 Partnern aus Deutschland, Spanien, Finnland und der Türkei, wird im Eureka-Programm ITEA2 (IT for European Advancement) gefördert und hat sich zum Ziel gesetzt, eine Methodik und eine Werkzeugkettenplattform für die modellbasierte Entwicklung eingebetteter multi-/many-core-Systeme bereitzustellen. Dazu sollen die im Vorgängerprojekt »AMALTHEA« entstandene Methodik und Plattform um Methoden für Systems Engineering, Verifikation und Validierung, Safety und Produktlinien-Engineering mit durchgängiger Unterstützung für den Einsatz von many-core-Hardware erweitert werden.

Die Projektgruppe Entwurfstechnik Mechatronik des Fraunhofer IPT fokussiert im Projekt die Echtzeitkoordination eingebetteter multi-/many-core-Systeme und integriert vor allem modellbasierte Softwareentwicklungs- und Verifikationsmethoden und -werkzeuge in die Plattform.

represent enormous challenges for enterprises which need to develop systems of sufficiently high quality. Multi- and many-core-systems already provide suitable hardware solutions. It must, however, be guaranteed that their further development can be controlled and that the correct functionality as well as the functional safety of the emerging systems are in no way compromised.

The "AMALTHEA4public" project that features 28 partners from Germany, Spain, Finland and Turkey is funded by the Eureka programme ITEA2 (IT for European Advancement). It aims to provide a methodology and a tool chain platform for the model-based development of embedded multi-/many-core systems. For this purpose, the methods and the platform developed by the preceding project "AMALTHEA" need to be complemented by methods for systems engineering, verification and validation, safety and product line engineering, while delivering integrated support for the deployment of many-core hardware.

Under the project, the Project Group for Mechatronic Systems Design of the Fraunhofer IPT concentrates on the real-time coordination of embedded multi-/many-core systems, specifically integrating model-based software development and verification techniques and tools into the platform.

# LIFE SCIENCES ENGINEERING

Im Geschäftsfeld »Life Sciences Engineering« erforscht und entwickelt das Fraunhofer IPT zukunftsweisende Technologien für das gesamte Produktspektrum der Lebenswissenschaften, von der Pharmaindustrie und Biotechnologie bis hin zur Medizintechnik.

In einem interdisziplinären Team von Experten aus Ingenieurwissenschaften, Biologen und Medizinern erarbeiten wir individuelle Konzepte und technische Lösungen für den gesamten Prozess der Produktentstehung und begleiten unsere Kunden vom Beginn der Vorlufforschung bis hin zur Marktausrichtung und abschließenden Zertifizierung.

Durch unser bewährtes Netzwerk können wir außerdem auf das Know-how weiterer wissenschaftlicher Einrichtungen in Deutschland und den USA zugreifen: Eine besonders enge und fruchtbare Zusammenarbeit verbindet uns mit dem Werkzeugmaschinenlabor WZL der RWTH Aachen, dem Fraunhofer Center for Manufacturing Innovation CMI in Boston und der Boston University.

## Unser Angebot

- Fertigungstechnologien für Medizinprodukte
- Messtechnische Systeme für Anwendungen in den Life Sciences
- Automatisierungstechnik für Laborprozesse
- Technologien für die Fertigung funktionaler Mikrostrukturen
- Technologie- und Qualitätsmanagement in den Life Sciences

## Kontakt/Contact

Dr.-Ing. Ulrich Marx  
Telefon/Phone +49 241 8904-418  
ulrich.marx@ipt.fraunhofer.de

The "Life Sciences Engineering" department of the Fraunhofer IPT conducts research and development into future-oriented technologies for the entire product range of the life sciences including pharmaceuticals, biotechnology and medical technology.

With an interdisciplinary team of highly qualified engineers, biologists and medical scientists, we design customized concepts and technology solutions for the entire product development process, helping our clients to manage the whole product development from initial research to market launch and certification.

Furthermore, our dense network of contacts allows us to benefit from the know-how of many scientific and academic institutions in Germany and the US. We enjoy specifically close relationships with the Laboratory for Machine Tools and Production Engineering WZL of the RWTH Aachen University, the Fraunhofer Center for Manufacturing Innovation CMI at Boston and Boston University.

## Our services

- Manufacturing technologies for medical products
- Metrology systems for life sciences applications
- Automation technology for laboratory processes
- Technologies for the production of functional microstructures
- Technology management and quality management in the life sciences



### Schnelles Mikroskopieverfahren für Mikrotiterplatten

Für eine umfassende Kontrolle von Zellkulturen, die auf Mikrotiterplatten wachsen sollen, müssen diese auf der gesamten Fläche mikroskopiert werden. Da das Sichtfeld des Mikroskops mit wenigen Millimetern sehr klein ist und die Grundfläche der Mikrotiterplatte mit 8 mal 13 cm vergleichsweise groß, müssen tausende von Einzelaufnahmen gemacht werden, um die gesamte Platte mit allen Zellen zu erfassen. Das Fraunhofer IPT hat deshalb im Forschungsprojekt StemCellFactory (Förderkennzeichen 005-1007-0023) ein hochdurchsatzfähiges Mikroskopieverfahren entwickelt, das es erlaubt, solche Mikrotiterplatten in wenigen Minuten hochauflösend zu mikroskopieren. Mit der StemCellFactory sollen induziert pluripotente Stammzellen in einem großen Maßstab hergestellt werden. Mit dem neuen Mikroskopieverfahren gelingt es nun, in wenigen Minuten hochauflösende Mikroskopaufnahmen, beispielsweise von automatisiert erzeugten iPS-Stammzellen auf der Mikrotiterplatte zu gewinnen. Während herkömmliche Mikroskope die Mikrotiterplatten Stück für Stück abrastern, indem ein motorisierter Tisch die Probe schrittweise verfährt, nutzt das neue Verfahren eine Blitzbeleuchtung, um die Aufnahmen zu belichten ohne den Tisch anzuhalten. Eine Highspeed-Kamera mit leistungsfähiger Schnittstelle nimmt dafür die Bilder in kurzer Blichungszeit ohne Bewegungsunschärfe auf. Die Synchronisation von LED-Blitz, Kamera und Tischbewegung in Echtzeit übernimmt ein Tischcontroller, der wegsynchrones Triggern unterstützt. Eine selbst entwickelte Software, die zum Zwischenspeichern der Aufnahmen den Arbeitsspeicher des Computers nutzt, ermöglicht Bildraten bis zu 50 fps. Die Aufnahme einer gesamten Mikrotiterplatte verkürzt sich mit dem neuen System von mehreren Stunden auf wenige Minuten. Die kontinuierliche Bewegung reduziert außerdem Flüssigkeitsschwankungen des Mediums, sodass mit dem neuen Mikroskopieverfahren sehr homogen beleuchtete, automatisiert auswertbare Übersichtsbilder mit mikroskopischen Details entstehen. Eine Erweiterung des Verfahrens auf die Fluoreszenzmikroskopie ist bereits geplant.

### A Faster Microscopy Technique for Microwell Plates

A comprehensive control of cell cultures that are grown on microwell plates requires that the entire plate surface is surveyed by a microscope analysis. However, since microscopes have only a very small field of vision – a few millimeters at a time – in relation to the basic surface of the microwell plate (8 times 13 cm), one needs thousands of individual images to generate a picture of the plate that features all of its cells. This is why the Fraunhofer IPT has developed a high-throughput microscopy technique under the StemCellFactory research project (contract number 005-1007-0023), which makes it possible to survey such microwell plates under a high-resolution microscope within minutes. The StemCellFactory project aims to enable the large-scale production of induced pluripotent stem cells. With the new microscopy technique, it takes only a few minutes to take high-resolution microscopy images, for example showing iPS stem cells that were automatically generated on a microwell plate. Whereas conventional microscopes scan the plate section-by-section while a motorized table moves the sample in tiny steps, the new technique applies a flashlight exposure to take images without so there is no need to stop the table. A high-speed camera that has been equipped with a high-performance interface takes the pictures, using very short exposure times to prevent motion blur. A table controller that supports path-synchronous triggering performs the real time synchronization of LED flash, camera and table movement. A self-developed software that uses the working memory of the computer for intermediate storage of the images allows frame rates of up to 50 fps. With a conventional microscope, it took several hours to represent an entire microwell plate – now, it can be done in just a few minutes. The continuous movement furthermore reduces fluctuations of the liquid medium, ensuring that the new microscopy technique produces homogeneously exposed overview images with microscopic details that can be automatically evaluated. There are already plans to develop a version of the new technique that can be applied in fluorescence microscopy, too.

### Mikrostrukturen für die Biotechnologie

Bereits seit Jahrzehnten versucht die biotechnologische Forschung, für Transplantationen Gewebeersatz aus körpereigenen Zellen herzustellen. Denn immer noch wird Patienten fast ausschließlich körperfremdes Spendergewebe implantiert. Eine Alternative kann in Zukunft das Tissue Engineering bieten: Dabei wird das natürlich gewachsene Gewebe nachgebildet, indem ein formgebendes synthetisches Netzwerk mit extrazellulären Matrixproteinen wie Kollagen, Fibronectin oder Laminin beschichtet und dann mit primären Zellen besiedelt wird. Bisher ist es jedoch noch nicht gelungen, spendereigene Gewebezellen in einem solch großen Maßstab nachzuzüchten, wie es die Herstellung eines vollständigen Organersatzes erfordert. Ziel des Fraunhofer IPT ist es deshalb, Bedingungen zu schaffen, um adulte Stamm- und Vorläuferzellen durch Adhäsion auf festgelegten Topographien in definierte Phentypen auszudifferenzieren. Modellversuche haben gezeigt, dass technische Mikro- und Nanostrukturen das Potenzial besitzen, die Differenzierung mesenchymaler Stammzellen in Knochenzellen, Myoblasten, Adipozyten und neuronale Zellen zu lenken. Das Fraunhofer IPT untersucht nun, wie sich mit verschiedenen Fertigungsverfahren entsprechende Mikro- und Submikrostrukturen auf unterschiedlichsten Materialien aufbringen lassen. So können beispielsweise mit der Zwei-Photonen-Lithographie Prototypen mit komplizierten Geometrien im Mikro- und Submikrometerbereich hergestellt werden. Auch durch Diamantzerspanung lassen sich Strukturen im Submikrometerbereich erstellen, die durch Spritzgusstechnik in hoher Stückzahl abgeformt werden können. Die Lasertechnik hingegen erlaubt eine Strukturierung im Mikrometerbereich, zeichnet sich aber durch eine hohe Flexibilität aus, da für Modellzwecke die biokompatiblen Werkstoffe direkt strukturiert werden können. Das Fraunhofer IPT arbeitet jetzt an einem Verfahren, mit dem sich die erfolgreich getesteten Strukturen auf Gewebekulturplastiken unterschiedlicher Größen drucken lassen. Ziel ist es, die entstehenden Produkte für die industrielle Vermarktung zu qualifizieren.

### Micro-Structures for Biotechnology Applications

For several decades, biotechnology researchers have been trying to generate replacement tissue from the body cells of transplant receivers. Currently, patients with tissue defects that cause organ failures are still facing long waiting lists, because transplants almost exclusively rely on other people's donor tissue. Tissue engineering holds out the promise for an alternative solution: under this technique, organically grown tissue is reproduced by coating a synthetic network – the mould – with extra-cellular matrix proteins such as collagen, fibronectin or laminin and by populating it subsequently with primary cells. Until now, however, researchers have not yet managed to reproduce own body cells on the scale which is required for the creation of a complete replacement organ. This is why the Fraunhofer IPT is trying to create the right conditions for the differentiation of adult stem and progenitor cells through adhesion on defined topographies into defined phenotypes. Model experiments have demonstrated that technological micro-structures and nano-structures have the potential to control the differentiation of mesenchymal stem cells into bone cells, myoblasts, adipocytes and neuronal cells. The Fraunhofer IPT is currently establishing how different production methods can serve to apply such micro-structures and sub-micro-structures on to various materials. It is known, for example, that the technique of two-photon lithography can generate prototypes with complex geometries in the micro- and sub-micrometer range. Diamond machining, too, can produce structures in the sub-micrometer range, which can be shaped through injection molding on an industrial scale. Laser technology, on the other hand, can produce structures in the micro meter range, but benefits from specifically high levels of flexibility, since bio-compatible materials can be directly structured for the purpose of model-making. The Fraunhofer IPT is currently developing a technique to print successfully tested structures on to tissue culture models of different sizes. The objective is to develop such a product to the point where it can be launched on the industrial market.



### Medizinprodukte aus faserverstärkten Kunststoffen

Faserverbundwerkstoffe, die sich durch gezielte Wärmeeinwirkung verformen und damit individuell anpassen lassen, bergen ein enormes Potenzial für die Medizintechnik. Durch den Einsatz von thermoplastischem Kunststoff, der die verstärkenden Fasern der Bauteile zusammenhält, lassen sich beispielsweise anpassungsfähige Mikroimplantate für die Neurochirurgie, aber auch komplexe Bauteile wie Prothesen herstellen. So lassen sich bereits heute Instrumente für die minimalinvasive Chirurgie mit dem Mikro-Pullwinding-Verfahren, das am Fraunhofer IPT entwickelt wurde, serienmäßig aus Faserverbundkunststoffen herstellen. Das Fraunhofer IPT fertigt auf diese Weise dreilagige Mikro-Profile mit Durchmessern deutlich unter 1 mm, die in Führungsdrähten, Kanülen und Kathetern zum Einsatz kommen können. Das gewünschte Biege- und Torsionsverhalten der Instrumente lässt sich dabei je nach gewünschtem Einsatzgebiet anhand gezielt ausgerichteter Verstärkungsfasern kontinuierlich variabel einstellen, ohne die Serienproduktion zu unterbrechen. Ein weiterer Pluspunkt dieser Instrumente ist ihre Tauglichkeit für die Anwendung im Magnetresonanztomografen (MRT): Im Gegensatz zu metallischen Komponenten treten bei der Bildgebung keine störenden Artefakte auf. Für die Herstellung individuell anpassungsfähiger Medizinprodukte wie Prothesen, Implantate oder auch Rollstühle entwickelt das Fraunhofer IPT außerdem Verfahren und Produktionssysteme zur Verarbeitung thermoplastischer Faserverbundkunststoffe. Komponenten, die auf diese Weise gefertigt werden, lassen sich im Gegensatz zu solchen aus duroplastischen Materialien nach dem ersten Aushärten erneut wieder verformen und so an individuelle Bedürfnisse anpassen. Viele der thermoplastischen Matrixmaterialien sind bereits für den Einsatz in der Medizintechnik zugelassen und müssen deshalb keine langwierigen Zulassungsverfahren mehr durchlaufen.

### Medical Technology Made From Fiber-Reinforced Plastics

Fiber-reinforced materials that can be shaped individually under the controlled impact of a heat source bear an enormous potential for medical technology applications. The addition of thermoplastics, for example, which hold the reinforcement fibers together, allows the production of customized micro-implants for neurosurgery applications and of complex components such as prostheses. Already today, instruments for minimally invasive surgeries can be mass-produced from fiber-reinforced plastics on the basis of the micro-pullwinding technique that has been developed at the Fraunhofer IPT. The Fraunhofer IPT is using this technique to manufacture three-layer micro-profiles with diameters significantly below 1 mm for applications in guide wires, cannulae and catheters. With this technique, it is possible to determine the bending and torsion properties of the instruments on a continuously variable scale according to the requirements of the individual application through the use of carefully aligned reinforcement fibers, without having to interrupt the sequence of mass-production steps. Another advantage of these instruments is their suitability for applications in magnetic resonance tomography (MRT): in contrast to metallic components, FRPs do not cause any unwanted artefacts in the imaging process. The Fraunhofer IPT is furthermore developing techniques and production lines for the application of fiber-reinforced plastics in the manufacturing of customized medical products such as prostheses, implants and wheelchairs. In contrast to elements made from duroplastics, FRP components can be reshaped after they have undergone their initial hardening which means that they can be adjusted to individual requirements. Many thermoplastic matrix materials have already been approved for use in medical technology applications which means that protracted permission procedures are no longer necessary.

### Fraunhofer-Leitprojekt »Theranostische Implantate«

Theranostische Implantate sind komplexe, multifunktionale, implantierbare Medizinprodukte, die in einem System Diagnostik und Therapie vereinen. Die Erfassung verschiedener Vitalparameter bildet die Grundlage für die jeweils eingeleitete therapeutische Maßnahme, deren Wirksamkeit in einem geschlossenen Regelkreis optimiert wird. Aufgrund ihrer vielfältigen Anwendungsmöglichkeiten, steigenden Anforderungen an die Qualität einer hochspezialisierten medizinischen Betreuung und der demographischen Entwicklung nimmt ihre Bedeutung heute stark zu. Im Fraunhofer-Leitprojekt »Theranostische Implantate« bündeln zwölf Fraunhofer-Institute ihre technologischen Expertisen in Feldern wie der Halbleitertechnik, Optik und Medizintechnik, um theranostische Plattformen zu entwickeln, auf deren Grundlage drei Demonstratoren mit hoher Marktrelevanz aufgebaut und getestet werden sollen. Mit einem skeletalen, einem kardio-vaskulären und einem neuro-muskulären Demonstrator wird dabei fast der gesamte Bereich relevanter theranostischer Implantate abgedeckt: Fraunhofer IPT und CMI beteiligen sich in einem Teilprojekt an der Entwicklung einer »Smarten Hüftgelenksprothese«, die eine Lockerung erfasst und sowohl durch geeignete Aktuatoren als auch durch eine gezielte Anregung des Knochenwachstums entgegenwirkt. Aufgabe des Fraunhofer IPT in diesem Teilprojekt ist die spanende Bearbeitung des Schafts. Die Beschichtung mit 3D-gedruckten Hydrogelen bearbeitet das Fraunhofer CMI. Durch multimodale invasive Erfassung physiologischer Parameter werden mit einem zweiten Demonstrator subklinische Veränderungen der Hämodynamik erfasst, so dass vor dem Auftreten relevanter Symptome therapeutische Maßnahmen eingeleitet werden können. Invasiv mehrkanalig abgeleitete Muskelsignale ermöglichen mit dem dritten Demonstrator eine »Myoelektrische Handprothesensteuerung« mit mindestens sechs Freiheitsgraden, wobei die nervale Stimulation dem Betroffenen ein sensorisches Feedback über die Griffkraft geben soll.

### Fraunhofer Lighthouse Project on "Theranostic Implants"

Theranostic implants are complex, multi-functional, implantable medical products that unite diagnostics and therapy in a single system of medical technology. The establishment of different vital parameters provides the diagnostic basis on which the therapeutic measure is determined, following which the effectiveness of the therapy is optimized in a closed-loop control circuit. Due to the large number of possible applications, increasing quality requirements for highly specialized medical treatments, and the current demographic trends, the importance of such implants is likely to grow. Under the Fraunhofer lighthouse project on "Theranostic implants", twelve Fraunhofer Institutes have joined their skills and expertise in areas such as semi-conductor technology, optics and medical technology in order to develop theranostic platforms that will provide the foundation for the construction and testing of three exemplary demonstrators with a high commercial relevance. The three demonstrators – skeletal, cardio-vascular and neuro-muscular – will cover nearly the entire range of the currently relevant theranostic implants. The Fraunhofer IPT and CMI are participating in a sub-project for the development of a "smart hip joint prosthesis", which is capable of detecting a loosening and then to address such a problem through actuators and a stimulation of the patient's bone growth. The Fraunhofer IPT's contribution to this sub-project is the technology for the machining of the shaft while the Fraunhofer CMI is working on the coating of 3D-printed hydrogels. A second demonstrator establishes sub-clinical changes of the haemodynamics through a multimodal and invasive assessment of physiological parameters, allowing doctors to initiate therapeutic measures through a "haemodynamic controlling" before the patient develops any visible symptoms. The third demonstrator uses an invasive multi-channel derivation of muscular signals to perform a "myoelectric hand prosthesis control" with at least six degrees of freedom, wherein neural stimulation is intended to allow the patient to provide a sensory feedback through his or her grip.



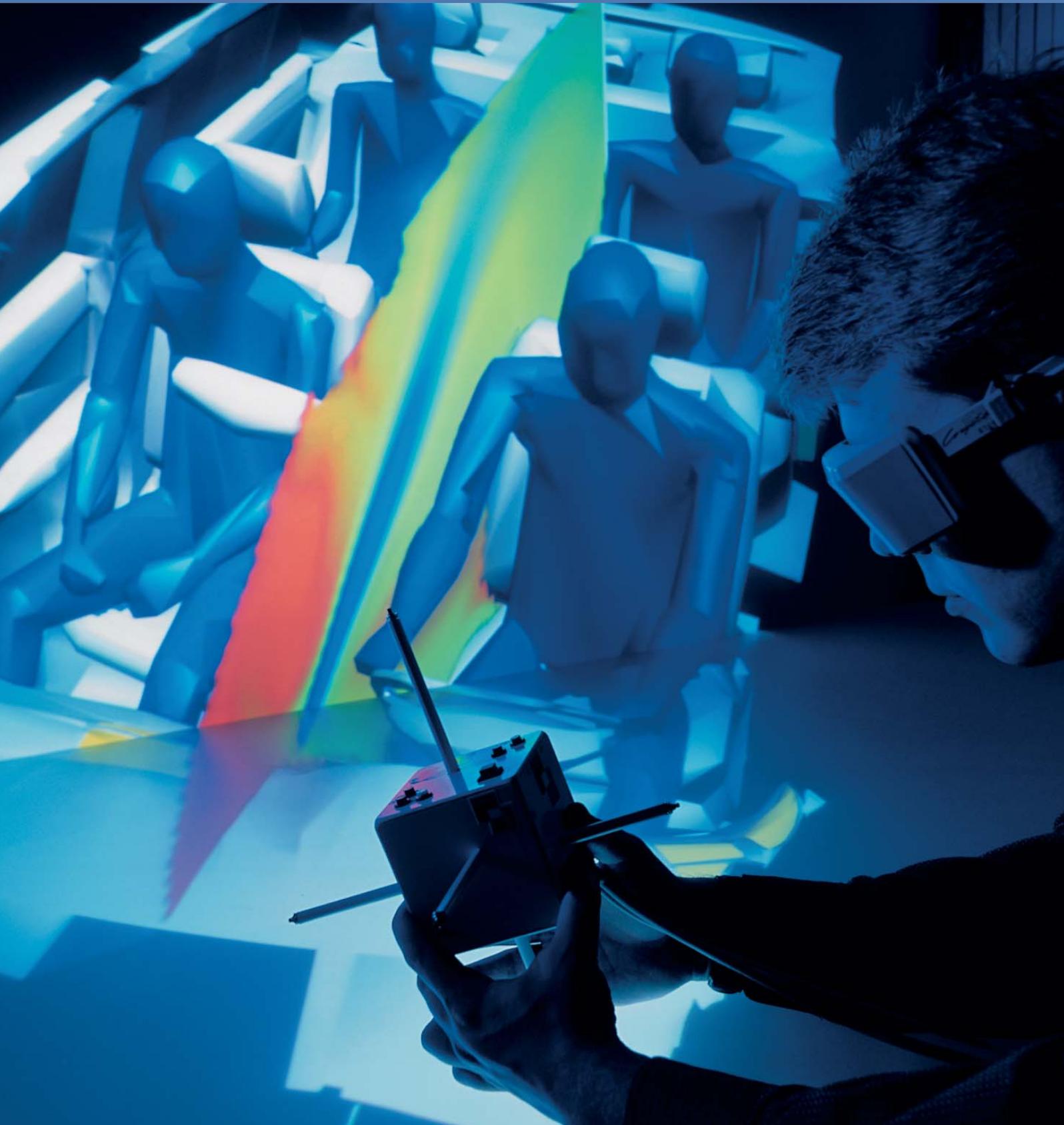
### **Optische Kohärenztomographie in der Arthrose-diagnostik**

Die Optische Kohärenztomographie (OCT) kann optische Schnittbilder von Knorpelgewebe in Echtzeit in hoher Auflösung erzeugen. Dies birgt das Potenzial, über eine ganzheitliche Beurteilung degenerative Knorpelschäden frühzeitig charakterisieren zu können. Das Fraunhofer IPT untersucht deshalb gemeinsam mit der Klinik für Orthopädie der RWTH Aachen das Potenzial der quantitativen OCT-Bildgebung. Zur Untersuchung der Knorpelschäden dienen Algorithmen zur Bildanalyse, mit denen sich Unregelmäßigkeiten bezüglich der Homogenität und Dämpfungsverluste des Gewebes standardisiert beschreiben lassen. Anhand von 113 menschlichen Proben von Knochen-Knorpel-Gewebe, die bei Knie-Totaloperationen gewonnen wurden, wird das Verfahren untersucht. Die Unregelmäßigkeiten des Knorpels werden anhand der Standardabweichung von einer Vergleichsoberfläche analysiert, zur Beurteilung der Homogenität des Gewebes dient eine Kantenerkennung der Signalveränderungen und für die Untersuchung der Dämpfungsverluste wird die relative Eindringtiefe in Abhängigkeit des Rauschniveaus herangezogen. Zudem werden alle Proben makroskopisch, biomechanisch, histologisch sowie durch eine qualitative Beurteilung der OCT-Bilder untersucht, wobei deutliche Korrelationen zwischen allen Messungen nachweisbar sind. Die Untersuchung der Unregelmäßigkeiten und der Homogenität geben Aufschluss über die Knorpeloberflächen, die Integrität und die Homogenität des Gewebes. Die Untersuchungen ergeben außerdem, dass eine Unterscheidung zwischen unmineralisiertem und mineralisiertem Gewebe möglich ist. Die quantitative OCT besitzt damit das Potenzial zum Diagnosewerkzeug für eine verlässlichere, standardisierte und objektive Erfassung der Knorpelgewebeeigenschaften.

### **Optical Coherence Tomography as a diagnostic tool for degenerative cartilage changes**

Optical Coherence Tomography (OCT) yields microscopic cross-sectional images of cartilage in real time and at high resolution. As yet, comprehensive grading of degenerative cartilage changes based on OCT has rarely been performed. In a joint study with the Department of Orthopaedics and the Institute of General Mechanics of the RWTH Aachen University the Fraunhofer IPT investigated the potential of quantitative OCT using algorithm-based image parameters such as irregularity, homogeneity and attenuation in the objective grading of cartilage degeneration. Therefore, OCT was used to image and assess 113 human osteochondral samples obtained from total knee replacements. Processing included the analysis of irregularity by calculation of the standard deviation with regards to a fitted surface, of homogeneity by edge detection of tissue signal changes and of attenuation by analysis of relative imaging depth. Additionally, samples were subject to macroscopic, biomechanical, qualitative OCT and histological evaluation. Significant correlations were found between all outcome measures. The analyses of homogeneity and irregularity were effective in assessing cartilage surface, integrity and homogeneity, while the analysis of attenuation could discriminate between unmineralized and mineralized cartilage, respectively. Therefore, quantitative OCT holds potential as a diagnostic tool for more reliable, standardized and objective assessment of cartilage tissue properties.

**UNSERE ZIELE: PRODUKTION DER ZUKUNFT**  
**OUR OBJECTIVE: PRODUCTION FOR THE FUTURE**



Produktionstechnik muss dem Menschen dienen – für mehr Lebensqualität und nachhaltigen Wohlstand aller. Das Fraunhofer IPT wirkt deshalb an zahlreichen strategischen Projekten mit, die dazu beitragen, eine Balance zwischen den ökonomischen Notwendigkeiten und einem lebenswerten Produktionsumfeld zu schaffen.

Gemeinsam mit einer Vielzahl starker Partner wollen wir Vordenker sein – nicht nur bei der Entwicklung der technologischen Voraussetzungen, sondern auch, wenn es um wirtschaftlichen Erfolg durch den sinnstiftenden Einsatz der betrieblichen Mittel geht.

Indem wir uns verstärkt in langfristig orientierten Großprojekten engagieren, arbeiten wir aktiv daran mit, die Produktion der Zukunft zu gestalten – mit vorausschauender Perspektive und einem ganzheitlichen Verständnis für die Interaktion von Mensch und Umwelt.

Production technology must serve human needs, increase the quality of life and ensure the sustainable wealth of all. This is why the Fraunhofer IPT is contributing to many strategic projects which are helping to create the right balance between economic necessities and a production environment that reflects human needs and requirements.

Side by side with strong partner organizations, we want to belong to those institutions which create the technological foundations for a better world while reinforcing the foundations of successful businesses through an intelligent use of operating resources.

By increasing our involvement in large long-term projects, we make an active contribution to the creation of tomorrow's industrial world – based on foresight and a profound understanding of the complex interactions between human beings and their environment.

**72    Ressourceneffiziente Fertigung**  
Resource-Efficient Production

**74    Generative Fertigung**  
Additive Manufacturing

**76    Robotik und Automation**  
Robotics and Automation

**78    Industrie 4.0**  
Industry 4.0

**80    Automatisierung von Wissensarbeit**  
The Automation of Work in the  
Knowledge Economy

# RESSOURCENEFFIZIENTE FERTIGUNG

## RESOURCE-EFFICIENT PRODUCTION

Natürliche Rohstoffe stehen auf unserem Planeten nicht unbegrenzt zur Verfügung. Dennoch verbrauchen wir schon heute 1,5 mal so viel an Ressourcen wie die Natur uns unbeschadet liefern kann – in Industrieländern sogar noch deutlich mehr. Nicht nur die Umweltbelastung und steigende Kosten bieten Unternehmen heute Anlass Ressourcen sparsam einzusetzen; inzwischen forcieren auch gesetzliche Bestimmungen einen bewussteren Umgang. Mehr und mehr verlangen Kunden inzwischen selbst detaillierte Informationen über die Auswirkungen von Produkten auf Mensch und Umwelt, beispielsweise in Form eines ökologischen Fußabdrucks.

Bereits heute lässt sich durch effizienten Materialeinsatz am Produkt der Energiebedarf für Rohstoffherstellung, Bearbeitung, Transport, Nutzung und Recycling senken. Fehlerfreie und effektive Produktionsprozesse tragen ebenso dazu bei wie die Reduktion von Materialverschwendung durch weniger Ausschuss und Nacharbeit. Um Ressourcen effizient zu nutzen, sind Transparenz, Vergleichbarkeit und übergreifendes Verständnis von Prozessflüssen, Material- und Energieströmen unerlässlich. Die Ressourcenproduktivität ist damit bereits heute der wichtigste Wettbewerbsfaktor vieler Unternehmen.

Mit effizienten Produktionstechnologien und den richtigen organisatorischen Maßnahmen können Betriebe ohne Produktivitätsverluste schon heute bis zu 30 Prozent an Ressourcen sparen – und so unmittelbar ihre Kosten für Material, Energie und Maschinen senken. Voraussetzungen, um diese 30 Prozent zu erreichen, sind allerdings eine durchgängige Effizienzstrategie, systematische Analysen, die organisatorische Verankerung und ein umfassendes Wissen über die besten verfügbaren Technologien und deren Einsatz. Zahlreiche Beispiele aus Industrieprojekten des Fraunhofer IPT illustrieren bereits die Wirksamkeit von Effizienzmaßnahmen, etwa bei der Wärmerückgewinnung prozesstechnischer Anlagen, der Materialsubstitution in Neuprodukten, der Nutzung drehzahl geregelter Antriebe, dem Ersatz alter Maschinen oder einer energieoptimierten Produktionsplanung und -steuerung.

Our planet does not provide us with an inexhaustible supply of natural resources. Although we are all aware of this, we are currently using 1.5 times as many of these resources as nature can provide without exhausting herself – and that is the “global average” which is significantly exceeded by industrialized countries. But it is not only the urge to protect our natural environment and the need to combat rising costs which provide an incentive for enterprises to use these natural resources responsibly: new legislation, too, plays a part in this. Increasing numbers of clients are requesting information about their products’ impact on human beings and on the natural environment, for example in the form of an “ecological footprint”.

An efficient use of raw materials can serve to decrease the amounts of energy that are required for the production of raw materials as well as for their processing, transport, use and recycling. Error-free and effective production processes can make a contribution here, and so can the reduction of material waste through quality control, which cuts down on rejects and the need to rework them. The efficient use of resources requires transparency, comparability and an integrated understanding of process, material and energy flows. For many companies “resource productivity” is already the key factor in the cost calculations they use to determine their competitiveness.

Already today, efficient production technologies and the right organizational measures allow companies to cut down their use of resources by up to 30 percent without compromising their levels of productivity – helping them to decrease their costs for raw materials, energy and equipment. This 30 percent reduction, however, requires an integrated efficiency strategy, systematic analyses, a firm structural commitment and comprehensive knowledge about the best available technologies and their application. Numerous examples from industrial projects that have been conducted by the Fraunhofer IPT illustrate the effectiveness of such efficiency



Der Fraunhofer-Verbund Produktion arbeitet im Fraunhofer-Leitprojekt »E<sup>3</sup>-Produktion« daran, die Produktion energie- und ressourceneffizienter zu gestalten. Kürzere, vernetzte Prozessketten sollen nicht nur Ressourcen sparen, sondern sogar Nebenprodukte wie Abwärme sinnvoll weiter nutzen. Das Fraunhofer IPT ist im E<sup>3</sup>-Projekt an zwei Arbeitspaketen zur energie- und ressourceneffizienten Produktion beteiligt: Eines der beiden Arbeitspakete befasst sich mit der Untersuchung und Bewertung der Prozesskette vom Gießen zum Endbauteil. Ziel ist es hier, den Energie- und Ressourcenbedarf innerhalb der Prozesskette zu senken und den – oft unternehmensübergreifenden – Fertigungsprozess anhand einer eigens dafür zu entwickelnden Produktionsplanungssoftware zu optimieren. Im zweiten Arbeitspaket gilt es, generative Prozesse in Prozessketten für die Automobilbauteilherstellung vom Pulver zum Fertigteil zu integrieren. Hier sollen die Prozesse des Selective Laser Melting und des Laserauftragschweißens einer technologischen und wirtschaftlichen Bewertung unterzogen werden, sodass die Potenziale der Verfahren ausgeschöpft werden können. Anhand zweier Demonstratoren wollen die Partner schließlich eine verifizierte Bewertung der beiden Verfahren vorlegen.

Mit dem E<sup>3</sup>-Projekt leisten die Fraunhofer-Institute nicht nur einen wichtigen Beitrag zur nationalen Nachhaltigkeitsstrategie der Bundesregierung, indem sie Rohstoff- und Energieproduktivität verbessern und auf eine deutliche Reduktion von Treibhausgasen setzen. Auch kleine und mittlere Unternehmen profitieren von den neuen Konzepten, die durch die Entwicklungen innerhalb des Projekts erarbeitet werden.

drives, including projects involving heat recovery of process technology plants, the substitution of certain materials in new products, the use of RPM-controlled drives, the recycling of old equipment and the application of energy-optimized production planning and control systems.

The Fraunhofer Group for Production has dedicated the Fraunhofer lighthouse project "E<sup>3</sup> Production" to the task of making production processes more energy and resource-efficient. Shorter and more effectively networked process chains are meant to ensure a more efficient deployment of the existing resources and to put even by-products of industrial processes such as exhaust heat to a productive use. In its attempts to make industrial production processes more efficient, the Fraunhofer IPT is making contributions to two elements of E<sup>3</sup>. One of these elements aims to decrease the energy and resource requirement of the integrated process chain of casting, optimizing the manufacturing process – which frequently involves several companies – with a newly developed production planning tool. The other element is striving to integrate generative production processes, from the powder to the finished component, into car component manufacturing process chains. The large number of models and variations in modern car manufacturing requires a careful selection of generative techniques. The aim is to subject the selective laser melting and the laser-deposit welding processes to a thorough assessment, both in terms of technological and commercial viability. Eventually, the results of the work will allow the companies to exploit the potential of either technique to the full. The partners will complete two demonstrators for a quality-based assessment of either technique.

The E<sup>3</sup> project of the Fraunhofer Institutes represents an important contribution to the German government's campaign for sustainable development, helping industrial corporations to make better use of raw material and energy resources and reducing the emission of greenhouse gases.

# GENERATIVE FERTIGUNG

## ADDITIVE MANUFACTURING

Schicht für Schicht – so werden heute schon Bauteile individuell, ganz nach Maß und Kundenwunsch aufgebaut. Seit einiger Zeit wächst innerhalb der »Maker«-Bewegung, einer kreativen Do-it-yourself-Szene, die Begeisterung für den 3D-Druck. Er bietet eine populäre Form der generativen Herstellung von Ersatzteilen für Haushaltsgeräte über Ringe, Anhänger und anderen Schmuck bis hin zu Designer-Einzelstücken wie Skulpturen und Möbeln. Hype oder Chance? Die Industrie sollte hier in jedem Fall genau hinschauen!

So lassen sich mit den generativen oder additiven Technologien auch in der industriellen Fertigung nahezu beliebig komplexe Geometrien, innere Strukturen und Topologien erzeugen, an denen konventionelle Verfahren nur scheitern können. Der Verzicht auf die Form und der Einsatz von Laserstrahl oder Extrusionsdüse als »Werkzeug fast ohne Verschleiß« erlaubt zudem die Integration weiterer Funktionen: Die Palette der Anwendungen reicht von Kühlkanälen bis hin zu elektronischen Bauteilen für die Mess- oder Antriebstechnik und bietet Innovationen bei der Herstellung individueller Werkzeuge, aber auch für die direkte Fertigung medizintechnischer Komponenten, etwa in Form individueller Implantate.

Die Idee dahinter ist nicht ganz neu: Bereits seit mehr als 20 Jahren arbeiten Industrie und Forschung an und mit den generativen Verfahren und experimentieren mit der Fülle ihrer Möglichkeiten. Doch erst durch die Produktivitätssteigerungen der jüngeren Vergangenheit sind diese auch in die öffentliche Wahrnehmung gerückt. Sinkende Kosten für Laserstrahlquellen, aber auch vereinfachte Softwarelösungen haben zu einer weiteren Verbreitung der Technologie geführt und die vielfältigen Anwendungen wecken weltweit breites Interesse.

Da die Kosten für generativ hergestellte Bauteile beinahe unabhängig von der Stückzahl und Komplexität der Bauteilgeometrie betrachtet werden können, stellt sich für viele produzierende Unternehmen jetzt die Frage, ob die generativen Verfahren eine Ergänzung oder partielle Substitution für ihre

Layer by layer: even today, this is how customized components are frequently built up, individually and entirely according to the customer's specifications. For some time now, the "Maker" movement, promoting a creative do-it-yourself ideology, has been praising the benefits of 3D-printing which provides a popular additive manufacturing method of producing many different items, ranging from spare parts for household electronics and rings, amulets or other pieces of jewelry to designer luxuries such as sculptures and fancy furniture. Hype or unique opportunity? The manufacturing industry would, at any rate, be well advised to take a close look at what's going on here.

Additive or generative technologies, after all, can also be gainfully employed in industrial manufacturing processes where they can produce virtually any complex geometry, interior structure and topology that conventional techniques fail to master. Since these new technologies use neither molds nor conventional grinding equipment (their preferred solutions, laser beams and extrusion nozzles, are virtually wear-free), further functions can also be integrated: the range of applications goes from cooling ducts to electronic components for measuring or drive technologies, delivering innovative solutions for the production of customized tools as well as for the direct manufacturing of medical technology such as personalized implants.

The idea on which this technology has been founded is anything but new: for more than 20 years, industrial corporations and research institutions have been developing additive technologies and experimenting with the opportunities they offer. Only the recent increases in productivity, however, have brought these advances into the limelight of public awareness. Falling costs for laser beam sources and simplified software solutions have helped to spread the new technology all over the world and to focus the global interest on the almost unlimited range of possibilities.



konventionellen Fertigungsprozesse sein können oder sollten. In vielen Fällen können generative Technologien eine sinnvolle Ergänzung zu den vorhandenen Verfahren bieten – vor allem dann, wenn die Integration in die bestehenden Prozessketten gelingt. Das ist heute noch nicht selbstverständlich. Aufgabe in aktuellen Forschungs- und Entwicklungsprojekten des Fraunhofer IPT ist es deshalb, auf Basis fundierter Erkenntnisse zu bewerten, ob sich der Aufwand für das einzelne Unternehmen und seine Partner lohnt und einen wirtschaftlichen Nutzen bringt. Neu entwickelte Hardware und Softwarelösungen unterstützen dann die Prozesskettenintegration.

Visionär erscheinen noch heute automatisierte und sogar autonom arbeitende intelligente Fertigungszellen, die selbsttätig kleine und mittlere Stückzahlen der gewünschten Produkte aufbauen. Neue Verfahren wie das Draht-Laserauftragschweißen oder das selektive Laserschmelzen, mit dem sich auch metallische Werkstoffe dreidimensional aufbauen lassen, befinden sich hingegen bereits in fortgeschrittenen Entwicklungsstadien. Studien und Machbarkeitsuntersuchungen müssen nun zeigen, wie sich der Markt weiter entwickeln wird und in welchen Prozessketten sich diese Technologien erfolgreich einsetzen lassen.

Since the costs for additive manufacturing components do not reflect either the size of the production batch or the complexity of the component's geometry, manufacturing corporations may need to establish whether such additive techniques require them to amend or to (partially) substitute their production processes. In many cases, additive manufacturing techniques can complement conventional processes – particularly if it is possible to integrate them into existing process chains. This is, however, by no means already a matter of course for most companies. The Fraunhofer IPT has therefore dedicated several research and development projects to the task of evaluating, on the basis of reliable and carefully collected data, whether or not the required investments are justifiable and economically viable for its client companies and its partners. Newly developed hardware and software solutions subsequently support the integration into the process chain.

Even today, the idea of running production lines with automated or perhaps even autonomously operating manufacturing cells that intelligently build up small and medium-sized batches of the required products may sound like science fiction to many. New technologies, however, such as wire laser metal deposition and selective laser melting, which is capable of building up even metals into three-dimensional structures, have already reached advanced stages of development. Research and feasibility studies must now establish how the market will develop and which process chains might benefit from an integration of these technologies.

# ROBOTIK UND AUTOMATION

## ROBOTICS AND AUTOMATION

Robotik und Automatisierungslösungen machen das Leben leichter, sie bieten Flexibilität und steigern die Produktivität. Wer an Produktion denkt, hat fast automatisch Roboter und Montageanlagen vor Augen. In der Automobilindustrie sind sie schon seit Jahrzehnten nicht mehr wegzudenken.

Ziel aktueller Forschungs- und Entwicklungsarbeiten ist es jetzt, die Robotik in neuen Anwendungsfeldern zu etablieren. Erfolgreiche Ansätze gibt es bereits bei der Montage optischer Komponenten in Lasersystemen. Auch die Montage von Großbauteilen in der Luftfahrtindustrie profitiert immer stärker von entsprechenden Automatisierungslösungen. Für eine sichere Mensch-Maschine-Interaktion sorgen sensorische Hüllen oder integrierte Kraft-/Momentensensoren. Schon in wenigen Jahren werden diese Technologien einen solch hohen Reifegrad erreicht haben, dass viele klassische, starre Produktionslösungen und anstrengende manuelle Tätigkeiten abgelöst werden können.

Auch der Wunsch vieler Kunden nach individuelleren Produkten erfordert eine flexiblere Produktionsumgebung. Unternehmen müssen sich dafür in die Lage versetzen, mit ihren Maschinen und Anlagen eine Vielzahl von Produktvarianten ganz nach Kundenwunsch herzustellen. Hier sind selbstoptimierende Systeme gefragt, die den Aufwand von der Planung bis zur Inbetriebnahme minimieren und eine kostengünstige Produktion individueller Produkte überhaupt erst möglich machen.

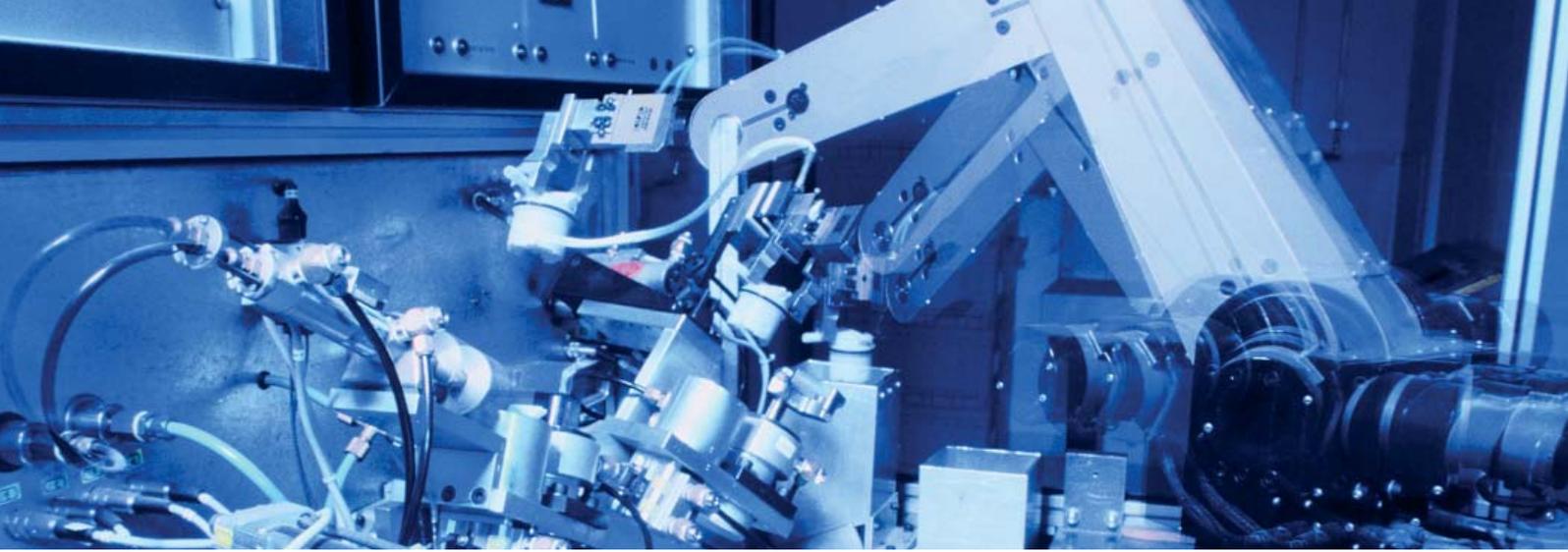
Die Kombination von Robotik, externer Sensorik und selbstoptimierenden Steuerungskonzepten erlaubt es, zukunftsfähige Automatisierungskonzepte in leistungsfähige Maschinen und Anlagen zu integrieren – eine grundlegende Voraussetzung für eine kostengünstige und erfolgreiche Produktion in Hochlohnländern.

Robotics and automation solutions make our lives easier, provide flexibility and increase productivity. Anybody who pictures a modern production line will inevitably think of industrial robots and automated assembly systems. The automotive industry has pioneered this type of manufacturing operation for decades.

Current research and development projects are searching to establish robotics in new areas of application. A promising start has been made with the assembly of optical components in laser systems. The aviation industry is also increasingly deploying automated solutions for its assembly of large components. Sensory sleeves or integrated force/torque sensors ensure the safety of the interaction between machines and their human operators. A few years from now, these technologies will have matured to the point where many classical, rigid production solutions give way to the future and many physically demanding forms of manual work have become obsolete.

The growing demand by many clients for more customized products requires more flexible production environments. Companies must create capacities – plants and machinery – that enable them to manufacture as wide a range of product variations as their customers request. This will create a market for self-optimizing systems that shorten the road from the drawing board to the full-fledged launch and that make it possible to manufacture highly customized products at reasonable prices.

The combination of robotics, external sensor systems and self-optimizing control concepts allows the manufacturers to integrate future-oriented automation systems into high-performance plants and machinery – a fundamental condition for a cost-efficient and profitable production in high-wage countries.



Am Ende steht der »Roboter als Leiharbeiter«, als verlässlicher Helfer in kürzester Zeit ohne lange Programmierung und Einrichteprozeduren, um gemeinsam mit dem Menschen in einer sicheren Umgebung komplexe Aufgaben zu lösen.

Im Exzellenzcluster »Integrative Produktionstechnik für Hochlohnländer« befasst sich das Fraunhofer IPT unter anderem mit der Entwicklung und dem Aufbau flexibler Montagesysteme für die Produktion hybrider, optomechanischer Systeme. Solche Systeme stellen höchste Anforderungen an die Flexibilität, Robustheit und Präzision der Montageprozesse und des zugehörigen Gesamtsystems. Da die individuellen Toleranzen und Prozessvariationen nur schwer plan- und prognostizierbar sind, bietet es sich an selbstoptimierende Montagevorgänge zu entwerfen.

Das Fraunhofer IPT erarbeitet dies am Beispiel eines miniaturisierten Festkörperlaser. Damit soll es gelingen, die Flexibilität und Wandlungsfähigkeit von Montagesystemen entlang der gesamten Prozesskette zu steigern und damit die Effizienz und Wirtschaftlichkeit der Produktion einer hohen Produktvielfalt in kleinen Stückzahlen zu verbessern. Indem die Systemtransparenz im gesamten Produktentstehungsprozess durch die systematische Analyse der Abhängigkeiten innerhalb der Prozesskette »Produktentwicklung – Fertigung – Montage – Qualitätssicherung« verbessert wird, können neue Konzepte zur Abbildung und Nutzung kognitiver Strukturen im Montagesystem entwickelt werden, die als Basis für die selbstoptimierende Automation dienen können.

At the end of this road, stands the "robot as subcontractor", a reliable helper who is always on stand-by – requiring neither long programming sessions nor complicated configuration procedures – to resolve complex tasks in a safe production environment, in close coordination with human beings.

In the Cluster of Excellence "Integrative Production Technology for High-Wage Countries" the Fraunhofer IPT is focusing its attention on the development and installation of flexible assembly systems for the production of hybrid, opto-mechanical systems. Such systems require assembly processes and integrated systems with very high levels of flexibility, robustness and precision. Since individual ranges of permissible variation and process variation cannot be reliably planned or forecast, self-optimizing assembly processes are often the best solution.

The Fraunhofer IPT is developing such processes for an exemplary miniature solid-state laser in order to increase the levels of flexibility and adaptability of assembly systems along the entire process chain, improving both the efficiency and the economic viability of operations to manufacture many different products in relatively small quantities. By rendering the system in the entire product generation process more transparent through a systematic analysis of dependencies in the process chain "product development – production – assembly – quality assurance", new concepts to represent and utilize cognitive structures in the assembly system may be developed that can serve as the foundation of a self-optimizing automatic process.

# INDUSTRIE 4.0

## INDUSTRY 4.0

Eine adaptive, selbstoptimierende Produktion trägt dazu bei, Produkte besser zu planen und Kunden noch schneller mit qualitativ hochwertigeren Produkten zu beliefern. Diese Anpassungsfähigkeit spiegelt sich in den Konzepten der »Smart Production«, die oft im Kontext der »Industrie 4.0« genannt wird wider. Aber was steckt eigentlich dahinter?

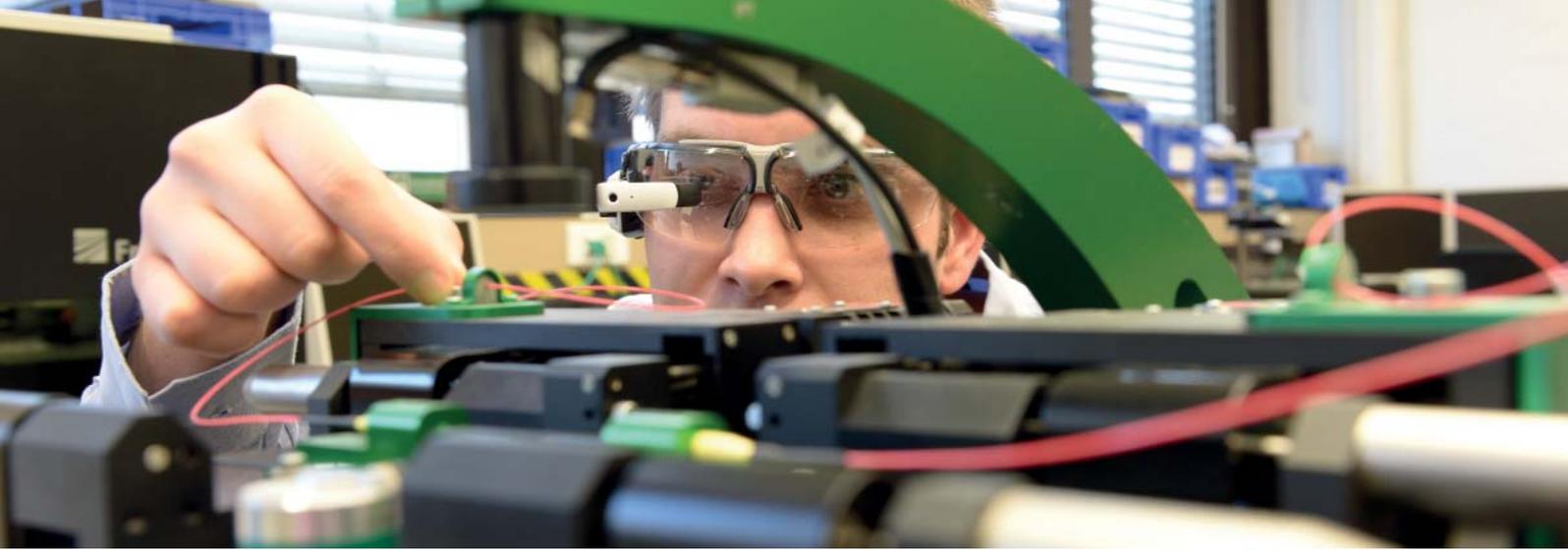
Mit geeigneter Sensorik gelingt es, den Status von Maschinen so kontinuierlich zu überprüfen und nachzuhalten, dass Produktionsfehler sofort erkannt und verhindert werden können. Solche Maschinen kommunizieren laufend mit ihrer Umgebung, etwa indem sie Sensordaten sofort weiterreichen, die Informationen über die Qualität des gefertigten Teils enthalten. Oder indem sie ihre eigene Auslastung mitteilen, um Stillstandszeiten zu vermeiden. Die Fertigungsanlage kann dann selbstständig feststellen, ob Rohteile im Lager vorhanden sind und einen Transportroboter aussenden, um Nachschub zu holen. Die Effizienz in der Produktion wächst – bei geringerem Ressourcenverbrauch. Indem die Prozessentwicklung ihre Erfahrung aus Grundlagenversuchen und Simulationen in Technologiedatenbanken ablegt und unternehmensweit bereitstellt, müssen Fehler nicht mehrmals gemacht werden. Messtechnik in Produktionsanlagen und eine computergestützte Auswertung und Archivierung von Qualitätsdaten gewähren einen detaillierten Einblick in die Qualität der gefertigten Produkte – zu jeder Zeit und an einem beliebigen Ort im Unternehmen. So geht es schneller, bis alles rund läuft, Trends werden erkennbar, Fehler vorhersehbar – und die Entwicklung kann früher Erfolge vermelden.

Eine Herausforderung ist es aber immer noch, Maschinen über die Grenzen einzelner Prozessketten hinaus miteinander interagieren zu lassen. Denn erst, wenn alle relevanten Daten über sämtliche Fertigungsschritte hinweg genutzt und durchgängig immer wieder mit den Vorgaben abgeglichen werden, lassen sich sogar Bauteile mit komplexen Geometrien oder Freiformflächen voll automatisiert und individuell herstellen. Die entstehende Komplexität von Produkten und Produktions-

Adaptive, self-optimizing production lines help to make the product planning process more effective and to deliver high-quality products to the customer more quickly than before. This adaptability is reflected by "smart production" ideas which are closely connected with the "Industry 4.0" concept. But what lies at the bottom of all this?

Suitable sensors can continuously monitor the status of the production equipment and issue reports so that any errors are quickly recognized and eliminated. These machines are engaged in a constant process of communication, forwarding sensor data about the quality of the manufactured components or information about capacity utilization in order to prevent downtimes. Manufacturing facilities can independently establish whether sufficient quantities of raw materials are in storage and, if necessary, despatch a transport robot to provide fresh supplies. This increases the efficiency of the production process and simultaneously reduces the consumption of resources. When process developers upload the results from fundamental research studies and their experiences from simulation exercises into technology databases, thus providing everybody in the company with access to their information, enterprises can avoid making any error more than once. Measuring technology in production lines and computer-assisted evaluations of quality data, combined with appropriate data storage systems, provide detailed information about the quality of the manufactured goods, anytime and at any level of the enterprise. This means that new production routines will take less time to settle in, trends can be immediately recognized and errors become predictable – allowing the development process to generate positive results much more quickly.

It remains a challenge, however, to make machines interact with one another across individual process chains. Only when all relevant data can be accessed throughout the different stages of the production process and continuously compared as well as aligned with their respective targets, will it be possible to manufacture customized components with



daten gilt es zu beherrschen: durch eine lebenszyklusübergreifende Erhebung von Anforderungen und die Entwicklung der entsprechenden Spezifikationen einerseits und eine integrierte Produkt- und Prozessentwicklung in kooperierenden Netzwerken andererseits. Ein umfassendes Technologiewissen muss die Vernetzung von Menschen, Maschinen und den Systemen der Kommunikations- und Informationstechnik deshalb leiten. Denn Flexibilität und dezentrale Entscheidungsfindung hängen immer stärker davon ab, dass die richtigen Informationen zur richtigen Zeit am richtigen Ort zur Verfügung stehen. Cyber-physische Produktionssysteme nutzen diese für eine resiliente Produktion, die bei hoher Flexibilität eine hohe Qualität liefert. Hier verschmelzen Informations- und Planungssysteme mit den Produktionssystemen zu rekonfigurierbaren Netzwerken, die die Produktivität in großem Maßstab verbessern.

Unter dem Motto »Industrie 4.0 – Aachener Perspektiven« fand im Mai 2014 das 28. Aachener Werkzeugmaschinen-Kolloquium statt: Hochrangige Vertreter aus Industrie und Forschung formulierten wichtige Fragen zu den rasanten Entwicklungen in der Produktionstechnik und stellten eigene Antworten zur Diskussion. Mit mehr als 1200 Teilnehmern bewies das AWK auch 2014 seine Spitzenposition als Europas wichtigste und größte Fachkonferenz der Produktionstechnik. Im Zentrum der Konferenz stand das Leitthema »Industrie 4.0« und die daraus folgende radikale Steigerung der Kollaborationsproduktivität – vor allem durch die Interaktion zwischen menschlich und automatisiert geführten Prozessen. Durch die flexible Gestaltung von Wertschöpfungsnetzwerken ergibt sich hier eine große Chance, gerade für Hochlohnländer, die ihren Vorsprung durch Technik nutzen und im internationalen Wettbewerb weiter ausbauen müssen.

complex geometries and free-form surfaces in fully automatic production lines. The emerging complexity of products and production data must be controlled on the one hand by a full analysis of all requirements during the product's life cycle followed by the subsequent development of the corresponding specifications and by the integration of product and process development processes in cooperating networks on the other. The establishment of networks that comprise human beings, machines and systems of communications and information technology must therefore be guided by comprehensive technological skills and knowledge. Flexibility and decentralized decision-making processes are increasingly dependent on the availability of the right type of information in the right place at the right time. Cyber-physical production systems make use of this information to deliver a resilient production operation which is highly flexible and which guarantees high-quality outputs. Information and planning systems merge with the production systems to create reconfigurable networks that significantly increase the levels of productivity.

In May 2014, leading figures from industrial corporations and research institutions came to Aachen to discuss the latest developments in production technology and possible responses to new challenges at the 28<sup>th</sup> Aachen Machine Tool Colloquium (AWK) which was held under the motto "Industry 4.0 – The Aachen Approach". The 2014 edition of the AWK was attended by more than 1200 international specialists, emphasizing the standing of the conference as the largest and most important meeting of experts and professionals from nearly all areas and fields of production technology. The congress focused on the enormous increases in collaborative productivity which appear to result from the advances of "Industry 4.0", mainly through the interaction of automatic processes with those that are controlled by human operators. A flexible design of value-added chains and networks can create opportunities here – specifically for high-wage countries which need to exploit their technological edge to remain competitive in an increasingly globalized economy.

# AUTOMATISIERUNG VON WISSENSARBEIT

## THE AUTOMATION OF WORK IN THE KNOWLEDGE ECONOMY

Neu- und Weiterentwicklungen von Produktionstechnologien haben dazu geführt, dass heute eine enorme Vielfalt an Lösungen für eine ebenso große Anzahl an Aufgaben zur Verfügung steht. Hybride Technologien und adaptive Fertigungsprozesse, generative Verfahren und optische Technologien, vernetzte Systeme und autonome Logistiklösungen – und nicht zuletzt Schlagworte wie Industrie 4.0 und Big Data; sie alle werfen eine Frage auf: Wer kann da noch den Überblick behalten?

Das Thema Wissensmanagement treibt die Produktion bereits seit Jahrzehnten um. Doch die relevanten Informationen zum richtigen Zeitpunkt aufzuspüren und zu erkennen, gelang bisher nur mit geschultem Auge und Erfahrungswissen. Schon unterschiedliche Begrifflichkeiten und Terminologien innerhalb desselben Unternehmens können eine rein maschinelle Textsuche zum Scheitern verurteilen. Formale Kriterien reichen ebenfalls oft nicht aus, um Informationen gewinnbringend zu strukturieren.

Einen neuen Ansatz bieten vernetzte, community-basierte Vorgehensweisen, etwa indem Netzwerkpartner und Experten außerhalb der Organisation in das Technologiewissensmanagement eingebunden werden. Gezieltes Scanning, Scouting und Monitoring eröffnen neue Handlungsperspektiven, die Unternehmen vor bösen Überraschungen durch konkurrierende Technologien oder unerwartete Entwicklungen bewahren. Die Herausforderung ist hier ein umfassendes Community-Management, das gleichzeitig alle entstehenden Sicherheitsrisiken für das produzierende Unternehmen berücksichtigt.

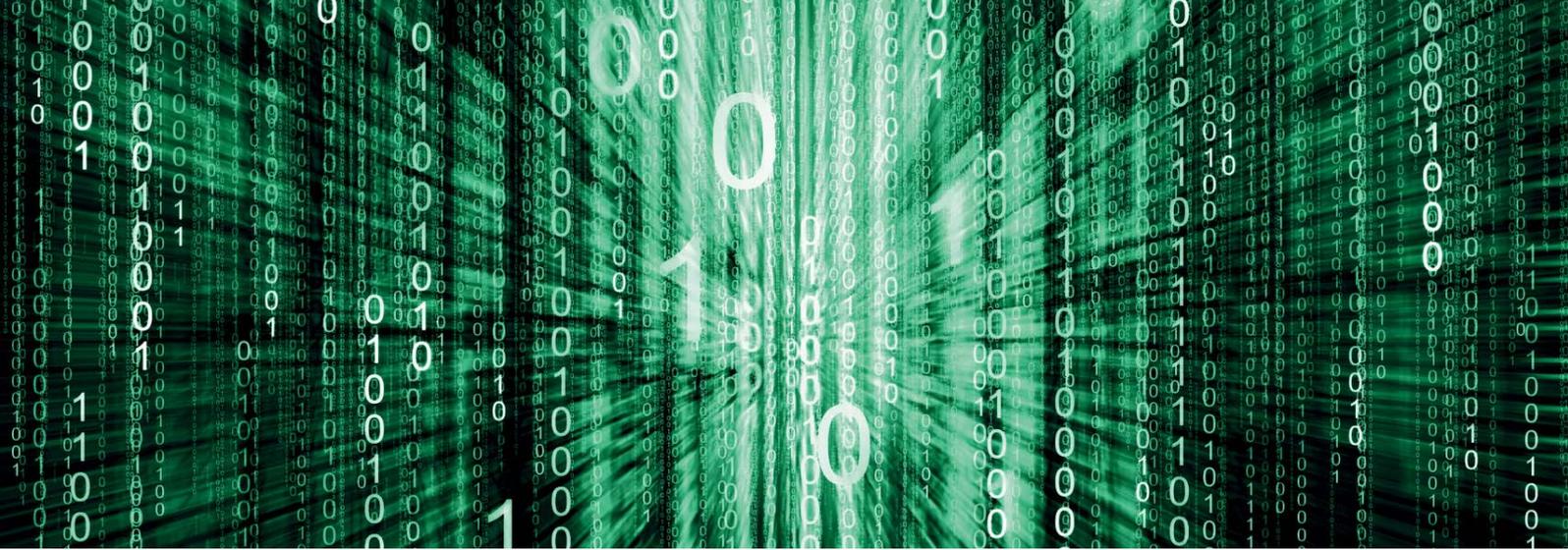
Ein Blick in eine andere Richtung zeigt weitere Potenziale auf: Automatisierte, kybernetische Systeme zur Produktionssteuerung nutzen hochaufgelöste Daten aus der Produktion und unterstützen den Menschen bei der Entscheidungsfindung durch intelligente Visualisierung. So lässt sich durch geschickten Einsatz der Informations- und Kommunikationstechnologien nicht nur die Produktion optimieren, sondern

Innovations and new developments in production technology have helped to create a large variety of solutions for an equally wide range of tasks and challenges. Hybrid technologies and adaptive manufacturing processes, additive production methods and optical technologies, networked systems and autonomous logistics, not to forget slogans such as Industry 4.0 and Big Data, have all contributed to a seemingly overwhelming diversity. Is it still possible, in this labyrinth of possibilities, to avoid confusion and to establish clear perspectives?

For several years, production engineers have been pre-occupied by the possibilities of knowledge management. Until now, however, a skilled eye and much experience have been necessary to identify and recognize the relevant information at the right time. Automatic text searches easily fail at the first hurdle – the use of different terms for the same objects, for example, something which is relatively common across different departments and units of the same enterprise. Formal criteria, too, are rarely enough to structure information in a useful and beneficial way.

A new approach is made possible by community-based network strategies, for example by integrating network partners and external experts into the technology knowledge management structures. Scanning, scouting and monitoring create new perspectives and can protect companies against bad surprises from competing technologies or unexpected developments. The challenge is to provide a comprehensive community management which at the same time takes into account all safety and security risks of the manufacturing company.

Looking further, other possibilities also offer themselves: on the basis of high-resolution production data, automated cybernetic production control systems can support the decision-making processes of human operators through intelligent visualization. A clever use of information and communication technologies can therefore not only serve to optimize the



auch immer wieder feststellen, ob die Unternehmensziele noch im Mittelpunkt stehen und eingehalten werden können. Der Mensch steht dabei als steuerndes und regelndes Individuum nicht alleine, sondern in reger Kommunikation mit weiteren Menschen und Maschinen. Er kontrolliert den Informationsfluss und profitiert nicht zuletzt durch die gesteigerte Kollaborationsproduktivität.

Das Fraunhofer IPT beteiligt sich in diesem Umfeld an einer neuen Erlebniswelt für Technologietrends und Innovationen: Das Invention Center auf dem RWTH Aachen Campus wurde im Sommer 2014 gegründet, um zu einem Ort zu werden, an dem sich Unternehmen rund um das Technologie- und Innovationsmanagement weiterqualifizieren und Lösungen für besondere Herausforderungen entwickeln können. Initiiert wurde das Invention Center von der KEX AG, dem Fraunhofer IPT, dem WZL und der TIME Research Area an der RWTH Aachen (RWTH-TIM). Die Institute und Unternehmen auf dem RWTH Aachen Campus machen mit dem Invention Center wissenschaftliche Forschungsergebnisse und Trends für ihre Partner zugänglich. Diese profitieren davon, indem sie schnell, gezielt und individuell, etwa in Form von Technologie- oder Marktstudien, auf die Erfahrungen und Dienstleistungen der Forschungsinstitute zugreifen können.

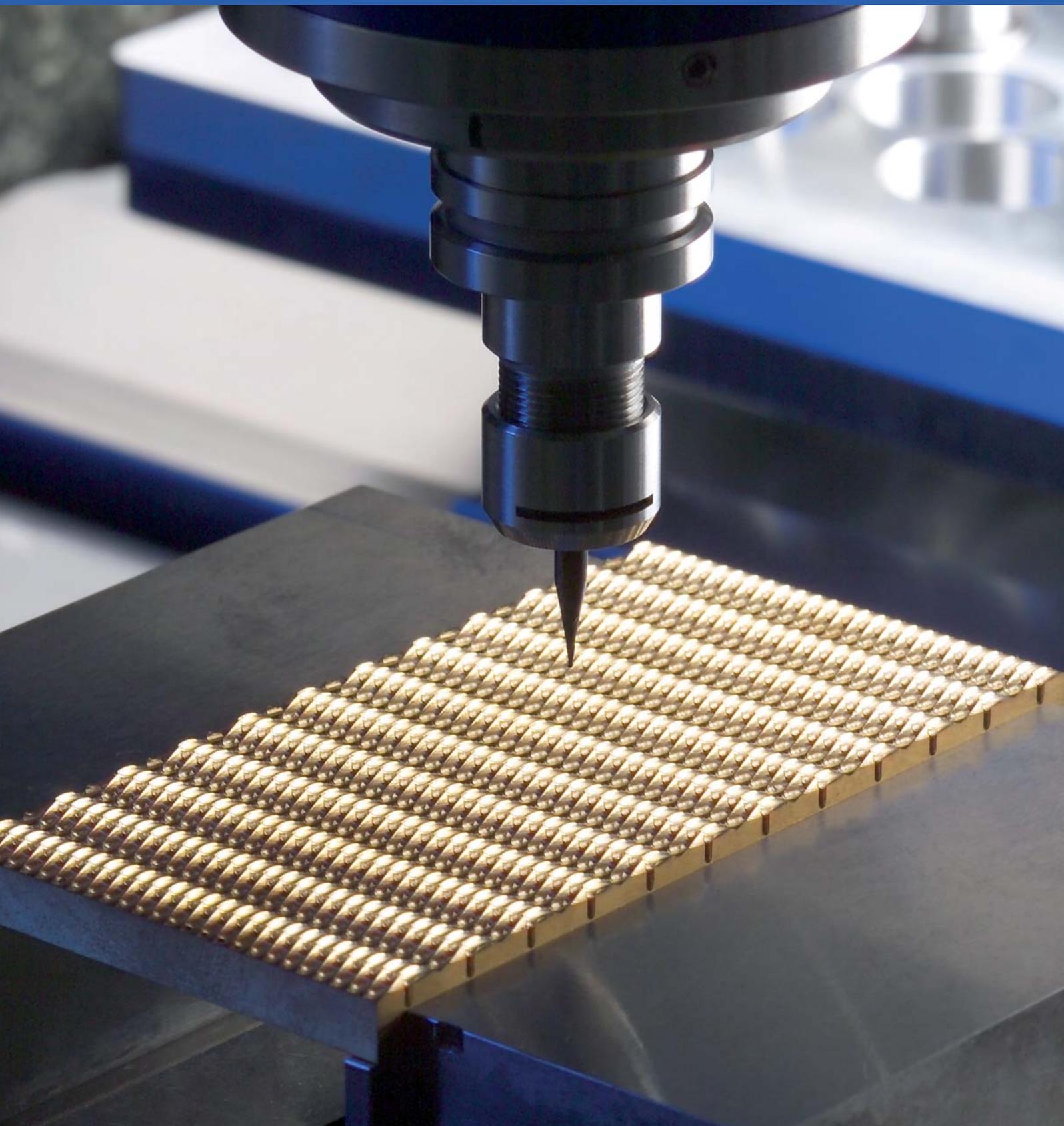
Ziel des Invention Centers ist es, den Zugang zu Technologie-wissen zu erleichtern, exzellente Technologie- und Innovationsmanager zu qualifizieren und weiterzubilden, gemeinsam mit Industriepartnern im Technologie- und Innovationsmanagement zu forschen und die Partner mit passenden Experten in einer Technologie- und Innovationsmanagement-Community zu vernetzen. Die Entwicklungsumgebung der Erlebniswelt soll für die Partner des Invention Centers einen kreativen Rahmen für gemeinsame Innovationsprojekte schaffen, um Ideen in kürzerer Zeit und mit geringeren Kosten als bisher in serienreife Produkte zu überführen.

production process, but also to establish continuously whether the operation is still focused on achieving the right corporate targets and whether or not these targets can be realistically achieved. Human operators remain in overall control, but not in isolation: they are engaged in permanent communication with other human beings as well as with machines. Operators control the information flow, but the overall system benefits from the increased productivity which is a result of the closer collaboration between all parties that are involved.

The Fraunhofer IPT contributes to the development of such a technological environment with its new interactivity center for technology trends and innovations: The Invention Center on RWTH Aachen Campus has been established in the summer of 2014 and provides companies with a place where they can further develop their technology and innovation management or design solutions for specific challenges. The Invention Center is the brainchild of KEX AG, the Fraunhofer IPT, the WZL and the TIME Research Area of the RWTH Aachen University (RWTH-TIM). Institutes and companies on the RWTH Aachen Campus use the Invention Center to make new research results and trends available to their partners. These partners can readily, quickly and conveniently access the experiences and services of the research institutes that have been released in the form of – for example – technology and market research studies.

The Invention Center aims to allow enterprises an easier access to technological knowledge, to train a new breed of highly qualified technology and innovation managers, to conduct research projects alongside partners from the manufacturing industry and to establish technology and innovation management community networks that connect these partners with supremely skilled experts. The technology environment of the new Center is meant to provide a creative framework for joint development projects, shortening development times and cutting development costs for the journey of innovative products from the drawing board to the market.

**UNSERE KOMPETENZEN**  
**OUR COMPETENCIES**



Grundlage für den Erfolg des Fraunhofer IPT ist das Kompetenzspektrum in unseren Fachbereichen. Hier konzentrieren wir unsere Forschungsarbeit und entwickeln Produktionstechnologien weiter.

Wir fördern und betreiben anwendungsorientierte Forschung, setzen Forschungsergebnisse in die Praxis um, beraten mit Relevanz und Wirkung zum unmittelbaren Nutzen für die Industrie und leisten dadurch einen wichtigen Beitrag zu deren Wettbewerbsfähigkeit.

Unseren Kunden bieten wir eine große Vielfalt an technologischen Produkten sowie individuelle Forschungs- und Entwicklungsdienstleistungen aus allen Bereichen der Produktionstechnik.

The basis of the Fraunhofer IPT's success is the widespread expertise in all our departments. Here we focus on our research activities and the further development of production technologies.

We conduct applied research, implement our results in an industrial context, and provide relevant and effective consulting services for the direct benefit of industry, thereby contributing significantly to the competitiveness of companies.

We offer a large variety of technological products and individual R&D services in all areas of production technology to our customers.

**84 Lasermaterialbearbeitung**  
Laser Material Processing

**88 Hochleistungszerspanung**  
High Performance Cutting

**92 Feinbearbeitung und Optik**  
Fine Machining and Optics

**96 Präzisionsmaschinen und Automatisierungstechnik**  
Precision Machines and Automation Technology

**100 Faserverbund- und Lasersystemtechnik**  
Fiber-Reinforced Plastics and Laser System  
Technology

**104 Produktionsmesstechnik**  
Production Metrology

**108 Produktionsqualität**  
Production Quality

**112 Technologiemanagement**  
Technology Management

# LASERMATERIALBEARBEITUNG

## LASER MATERIAL PROCESSING

In der Abteilung »Lasermaterialbearbeitung« entwickeln und qualifizieren wir Prozesse, um das Werkzeug Laserstrahlung in Wertschöpfungsketten effizient zu nutzen. Zur Herstellung geometrisch komplexer Produkte aus metallischen Werkstoffen entwickeln wir Laserstrahlfügetechnologien und überführen sie in die industrielle Fertigung. Für die Tribologie, den Formenbau oder die Bionik stellen wir durch Laserstrahlstrukturieren hochpräzise 3D-Strukturen her. Für hochfeste und sprödharte Werkstoffe entwickeln wir hybride Bearbeitungstechnologien, die durch Prozessintegration eine Komplettbearbeitung komplex geformter Bauteile erlauben. Die Laseroberflächenbehandlung mit 5-achsigen Bearbeitungszentren erlaubt es, die Lebensdauer hochbelasteter Bauteile und Formen deutlich zu verlängern, ihr Einsatzverhalten zu verbessern und die Bauteile zu reparieren.

### Unsere Leistungen

- Laserstrahlstrukturieren von 3D-Oberflächen
- Laserstrahlfügetechnologien für Sonderanwendungen
- Laserstrahlunterstützte Umformung und Zerspanung
- Laseroberflächenbehandlung für den Verschleißschutz
- Reparatur von Bauteilen und Werkzeugen
- Bearbeitung schwer zerspanbarer und sprödharter Werkstoffe
- Individuelle Gestaltung von Design und Funktionalität von Oberflächen

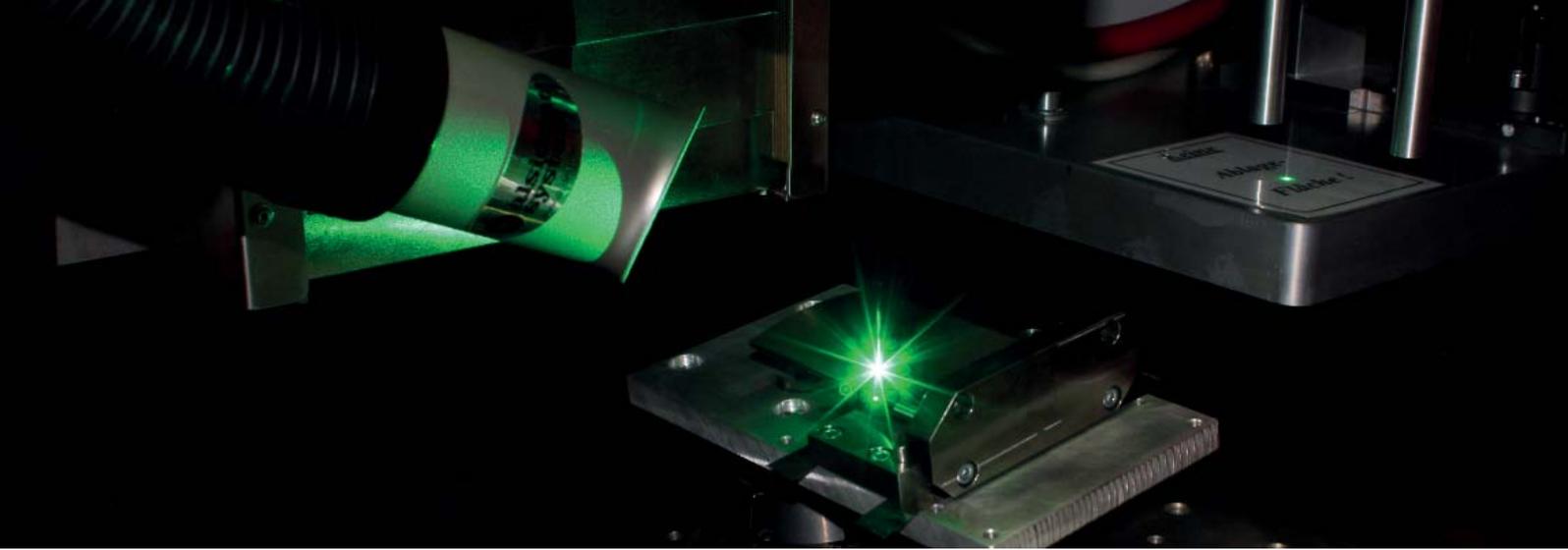
### Kontakt/Contact

Dr.-Ing. Kristian Arntz  
Telefon/Phone +49 241 8904-121  
kristian.arntz@ipt.fraunhofer.de

The department for "Laser Material Processing" develops and validates processes that enable us to integrate laser radiation as an effective and efficient tool into the value chain. We develop laser beam joining technologies to the point where they are suitable for the industrial manufacturing of geometrically complex metal products. We use laser-beam structuring to produce high-precision 3D structures for applications in tribology, tool and die making and bionics. For hard and brittle materials, we develop hybrid processing technologies that enable the complete machining of complex-shaped components through process integration. The laser surface treatment on 5-axis-machining centers makes it possible to significantly extend the technical life of components and dies that are subjected to high levels of stress, to improve their technical properties and to repair the components in question.

### Our services

- Laser beam structuring of 3D surfaces
- Laser beam joining technologies for customized applications
- Laser beam assisted forming and machining
- Anti-wear laser surface treatments
- Optimization of the anti-wear and anti-corrosion properties of tools and components
- Repairs of components and tools
- Machining of materials that are hard, brittle and difficult to machine
- Customized design of surface function and structure



### **Zweistrahliges Laserverfahren zum Fügen von Stahl und Aluminium**

Wo Stahl und Aluminium haltbar miteinander verbunden werden sollen, sind bisher meist größere Überlappungen erforderlich. Das Fraunhofer IPT hat nun ein zweistrahliges Laserverfahren entwickelt, das feste, qualitativ hochwertige Verbindungen zwischen Stahl und Aluminium herstellt und ohne diese Überlappungen auskommt – mit hoher Qualität der Nahtoberfläche, starker Festigkeit und minimalem Nachbearbeitungsaufwand. Auch thermische Schädigungen oder Verzug bleiben aufgrund der niedrigeren Temperaturen geringer als bei herkömmlichen Verfahren.

Das neue Fügeverfahren kombiniert zwei unterschiedliche Laserstrahlen: einen gepulsten mit einem kontinuierlichen. Der kontinuierliche Laserstrahl erwärmt zunächst beide Werkstoffe, dann zerstört der gepulste Laser die Oxidschicht des Aluminiums und ermöglicht so die Benetzung. Auf diese Weise gelingt es, das Aluminium bei geringer Temperatur schnell und flussmittelfrei mit dem Stahl zu verbinden. Auch spröde intermetallische Phasen, die die Festigkeit der Verbindung beeinträchtigen, lassen sich dadurch vermeiden. Die Festigkeit der Verbindung kann mit dem Zweistrahilverfahren sogar höher sein als die des Ausgangsmaterials. Zusätzlich zugeführte Zink- oder Aluminiumdrähte unterstützen die Bildung einer guten Naht.

### **Automatisierte CAx-gestützte Mikrostrukturfertigung durch Ultrakurzpulslaser**

Tribologisch wirksame Strukturen, die die Reibung von Bauteilen verringern, bestehen meist aus der vielfachen Wiederholung und Anordnung einzelner Mikrostrukturelemente. Im EU-geförderten Projekt »Stokes« (Förderkennzeichen FP7-SME-2011-CP; 286783) hat das Fraunhofer IPT die Herstellung solcher Mikrostrukturen durch Pikosekunden-Laserablation erprobt und dafür ein Software-Modul entwickelt, mit dem

### **Double-Beam Laser Technology for Durable Joints of Steel and Aluminum**

Applications that require durable joints between steel and aluminum parts have so far largely been working with significant overlaps. The Fraunhofer IPT has developed a double-beam laser technology which produces high-strength, high-quality compounds of steel and aluminum without requiring overlaps – while providing high-quality joint surfaces, high levels of mechanical strength and a minimum need for reworking. Thermal damages and warping occur less frequently, too, compared with conventionally produced joints, due to the new technology's relatively low operating temperatures.

The new joining technology combines two different types of laser, one with a pulsed and the other with a continuous beam. The continuous laser beam increases the temperature of both materials before the pulsed beam destroys the aluminum's oxide layer, thus enabling the wetting process. This technique allows a quick and flux-free joining of the aluminum and the steel at low temperatures while avoiding the build-up of brittle intermetallic phases that could compromise the strength of the compound. Actually, the compound which results from the double-beam joining technique can possess even higher levels of strength than the original materials. Zinc or aluminum wires can serve to enhance the quality of the joint.

### **Automated CAx-Supported Production of Micro-Structures With Ultra-Short-Pulse Lasers**

Tribologically effective structures which reduce the friction between components generally consist of repetitive arrays of individual micro-structural elements. Under the "Stokes" project, funded by the EU, (contract number FP7-SME-2011-CP; 286783), the Fraunhofer IPT has experimented with the production of such micro-structural elements through laser ablations in the picosecond range, developing a dedicated

sich die Einzelstrukturelemente auf Bauteiloberflächen automatisiert anordnen lassen. So können auf Basis einfacher Grundgeometrien verschiedener Symmetriegrade die Grundkörper gewählt werden. Anschließend generiert das Modul sowohl die Geometrie als auch die Verteilung der Mikrostrukturen anhand von Vorgabefeldern. Dem Anwender stehen nach der Berechnung die Bahndaten für Werkzeugmaschine und Laserscanner zur Verfügung. Durch Anpassung des internen Postprozessors lassen sich Bearbeitungsdaten für unterschiedliche Maschinentypen erzeugen. Das Modul ist damit sowohl für Serienanlagen geeignet als auch für individuell ausgelegte Systemlösungen. Für die Zukunft ist geplant, auch Bauteilbeschichtungen durch entsprechende Mikrostrukturen zu ersetzen.

#### **Flexible Laseroberflächenbehandlung in Drehmaschinen**

Laseroberflächenbehandlungen erlauben es, bestimmte Bauteilbereiche gezielt lokal vor Verschleiß oder Korrosion zu schützen. Das Ergebnis des Laserhärtens ist dabei vergleichbar mit den Ergebnissen induktiv gehärteter Bauteile. Die Einbindung der Laserstrahltechnologien in Drehmaschinen kann dabei die Durchlaufzeiten in der Fertigung deutlich verkürzen sowie Rüst-, Transport- und Liegezeiten einsparen. Zu diesem Zweck hat das Fraunhofer IPT gemeinsam mit der A. Monforts Werkzeugmaschinen GmbH ein modulares Werkzeugsystem entwickelt mit dem sich Zerspan- und Laserstrahlwerkzeuge flexibel und automatisiert auswechseln lassen. Es basiert auf einem konventionellen Werkzeugrevolver, durch den die Laserstrahlung zu den einzelnen Werkzeugplätzen der Revolverzscheibe geführt wird. Dort wird die Laserstrahlung durch speziell angepasste Werkzeuge aufgenommen und auf die Werkstückoberfläche fokussiert. Alle Werkzeugplätze können aber nach wie vor auch mit konventionellen Zerspanwerkzeugen bestückt werden. Durch den modularen Aufbau lässt sich das System flexibel an individuelle Anforderungen anpassen und ohne besondere lasertechnische Fachkenntnisse bedienen.

software module that allows the automated arrangement of individual structural elements on the component surface. Based on simple and fundamental geometric patterns with different degrees of symmetry, a substrate frame can be selected before the module – according to the individual specifications – generates both the geometry and the distribution of the micro-structures. Once the calculations are completed, the user knows the data for the paths of the machine tool and the laser scanner. By adapting the internal post-processor, processing data can be generated for a wide range of machines. This means that the module is suitable for mass production lines as well as for customized system solutions. For the future, it is also planned to use such micro-structures as a replacement for component coatings.

#### **Flexible Laser Surface Treatment in Turning Lathes**

Laser surface treatments enable the targeted local treatment of certain sections of a component to protect them from wear or corrosion. The results of such laser-hardening operations are comparable to induction-hardened components. The integration of laser beam technologies into turning lathes additionally serves to shorten manufacturing cycles and to cut down configuration, transport and idle times. For this purpose, the Fraunhofer IPT – in close coordination with A. Monforts Werkzeugmaschinen GmbH, a tool machine manufacturer – has developed a modular tool system that allows the flexible and automated exchange of machining and laser equipment. The new system is based on a conventional tool turret through which the laser radiation is routed on its way to the individual tool pockets of the turret disk where it is then received by specially adjusted instruments and focused on to the surface of the workpiece. It will nevertheless remain possible to equip all tool pockets with conventional machining tools. Thanks to its modular structure, the system can be flexibly customized to individual requirements and operated by workers without experience in using laser technology applications.



### Hochdruck-Wasserstrahlschneiden mit fünf Achsen

Das Schneiden mit fünf Achsen hat die Anwendungsgebiete des Wasserstrahls über das zweidimensionale Trennen von Werkstoffen hinaus erweitert. Das Fraunhofer IPT hat deshalb im vergangenen Jahr eine Anlage zum 5-achsigen Wasserstrahlschneiden von der H. G. Ridder GmbH erworben. Im BMBF-geförderten Projekt »HydroMill« (Förderkennzeichen 02PN2230) werden die Fertigungsprozesse qualifiziert und spezielle Softwaretools zur 3D-Bearbeitung entwickelt. Ziel ist es, die Technologie auch im Bereich der Hochleistungswerkstoffe einsatzfähig zu machen. Besonderes Augenmerk liegt auf Materialien für den Leichtbau und solche, die in der Luft- und Raumfahrt oder für Fahrzeugkomponenten zum Einsatz kommen.

Die neuen 5-achsigen Prozesse erlauben es, nicht nur Bauteile mit definierten Fasen zu fertigen, sondern auch dreidimensionale Bauteile zu bearbeiten. So lassen sich bei Formteilen aus Faserverbundkunststoffen Bauteilkanten besäumen oder Durchgangsbohrungen und Aussparungen einbringen. Über eine geeignete Anstellung des Wasserstrahls verbessern sich außerdem die Form und Maßgenauigkeit der Bauteile. Die neue Anlage erfüllte als einzige die hohen Anforderungen des Fraunhofer IPT: eine koaxiale Anordnung der Strahlachse zur Drehachse, ein Winkel der Drehachse von  $\pm 540^\circ$  und ein Anstellwinkel der Schwenkachse von  $\pm 95^\circ$ . Erst diese technischen Merkmale gewährleisten einen unterbrechungsfreien Schnitt und bieten die erforderlichen Freiheitsgrade, um eine dreidimensionale Geometrie zu bearbeiten.

### High-Pressure Water Jet Cutting in Five-Axis Stations

The introduction of five-axis stations has extended the range of water jet cutting techniques way beyond the two-dimensional separation of materials. This is why the Fraunhofer IPT in the last year acquired a five-axis station for water jet cutting operations from H. G. Ridder GmbH. In the "HydroMill" project, funded by the Federal Ministry of Education and Research (BMBF) (contract number 02PN2230), the individual manufacturing processes are qualified, and dedicated software tools for 3D-processing operations are developed. The project aims to develop the technology to the point where it can be used for high-performance materials. One special focus for the research has been placed on materials for lightweight construction and on materials that are used in aviation, space technology and components for the automotive industry.

The new 5-axis processes allow to go beyond the production of components with defined phases to the processing of three-dimensional components. The edges of molded fiber-reinforced plastic elements can be trimmed, and through-holes or recesses can be added. By adjusting the water jet accordingly, shape and dimensional accuracy of the components can be improved. The newly acquired facility of the Fraunhofer IPT was the only one that was able to meet all the institute's requirements: a co-axial arrangement of beam axis and axis of rotation, an angle of the rotary axis of  $\pm 540^\circ$  and a working angle for the pivoting axis of  $\pm 95^\circ$ . Only these technical properties can guarantee that the cutting operation will proceed without any interruption and provide the degrees of freedom that are required for the processing of three-dimensional geometries.

# HOCHLEISTUNGSZERSPANUNG

## HIGH PERFORMANCE CUTTING

Die Abteilung »Hochleistungszerspanung« bietet anwendungsnahe Fertigungslösungen für Komponenten des Turbomaschinen-, Flugzeug- und Werkzeugbaus. Im Vordergrund stehen das simultane Mehrachsfräsen und das Drehen geometrisch anspruchsvoller Bauteile aus Superlegierungen, hochharten Stählen sowie Leichtbau- und Verbundmaterialien.

Umfassendes Technologiewissen, ausgeprägte Systemkompetenz und ein einzigartiger Maschinenpark bilden die Voraussetzung, um Forschungs- und Entwicklungsprojekte ganzheitlich und zielgerichtet zu bearbeiten – von der Entwicklung und Optimierung der Zerspanprozesse einschließlich der Werkzeuge und Spannvorrichtungen über die Technologieberatung bis hin zur Prototypenfertigung.

### Unsere Leistungen

- Zerspanbarkeitsanalysen und Werkzeugauslegung
- Prozess- und Systemmodellierung
- Anwendungsnahe Prozessauslegung
- Entwicklung von Spannvorrichtungen
- Prototypenfertigung und Beratung

### Kontakt/Contact

Dr.-Ing. Thomas Bergs  
Telefon/Phone +49 241 8904-105  
thomas.bergs@ipt.fraunhofer.de

The "High Performance Cutting" department provides practical manufacturing solutions for components used in the production of turbomachinery, aircraft and tools. The focus is on simultaneous multi-axis milling and the turning of geometrically complex components made from super alloys, highly strengthened steels and lightweight and composite materials.

A deep understanding of technology, expert skills in the operation of complex systems and a unique machine pool provide the basis for R&D projects in a comprehensive and targeted way – all the way from the design of the machining processes, including tool design and clamping techniques, via the provision of technological consultation services to the successful production of the first prototypes.

### Our services

- Machinability and tool design
- Process and system modeling
- Practice-oriented process design
- Design of clamping systems
- Consultancy and prototype manufacture



### **Zusätzliche Drehachse soll Kosten senken**

Bauteile aus Superlegierungen mit komplexen Geometrien erfordern beim herkömmlichen Drehen eine Vielzahl an Werkzeugwechseln und verschiedenen Werkzeughaltern. Auch durchgehende, lange Schnitte sind bei den schwer zerspanbaren Werkstoffen kaum möglich, da das Werkzeug bereits nach wenigen Minuten verschlissen ist.

Das simultane, dreiaxiale Drehen kann hier Abhilfe schaffen: Der Winkel, in dem das Drehwerkzeug auf das Metall trifft, wird dabei nicht mehr durch die Geometrie des Werkzeughalters bestimmt. Stattdessen übernimmt eine dritte, rotatorische Achse die Einstellung des Winkels. Marktübliche Dreh-Fräs-Zentren besitzen bereits solch eine dritte rotatorische B-Achse. Die Werkzeugschneiden greifen dadurch gezielt mit unterschiedlichen Berührungspunkten in das Material ein, sodass sich auch der Werkzeugverschleiß über die gesamte Schneide verteilt.

Das Fraunhofer IPT arbeitet nun daran, die B-Achse vollständig für den Drehprozess nutzbar zu machen und prognostiziert, dass mit diesem Verfahren die Herstellungskosten bis zu 30 Prozent sinken können – durch seltenere Werkzeughalterwechsel, einen geringeren Werkzeugverbrauch und damit kürzere Nebenzeiten der Maschine.

### **Selbstausrichtende Spanntechnik für die hocheffiziente Serienproduktion**

Für eine Reparaturprozesskette hat das Fraunhofer IPT ein halbautomatisiertes Spannkonzep entwickelt und umgesetzt: Das selbstausrichtende Spannsystem verfügt über vier Hydraulikkreisläufe, die mit steigendem Druck nacheinander das Werkstück hochgenau ausrichten und anschließend fixieren. Die Wiederholgenauigkeit mit dieser Methode liegt innerhalb von 10 µm und die Spannzeit ist kürzer als zehn Sekunden. Die Positionierung der Werkstücke erfolgt geometrisch eindeutig und es tritt keinerlei störende Reibung

### **Addition of a Rotational Axis to Drive Down Costs**

The turning of components with complex geometries that are made from super-alloys requires a number of tool changes and a wide variety of tool holders. Another problem is that long, continuous cuts are virtually impossible to perform with processing materials that are difficult to machine, since it only takes a few minutes to wear the tool down completely.

Simultaneous three-axial turning, however, promises a solution to these problems: with this technology, the angle at which the turning lathe approaches the metal is no longer determined by the geometry of the tool holder but by a third, rotational axis. Many commercially distributed turning-and-milling machines already feature such a third rotational B-axis, allowing the tool blades to enter the material at different points of contact so that the tool wear is distributed evenly across the entire surface of the blade.

The Fraunhofer IPT is currently developing a solution that would allow the full use of this B-axis for the turning process. The Institute forecasts that such a technique will cut down production costs by up to 30 percent, reducing the number of tool holder changes and tool wear and thereby the auxiliary process times of the machine.

### **Self-Aligning Clamping Technology for High-Efficiency Industrial Production Lines**

The Fraunhofer IPT has developed and implemented a semi-automatic clamping concept for a repair process chain: the self-aligning clamping system features four consecutive hydraulic circuits that use increasing levels of pressure to align the workpiece with extreme accuracy before fixating it. The system operates with a repeat accuracy of 10 µm max. and a clamping cycle of less than ten seconds. The workpieces are positioned into uniquely assigned geometrical locations, and no friction can occur. This supremely effective clamping

auf. Diese besonders effektive Spanntechnik ermöglicht es, gemeinsame Referenzen in einer Prozesskette zu nutzen. Die Werkstücke müssen nicht mehr aufwändig ausgerichtet oder eingemessen werden. Das Fraunhofer IPT konnte bereits verschiedene optimale Spannösungen für unterschiedliche Fertigungsprozesse seiner Industriepartner entwickeln und implementieren. Die Spanntechnik wird für produzierende Unternehmen damit zu einem entscheidenden Faktor, um Lohnstückkosten zu senken und die Konkurrenzfähigkeit zu erhöhen.

### **Bearbeitungsstrategien für Tonnenfräswerkzeuge**

Tonnenfräswerkzeuge sind als Formfräswerkzeuge lange bekannt. Sie werden mit dem gesamten Tonnenbereich in das zu bearbeitende Material geführt und bilden sich dadurch eins zu eins ab. Für den Formenbau war dieses Vorgehen bisher wegen seiner geringen Flexibilität gegenüber komplexen Geometrien jedoch nur selten geeignet. Hier sind meist flexiblere Fräswerkzeugkonzepte gefragt.

Das Fraunhofer IPT hat sich deshalb dieser Herausforderung angenommen und neue Werkzeugkonzepte erprobt, die die Flächenzerspanleistung der Tonnenfräswerkzeuge bei gleichzeitig höherer Oberflächenqualität deutlich steigern sollen: Dafür werden die Merkmale der Bauteilgeometrie bereits in die Geometrie von Kopf und Umfang des Werkzeugs integriert. Passende Bearbeitungsstrategien, implementiert in kommerzielle CAM-Systeme, stellen sicher, dass die gewünschte Werkzeugbahn effizient und fehlerfrei abgefahren wird. Die Endanwender der Technologie profitieren durch kürzere Bearbeitungszeiten.

Durch umfangreiche Fräsversuche für Projektpartner aus dem Werkzeugbau, der Luftfahrt- und Automobilbranche konnte das Fraunhofer IPT die Werkzeuge und Fräsprozesse sowohl für die Unikat- als auch die Serienfertigung anhand repräsentativer Bauteile bereits gründlich erproben.

technology enables the use of joint references in a joint process chain. The workpieces no longer require time-consuming alignment or calibration operations. The Fraunhofer IPT has already developed and installed different optimized clamping solutions for various manufacturing processes of its industrial partners. Clamping technologies have become important factors in the cost calculations of manufacturing corporations, potentially allowing them to cut down unit labor costs and to increase their competitiveness.

### **Milling Strategies for Drum Cutters**

Drum cutters have been in use as profile milling equipment for a long time. The entire drum is introduced into the material that requires processing, where it proceeds to create a 1:1 representation of its own shape. Due to the technique's relative lack of flexibility, however, mould makers have so far used drum cutting strategies only for simple shapes. For more complex geometries, more flexible milling tools are required.

The Fraunhofer IPT has now focused its attention on this challenge, testing new tool designs that are promising to enhance both the surface machining performance of drum cutting facilities and the surface qualities they can produce. For this purpose, the specific properties of the component geometry are integrated into the head and circumference of the tool. Suitable milling strategies implemented into commercial CAM systems ensure that the machine sticks to the programmed tool path, efficiently and without committing any errors. The end users of the technology stand to benefit from the shorter cycle times that such a process involves.

By subjecting representative components to comprehensive milling trials on behalf of its project partners from the tool manufacturing, aviation and automotive industries, the Fraunhofer IPT has successfully tested its newly designed tools and milling processes for applications in the production of prototypes and in industrial manufacturing environments.



### Simulation von Spanungsquerschnitten in Fräsprozessen

Fräsprozesse in der Hochleistungszerspanung zeichnen sich durch hohe thermische und mechanische Belastungen aus. Weiterhin können ungünstige Spanungsquerschnitte entstehen, die niedrige Werkstückoberflächenqualitäten zur Folge haben. Gegenwärtige Optimierungsansätze setzen hier vor allem auf Experimente. Diese ermöglichen jedoch nur einen auf den untersuchten Bereich beschränkten Erkenntnisgewinn. Am Fraunhofer IPT wurde deshalb ein Softwaretool zur Simulation der Spanungsquerschnitte für verschiedene Werkzeuggeometrien entwickelt. Damit können unwirtschaftliche Zerspanungsbedingungen durch eine Analyse und Bewertung der geometrischen Durchdringung während der Planung eines Prozesses vermieden werden. Die Simulation ist zweistufig aufgebaut: In der Makrosimulation wird die geometrische Durchdringung anhand von Kenngrößen numerisch bestimmt, anschließend erfolgt eine analytische Berechnung der resultierenden Spanungsquerschnitte in der Mikrosimulation.

Das Mikrosimulationstool kam bei der Auslegung eines Schlichtprozesses mit Kugelkopf-Fräswerkzeugen für Turbinenschaufeln in Form einer BLISK aus Inconel 718 zum Einsatz. Zunächst wurden Analogieversuche mit definierten Rahmenbedingungen und variablen Prozessparametern durchgeführt. Gleichzeitig wurden mit dem Mikrosimulationstool distinktive Spanungskenngrößen für die gegebenen Prozessbedingungen ermittelt. Anschließend erfolgte eine Zusammenführung beider Untersuchungen, wodurch sich Erkenntnisse über die relevanten Faktoren einer erhöhten Verschleißentwicklung ergaben. Dies ermöglichte eine bedarfsgerechte Anpassung der Schlichtoperation hinsichtlich Bearbeitungsqualität, Bearbeitungszeit oder Werkzeugkosten.

### Simulation of Machining Profiles in Milling Processes

Milling processes in high-performance machining applications are subject to high levels of thermal and mechanical stress. It is furthermore possible that unsuitable machining profiles will be created which may cause low surface qualities in the workpieces. Current optimization approaches are largely based on experiments. These, however, only provide information about the narrow area in which the experiment was conducted. The Fraunhofer IPT has therefore developed a software tool for the simulation of machining profiles in various tool geometries which allows the operators to prevent inefficient machining conditions by analyzing and assessing the level of geometric penetration already during the planning of a process. The simulation consists of two stages: in the macro-simulation, the level of geometric penetration is numerically established on the basis of certain parameters, before the resulting machining profiles undergo an analytical calculation during the micro-simulation.

The micro-simulation tool was used for the design of a ball-end cutting process for blisk turbine blades made from Inconel 718. The process started with analogy experiments on the basis of defined conditions and variable process parameters. Simultaneously, the micro-simulation tool was used to establish distinctive machining parameters for the defined process conditions. Following this, the results of both experiments were jointly analyzed, providing new information about the factors that can increase the risk of tool wear. This allowed the development of a finishing operation in which processing quality, processing time and tool costs all complied with the specified requirements.

# FEINBEARBEITUNG UND OPTIK

## FINE MACHINING AND OPTICS

Die Abteilung »Feinbearbeitung und Optik« entwickelt Technologien zur Herstellung und Bearbeitung von Präzisionskomponenten. Die Basis bildet ein ausgeprägtes Grundlagenverständnis, das anhand konkreter Fragen in die industrielle Praxis überführt wird. Hier findet die neueste Maschinen- und Softwaretechnik Verwendung. Zum Technologieportfolio gehören die ultrapräzise Schleif- und Polierbearbeitung, die Diamantzerspanung sowie das Pressen hochpräziser Glaskomponenten, bei dem wir die gesamte Prozesskette abdecken – vom Werkzeugdesign bis zum Pressen der fertigen Optiken.

Für die automatisierte Feinbearbeitung entwickeln wir roboter- und maschinenbasierte Schleif- und Poliertechnologien, um die heute noch manuellen Operationen im Werkzeug- und Formenbau und in der Fertigung von Triebwerkskomponenten zu substituieren.

### Unsere Leistungen

- Grundlagenuntersuchungen und Prozessanalysen ausgewählter Technologien
- Machbarkeitsstudien und Technologieentwicklungen
- Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen und Erstellung von Implementierungskonzepten
- Bauteilfertigung

### Kontakt/Contact

Dr.-Ing. Olaf Dambon  
Telefon/Phone +49 241 8904-233  
olaf.dambon@ipt.fraunhofer.de

The department for "Fine Machining and Optics" develops production and processing technologies for precision components, based on a profound understanding of the fundamental principles involved and with the objective of addressing actual and highly specific requirements of industrial environments. For these purposes, we are using the latest engineering and software technologies. The department's technology portfolio includes ultra-precision grinding and polishing processes, diamond cutting technology as well as the molding of high-precision glass components for which we cover the entire process chain from mold design to the molding of the finished products.

We also develop robot-based and machine-based grinding and polishing technologies, aiming to replace manual operations in tool and die making as well as in the production of components for turbomachinery with automatic machining processes.

### Our services

- Basic research and process analyses in selected technologies
- Feasibility studies and technology design
- Profitability analyses and implementation strategies
- Production of components



### **Wissensbasierte Schichtoptimierung für das Präzisionsblankpressen von Glasoptiken**

Zur Herstellung besonders hochwertiger optischer Elemente mit komplexen Geometrien dient immer häufiger die Technologie des Präzisionsblankpressens. Da es sich um einen replikativen Prozess handelt, errechnet sich der Stückpreis der hergestellten Optiken hauptsächlich aus der Standzeit der Werkzeuge.

Zu verstehen, welche Mechanismen zum Versagen der Presswerkzeuge führen, hilft Unternehmen dabei, am Markt der replikativen Optikherstellung konkurrenzfähig zu bleiben. Das Fraunhofer IPT untersucht diese Mechanismen und leitet daraus eine wissensbasierte Methodik zur Schichtentwicklung und Abschätzung der Werkzeugstandzeit ab. Dazu kooperiert das Fraunhofer IPT eng mit Unternehmen und Forschungsinstituten aus den Gebieten der Glasherstellung, des Werkzeugbaus, der Werkstoffanalysen und der Beschichtungstechnologien. Übergeordnetes Ziel ist es dabei, die Verschleißursachen auf atomarer Ebene zu verstehen, um für ausgewählte Glassorten angepasste Beschichtungen bereitstellen zu können, die einer hohen Anzahl an Pressvorgängen standhalten.

Im Projekt »InitialWear« untersucht das Fraunhofer IPT zu diesem Zweck gemeinsam mit dem Max-Planck-Institut für Eisenforschung GmbH die Verschleißvorgänge am Werkzeug unter mikro- und nanoskopischen Gesichtspunkten, noch bevor die Qualität der abzuformenden Produkte merklich beeinträchtigt wird. Im Projekt »Coat4Glass« (Förderkennzeichen VP2757704WO2) werden darüber hinaus die vielfältigen Belastungen während des Pressprozesses systematisch analysiert. Im Projekt »MIRO – Massenfertigung von Infrarotoptiken mittels Präzisionsblankpressen« (Förderkennzeichen 03V0887) werden spezielle Beschichtungen für Umformwerkzeuge entwickelt, die zur Herstellung qualitativ hochwertiger Infrarot-Optiken aus Chalkogenidgläsern dienen sollen.

### **The Knowledge-Based Optimization of Coatings for the Precision Molding of Glass Optics**

The technology of precision molding is increasingly applied for the production of high end optical elements with complex geometries. Since this is a replicative process, the biggest factor in the unit cost calculation for such optics is the technical life of the tools.

An understanding of the mechanisms that wear down and eventually incapacitate their molding tools can therefore help companies to stay competitive. The Fraunhofer IPT is analyzing these mechanisms and deriving a knowledge-based method for the optimization of coatings and the assessment of technical tool lives. For this purpose, the Fraunhofer IPT is closely cooperating with companies from the glass production, tool manufacturing, material analysis and coating industries as well as with other research institutions. The objective is to acquire an understanding of the causes for the wearing process on an atomic level, in order to provide coatings that are specifically designed to match the requirements of each type of glass and that therefore last through a large number of molding operations.

For this purpose, the Fraunhofer IPT and the Max Planck Institute for Ferrous Technology are jointly exploring the wear processes at work under the "InitialWear" project, focusing their attention on the microscopic and nanoscopic dimensions and on the early stages of the process of wear, before the quality of the molded products discernibly deteriorates. In addition to that, the "Coat4Glass" project (contract number VP2757704WO2) subjects the various stress factors that occur during the pressing process to a systematic analysis. In the project "MIRO – Mass production of infrared optics via precision glass molding" (contract number 03V0887) the Fraunhofer IPT develops special coatings for molding tools which can be used for the production of high quality infrared optics from chalcogenide glass.

Ziel ist ein besseres Verständnis für die Verschleißmechanismen, sodass Beschichtungen entwickelt werden können, die genau an das jeweilige Glassubstrat angepasst sind. Das Fraunhofer IPT stellt diese Beschichtungen in der hauseigenen, industriellen Beschichtungsanlage her und untersucht sie an entsprechenden Prüfständen anhand selbstentwickelter Methoden auf ihre Leistungsfähigkeit. Hier hat sich das Fraunhofer IPT auf besonders oxidationsbeständige Edelmetallschichten spezialisiert, die mit der PVD-Technologie hochgenau abgeschieden werden und damit den hohen Anforderungen der replikativen Herstellung optischer Produkte gerecht werden.

#### **Effiziente Prozesskette zur Fertigung von Glasoptiken**

LED-Optiken müssen hohen Belastungen standhalten: Umwelteinflüsse wie Feuchtigkeit, die UV-Strahlung, die von den LEDs emittiert wird, und die thermische Belastung begrenzen ihre Lebensdauer. Um den Entwicklungen auch in Zukunft folgen zu können, ist es unerlässlich, die bisherigen Kunststoffoptiken mittelfristig durch Glas zu ersetzen. Nicht nur Formgenauigkeit und Oberflächengüte spielen hier eine wichtige Rolle, sondern auch die Wirtschaftlichkeit des Fertigungsprozesses. Jedoch gibt es für LED-Glasoptiken noch kein Fertigungsverfahren, das den Anforderungen an Preis und Stückzahl gegenüber den Kunststoffoptiken vollständig gerecht wird. Ziel im EU-Projekt »CENTiMO« (Förderkennzeichen FP7-SME-2013, grant agreement 606105) ist deshalb eine kostengünstige Herstellung komplexer Glasoptiken durch das Verfahren des Blankpressens: Hier werden die LED-Optiken direkt aus der Glasschmelze geformt – ohne mechanische Nachbearbeitung. Das Projekt entwickelt dafür gleich zwei Aspekte des Blankpressens weiter: das Glasschmelzen und Portionieren sowie die Formgebung. In einem interdisziplinären Konsortium bringen sechs Partner aus vier europäischen Ländern ihre Fähigkeiten rund um die LED-Beleuchtung, den Maschinenbau, den Werkzeug- und Formenbau, die Prozessentwicklung und die Glasschmelztechnologie in das Projekt

The objective is to acquire a deeper understanding of the wear mechanisms at work, which would allow the researchers to develop customized resistance coatings for different glass substrates. The Fraunhofer IPT is producing such coatings in its in-house industrial coating facility, assessing their performance and levels of resistance on its own test stations on the basis of self-developed trial schedules. The Fraunhofer IPT has gained particularly valuable experiences with oxidation-resistant precious metal coatings that are applied through high-accuracy PVD technologies and that comply with the stringent requirements of the replicative manufacturing of optical products.

#### **Efficient Process Chain for Manufacturing Glass Optics**

LED optics need to be able to withstand high levels of load: Environmental factors such as humidity as well as the UV-radiation and the thermal load emitted by the LEDs affect the optical components. As a consequence, the life span of the LED lamps is very limited. In order to keep pace with the developments in LED technology, it is therefore vital to ensure that plastic optics are superseded by glass ones in the medium term. Although technical requirements relating to the LED optics such as high levels of shape accuracy and surface quality are undoubtedly important, it is equally important to focus on economic considerations in terms of the manufacturing process. Whilst plastic optics can be manufactured very cost-efficiently, a manufacturing process capable of meeting fully both the technological and economic requirements in terms of price and volume has not yet been developed for glass optics. The aim of the CENTiMO project (contract number FP7-SME-2013, grant agreement 606105) is therefore to achieve economical manufacture of complex glass optics via the molding process: The LED optics are shaped into usable optics directly from the glass melt – without any need for mechanical post-processing. Two aspects of the process chain will therefore be refined in the course of the project: the glass melting and portioning operation and the shaping operation. Six partners from four European countries pool their expertise



ein. Schwerpunkte sind unter anderem die Entwicklung flexibler Glasschmelzöfen mit Kapazitäten bis zu zwei Tonnen Glas pro Tag unter Gewährleistung hoher Glasqualität, die schnelle und präzise Portionierung von Glas mit geringen Gewichten und die Evaluation verschiedener Werkstoffe und Beschichtungen für Glaspressformen. Auch die Entwicklung eines geeigneten Umformprozesses, die FEM-Simulation des Glasflusses und der thermischen Schrumpfung während der Formgebung sowie die Herstellung kompensierter Formwerkzeuge sind Bestandteile des Projekts.

### **Nachgiebige Werkzeughalter zur automatisierten Feinbearbeitung**

Die Prozesskette zur Herstellung geometrisch komplexer Flächen umfasst nach wie vor oft eine manuelle Feinbearbeitung. Die Ergebnisse der manuellen Tätigkeiten sind jedoch nicht reproduzierbar und vom Geschick des Handwerkers abhängig. Schleifstaub gefährdet außerdem die Gesundheit des Bearbeiters. Das Fraunhofer IPT entwickelt deshalb nachgiebige Werkzeugaufnehmer für Werkzeugmaschinen und Industrieroboter, um den bisher manuellen Prozess zu automatisieren. Die sensitive, nachgiebige Lagerung bewirkt eine konstante, einstellbare Anpresskraft des Werkzeugs. Die Nachgiebigkeit kompensiert Referenzierungsfehler, sodass Luftschnitte oder zu hoher Abtrag vermieden werden. Die Komplettlösung umfasst auch die Implementierung der passenden CAM-Feinbearbeitungsmodule auf Basis bereits eingesetzter, kundenindividueller Software zur Fräsbearbeitung. Das Fraunhofer IPT bietet standardmäßig Werkzeugaufnehmer für die Spindelschnittstellen HSK-A 32 bis HSK-A 100. Dies gewährleistet einen vollautomatischen Werkzeugwechsel und Betrieb. Die gewünschte Anpresskraft des nachgiebigen Werkzeughalters kann wahlweise durch Druckluft oder anhand ausgewählter Druckfederpakete eingestellt werden. Das Anwendungsspektrum reicht vom Grobschleifen bis zum Hochglanzpolieren. Zum Einsatz kommen Entgrat-, Schleif-, Läpp-, Polierwerkzeuge.

in LED lamps, mechanical engineering, tool and mold making, process development and glass melting technology in an interdisciplinary consortium. Development priorities include developing flexible glass furnaces with capacities of up to two tons of glass per day and guaranteeing high glass quality, fast and precise portioning of glass with low weights and evaluating various materials and coatings for glass molding. The development of a suitable forming process, FEM simulations of the glass flow and thermal shrinkage during the forming process and the development of compensated molding tools are also parts of the project.

### **Compliant Tool Holders for Automated Finishing**

The process chain for the manufacture of geometrically complex surfaces still involves manual finishing. The outcomes of these manual operations are, however, not reproducible and depend on the skills of the operator. Abrasive dust also poses a health hazard to operators. The Fraunhofer IPT develops compliant tool holders for machine tools and industrial robots in order to automate finishing processes which were previously manual. The sensitive, flexible suspension produces a constant, adjustable tool contact force. The flexibility compensates for referencing errors, thereby avoiding air cuts or excessive material removal. The complete solution also involves implementing appropriate CAM fine machining modules based on customized milling software already in use. The Fraunhofer IPT can provide tool holders for the spindle interfaces HSK-A 32 to HSK-A 100 as standard. This guarantees fully-automatic tool change and operation. The contact force required by the flexible tool holder can be adjusted either via air pressure or using selected pressure spring systems. The tool holder permits surfaces with tribological and optical functions to be produced. The range of applications extends from rough grinding to high-gloss polishing. Deburring, grinding, lapping and polishing tools are used.

# PRÄZISIONSMASCHINEN UND AUTOMATISIERUNGSTECHNIK

## PRECISION MACHINES AND AUTOMATION TECHNOLOGY

Die Abteilung »Präzisionsmaschinen und Automatisierungstechnik« am Fraunhofer IPT befasst sich mit der Entwicklung von Präzisions- und Sondermaschinen. Hier ist es unser Ziel, hochgenaue Sondermaschinen und Komponenten nach den Wünschen unserer Kunden ganzheitlich zu entwickeln. Von der ersten Maschinenkonzeption über die Auslegung und Optimierung kritischer Komponenten bis hin zur steuerungstechnischen Umsetzung und Implementierung komplexer Regelungssysteme setzen wir ihre Anforderungen um. Die Charakterisierung bestehender Maschinen ist ein weiteres Schwerpunktthema.

Selbst für komplexe Automatisierungsaufgaben erarbeiten wir effiziente und technisch zuverlässige Lösungen. Neben der Entwicklung hochpräziser Produktionsmaschinen für die Optikbranche sowie die Medizin- und Biotechnik liegt ein Schwerpunkt auf der Maschinentechnik für die Rolle-zu-Rolle-Fertigung funktionalisierter Folien sowie gedruckter Elektronik.

### Unsere Leistungen

- Maschinen- und Anlagenkonzeption
- Konstruktion von Sondermaschinen
- Analyse und Gutachten zu existierenden Systemen
- Steuerungsprojektierung und Programmierung
- Charakterisierung von Produktionsanlagen

### Kontakt/Contact

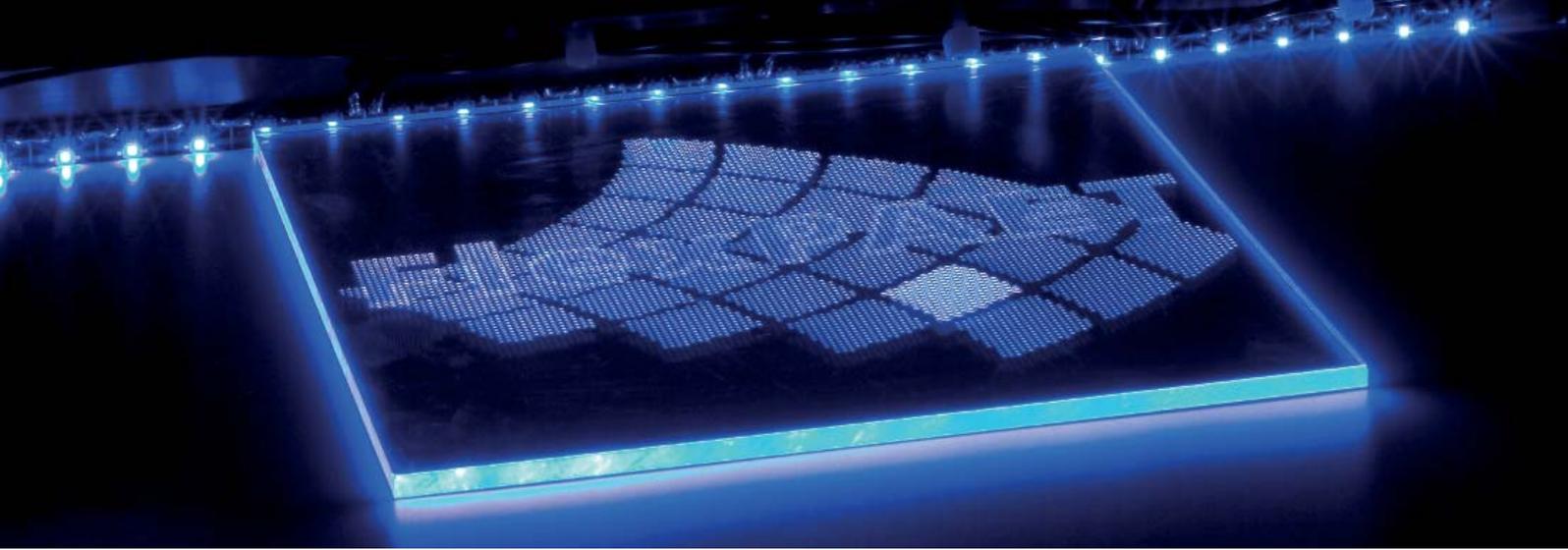
Dr.-Ing. Christian Wenzel  
Telefon/Phone +49 241 8904-220  
christian.wenzel@ipt.fraunhofer.de

The Fraunhofer IPT department for "Precision Machines and Automation Technology" develops precision machinery and customized devices, aiming to provide our clients with the integrated high-precision machines and components that match their specific requirements – from the conceptual design via the optimization of critical components to the development of suitable control systems and the implementation of complex cybernetic arrangements. The characterization of existing equipment is another focus of our work.

We develop efficient and technologically reliable solutions for all automation tasks, no matter how complex or challenging. In addition to developing high-precision production equipment for the optical industry and for manufacturers of medical and biological technology, we also concentrate on the reel-to-reel production of functional foils and printed electronics.

### Our services

- Conceptual design of individual machines and integrated facilities
- Construction of customized equipment
- Analyses and survey of existing systems
- Configuration and programming of control systems
- Characterization of production technology



### **Energieeffizienz und Präzision durch maschinenintegrierte Sensorik**

Maschinen, mit denen große Bauteile hergestellt werden, verlieren durch Temperaturschwankungen deutlich an Präzision: Schon durch wenige Grad Abweichung können sich Maschine und Bauteil so stark verformen, dass das Ergebnis unbrauchbar wird. Bisher dienten meist aufwändige und kostspielige Klimaanlage dazu, die schwer kontrollierbare Wärmeausdehnung in den Griff zu bekommen.

Ziel des Fraunhofer IPT und seiner Projektpartner SHW Werkzeugmaschinen GmbH und SHW Bearbeitungstechnik GmbH im BMBF-geförderten KMU-innovativ-Forschungsprojekt »EPSIS – Energieeffizienz und Präzision durch strukturintegrierte Sensorik« (Förderkennzeichen 02PK2352) ist es, die Genauigkeit der Werkzeugmaschinen auch ohne aufwändige und kostspielige Temperierungstechnik zu stabilisieren. Dazu wird die Verformung der Maschine durch eine Vielzahl integrierter Sensoren ständig überwacht. Ein mathematisches Modell, in dem die Daten weiterverarbeitet werden, bildet die Grundlage für eine näherungsweise Vorhersage der Fehler am Bauteil. Sind diese Fehler bekannt, kann die Maschine die Bearbeitung entsprechend anpassen und die Fehler kompensieren. Indem die Maschinenverformung kontinuierlich überwacht und vorausberechnet wird, kann die Maschine selbst völlig ohne Klimatisierung hochgenau arbeiten. Die Betreiber von Werkzeugmaschinen können mit dem Einsatz des Sensorsystems einen beträchtlichen Teil ihrer Betriebskosten sparen.

Beim Entwicklungspartner SHW Werkzeugmaschinen GmbH wurde dafür ein Messsystem installiert, mit dem sich die Ausdehnung eines 20 Meter langen Maschinenbetts direkt erfassen lässt. Das System zeigt an, wie das Maschinenbett bei unterschiedlichen Temperaturen arbeitet. Die Genauigkeit der Messungen ist vergleichbar mit der eines Laserinterferometers – jedoch zu einem Bruchteil der Kosten. Erste Testreihen zeigten bereits, dass äußere Einflüsse wie Schwingungen

### **Energy-Efficiency and Precision Through Machine-Integrated Sensor Technology**

Temperature fluctuations badly affect the accuracy of machines that produce large-scale components: a few degrees may be enough to deform machines and components to the point where the finished product is unusable. Until now, the problem of uncontrolled heat extension has been addressed by the installation of large-scale and expensive air conditioning equipment.

The Fraunhofer IPT, together with SHW Werkzeugmaschinen GmbH and SHW Bearbeitungstechnik GmbH, its partners in the SME innovation project "EPSIS – Energy-Efficiency and Precision Through Structurally Integrated Sensor Technology" funded by the German Federal Ministry for Research and Education (contract number 02PK2352), aims to stabilize the accuracy of the manufacturing equipment without any deployment of such expensive air-conditioning technology. With the Fraunhofer IPT's new technology, the extent to which the machine is undergoing deformation is subject to the permanent monitoring of a large number of integrated sensors. A mathematical model which is capable of processing these data provides the basis for an approximate forecast of the dimensional flaws in the component. On the basis of this forecast, the machine can then adjust its configuration accordingly and compensate the errors. By continuously monitoring the deformation process and calculating its extent and likely results, it is possible to maintain the target levels of accuracy while operating the machine without any air conditioning equipment. By using the sensor system, the manufacturers can therefore cut their operating costs significantly.

In order to implement the project, a measuring system was integrated into the production line of the development partner SHW Werkzeugmaschinen GmbH, which is capable of quantifying the extension of a 20 m long machine bed directly and with a high degree of accuracy. The system establishes

oder Ölnebel keinen negativen Einfluss auf das Messergebnis nehmen. In einem nächsten Schritt soll nun ermittelt werden, wie anhand der erhobenen Daten die Positionierfehler der Maschinenachse korrigiert werden können. Außerdem sollen weitere Sensorsysteme installiert werden, um ein noch umfassenderes Bild der gesamten Maschine zu gewinnen.

#### **Adaptive Heißprägeverfahren für optische Mikrostrukturen**

Die Nachfrage nach großflächigen mikrostrukturierten Oberflächen ist in den vergangenen Jahren gestiegen. Vor allem für die Entwicklung energieeffizienter Beleuchtungssysteme haben optisch funktionale Oberflächen an Bedeutung gewonnen. Ein ganzheitlicher Forschungsansatz, der den Formenbau und die Massenreplikation einschließt, nutzt das adaptive Heißprägen für großflächige mikrostrukturierte Komponenten.

Das Fraunhofer IPT nutzt diese Technologie zur Herstellung flächiger Lichtleiterlösungen: Über einen mehrschrittigen Heißprägeprozess lassen sich gezielt optische Mikrostrukturen in polymere Oberflächen einbringen. Hier entwickelt das Fraunhofer IPT einen Prozess zur selbstoptimierenden Herstellung hoch komplexer großflächiger mikrostrukturierter Oberflächen und baut die gesamte Prozesskette für die massenhafte Replikation auf. Dafür wird mittels optischer Simulation zunächst ein Mikrostrukturmuster festgelegt, das die Anforderungen des Lichtleiters erfüllt. Dieses Muster wird mit Hilfe des mehrschrittigen Heißprägeverfahrens in eine optisch funktionsfähige Masterstruktur übertragen. Nach der Analyse des Mastersubstrats wird dieses nachbearbeitet, um die optische Funktionalität an die Anforderungen des Designs anzupassen. Das endgültige, funktionale Mastersubstrat dient anschließend dazu, durch galvanische Prozesse Formen für verschiedene replikative Verfahren wie das Spritzprägen oder die Folienreplikation herzustellen. Auf diese Weise wird eine Massenproduktion optisch funktionaler Bauteile möglich.

and communicates how the machine bed operates under different temperatures. These measurements possess a level of accuracy which is similar to that of a laser interferometer, but at a fraction of the cost. Initial tests have demonstrated that exterior influences such as vibrations or oil mist do not adversely affect the readings. The next step will be the development of a technology for correcting the positioning errors of the machine axis on the basis of the incoming sensor data. It is also planned to install additional sensor systems to provide an even more comprehensive representation of the machine.

#### **Adaptive Hot Embossing Processes for Optical Micro-Structures**

The demand for large micro-structured surfaces has been rising consistently over the past few years. Optically functional surfaces are acquiring a specific importance for the development of energy-efficient lighting systems. An integrated research approach, for example, one that includes mold construction and mass replication, needs to focus on the technology of adaptive hot embossing for the production of large micro-structured components.

The Fraunhofer IPT is using this technology for the production of flat light conductor systems. A multi-stage hot embossing process serves to apply optical micro-structures to polymer surfaces. For this purpose, the Fraunhofer IPT has developed a process for the self-optimizing production of highly complex, large micro-structured surfaces. At the same time, it is creating an entire process chain to allow mass replication. First, optical simulation is used to establish an array of micro-structures that meets the requirements of the light conductor. In the next process step, this array is then converted into an optically functional master structure through multi-stage hot embossing. The master substrate is subjected to an examination and will be reworked to adjust the optical functionality to the requirements of the individual design. The finalized and



### **Asphärische Diamantwerkzeuge**

Neue anspruchsvolle Produkte im Bereich des Präzisionsmaschinenbaus und der Optik erfordern Diamantwerkzeuge höchster Genauigkeit. Werkzeuge, die sich von der allgemeinen sphärischen Form unterscheiden, gewinnen dabei immer mehr an Bedeutung. In der Auslegung von Optiken werden durch speziell abgestimmte Freiform-Diamantwerkzeuge bestehende Beschränkungen überwunden und höchste Abbildungsqualitäten erzielt. Jedoch können diese speziellen Diamantwerkzeuge mit bestehenden Maschinensystemen nicht hergestellt werden.

Das Fraunhofer IPT verfügt über eine langjährige Expertise auf dem Gebiet der Diamantzerspanung sowie der Entwicklung von Ultrapräzisionsmaschinen und hochpräziser Sondermaschinen. Die Erfahrungen in diesem Bereich konnte das Fraunhofer IPT bereits für die Entwicklung einer Diamantschleifmaschine nutzen: Das Fraunhofer IPT entwickelte eine CNC-gesteuerte Diamantschleif- und -läppmaschine, um hochpräzise Diamantwerkzeuge mit sphärischen und innovativen asphärischen Geometrien herzustellen. Basierend auf Konstruktionsrichtlinien für Ultrapräzisionsmaschinen wurde ein Maschinensystem entwickelt, das die gesamte Endbearbeitung der Werkzeuge in einer Aufspannung ermöglicht. So lässt sich eine automatisierte und genauigkeitsoptimierte Schleifbearbeitung erzielen.

fully functional master substrate will be used in galvanic processes to manufacture molds for a range of replication techniques such as injection-molding and foil replication processes, enabling the mass production of optically functional components.

### **Aspherical diamond tools**

New sophisticated products for high-precision engineering and optical applications require diamond tools that can guarantee the highest possible levels of accuracy. The demand for tools that deviate from conventional shapes of sphericity is consistently increasing. Customized free-form diamond tools are re-defining the limitations of optical design while achieving extremely high levels of reproduction quality. There is only one drawback: these customized diamond tools cannot be manufactured with the existing machine production systems.

The Fraunhofer IPT has many years of experience with diamond cutting and the development of ultra-precision equipment as well as customized machinery. This experience has already allowed the Fraunhofer IPT to develop a diamond cutting machine: the Fraunhofer IPT designed a CNC-controlled diamond cutting and diamond lapping machine for the manufacturing of high-precision diamond tools with spherical and innovative aspherical geometries. Based on construction guidelines for ultra-precision equipment, a machine system was developed that enables the tools to be finished in a single clamping set-up, ensuring a fully automated and high-accuracy grinding process.

# FASERVERBUND- UND LASERSYSTEM- TECHNIK

## FIBER-REINFORCED PLASTICS AND LASER SYSTEM TECHNOLOGY

Die Abteilung »Faserverbund- und Lasersystemtechnik« des Fraunhofer IPT bedient die wachsende industrielle Nachfrage nach automatisierten Produktionsverfahren und -systemen zur Herstellung faserverstärkter Leichtbaukomponenten aus duro- oder thermoplastischen Faserverbundkunststoffen (FVK). Die Forschungs-, Entwicklungs- und Dienstleistungsarbeiten umfassen sowohl die Auslegung von FVK-Bauteilen als auch die prototypische Bauteilfertigung. Darüber hinaus entwickelt das Fraunhofer IPT Produktionsanlagen für das laserunterstützte Tapelegen und -wickeln sowie für das Thermoformen. Ein weiteres Highlight ist die Inline-Integration von Sensoren in hochbeanspruchte FVK-Komponenten. Die Mikro-Pultrusion und das Mikro-Pullwinding optimiert und qualifiziert das Fraunhofer IPT für medizintechnische Anwendungen und entwickelt neue Greifersysteme für die reproduzierbare Handhabung von FVK-Halbzeugen. Einen weiteren Schwerpunkt bilden Sondermaschinen mit integrierter Lasersystemtechnik für die kombinierte Zerspanung und Lasermaterialbearbeitung sowie die laserunterstützte Bearbeitung.

### Unsere Leistungen

- Sondermaschinenentwicklung für das laserunterstützte Tapelegen und -wickeln thermoplastischer FVK-Prepregs
- Neue Greifertechnologien für FVK-Halbzeuge
- Auslegung und Fertigung prototypischer FVK-Bauteile
- Mikro-Pultrusion und Mikro-Pullwinding von FVK-Profilen für die Mess- und Medizintechnik
- Optimierung von Thermoformprozessen
- Laserintegration in Produktionsmaschinen
- System- und Verfahrensentwicklung für die laserunterstützte Bearbeitung (Zerspanung, Umformen, Scherschneiden)

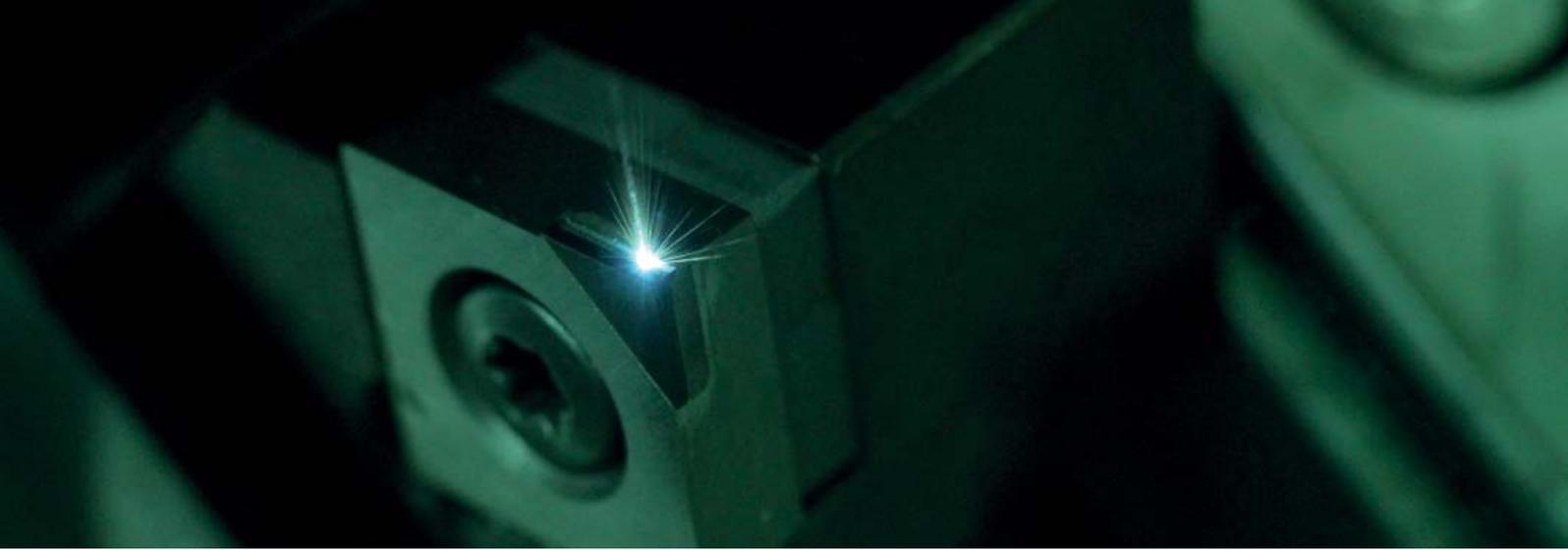
### Kontakt/Contact

Dr.-Ing. Michael Emonts  
Telefon/Phone +49 241 8904-150  
michael.emonts@ipt.fraunhofer.de

The department for "Fiber Reinforced Plastics and Laser System Technology" of the Fraunhofer IPT meets the growing demand for automatic processes of manufacturing fiber-reinforced components that are made from thermoplastics or duroplastics (FRP). Research and development services include the design of FRP components and the production of prototypes. The Fraunhofer IPT is also developing production facilities for laser-assisted tape laying and tape winding processes as well as for thermoforming operations. Another focus of the Institute's research is the inline integration of sensors into FRP components that are exposed to specifically high levels of stress. The Fraunhofer IPT furthermore optimizes micro-pultrusion and micro-pullwinding processes, qualifying them for medical applications. The Institute also develops gripper systems for the reproducible handling of semi-finished FRP products. Another key focus of research is the development of customized equipment with integrated laser systems technology for machine-integrated combined machining and laser material processing as well as laser-supported machining.

### Our services

- Development of customized equipment for the laser-assisted tape laying and tape winding of thermoplastic FRP prepregs
- New gripper technologies for the handling of semi-finished FRP products
- Design and production of FRP component prototypes
- Micro-pultrusion and micro-pullwinding of FRP profiles for applications in metrology and medical technology
- Optimization of thermoforming processes
- Integration of laser technology into production equipment
- Development of systems and processes for laser-assisted processes (machining, forming, shear cutting)



### **Anlagen- und Prozessentwicklung für die Herstellung belastungs- und verschnittoptimierter Organobleche**

Organobleche sind Faserverbundwerkstoffe aus Fasergeweben oder -gelegen, die in eine thermoplastische Kunststoffmatrix eingebettet sind, und sich durch Erwärmung umformen lassen. Im BMBF-geförderten Forschungsprojekt »E-Profit« (Förderkennzeichen O2PJ2230) hat das Fraunhofer IPT gemeinsam mit zehn Partnerunternehmen eine automatisierte Produktionsanlage für die Herstellung solcher belastungs- und verschnittoptimierter Organobleche entwickelt.

Ein wesentlicher Vorteil der Organoblech-Halbzeuge mit thermoplastischer Matrix liegt in der Warmumformfähigkeit und den daraus resultierenden kürzeren Prozesszeiten. Das Fraunhofer IPT und seine Partner entwickelten deshalb im Projekt »E-Profit« eine sichere und robuste Anlage, die Infrarotstrahler als Wärmequelle nutzt und die Organobleche so verformbar macht. Das flexible System kommt ohne Roboter, Umhausungen oder weitere Komponenten aus und bietet durch seine variable, flächige Konsolidierstrecke eine große Vielfalt an Einsatzfeldern. So lassen sich sowohl Kohlenstoff- als auch Glasfasertapes mit verschiedenen Matrixmaterialien kombinieren.

Die Anlage arbeitet bereits heute mit Ablagegeschwindigkeiten bis zu 1 m/s bei Tape-Breiten bis zu 100 mm. Da die Konsolidierung bereits im Herstellungsprozess inbegriffen ist, entfallen die sonst häufig nachgeschalteten Konsolidierungsprozesse. Laminate lassen sich durch beliebig einstellbare Faserorientierungen genau an den jeweiligen Anwendungsfall und die gewünschte Belastungsfähigkeit anpassen. Mit der Anlage aus dem Projekt »E-Profit« gelingt nun erstmals eine automatisierte Herstellung belastungs- und verschnittoptimierter Organobleche einschließlich deren Umformung, Funktionalisierung und Besäumung.

### **Machines and Processes for the Manufacturing of Tailored Thermoplastic Composite Blanks with Optimized Stress Properties and Reduced Waste Production**

Tailored thermoplastic composite blanks consist of fiber-reinforced materials, i.e. of fibrous tissues or fabrics that have been embedded in a thermoplastic matrix and re-shaped under a controlled induction of heat. In the "E-Profit" research project funded by the German Federal Ministry for Education and Research (contract number O2PJ2230), the Fraunhofer IPT and its ten partner corporations have jointly developed an automated production line for the manufacturing of such composite blanks from unidirectional fiber-reinforced tapes. These sheets are characterized by optimized stress properties and a reduced production of waste.

One significant advantage of the tailored composite blanks semi-finished products with their thermoplastic matrices is the fact that they can be reshaped under heat – this ensures shorter cycle times. The Fraunhofer IPT and its partners have now developed a safe and robust facility under the "E-Profit" project which uses infrared radiation as a heat source to weld together the individual sheet layers. This independent system requires no extra equipment or accessories such as robots or casings and can be used for a large number of applications, thanks to its variable, large-surface consolidation section. This allows the combination of both carbon tapes and glass-fiber tapes with a wide range of matrix materials.

The facility is already working with delivery speeds of up to 1 m/s and can produce tailored composite blanks with a maximum total width of 1 m. Consolidation is taking place during the production process – which means that, in contrast to many conventional techniques, no additional downstream consolidation process is required to achieve it. The laminates can be customized for each application and for individually required stress profiles, since the fibers can be aligned in a

### Lasersystem zur PKD-Bearbeitung

Schneidwerkzeuge aus polykristallinem Diamant (PKD) eignen sich aufgrund ihrer Härte und Verschleißbeständigkeit besonders gut für die Zerspanung von Leichtmetallen, Faserverbundwerkstoffen und Holz. Doch gerade diese positiven Eigenschaften führen dazu, dass die Werkzeuge sich nur unter hohem Aufwand herstellen lassen. Die Schleifscheiben zur Bearbeitung der Werkzeuge verschleiben schnell und es dauert lange, das Ausgangsmaterial in gewünschter Menge präzise abzutragen.

Das Fraunhofer IPT hat deshalb einen Teil des herkömmlichen Schleifprozesses durch ein Laserverfahren ersetzt, mit dem sich PKD-Werkzeuge deutlich schneller und kostengünstiger fertigen lassen. Während beim Schleifen zunächst mit mechanischen Schruppwerkzeugen Material abgetragen wird, setzt das Fraunhofer IPT hier auf ein selbst entwickeltes Lasermodul. Damit lassen sich selbst bei dem extrem harten Diamantwerkstoff der Schneidplatten deutlich höhere Abtragsraten erzielen als mit einem konventionellen Schleifwerkzeug. Um anschließend die geforderten Oberflächenqualitäten zu erreichen, wird das Laserverfahren wie bisher durch einen mechanischen Schlichtprozess ergänzt.

Die Laserbearbeitungseinheit lässt sich in herkömmliche Schleifmaschinen integrieren. So können die Unternehmen ihre vorhandenen Anlagen weiter nutzen und dennoch die Gesamtdauer der Bearbeitung um mehr als 50 Prozent verkürzen. Indem der mechanische Schruppprozess entfällt, sinkt außerdem der Verbrauch der teuren Diamantschleifscheiben. Das Lasersystem mit dem Namen »ProPKD« (Förderkennzeichen 16V0189), das das Fraunhofer IPT im Rahmen eines BMBF-geförderten Projekts entwickelt und erprobt hat, lässt sich individuell an unterschiedliche Schneidplattengeometrien anpassen und erfüllt alle Anforderungen der Werkzeughersteller an Produktivität, Flexibilität, Energieeffizienz und niedrige Anschaffungskosten.

variety of different patterns. With the facility from the "E-Profit" project, it is now possible – for the first time ever – to manufacture tailored composite blanks with optimized stress properties and a reduced production of waste in an automated production line, to reshape, functionalize, and trim them.

### Laser System for PCD Machining

Cutting tools made from polycrystalline diamonds (PCD) are extremely hard and wear-resistant, which is why they are frequently used for the machining of light metals, fiber-reinforced materials and wood. The very same properties, however, also mean that the tools themselves are difficult to manufacture. The grinding wheels that are required to produce them wear down quickly, and it takes a long time to achieve the exact level of abrasion.

This is why the Fraunhofer IPT has developed a laser system which is capable of replacing a part of the conventional grinding process and which will enable a faster and more cost-effective production of PCD tools. While conventional techniques use mechanical roughing tools to remove some material off the workpiece, the Fraunhofer IPT is applying a self-developed laser module that has significantly higher material removal rates, even when working on extremely hard materials such as diamond cutting plates. In order to achieve the required surface qualities, the laser technique is then complemented – as under the conventional technique – by a mechanical finishing process.

The laser machining unit can be integrated into conventional grinding machines, allowing companies to make continuous use of their existing equipment while cutting the duration of the process by more than 50 percent. Since the mechanical roughing process is eliminated from the sequence, the wear of the expensive diamond grinding plates is reduced. The laser system called "ProPKD" (contract number 16V0189),



### Laserunterstützte Blechbearbeitung

Die laserunterstützte Blechbearbeitung hebt die bestehenden Prozessgrenzen der konventionellen Bearbeitung höchstfester Metalllegierungen durch lokale Erwärmung im Bereich der kritischen Scher- und Umformzone auf. Vorteile hinsichtlich Bauteilqualität und Bearbeitbarkeit konnte das Fraunhofer IPT für alle Verfahren der Blechbearbeitung in der Serie nachweisen – darunter Scherschneiden, Biegen, Prägen und Tiefziehen. Dafür wird der Werkstoff innerhalb weniger Zehntelsekunden gezielt durch Laserbestrahlung erwärmt und so das Fließvermögen des Werkstoffs erhöht. Durch laserunterstütztes Scherschneiden steigt der Glattschnittanteil bei der Verarbeitung von Federstahl (1.4310) auf bis zu 100 Prozent, die Schneidkräfte reduzieren sich bis zu 80 Prozent und der Kanteneinzug nimmt über 60 Prozent ab. Für das laserunterstützte Biegen von 1.4310 mit einer Blechdicke von 1 mm sinkt der fehlerfreie Biegeradius bei gleichen Randbedingungen von 2 mm auf 0,25 mm. Napfzugversuche mit einem Napfdurchmesser von 2,3 mm erreichten bei Federstahl 1.4310 eine maximale fehlerfreie Ziehtiefe von 0,9 mm. Durch laserinduziertes Vorwärmen erhöht sich die fehlerfreie Ziehtiefe unter gleichen Randbedingungen auf 2 mm. Konventionell sind hochfeste Stähle nicht prägbar, durch laserinduzierte Erwärmung gelingt es aber, selbst hochfeste Werkstoffe mit Zugfestigkeiten über 1700 MPa und mit einer Dicke von 1 mm um 0,5 mm zu prägen. Das Verfahren ist schon heute bei einer Vielzahl von Materialien einsetzbar, zum Beispiel bei rostfreien Stählen (1.4301), Federstählen (1.4310), Titanlegierungen (TiAl6V4) oder Kupfer.

which was developed and tested by the Fraunhofer IPT under a project funded by the Federal German Ministry for Education and Research, can be customized for different cutting plate geometries and meets all productivity, flexibility, energy-efficiency and low-purchase-cost requirements of commercial tool manufacturers.

### Laser-Assisted Processing of Sheet Metal

Laser-assisted processing of sheet metal overcomes the process limitations of conventional techniques for processing high-strength metal alloys by applying concentrated heat to the area of the critical shear zone/forming zone. In its trials, the Fraunhofer IPT discovered that the new technology produced superior results (higher levels of component quality and workability) for all sheet metal processing sequences including shear cutting, bending, embossing and deep drawing. Under the new technology, a laser beam applies heat to the target area of the workpiece for a few tenths of a second, thus decisively increasing the material's fluidity. When processing spring steel (1.4310), laser-assisted shear cutting increases the proportion of smooth cuts to up to 100 percent, while at the same time reducing the shearing forces by up to 80 percent and of the die roll by more than 60 percent. During the laser-assisted bending of 1.4310 with a sheet metal strength of 1 mm, the fault-free bending radius, all other things being equal, fell from 2 mm to 0.25 mm. In cup tensile tests with cup diameters of 2.3 mm, a maximum fault-free deep drawing depth of 0.9 mm was recorded for spring steel 1.4310. Through laser-induced pre-heating, this fault-free drawing depth, all other things held equal or constant, grows to 2 mm. High-strength steel cannot be stamped in conventional applications, but laser-induced heating permits to emboss even 1 mm thick plates of high-strength materials with tensile strengths in excess of 1700 MPa to a depth of 0.5 mm. The process is already used for a number of materials including stainless steel (1.4301), spring steel (1.4310), titanium alloys (TiAl6V4) and copper.

# PRODUKTIONSMESSTECHNIK

## PRODUCTION METROLOGY

Die Abteilung »Produktionsmesstechnik« des Fraunhofer IPT beschäftigt sich mit allen Fragen der produktionsbegleitenden Messtechnik sowie allen qualitätssichernden Maßnahmen in produzierenden Unternehmen. Dazu steht uns eine umfangreiche Ausstattung moderner Messsysteme zur Verfügung, die wir nicht nur für Dienstleistungsmessungen einsetzen, sondern auch zusammen mit unseren Partnern und Messtechnik-anbietern optimieren und weiterentwickeln. Im Fokus unserer Arbeiten steht die Industrialisierung von Prozessen.

### Unsere Leistungen

- Optische Messtechnik und bildgebende Verfahren
  - Optikprüfung und -herstellung
  - Kurzkohärente Interferometrie
  - Faseroptik
  - Biophotonik
  - Sondermesssysteme
- Messtechnik für die automatisierte Produktion
  - Automatisierung industrieller Produktionsprozesse
  - Automatisierung biotechnologischer Prozesse
  - Sensorintegration und Datenrückführung
  - Automatisierte Messsysteme
  - Montage faseroptischer Systeme
  - Messdienstleistungen
- Mikro- und Nanoproduktion
  - 3D-Lithographie
  - Interferenzlithographie
  - Resistentwicklung
  - Strukturcharakterisierung

### Kontakt/Contact

Dipl.-Phys. Niels König  
Telefon/Phone +49 241 8904-113  
niels.koenig@ipt.fraunhofer.de

The department for "Production metrology" of the Fraunhofer IPT develops new measuring solutions for industrial applications and new quality assurance methods for manufacturing companies. For these purposes, the department has been equipped with a comprehensive range of sophisticated measuring devices that are used for contract measuring services but that are also continuously optimized and developed in close coordination with partner organizations and technology providers. Our efforts are always keenly focused on the industrialization of processes.

### Our services

- Optical metrology and imaging
  - Manufacturing and testing of optical components
  - Short coherent interferometry
  - Fiber optics
  - Biophotonics
  - Customized measuring systems
- Metrology for automated production
  - Automation of industrial manufacturing processes
  - Automation of biotechnology processes
  - Sensor integration and data feedback
  - Automated measuring systems
  - Assembly of fiber-optic systems
  - Contract measuring services
- Micro- and nano-production
  - 3D-lithography
  - Interference lithography
  - Development of resists
  - Characterization of structures



### **Messinstrument soll Frühgeborene vor Behinderungen schützen**

Viele Babys, die zu früh zur Welt kommen, leiden auch später noch an Entwicklungsstörungen, die auf eine fehlerhafte Versorgung des Gehirns mit Sauerstoff zurückzuführen sind. Gemeinsam mit acht Unternehmen und Forschungseinrichtungen aus vier europäischen Ländern entwickelt das Fraunhofer IPT deshalb im Forschungsprojekt »BabyLux« ein hochgenaues optisches Messinstrument auf Basis der Nahinfrarotspektroskopie, mit dem sich die Sauerstoffversorgung im Gehirn von Frühgeborenen besser überwachen lässt und das sie so vor späteren Behinderungen schützt.

Mit dem neuen Messinstrument soll sich die Sauerstoffversorgung im Gehirn von Frühgeborenen, die vor der 28. Schwangerschaftswoche zur Welt gekommen sind, nicht-invasiv und schmerzfrei besonders exakt und zuverlässig messen lassen. Deuten sich aufgrund der Messdaten Komplikationen an, können Mediziner schneller eingreifen und so das Risiko von Gehirnschädigungen und Spätfolgen wie Behinderungen senken. Mit Hilfe der optischen Messtechnik könnten allein in Europa mehr als 1000 Kinder pro Jahr vor den Folgeschäden einer Sauerstoffunter- oder -überversorgung bewahrt werden.

Die Federführung des Projekts liegt bei der italienischen Politecnico di Milano mit der Fondazione Politecnico di Milano. Die Europäische Kommission fördert »BabyLux« (grant agreement 620996) im ICT Policy Support Programme (ICT PSP) als Teil des »Competitiveness and Innovation«-Rahmenprogramms für drei Jahre und unterstützt eine sechsmonatige Erprobungsphase im Mangiagalli Hospital in Mailand sowie am Rigshospitalet in Kopenhagen. Das Fraunhofer IPT hat im Projekt die Aufgabe, eine faserbasierte kompakte Sonde für das System zu entwickeln, die parallele Messungen anhand zweier Spektroskopieverfahren ermöglicht.

### **Measuring Technology Protects Premature Babies Against Disabilities**

Many babies who are born prematurely develop problems with the oxygen supply to their brains and will consequently suffer from disabilities throughout their lives. In order to enable the obstetricians to monitor the oxygen supply of the brains of newly born children and to protect these children from brain damages, the Fraunhofer IPT, together with eight enterprises and research institutions from four European countries, is developing a high-precision, near-infrared-spectroscopy-based optical measuring instrument under the "BabyLux" research project.

The new instrument will allow non-invasive, pain-free, exact and reliable measurements of the oxygen supply to the brains of babies who were born before the 28<sup>th</sup> week of their mothers' pregnancies. If the measurements indicate a risk of severe complications, doctors can intervene immediately and decrease the risk of brain damage and disabilities. It is thought that the optical measuring technology will be able to save more than 1000 children per year in Europe alone from the consequences of an over-supply or under-supply of oxygen.

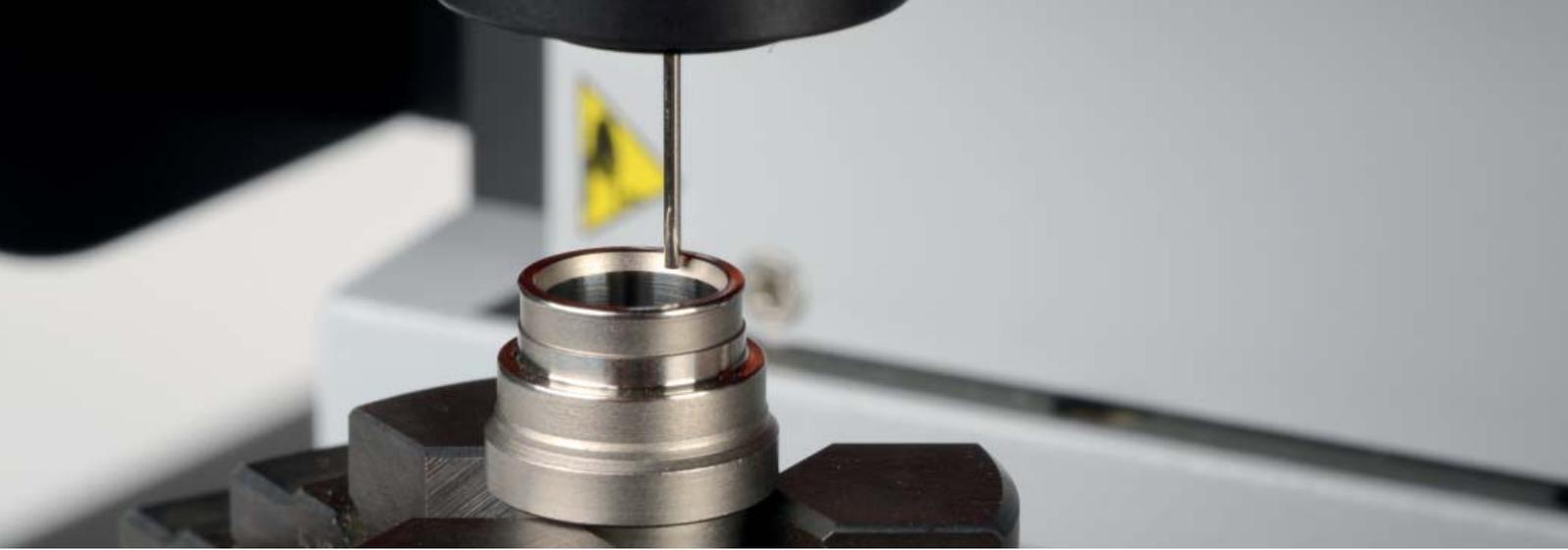
The project is coordinated by the Politecnico di Milano (Italy) in cooperation with the Fondazione Politecnico di Milano. The European Commission is funding the "BabyLux" project for three years (grant agreement 620996) through its ICT Policy Support Programme (ICT PSP) which is a part of the "Competitiveness and Innovation" framework programme. The Commission furthermore supports a six-month trial period at the Mangiagalli Hospital in Milan and the Rigshospitalet in Copenhagen. The Fraunhofer IPT has assumed the task of contributing a fiber-based compact probe that allows parallel measurements on the basis of two variants of spectroscopy.

### Hochgenaues Messsystem zur Messung von Zahnradgeometrien

In modernen Produktionsverfahren der Medizintechnik, der Halbleiterfertigung, aber auch in der Mikromontage und Mikrorobotik finden immer öfter auch Mikro- und Kleinstverzahnungen Verwendung. Die Vorteile bei der Entwicklung von Mikrogetrieben sind nicht nur ein höherer Miniaturisierungsgrad, sondern auch Materialeinsparungen und eine höhere Energieeffizienz bei gleichbleibender Funktionalität und Präzision. Die Vielfalt an Materialien wie Stahl, Keramik und Kunststoff sowie die verschiedensten Fertigungsverfahren wie LIGA und Spritzguss, aber auch die spanenden Verfahren machen die Herstellung von Mikrotriebekomponenten vielfältig und komplex. Die messtechnische Erfassung der geometrischen Größen an Zahnrädern ist seit jeher von taktilen Verfahren geprägt. Aufgrund der geringen Scangeschwindigkeit taktiler Verfahren werden oft nur Flankenlinie und Profillinie einer Zahnflanke aufgenommen und ausgewertet. Diese Auswertung ist jedoch in vielen Fällen nicht ausreichend genau. Moderne Getriebeverzahnungen weisen ausgeklügelte Flankenkorrekturen auf, um beispielsweise akustische Anregungseffekte zu vermindern oder das Übertragungsverhalten in unterschiedlichen Arbeitspunkten sowie das Tragbild zu optimieren. Eine aussagekräftigere Messung und Auswertung von Zahnflanken kann daher nur durch eine großflächigere Erfassung der Flanke erreicht werden, wozu schnelle Messverfahren nötig sind. Das Fraunhofer IPT entwickelt deshalb im Forschungsprojekt »OptoGear« ein faseroptisches Abstandsmessverfahren, das ergänzend zu vorhandenen, taktilen Messtastern auf marktverfügbare Verzahnungsmesszentren nachgerüstet werden kann. Die Kombination von berührungsloser, trägheitsfreier Messpunkterfassung und Abtastfrequenzen bis 50 kHz erlaubt dabei sehr hohe Verfahrensgeschwindigkeiten. Dank der schnellen Oberflächenerfassung lässt sich beispielsweise ein quadratisches Punkteraster auf der Oberfläche erfassen, das eine genauere Aussage zur Oberflächentopographie liefern kann.

### High-Precision Measurement of Gearwheel Geometries

Miniaturized gear systems are required for an increasing number of modern production techniques in medical technology, the manufacturing of semi-conductors and micro-assembly as well as micro-robot applications. Some obvious advantages of such micro-gear systems are directly connected with their higher degree of miniaturization, such as their smaller raw material requirements, but these systems also need less energy to generate the same levels of functionality and precision. Since they can be produced from a wide variety of materials such as steel, ceramics and plastic and with an equally wide range of production techniques including LIGA, injection molding and machining, the process of manufacturing components for micro-gear systems is complex and consists of many different challenges. The task of measuring the geometric dimensions of gearwheels has been conventionally solved through the application of tactile methods. Due to the low scanning speeds of tactile techniques, measurements and subsequent evaluations have often been restricted to the flank line and the profile line of a tooth flank. In many cases, however, this evaluation has been insufficiently precise. Modern geared transmissions feature sophisticated flank corrections, for example to reduce acoustic excitation effects or to optimize the transmission behaviour in different operating points as well as the contact pattern. This is why truly meaningful measurements and evaluations of tooth flanks need to be based on larger flank surfaces, something that can only be achieved by applying a technique that is capable of working significantly faster. The Fraunhofer IPT is thus developing under the "Opto Gear" research project a fiber-optical distance measuring method that can be integrated into commercial gear measuring centers to complement conventional, tactile equipment. The combination of a non-contact, inertia-free capture of measuring points and the use of scanning frequencies of up to 50 kHz allows very high travel velocities. Thanks to the speed with which the surfaces can be surveyed, it is possible – for example – to analyze square-shaped arrays of points on



Das neue Messverfahren basiert auf der kurzkohärenten Weißlichtinterferometrie und kann in einem Messbereich bis zu 2 mm Oberflächenpunkte mit einer axialen Messunsicherheit unter 200 nm erfassen. Der kleine Sensordurchmesser von 80 bis 125 µm ermöglicht es, auch in Zahnlücken von Mikroverzahnungen mit Moduln unter 0,5 mm einzudringen und so die Zahnflanke und den Zahnfuß zu vermessen.

#### **Prozessüberwachung bei der Laserbearbeitung**

Die Laserbearbeitung wird durch unterschiedliche maschinen-, werkstück- und umgebungsbedingte Faktoren bestimmt, die direkt die Prozessstabilität und Produktqualität beeinflussen. Grundlage für einen robusten und stabilen Prozess ist deshalb die Überwachung und Regelung bei der Bearbeitung. Für die Überwachung neuer Anwendungen wie der Lasermikrobearbeitung und -strukturierung von Metallen, Composites und Kunststoffen entwickelte das Fraunhofer IPT ein optisches, submikrometeregenaues Inline-Messsystem für eine telezentrische Abstands- und Topographiemessung in Maschinenkoordinaten, die zusätzlich zur Prozessüberwachung auch eine Messung vor und nach der Bearbeitung ermöglicht. Diese Inline-Messtechnik ermöglicht in einer Produktionsmaschine für die Laserbearbeitung eine automatische Prozesseinstellung für solche neuen Materialien und Legierungen und sichert über die Prozessregelung eine hohe Qualität des fertigen Produkts. Das entwickelte System kann in allen Bereichen der Laserbearbeitung eingesetzt werden: vom Laserschneiden (Fokuslageüberwachung und -regelung) über die präzise Lasermikrobearbeitung und -strukturierung bis hin zum Laserdurchstrahlschweißen (Inline-Detektion von Lunkern und Schweißnahtverengungen). Erste Anwendungsbeispiele finden sich beispielsweise im Werkzeugbau, in der Medizintechnik und in der Automobilbranche.

the surface to deliver more detailed information about the surface topography. The new measuring technique is based on the technology of low-coherence white-light interferometry and achieves an axial measuring uncertainty of less than 200 nm while measuring surface points in a range of up to 2 mm. The small diameter of the sensor – 80 to 125 µm – allows the penetration of tooth gaps in micro-gear systems with modules of less than 0.5 mm to survey tooth flanks and tooth base.

#### **Process Monitoring in Laser Machining Applications**

Process stability and product quality of laser machining operations are determined by a range of factors such as the nature of the available equipment, the nature of the workpieces and the nature of the environment, all of which have a direct impact. This is why effective monitoring and control mechanisms of the machining operation are the foundations for a robust and stable process. For the monitoring of new applications such as laser micro-machining and micro-structuring of metals, composites and plastics, the Fraunhofer IPT has developed an optical inline measuring system – with a measuring accuracy in the sub-micrometer range – for telecentric distance and topography measurements in machine coordinates. In addition to monitoring the machining process, the system also performs measurements before and after the machining operation. The inline measurement technology allows the operators to program and perform an automatic laser machining process in their production machine for new materials and alloys, which – in combination with reliable process controls – guarantees the high quality of the finished product. The fully developed system will be compatible with all different types of laser machining operations, including laser cutting (focus position monitoring and control), precision laser micro-machining and micro-structuring and laser transmission welding (inline detection of leakage and welding seam contractions). The system has already been used for various applications in tool manufacturing, medical technology and the automotive industry.

# PRODUKTIONSQUALITÄT

## PRODUCTION QUALITY

Einzigartige Produkte und fehlerfreie, effiziente Prozesse sind entscheidende Differenzierungsmerkmale im globalen Wettbewerb. Eine zentrale Aufgabe des Qualitätsmanagements ist es daher, robuste Prozesse zu industrialisieren sowie die Sicherheit und Zuverlässigkeit von Produkten zu gewährleisten. Die effiziente Anwendung der richtigen Methoden, Werkzeuge, Verfahren und Technologien zur Qualifikation von Mensch, Organisation und Technik sind dabei entscheidend. Wir gestalten die Produktionsqualität und entwickeln und erforschen leistungsfähige Werkzeuge und Verfahren, um sichere und zuverlässige Produkte ökonomisch und ökologisch effizient zu produzieren.

### Unsere Leistungen

- Produktionseffizienz
  - Auswahl von Softwaresystemen für die Produktion (MES; CAQ, BDE/MDE)
  - Entwicklung von innovativen Qualitätsmethoden für die Industrie 4.0
  - Energieoptimierte Produktionssteuerung
  - Prozessmanagement in Produktion und Administration
  - Optimierung von Prozessketten in der Fertigung
  - Integrierte ökonomische und ökologische Bewertung
- Technisches Risikomanagement
  - Risikomanagement in Einkauf, Entwicklung und der Produktion
  - Anforderungsmanagement
  - Entwicklung von Methoden zur Risikobeurteilung
  - Projektorientiertes Risikomanagement
  - Risiko-Analysen, z.B. mittels FMEA, FTA, ETA oder DRBFM

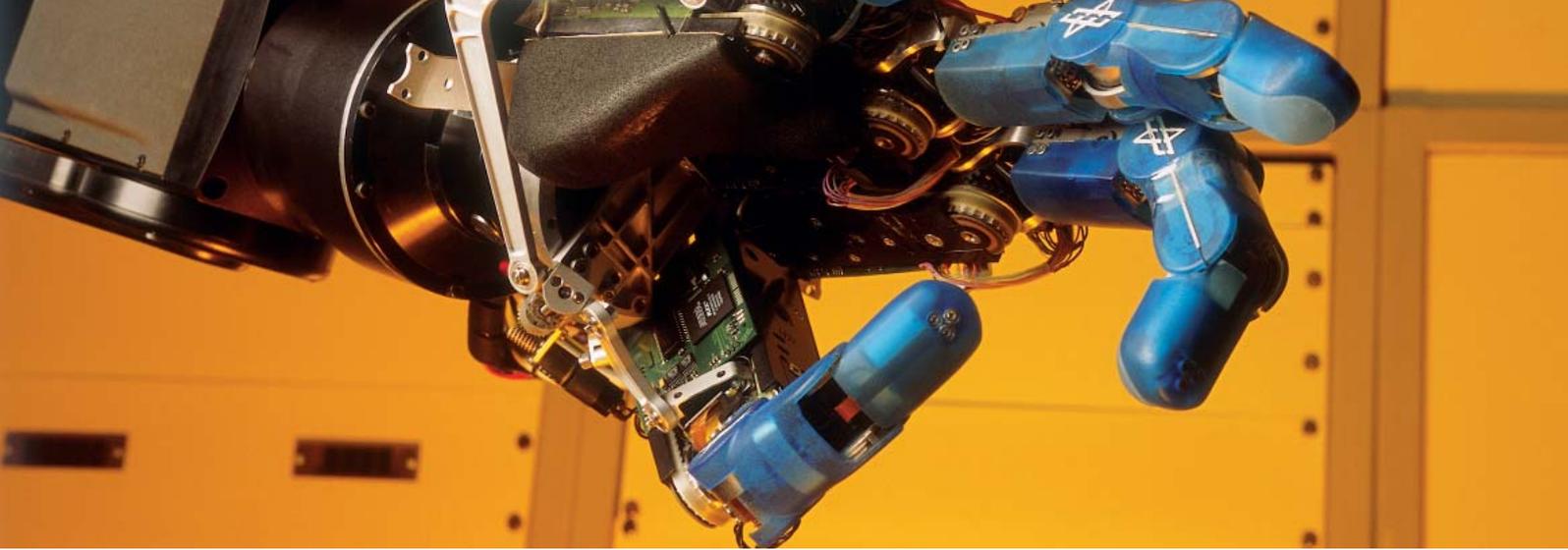
### Kontakt/Contact

Dr.-Ing. Dipl.-Wirt.-Ing. Markus Große Böckmann  
Telefon/Phone +49 241 8904-479  
markus.grosse.boeckmann@ipt.fraunhofer.de

Distinctive products and flawless, efficient processes are what make companies stand out from their business rivals in the tough climate of global competition: they are their “unique selling points”. It is the job of quality management to deliver robust processes for industrial environments as well as safe and reliable products. The key component in the quality management process is the efficient application of the proper methods, tools, procedures and technologies to qualify the organizational structure, the engineering hardware and the workforce. We shape production quality, researching and developing high-performance tools and processes to manufacture safe and reliable products with high levels of both economic and ecological efficiency.

### Our services

- Production efficiency
  - Selection of production software systems (MES; CAQ, BDE/MDE)
  - Development of innovative quality assurance methods for Industry 4.0
  - Energy-optimized production control
  - Process management in production and administration
  - Optimization of manufacturing process chains
  - Integrated assessment on the basis of economic and ecological criteria
- Technical Risk Management
  - Risk management in sourcing, development and production
  - Requirements management
  - Development of risk assessment strategies
  - Project oriented risk management
  - Performance of risk analyses using well-established techniques such as FMEA, FTA, ETA or DRBFM



### **Ressourceneffizienz-Wertstrom**

Ressourceneffiziente Produktion ist eine der großen Herausforderungen der heutigen Zeit: Unternehmen müssen sich mit immer mehr Anforderungen aus der Politik, Wirtschaft, aber auch von Kunden, auseinandersetzen, um möglichst »grün« zu produzieren. Um herauszufinden, wie ein Unternehmen seine Ressourcen intelligent einsetzen kann, hat das Fraunhofer IPT den Ressourceneffizienz-Wertstrom entwickelt. Damit lassen sich Prozesse systematisch visualisieren, analysieren und dadurch auf ihre Effizienz untersuchen. In einem Pilotprojekt prüfte das Fraunhofer IPT die Prozesse in einem brasilianischen Automobilunternehmen. Als zentrales Element dient die Wertstromanalyse, bei der der gesamte Ressourcenverbrauch während des Herstellungsprozesses untersucht wird. Dazu zählen nicht nur energierelevante Faktoren, sondern auch die Arbeit der Mitarbeiter und die eingesetzten Materialien. Ziel ist es, die Schritte mit dem größten Verbrauch festzustellen, da hier oft das größte Einsparpotenzial gegeben ist. Weiterhin können Ursachen für einen hohen Ressourcenkonsum festgestellt und, wenn möglich, verändert werden. Zur Darstellung und Auswertung wurde vom Fraunhofer IPT die Software »REEF« (REsource EFFiciency) entwickelt. Damit lässt sich der gesamte Prozess darstellen und die Auswirkungen möglicher Einsparungen auf den Folgeprozess werden sofort sichtbar. Die Software wurde unter anderem bereits in Brasilien und Deutschland getestet und führte im Beispielprojekt zu Einsparungen von weit über 1 Mio Euro.

### **Anforderungsmanagement für produzierende KMU**

Die Komplexität mechatronischer Produkte erfordert einen integrierten Entwicklungsprozess, bei dem die Disziplinen Mechanik, Elektronik und Software ineinandergreifen. Bestehende Softwarelösungen für das Anforderungsmanagement sind in dieser Hinsicht zumeist nicht KMU-gerecht und stoßen bei komplexen Produkten heute schnell an ihre Grenzen. Im Projekt »ReqMech« entwickelten das Fraunhofer IPT und

### **Resource Efficiency Value Stream**

It is one of the key challenges for today's corporations to develop resource-efficient production systems: governments, the economy and customers all demand a "greening" of industrial processes. In order to explore new ways for corporations to use their existing resources intelligently, the Fraunhofer IPT has developed the Resource Efficiency Value Stream. This new creation allows the systematic visualization and analysis of processes, thereby enabling the researchers to test their efficiency. The Fraunhofer IPT subjected their new system to a test in the factory of a Brazilian car manufacturer. The core element of the new system is the Value Stream Analysis which establishes how many resources are consumed during the entire production process, including not only energy-relevant factors, but also the labor of the corporate workforce and raw materials. The aim is to pinpoint those process steps that require the largest input of resources, since they tend to provide the largest potential for savings. The system is also designed to identify the causes for specifically high levels of consumption, so that – if technically possible – these causes can then be addressed. For the purpose of presenting and evaluating the evidence, the Fraunhofer IPT has developed the "REEF" (REsource EFFiciency) software which allows a representation of the entire process and of the effects on downstream processes that can result from savings. The software has already been tested in Brazil, in Germany and elsewhere and has, generated savings of more than 1 Mio €.

### **Requirements Management for SME**

The complexity of mechatronic products requires an integrated process of product design with the highest possible degree of interaction between the fields of mechanics, electronics and software development. Existing software solutions for requirements management applications are frequently not appropriate for the specific needs of SMEs and can quickly reveal their limitations when faced with today's landscape of complex

Fraunhofer FOKUS gemeinsam mit Industriepartnern eine softwaregestützte Methodik für das ganzheitliche Anforderungsmanagement produzierender KMU. Das neue Framework gestaltet Entwicklungsprozesse für mechatronische Produkte effizienter und sicherer. Die softwaregestützte Methodik ist klar strukturiert, leicht verständlich und verbessert den Produktentwicklungsprozess mittels KMU-gerechter Werkzeuge. Das ReqMech-Softwaretool eröffnet dem Anwender die Möglichkeit, vielfältige Anforderungen systematisch zu verwalten und unterschiedliche Produktentwicklungsmethoden (FMEA, QFD, etc.) zu integrieren. Die ReqMech-Software dient als Instrument zur Reduktion und frühzeitigen Behebung von Fehlern in allen Projekt- und Prozessentwicklungsphasen und verspricht nicht nur eine Zeit- und Geldersparnis, sondern auch eine höhere Kundenzufriedenheit.

#### **Energieorientierte Produktionssteuerung in MES**

Auf dem Weg zu Smart Grids entwickeln und testen Netzbetreiber und Stromanbieter flexible Stromtarife und neue Lastmanagement-Programme. Im Forschungsprojekt »eMES« entwickelt das Fraunhofer IPT gemeinsam mit drei Industriepartnern einen Prototypen zur energieorientierten Planung und Regelung von Prozessen und Prozessketten in der Produktion. Die Software, die modular in ein bestehendes Manufacturing Execution System integriert wird, erstellt eine energieoptimierte Intra-Day-Auftragsplanung und greift im Sinne eines Energieregelkreises bei definierten Abweichungen in Echtzeit in die Produktion ein. Das versetzt energieintensiv produzierende Unternehmen in die Lage, ihre Lastspitzen bis zu 40 Prozent zu senken sowie Niedrigpreisphasen und Lastabwurfanfragen ihres Stromversorgers aktiv zu nutzen. Das Gesamtsystem soll neben den Planungs- und Steuerungsalgorithmen auch Hardware-Schnittstellen zu Messequipment und Maschinen sowie eine Softwareanbindung an Datenbanken, beispielsweise aus ERP-Systemen, umfassen. Das Projekt wird im KMU-innovativ-

products. For the purposes of the "ReqMech" project, the Fraunhofer IPT and the Fraunhofer FOKUS – in cooperation with several corporate partners – have developed a software-assisted method for operating an integrated requirements management that is suitable for SMEs in industrial manufacturing. The new framework allows the conception of safer and more efficient development processes for mechatronic products. The software-assisted method is clearly structured and easy-to-understand while improving the product development process through the use of SME-adapted tools. The ReqMech software tool allows the user to subject a diverse range of requirements to a systematic administration regime and to mutually integrate different product development methods (FMEA, QFD, etc.). The ReqMech software serves as an instrument for the early recognition and elimination of errors in all stages of the project and process development, promising a reduction of time, effort and costs as well as higher levels of customer satisfaction.

#### **Energy-Oriented Production Control in MES**

Network operators and power grid providers are experimenting with new electricity tariffs and new load management programs on their way to creating the Smart Grid. Under the "eMES" research project, the Fraunhofer IPT and its industrial partner companies are jointly developing a prototype for the energy-oriented planning and control of production processes and process chains. The software, modules of which are integrated into an existing Manufacturing Execution System, creates an energy-optimized intra-day job order plan and performs real-time interventions into the production process – within the framework of an energy control circuit – in the event of pre-defined deviations. This enables companies with energy-intensive production processes to decrease their peak loads by up to 40 percent, to make active use of off-peak offers of their providers and to respond positively to load



Programm des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF) unter dem Förderkennzeichen 01IS14025C gefördert.

### **Effizienz- und Effektivitätsgewinne mit Qualitätskultur**

Ein wichtiger Faktor für den Erfolg von Qualitätsmanagement-Praktiken ist die Organisationskultur. Die bis dato größte deutschsprachige Studie zur Erfassung von Organisationskulturen hat untersucht, welche Zusammenhänge bestehen und wie sich Qualitätsmanagement kulturbasiert gestalten lässt. Das Fraunhofer IPT unterstützt Unternehmen dabei, den optimalen »Fit« zwischen Organisationskultur und Qualitätsmanagement zu erreichen. Eine vorangehende Analyse spannt dabei das Gestaltungsfeld zwischen Organisationskultur und Qualitätsmanagement auf. Die Analyse reicht von der Diagnose der Organisationskultur über das Competing Values Framework, ein besonders valides Instrument zur Erfassung von Kultur, bis hin zur Analyse der Anwendung von QM-Praktiken und Ermittlung ausgewählter Kennwerte. Die zweite Phase dient der Optimierung der Qualitätskultur und beginnt mit der kulturbasierten Auswahl, Ausgestaltung und Implementierung passgenauer QM-Praktiken. Sie initiiert Prozesse zur Veränderung der Organisationskultur hin zu einem effizienteren und effektiveren Qualitätsmanagement. Gezielte Qualitätskultur-Benchmarks von Unternehmen bestimmter Branchen oder von Unternehmensteilen dienen dazu, Best Practices zu ermitteln und nutzbar zu machen.

shedding requests. The integrated system has been designed to provide not only algorithms for planning and control functions, but also hardware interfaces to measuring equipment and machines as well as a software link to databases and ERP systems. The project is funded by the German Federal Ministry for Education and Research (BMBF) in the framework of its SME innovation program under the contract number 01IS14025C.

### **Efficiency and Effectiveness Gains Through a Corporate Culture of Quality**

One important factor for the success of quality management practices is the culture of the host organization. The most comprehensive study about different corporate cultures that has so far been conducted in the German-speaking countries has analyzed the ways in which corporate culture and a successful quality management are related and how a culture-based quality management operation could be developed. The Fraunhofer IPT is supporting companies that are trying to create a perfect fit between corporate culture and quality management. An initial analysis establishes the scope of any operation by mapping the terrain, diagnosing the individual traits of the corporate culture, delivering a Competing Values Framework, a specifically relevant instrument that has been designed to identify different corporate cultures, and analyzing various QM practices as well as determining selected parameters. In stage two, a culture of quality is introduced or reinforced, starting with the culture-based selection, design and implementation of customized QM practices. The analysis initiates processes to bring about changes in the corporate culture with a view to increasing efficiency and effectiveness of the company's quality management operation. Quality culture benchmarks of companies from certain industries or business units serve first to identify and then to further disseminate best practices.

# TECHNOLOGIEMANAGEMENT

## TECHNOLOGY MANAGEMENT

Ein durchdachtes Technologiemanagement ist heute kein Luxus mehr, sondern ein wichtiger Eckpfeiler zur Sicherung der Wettbewerbsfähigkeit von Unternehmen. Will ein Unternehmen erfolgreich sein, muss es die eigenen technologischen Fähigkeiten optimal auf die Kundenanforderungen abstimmen, die richtigen Technologien auf dem Schirm haben und gezielt weiterentwickeln sowie dadurch Differenzierungspotenziale aufbauen. Dabei ist es besonders wichtig, frühzeitig die relevanten Technologien zu identifizieren. Viele Fragen ergeben sich dabei aus der Industrie heraus, die oft auf denselben Herausforderungen basieren. Wir haben deshalb unsere Geschäftstätigkeit darauf ausgerichtet, Lösungsansätze für diese Fragen zu konzipieren. Mit unseren Abteilungen für operatives und strategisches Technologiemanagement haben wir den organisatorischen Rahmen dafür geschaffen, die einzelnen Themen entsprechend aufgabenorientiert und fokussiert zu bearbeiten.

### Unsere Leistungen

- Prozess- und Organisationsgestaltung
- Technologiestrategie
- Technologiefrüherkennung
- Technologieplanung
- Technologieentwicklung/-einkauf
- Technologieverwertung
- Technologieschutz
- Technologiebewertung

### Kontakt/Contact

Dipl.-Ing. Dipl.-Wirt. Ing. Markus Wellensiek  
Telefon/Phone +49 241 8904-114  
markus.wellensiek@ipt.fraunhofer.de

Dipl.-Ing. Toni Drescher  
Telefon/Phone +49 241 8904-250  
toni.drescher@ipt.fraunhofer.de

A well designed and sophisticated technology management function is no longer a luxury for companies in today's business world of tough global competition but a necessity. Companies that want to remain competitive must continuously adapt their technological capacities to the requirements of their customers, select the right technologies for further development and be aware of the need to establish and cultivate unique selling points. It is particularly important to identify the relevant technologies at an early stage, something that represents a serious challenge for many industrial companies. This is why we have focused our business activities on the provision of solutions for precisely these issues. By sub-dividing our business unit into departments for operative and strategic technology management, we have provided the structural framework for an adequate weighting of the individual issues.

### Our services

- Technology management audits
- Process design and organizational restructuring
- Technology strategy
- Early recognition of relevant technologies
- Technology planning
- Technology development/procurement
- Commercial exploitation of technology potentials
- Technology protection
- Technology assessments



### **Konsortial-Benchmarking in der Technologiefrüherkennung**

Auf einer Abschlusskonferenz stellte das Fraunhofer IPT gemeinsam mit einem hochkarätigen Industriekonsortium aus 15 Unternehmen am 1. Juli 2014 die fünf besten Unternehmen seines europäischen Benchmarkings in der Technologiefrüherkennung vor. Ziel des Projekts war es, besonders erfolgreiche Ansätze und Konzepte in der Technologiefrüherkennung führender europäischer Unternehmen zu identifizieren. Für ihre herausragenden Leistungen zeichnete das Fraunhofer IPT die 3M Deutschland GmbH, Endress+Hauser AG, Enel S.p.A., Osram GmbH sowie die Wittenstein AG als »Successful Practice in der Technologiefrüherkennung« aus. Zum Projektbeginn im September 2013 erarbeitete das Fraunhofer IPT zunächst in enger Zusammenarbeit mit einer Jury aus Technologieexperten erfolgreicher internationaler Unternehmen die aktuellen Herausforderungen in der Technologiefrüherkennung. Diese bildeten die Basis für eine schriftliche Befragung, an der sich 207 Führungskräfte ausgewählter europäischer Unternehmen beteiligten. Im Vordergrund der Analyse standen der Prozess der Technologiefrüherkennung, ihre Organisation, Methoden, Tools, ihr Controlling, die Anbindung an die Strategie sowie die Bewertung von Technologien in frühen Phasen. Ausführliche Interviews mit den aussichtsreichsten Kandidaten führten zu detaillierten, anonymisierten Fallstudien. Das Konsortium wählte auf dieser Grundlage die fünf besten Unternehmen aus, besuchte sie und analysierte sie vor Ort. In allen Fällen bestätigte sich, dass die ausgewählten Unternehmen auf besonders erfolgreiche Ansätze der Technologiefrüherkennung setzen. Während der Abschlusskonferenz stellte Professor Günther Schuh die Projekterkenntnisse in Form von zehn handlungsleitenden Thesen zur Technologiefrüherkennung vor. Wie eine erfolgreiche Umsetzung in der Praxis aussehen kann, präsentierten die Sieger-Unternehmen in jeweils eigenen Vorträgen und wurden anschließend durch Professor Günther Schuh ausgezeichnet.

### **Fraunhofer IPT awards "Successful Practices in Technology Intelligence"**

The five best in class companies in technology intelligence, identified within the European benchmarking study of the Fraunhofer IPT, together with a consortium of 15 renowned companies, have been awarded at the final conference on July 1, 2014. Aim of the benchmarking project was to identify successful approaches and concepts in technology intelligence of leading European companies. For their outstanding approaches, the Fraunhofer IPT awarded 3M Deutschland GmbH, Endress+Hauser AG, Enel S.p.A., Osram GmbH, and Wittenstein AG as "Successful Practices in Technology Intelligence". At the beginning of the project in September 2013, the Fraunhofer IPT and the consortium partners elaborated current challenges in technology intelligence. Based on these challenges, a questionnaire-centered European study was conducted that 207 managers of leading companies participated in. The benchmarking study focused on the process of technology intelligence, its organization, methods, tools and controlling, its linking to the strategic level, as well as the assessment of technologies in early stages. Detailed interviews with potential "Successful Practice" candidates were conducted and documented in anonymized case studies, all of which were presented to the consortium partners at the "Review Meeting" in February 2014. The consortium partners then chose five companies to visit in the next selection phase. Every company visit confirmed that the selected companies implemented successful approaches in technology intelligence and may rightfully be awarded as "Successful Practice in Technology Intelligence". During the final conference Professor Günther Schuh presented the highlights of the benchmarking project. The Successful Practices afterwards demonstrated how a successful implementation can look like in practice and were finally awarded by Professor Günther Schuh.

### **Invention Center auf dem RWTH Aachen Campus**

Mit dem Invention Center auf dem RWTH Aachen Campus haben das Fraunhofer IPT, sein jüngstes Spin-off, die KEX AG, das WZL der RWTH Aachen und die TIME Research Area an der RWTH Aachen eine neue Erlebniswelt für Technologietrends und Innovationen geschaffen: Ziel ist es, Unternehmen den Zugang zu Technologiewissen zu erleichtern, exzellente Technologie- und Innovationsmanager zu qualifizieren und weiterzubilden, gemeinsam mit Industriepartnern zu forschen und die Partner mit passenden Experten in einer Community zu vernetzen.

Die Institute und Unternehmen auf dem RWTH Aachen Campus machen mit dem Invention Center wissenschaftliche Forschungsergebnisse und Trends für ihre Partner zugänglich. Diese profitieren davon, indem sie schnell, gezielt und individuell, etwa in Form von Technologie- oder Marktstudien, auf die Erfahrungen und Dienstleistungen der Forschungsinstitute zugreifen können. Die Entwicklungsumgebung der Erlebniswelt soll einen kreativen Rahmen für gemeinsame Innovationsprojekte schaffen, um Ideen in kürzerer Zeit und mit geringeren Kosten als bisher in serienreife Produkte zu überführen.

Die Gründungsveranstaltung fand am 24. Juni 2014 im Gebäude des Clusters Logistik auf dem RWTH Aachen Campus statt. Die RWTH-Professoren Malte Brettel, Christian Hopp, Frank Piller, Günther Schuh und Daniel Wentzel des »Scientific Boards« und der Centerleiter Toni Drescher begrüßten hier die Unternehmen, die sich bereits im Invention Center engagieren und öffneten gleichzeitig die Tür für weitere Interessenten. Über 50 regionale und nationale Unternehmen nahmen an der Gründungsveranstaltung teil.

### **Invention Center on the RWTH Aachen Campus**

The Invention Center on the campus of the RWTH Aachen University was created by the Fraunhofer IPT in cooperation with KEX AG, the WZL and TIME Research Area to provide a new "industrial theme park" for technological trends and innovations. The new Center aims to allow enterprises an easier access to technological knowledge, to train a new breed of highly qualified technology and innovation managers, to conduct research projects alongside partners from the manufacturing industry and to establish community networks that connect these partners with supremely skilled experts.

The research institutes and enterprises that are represented on the RWTH Aachen campus are using the Invention Center to provide their partners with information about new trends and the results of their scientific research. These partners can quickly access specific technology or market studies, benefiting from the experiences and services of the research institutions. The technology environment of the new Center is meant to provide a creative framework for joint development projects, shortening development times and cutting development costs for the journey of innovative products from the drawing board to the market.

The official opening of the Center was celebrated on 24 June 2014 with a festive gala in the building of the Logistics Cluster on the campus of the RWTH Aachen University. The RWTH professors Malte Brettel, Christian Hopp, Frank Piller, Günther Schuh and Daniel Wentzel from the "Scientific Board" and the Center's Chief Executive Toni Drescher welcomed the enterprises which had already seized the opportunity of getting involved while also inviting other companies to join them. The ceremony was attended by representatives from more than 50 companies with a regional and nation-wide footprint.



### **Strategische Ausrichtung einer Forschungs- und Entwicklungsabteilung**

Das Fraunhofer IPT wurde von einem Werkzeug-Hersteller mit der strategischen Ausrichtung seiner zentralen Forschungs- und Entwicklungs-Abteilung beauftragt. Die Abteilung sollte strukturell sowie auch inhaltlich strategisch ausgerichtet werden, wobei das Hauptziel der Abteilung darin besteht, für unterschiedliche Business Units Technologien und Innovationen bereitzustellen. So sollte im Zuge des Projekts einerseits der Prozess der Ideenfindung und Technologiefrüherkennung reorganisiert werden. Auf der anderen Seite galt es, »weiße Flecken« in der derzeitigen Technologiestrategie zu identifizieren. Zur Reorganisation der Prozesse führte das Fraunhofer IPT zunächst Workshops mit den Mitarbeitern und dem Management durch, in denen der aktuelle Stand und die Schwachstellen der aktuellen Prozesse aufgenommen wurden. Anschließend entwickelte das Projektteam ein Zielkonzept für die umstrukturierten Prozesse. Um für den Kunden bisher unbekannte aber relevante Felder zu identifizieren, wurde ein umfassendes Technologie-Scanning außerhalb seiner Kernbranchen durchgeführt. Dazu analysierte das Fraunhofer IPT die Treiberbranchen hinsichtlich technologischer Trends und Technologien. Nach einer Detailanalyse wurden die gefundenen Themen nach ihrer Auswirkung auf das Kerngeschäft und nach ihrem technologischen »Fit« bewertet. Wichtig war hier die enge Einbindung des Kunden, da dieser die Technologien im Unternehmenskontext bewerten musste. Für die identifizierten Themen wurden die strategischen Positionierungen festgelegt und eine Technologiestrategie formuliert. Basierend auf diesen Erkenntnissen wurden dann Technologiefrüherkennungs-Radare mit Suchstrategien und -aufträgen für die weiteren Suchaktivitäten der FuE-Mitarbeiter definiert. Ergebnis des Projekts waren eine neu ausgerichtete Technologie- und Innovationsstrategie, die miteinander durch überarbeitete Ideenfindungs- und Technologiefrüherkennungsprozesse verzahnt wurden. Die Strategien waren darüber hinaus mit den Business Units und der Gesamtstrategie abgestimmt.

### **Strategic Orientation of an R&D Unit**

A tool manufacturer assigned the Fraunhofer IPT to provide his department for research and development with a new strategic orientation. The assignment included the structural and strategic reorganization of the department whose main objective is the provision of technologies and concepts for the company's business units. The project included a restructuring of the brainstorming, innovation management and early technology adoption processes as well as the development of techniques of how to identify "white spots" in the company's technology strategy. For the restructuring, the Fraunhofer IPT first conducted workshops – attended by members of both workforce and management – to assess the current state and weaknesses of the processes before the project team proceeded to establish new targets as part of a revised R&D concept. In order to help the client identify areas whose strategic relevance had not yet been sufficiently recognized, the team performed a comprehensive technology scanning operation that focused on the non-core business areas. The Fraunhofer IPT also analyzed those activities that acted as the driving forces of new technologies and trends. Following a detailed analysis, key areas of relevance were assessed in terms of their impact on the core business and their technological "fit". This assessment was performed in close coordination with the client who had to evaluate the technologies in the context of his enterprise. The technology areas that had been identified as relevant were then strategically positioned, and a technology strategy was developed. Based on these results, the techniques of recognizing interesting technologies at an early stage were re-assessed, including search strategies and requests for the corresponding activities of the employees in the R&D unit. The project produced re-structured technology and innovation strategies that were connected with one another through revised brainstorming, innovation management and early technology adoption processes. The new strategies were closely coordinated with the business units and aligned with the overall corporate strategy.

**UNSERE AUSSENSTELLEN**  
**OUR BRANCH OFFICES**



Aachen ist eines der wichtigsten Zentren der Produktionstechnik. Das Fraunhofer IPT bietet seine Forschungs- und Entwicklungsdienstleistungen darüber hinaus auch an weiteren Standorten im In- und Ausland an:

Die Fraunhofer-Projektgruppe Entwurfstechnik Mechatronik befasst sich als Institutsteil des Fraunhofer IPT in Paderborn mit der Entwicklung mechatronischer Systeme.

Das Fraunhofer Center for Manufacturing Innovation CMI arbeitet eng mit dem Fraunhofer IPT zusammen. Am Standort Boston/USA bieten wir unseren Kunden nicht nur produktionstechnische Forschungs- und Entwicklungsleistungen vor Ort, sondern auch einen nachhaltigen Technologietransfer zwischen der europäischen und der amerikanischen Industrie.

#### **118 Paderborn**

Fraunhofer-Projektgruppe Entwurfstechnik Mechatronik  
Fraunhofer Project Group Mechatronic Systems Design

#### **122 Boston/USA**

Fraunhofer Center for Manufacturing Innovation CMI

Aachen is one of the most important centers of production technology. The Fraunhofer IPT also provides its research and development services through other locations in Germany and abroad:

The Fraunhofer Project Group Mechatronic Systems Design as the Paderborn branch of the Fraunhofer IPT works on the development of mechatronic systems.

The Fraunhofer CMI works closely with the Fraunhofer IPT. At our Boston/USA site location we offer our customers not only production technology research and development services on site, but also a sustainable technology transfer between European and American industry

# FRAUNHOFER-PROJEKTGRUPPE ENTWURFSTECHNIK MECHATRONIK FRAUNHOFER PROJECT GROUP MECHATRONIC SYSTEMS DESIGN

Die Fraunhofer-Projektgruppe Entwurfstechnik Mechatronik ist Teil des Forschungs- und Entwicklungsclusters »Zukunftsmeile Fürstenallee« in Paderborn. Durch die enge Kooperation mit dem Heinz Nixdorf Institut und der Universität Paderborn verfügt die Projektgruppe über umfassendes Wissen im Bereich von Methoden und Werkzeugen für die Entwicklung mechatronischer Systeme. Als Kooperationspartner vieler bedeutender Industrieunternehmen gestaltet die Projektgruppe aktiv den Wandel von der Mechanik hin zu intelligenten technischen Systemen und erweitert durch innovative Forschungsprojekte das Instrumentarium der Entwurfsmethoden und -werkzeuge, um die Vision »Industrie 4.0« Realität werden zu lassen.

## Unsere Leistungen

- Anforderungsspezifikation mit Satzmustern
- Leistungssteigerung in der Softwareentwicklung
- Requirements Engineering
- X-in-the-Loop-Entwicklungs- und Testumgebungen
- Model-based Systems Engineering
- Leistungssteigerung durch Virtual Prototyping und Simulation
- Integrierte mechatronische Systeme durch 3D-MID
- Intelligent geregelte Fertigungsmaschinen
- Modellbildung, Simulation und Virtualisierung
- Durchgängige, modellbasierte Softwareentwicklungsprozesse

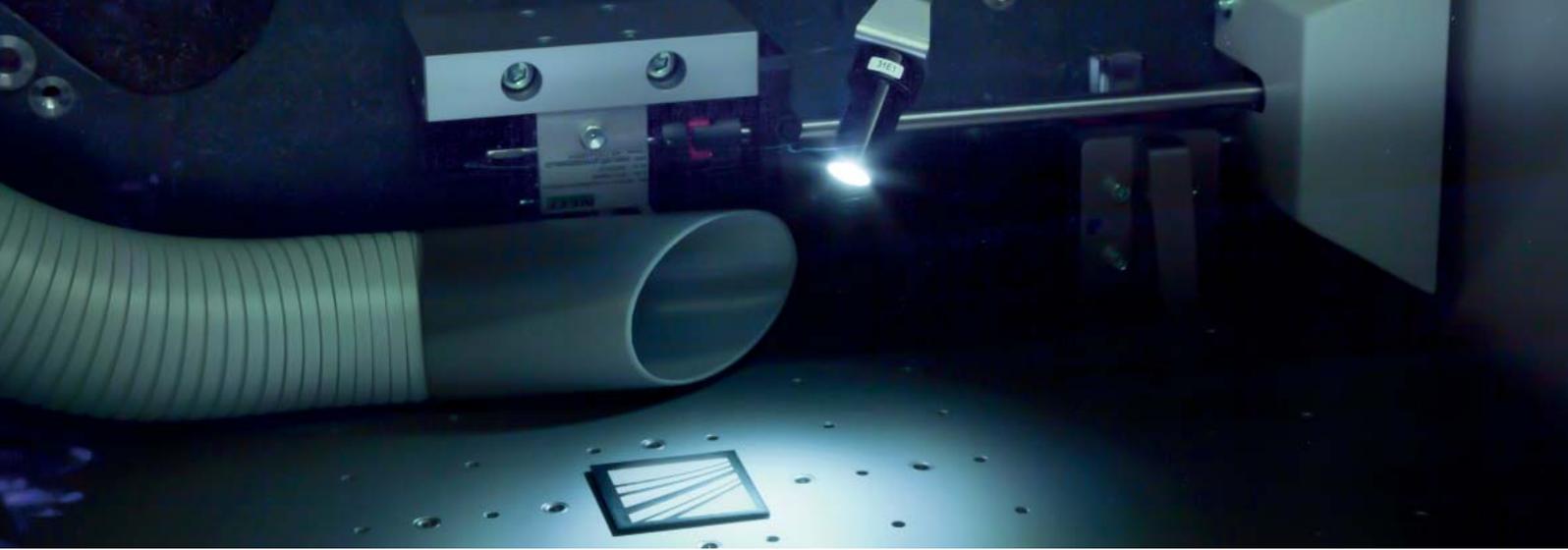
## Kontakt/Contact

Dipl.-Ing. Michael Grafe  
Telefon/Phone +49 5251 5465-104  
michael.grafe@ipt.fraunhofer.de

The Fraunhofer Project Group for Mechatronic Systems Design belongs to the "Zukunftsmeile Fürstenallee" Research and Development Cluster in Paderborn. Through its close cooperation with the Heinz Nixdorf Institute and the University of Paderborn, the Project Group has access to comprehensive expertise about the techniques and tools required for the development of mechatronic systems. Collaborating closely with a wide range of industrial corporations, the Project Group actively promotes the move from mechanical to intelligent technology systems, using innovative research projects to enlarge the range of design techniques and tools with the ultimate objective of implementing and realizing the vision of "Industry 4.0".

## Our Services

- Requirement specifications with prototype series
- Assistance for the development of more efficient software-development processes
- Requirements engineering
- "X-in-the-loop" development and testing environments
- Model-based systems engineering
- More efficiency through virtual prototyping and simulation
- Integrated mechatronic systems through 3D-MID
- Intelligently controlled manufacturing equipment
- Modelling, simulation and virtualization
- Integrated, model-based software development processes



Ein steigender globaler Wettbewerbsdruck und die Individualisierung der Produktion bis hin zur Fertigung von Einzelstücken führen zu immer flexibleren Produktionssystemen. Es entstehen komplexe, informationsverarbeitende Systeme, in denen bereichs- und unternehmensübergreifende Leistungserstellungsprozesse und deren durchgängige Unterstützung durch Informations- und Kommunikationstechnik eine herausragende Rolle spielen.

Vor diesem Hintergrund werden Geräte und Systeme unserer realen Umgebung, die durch eingebettete Software gesteuert werden, zunehmend in das weltumspannende Kommunikationsnetz integriert, wofür der Begriff »Internet der Dinge« steht. Im Kontext der industriellen Produktion eröffnet sich eine neue Perspektive, die von vielen als die vierte industrielle Revolution gesehen wird – Industrie 4.0.

### **Disziplinübergreifendes Variantenmanagement zur Reduzierung der Entwicklungskosten**

Im Rahmen eines Transferprojekts des Spitzenclusters »it's OWL«, beschäftigt sich die Fraunhofer-Projektgruppe Entwurfstechnik Mechatronik gemeinschaftlich mit der Janz Tec AG mit dem disziplinübergreifenden Variantenmanagement zur Reduzierung der Entwicklungskosten.

Die besondere Stärke der Janz Tec AG ist die kundenindividuelle Anpassung und Entwicklung von einzelnen Baugruppen bis hin zu vollständigen Computersystemen. Dabei können die Kunden bei der Zusammenstellung ihres Computersystems aus einer Vielzahl von Hardware- und Softwarekomponenten auswählen. Aktuell werden die verschiedenen Varianten manuell durch die Entwickler verwaltet und auf Realisierbarkeit geprüft, was aufgrund einer hohen Anzahl von Abhängigkeiten zwischen den Komponenten zu einem großen Zeit- und Arbeitsaufwand führt. An dieser Stelle helfen die Techniken zum Variantenmanagement. Diese ermöglichen eine modellbasierte Repräsentation der Varianten eines Com-

Globally rising competitive pressures and the increasing need to customize production units down to individual items require ever more flexible production systems. Complex data-processing systems are evolving that are characterized by cross-BU and cross-corporate performance management processes as well as their integrated support through information and communication technology.

Industrial equipment and systems which are controlled through embedded software are increasingly integrated into the global communication network – a phenomenon which has been described by the term "the Internet of things". New perspectives are opening up for industrial manufacturers, summarized by some observers as the fourth industrial revolution or "Industry 4.0".

### **Cross-Discipline "Variant Management" as a Means of Reducing Development Costs**

Under a transfer project of the "it's OWL" Leading-edge cluster, the Fraunhofer Project Group for Mechatronic Systems Design – in coordination with Janz Tec AG – is using the concept of cross-discipline "variant management" as an instrument for the reduction of development costs.

Janz Tec AG has specialized on the customer-specific production and customized development of any product from individual assemblies to complete computer systems, allowing its clients to assemble their computer systems from a wide range of hardware and software components. Currently, the various variants are managed manually, and the development engineers check their feasibility one-by-one. Due to the large number of dependencies between the individual components, this mode of operation requires a lot of time and effort. This is where variant management comes into the picture. Variant management techniques allow the creation of different models for the various variants of a computer system, based on its technical features each of which represents a hardware

putersystems auf Basis sogenannter Features. Jedes Feature repräsentiert eine Hardware- oder Softwarekomponente, die in einem Computersystem eingesetzt werden kann. Auf Basis eines solchen Modells können kundenspezifische Varianten computerunterstützt erstellt und bestehende Abhängigkeiten zwischen den gewählten Komponenten automatisiert ausgewertet werden.

Im Rahmen des Projektes entwickelt die Fraunhofer-Projektgruppe eine speziell auf die Bedürfnisse der Janz Tec AG angepasste Methode und ein prototypisches Werkzeug für das Variantenmanagement auf Basis der Featuremodellierung. Die entwickelte Methode und das Werkzeug zum Variantenmanagement werden im Rahmen des Projekts auch in die Unternehmensprozesse integriert, mit dem Ziel, die aktuellen Arbeitsabläufe bei der Konfiguration und Bewertung eines kundenspezifischen Computersystems bestmöglich zu unterstützen. Dadurch kann die Konfiguration eines kundenspezifischen Computersystems effizienter durchgeführt werden und sie ist weniger fehleranfällig.

#### **Entwicklungsplaner zur Wirtschaftlichkeitsbetrachtung und Entwicklung von MID-Produkten – MID-Plan**

Die zunehmende Individualisierung sowie Variantenvielfalt und kürzere Produktlebenszyklen bilden eine Herausforderung für produzierende Unternehmen. In der Produkt- und Prozessentwicklung führt dies zu einem stetig wachsenden Zeit- und Innovationsdruck. Die räumliche Integration mechatronischer Komponenten, verbunden mit Funktionsintegration und Miniaturisierung, eröffnet dabei neue Möglichkeiten durch den Einsatz spritzgegossener Schaltungsträger (Molded Interconnect Devices).

Ein Lösungsansatz besteht in der integrativen Entwicklung von Produkt- und Produktionssystem. Die für MID-Bauteile typische Integralbauweise verstärkt interdisziplinäre Abhängigkeiten, da die Integration mechanischer und elektronischer

or software component that could be integrated into the computer system. On the basis of such a model, virtual customer-specific variants can be created on a computer that enable the automated evaluation of all dependencies between the selected components.

Under the project, the Fraunhofer Project Group is developing a method that is customized to meet the needs and requirements of Janz Tec AG as well as a prototype tool for a type of variant management that involves feature-based modelling. During the project, both method and variant management tool will be integrated into the corporate processes, aiming to provide the best possible support for the current operating procedures for the configuration and the assessment of customized computer systems. This will allow a more efficient and less error-prone configuration of client-specific computer systems.

#### **Development Roadmap for Profitability Assessments and the Design of MID Products – MID Plan**

Increasing levels of customization, wide ranges of product variants and shorter product life cycles represent huge challenges for manufacturing companies as their product and process development departments are subjected to increasing time and innovation pressures. The spatial integration of mechatronic components, combined with functional integration and miniaturization, can open up new perspectives and opportunities by applying molded interconnect devices (MIDs).

One possible way of meeting these challenges is the integrated development of product and production system. The integral design and construction – an approach that typifies MID components – emphasizes interdisciplinary dependencies, since the integration of mechanical and electronic functional elements causes many interactions within the MID component. Already at the planning stage, the concept for the product is influenced and restricted by the requirements of the



Funktionsträger zu zahlreichen Wechselwirkungen innerhalb des MID-Bauteils führt. Bereits während der Planung wird das Produktkonzept durch zahlreiche Restriktionen potenzieller MID-Herstellverfahren determiniert, weshalb Produkt und Produktionssystem von Beginn an parallel und integrativ zu entwickeln sind.

Durch die häufig fehlende MID-spezifische Systematik mangelt es den Unternehmen an Erfahrung bei der Entwicklung von MID-Produkten. In diesem Verbundprojekt soll ein MID-Entwicklungsplaner geschaffen werden, der eine MID-gerechte Konstruktion unterstützt und auf einem umfassenden methodischen Instrumentarium aufbaut. Diese Methoden, die Lösungswissen in Form von Mustern und frühzeitigen Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen bereitstellen, sollen als Softwaretool umgesetzt werden und sich in eine vorhandene IT-Landschaft einbetten lassen. Die Unterstützung dient neben Entwicklungsingenieuren vor allem Projektleitern und -planern, die Produkt und Produktionssystem frühzeitig determinieren und Entscheidungen wirtschaftlich begründen müssen.

In Zusammenarbeit mit dem projektbegleitenden Ausschuss (PBA) wird relevantes Entwicklungswissen abstrahiert und in eine Datenbank überführt. Dies kann in Form von Mustern und Kostensätzen für eine Neukonzeption wiederverwendet werden, was einer wesentlich breiteren Basis an interessierten Unternehmen den Einstieg in die Technologie ermöglicht.

Das Vorhaben wird federführend von der Fraunhofer-Projektgruppe Entwurfstechnik Mechatronik aus Paderborn bearbeitet, deren Forschungsschwerpunkte von Methoden und Werkzeugen für die Entwicklung mechatronischer Produkte über modellbasierte Entwürfe für intelligente und effizient entwickelte Systeme bis hin zu Softwarelösungen reichen. Ebenfalls am Projekt beteiligt sind das Heinz Nixdorf Institut der Universität Paderborn und der Lehrstuhl für Fertigungsautomatisierung und Produktionssystematik der Universität Erlangen-Nürnberg (FAPS).

potential MID production processes, which is why the product and the production system need to be developed “in sync” right from the start.

Many companies, lacking all experience with the development of MID products, do not operate a system that is either suitable for or conducive to the use of MIDs. This joint project aims to create an MID development roadmap that will support MID-specific construction methods and that is based on a comprehensive apparatus of appropriate processes and techniques. It is planned to implement such methods, which provide useful knowledge in the form of prototypes and early profitability assessments, as software tools and to embed them into existing IT environments. The support will assist development engineers, project managers and project planners whose job it is to conceive products and production systems at an early stage and who must be able to justify their decisions with hard economic facts.

In close coordination with the Project Management Committee, experiences from the development process will be distilled into papers and reports that are collected in a dedicated database. These documents – including prototypes and cost calculations – can then be re-used for new concepts, allowing a much broader base of companies access to this innovative technology.

The project is managed by the Fraunhofer Project Group for Mechatronic Systems Design, which focuses its research on the development of methods and tools for the design of mechatronic products, model-based designs for intelligent and efficiently developed systems and software solutions. The Heinz Nixdorf Institute of the University of Paderborn and the Institute for Automation and Production Systems of the University of Erlangen-Nuremberg are also involved in the project.

# FRAUNHOFER CENTER FOR MANUFACTURING INNOVATION CMI – USA

Gemeinsam mit der Boston University erforscht und entwickelt das Fraunhofer CMI am Standort Boston/USA produktions-technische Lösungen für ein weites Branchenspektrum – von der Biotechnologie und Biomedizintechnik über die Photonik bis hin zu den erneuerbaren Energien. Ingenieure, Hochschulpartner und Studierende arbeiten am Fraunhofer CMI gemeinsam daran, die Ergebnisse der Grundlagenforschung in industrietaugliche Praxislösungen zu überführen, die von lokalen wie globalen Kunden und Projektpartnern genutzt werden. Im Mittelpunkt der Entwicklungsarbeiten stehen hochpräzise Automatisierungssysteme für Hightech-Anwendungen sowie medizintechnische Instrumente.

## Unsere Leistungen

- Produktentwicklung
- Entwicklung und Aufbau hochpräziser Automatisierungslösungen
- Laboruntersuchungen und -instrumente

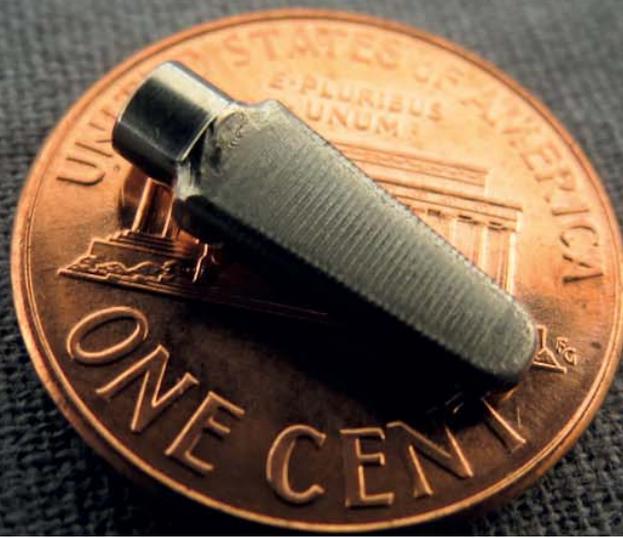
## Kontakt/Contact

Prof. Dr. Andre Sharon  
Telefon/Phone +1 617 353-1888  
sharon@bu.edu

In collaboration with Boston University, the Fraunhofer CMI conducts advanced research and development leading to engineering solutions for a broad range of industries, including biotech/biomedical, photonics, and renewable energy. Engineers, faculty, and students at the Center scale up basic research into advanced technologies that meet the needs of both domestic and global client companies. The primary focus is on the development of next-generation high-precision automation systems, instruments and medical devices.

## Our services

- Product development
- Design and build of high precision automation solutions
- Laboratory assays and instruments



### Entwicklung eines Piezoplast-Systems für Zahnersatz

Wo ein Zahn ausfällt, entsteht nicht nur eine Lücke – auch der Kieferknochen baut sich an dieser Stelle nach und nach ab: Je länger der Zahn fehlt, desto stärker schwindet der Knochen. Bei der Implantation von Zahnersatz wird der fehlende Kieferknochen daher häufig durch totes Knochenmaterial ergänzt: Mehr als 50 Prozent aller Patienten brauchen solch einen Ersatz des Kieferknochens vor oder während der Implantation des Zahnersatzes. Das Piezoplast-System, das in einer Kooperation des Fraunhofer CMI mit der Boston University Dental School entwickelt wurde, löst das Problem auf etwas andere Weise: Das komplette Implantat wird an die Form des vorhandenen Kieferknochens angepasst, sodass ein Knochenersatz nicht mehr erforderlich ist. Um solche Implantate einzusetzen, kommt ein Piezotom zum Einsatz – eine winzige Knochensäge, die durch Ultraschall mit Amplituden im Sub-Mikrometerbereich schwingt. Das Piezotom kann auf diese Weise unterschiedlichste Formen erzeugen, selbst unrunde Schnitte für enge Spalten im Knochen sind möglich. Auch sehr schmale Implantate lassen sich auf diese Weise präzise einpassen. Dadurch, dass die Implantate nicht auf die zylindrische Form beschränkt sind wie herkömmliche Produkte, können stabilere Implantate mit an den schmalen Kieferknochen angepassten Querschnitten eingesetzt werden. Für das Design des Piezotoms nutzte das Fraunhofer CMI herkömmliche Werkzeuge für die Finite-Elemente- und Modalanalyse, um die Eigenfrequenz des Piezotoms an die des Instruments anzupassen. Eine Reihe verschiedener Werkzeuge wurde entwickelt, mit denen sich die Bohrung im Kiefer an das Implantat Schritt für Schritt anpassen lässt – von einem konventionellen runden Bohrer über ein grobes Werkzeug zum schnellen Abtragen bis zu einem feinen Werkzeug für die Endbearbeitung der Bohrung. Prototypen sowohl der Piezotom-Systeme als auch erster Implantate wurden bereits hergestellt und getestet: Die Implantate wurden vor allem hinsichtlich Belastung und möglicher Materialermüdung

### Development of Piezoplast System for Dental Implants

Tooth loss leads to local resorption of the jaw bone. The longer the tooth is missing, the more bone is lost. When using dental implants, bone augmentation with cadaver bone is the most common solution to enlarge the jawbone at the desired implant site. More than 50 percent of patients require bone augmentation before or during dental implant placement. The Piezoplast system, jointly developed by the Fraunhofer CMI and the Boston University Dental School, is based on the notion that the implant should match the shape of the available bone, thus eliminating the need for bone augmentation. A piezotome is a miniature bone saw vibrating at ultrasonic frequencies and sub-millimeter amplitudes. The piezotome is capable of creating various shapes of non-round cuts, thus for narrow bone ridges narrow bone cuts can be made and flat implants may be precisely fitted. Since the design of the Piezoplast is not restricted to a cylindrical shape like most available products, stronger implants can be shaped after the narrow ridge of the jaw bone. During the design of the piezotomes, Fraunhofer CMI employed sophisticated finite element and modal analysis tools to match the natural frequency of the piezotome tool to that of the instrument. A number of successive tools were developed to facilitate the step-by-step shaping of the implant site. Beginning with a traditional round drill, continuing with a course roughing tool and finishing with a fine finishing tool. Prototypes for both implants and piezotomes have been fabricated and tested. The Piezoplasts were examined with respect to fatigue and stress distribution during and after placement. In vivo testing is currently in progress to assess the integration and function of the Piezoplast. This is accomplished by placing Piezoplasts in the mouth of mini pigs and monitoring the success of the implant.

während und nach dem Einsetzen geprüft. Die Untersuchung der Piezoimplants »in-vivo« findet augenblicklich statt, indem die Implantate in sogenannte Minipigs eingesetzt werden und ihre Funktionsfähigkeit längerfristig überwacht wird.

### **Laserschneiden für die Münzherstellung**

Das Fraunhofer CMI untersucht die technische und ökonomische Machbarkeit der Herstellung von Münzrohlingen durch das Laserschneiden. Traditionell werden diese in einem Stanzprozess aus einem laufenden Metallstreifen gefertigt. Um einen glatten, gleichmäßigen Rohling herzustellen, muss dieser aus einem festen Material gestanzt werden. Anschließend werden die Rohlinge weichgeglüht, gestaucht und geprägt. Die US-amerikanische Münzbehörde, die United States Mint, betreibt zu diesem Zweck eine Anzahl an außerordentlich großen, drehenden Retortenöfen. Das Laserschneiden erlaubt es, die Rohlinge direkt aus einem vorgeglühten Metallstreifen zu schneiden, ohne dass dafür zusätzlich Öfen bereitgehalten werden müssen und zusätzliche Kosten entstehen. Dadurch dass die Retortenöfen entfallen, entfällt hier eine wesentliche Engstelle im Fertigungsprozess und es müssen keine gesonderten Räumlichkeiten dafür vorgehalten werden. Zusätzlich arbeitet das Verfahren verschleißarm und das regelmäßige und kostspielige Schärfen der Stanzwerkzeuge entfällt. Diese Vorteile können die zusätzlichen Kosten für den Laser und die längeren Fertigungszeiten ausgleichen und im herkömmlichen Fertigungsprozess eine echte Innovation ermöglichen. Das Fraunhofer CMI arbeitet dazu mit dem Fraunhofer Center for Coatings and Laser Applications zusammen und optimiert den Laserschneidprozess durch den Einsatz der neuesten kommerziell verfügbaren Scheibenlaser-Technologie. Auf der Basis eines optimierten Schneidprozesses führen die Partner in diesem Projekt unterschiedliche Messungen an Beispielrohlingen durch und prüfen anhand einer ökonomischen Analyse das Potenzial und die Kosteneffizienz des Laserschneidens der Münzrohlinge.

### **Laser Blanking for Coin Production**

Fraunhofer CMI is investigating the technical and economic feasibility of producing coin blanks by laser cutting. Traditionally, the process is performed as a die stamping process from a continuous roll of sheet material. To produce a flat blank, blanking must be performed with the strip material in a hard condition, but then the blanks must be annealed prior to upsetting and striking. This requires the US Mint to operate and maintain a number of very large rotary retort furnaces. The physics of laser cutting allows blanks to be cut directly from pre-annealed strip material, eliminating the need of on-site furnaces and their associate cost. Elimination of furnaces removes a process bottleneck and frees up significant floor space. Additionally, laser blanking eliminates the problem of die wear and its costly and frequent required sharpening. These potential advantages may offset the added cost of lasers and possibly longer cycle times and bring innovation to a mature production process. The Fraunhofer CMI is collaborating with the Fraunhofer Center for Coatings and Laser Applications to optimize the laser cutting process using the latest commercially-available disk laser technology. Based on the optimized cutting process, various metrological measurements are being performed on sample blanks and an economic analysis is being prepared to explore the feasibility and cost-effectiveness of laser cutting coin blanks.

### **Impact Hammer for Sheet Metal**

Traditionally, sheet metal may be formed into various shapes by hammering the metal on various anvils. This labor intensive, physical process requires master craftsmen and is normally only suited to low volume production or prototype work. As products transition to higher volume, stamping dies are fabricated to greatly speed the process and reduce cost in quantity. However, there are some products which can benefit greatly from the unique metallurgy that is produced by individual hammer strikes. Applying automation to this labor intensive



### **Schmiedehammer für die Blechumformung**

Ein traditioneller Weg Blech in Form zu bringen ist, es auf dem Amboss zu schmieden. Dieser arbeitsintensive Prozess, von einem Handwerksmeister ausgeführt, bringt jedoch nur geringe Stückzahlen oder Prototypen hervor. Für größere Stückzahlen kommen Stanzformen zum Einsatz, die den Prozess beschleunigen und Stückkosten senken. Einige Produkte erhalten besondere Eigenschaften aufgrund des metallurgischen Verhaltens des Werkstoffs, das auf die Hammerschläge des Handwerkers zurückzuführen ist. Diesen Prozess zu automatisieren war bisher aufgrund der Variationen in Größe, Form und Gewicht der Produkte schwierig: Für unterschiedliche Muster des Hammerschlags muss die Werkstückhalterung so flexibel sein, dass die gesamte Oberfläche erreicht wird. Außerdem kann sich das Metall bei der Bearbeitung unvorhersehbar verformen. Zwar lässt sich das korrigieren, aber das automatisierte System muss sich an die Verformungen anpassen. Das Fraunhofer CMI hat ein System entwickelt, das eine große Vielfalt an Formen aus Metallblechen herstellen kann: Dazu wurden zwei Schmiedehämmer in eine Fertigungszelle mit Beladeroboter integriert. Diese arbeitet selbstständig, indem der Roboter die Rohlinge von einem Förderwagen nimmt und die fertigen Bauteile auf die gleiche Weise wieder ablegt. Die Hämmer werden durch ein hydraulisches Rammsystem bewegt. Sie können je nach Positionierung des Werkstücks bis zu zehn Schläge pro Sekunde ausführen. Gleichzeitig können unterschiedliche Ambosstypen ein jeweils ein unterschiedliches Schlagbild bewirken. Die Krafteinwirkung der Hammerschläge ist ebenso programmierbar wie beispielsweise das Schlagmuster und die Dicke des Metalls. Der Bediener der Anlage muss nur das passende Programm aus einem Auswahlménü wählen. Den Rohling positioniert ein robustes Mehrachssystem mit Linear- und Rotationsachsen. Das gewährleistet, dass die gesamte Oberfläche des Werkstücks erreicht und bearbeitet werden kann, ohne dass Vibrationen und Schlagkräfte das Ergebnis beeinträchtigen. Die Fertigungszelle stellt die Produkte damit nun deutlich schneller und kostengünstiger her.

process has been difficult due to the wide variation in the size, shape, and weight of products that are manufactured. The different hammer patterns require a flexible holding system to allow nearly all of the sheet metal surface to be reached. Furthermore, the hammering can cause some metal to deform in process in an unpredictable way. This form is corrected in subsequent processes, but an automated hammering system must accommodate this changing shape. The Fraunhofer CMI has developed a new impact hammer system for the production of a wide variety of sheet metal shapes. Two impact hammers are incorporated into a workcell serviced by one loading robot. The workcell allows unattended processing, with the robot loading incoming metal blanks from material handling carts, and outputting processed parts on similar carts. The hammers themselves use a high performance hydraulic ram system for the hammering action. The hammer can cycle in excess of 10 strikes per second, limited by the amount of positioning required between each strike. Interchangeable anvils can provide different hammering characteristics. The hammering force is programmable, as are all crucial process parameters such as the pattern and metal thickness. The operator needs to only select the appropriate program from a menu of choices. Manipulation of the sheet metal blank is accomplished with a robust, multi-axis positioning system using linear and rotary axes to provide full access to the metal surface for multiple shapes while withstanding the intense vibration and forces of the hammering operation. The workcell successfully processes the products while greatly reducing the required labor.

# EREIGNISSE, PUBLIKATIONEN, REFERENZEN EVENTS, PUBLICATIONS, REFERENCES



- 128 **Konferenzen**  
Conferences
- 132 **Ehrungen**  
Awards
- 135 **Messen**  
Fairs
- 136 **Veröffentlichungen 2014**  
Publications 2014
- 150 **Dissertationen 2014**  
Dissertations 2014
- 151 **Referenzen**  
References

# KONFERENZEN

## CONFERENCES

8.-9. April 2014

### **Aachener Kunststoffoptiktage**

Das Fraunhofer IPT veranstaltete zusammen mit dem Fraunhofer ILT und dem Institut für Kunststoffverarbeitung (IKV) 2014 die ersten Aachener Kunststoffoptiktage und schuf damit eine internationale Austauschplattform für Experten der Kunststoffoptik. Über 180 Teilnehmer aus insgesamt 13 Ländern diskutierten Technologien und Anwendungen der Kunststoffoptikbranche und deren marktwirtschaftliche Relevanz. In 17 Fachvorträgen stellten die Experten das breit gefächerte Themenspektrum der Kunststoffoptik vor und referierten über aktuelle Entwicklungen und Herausforderungen wie die Einführung der Chiptechnologie in der Beleuchtungstechnik, das Potenzial von LED-Scheinwerfern im automobilen Sektor oder den Nutzen adaptiver Linsen. Aufgrund des großen Erfolgs beschlossen die Veranstalter, die nächsten Aachener Kunststoffoptiktage 2016 stattfinden zu lassen und die Internationalität durch eine Kooperation mit der US-amerikanischen Optikgesellschaft SPIE weiter auszubauen.

22.-23. Mai 2014

### **Aachener Werkzeugmaschinenkolloquium AWK**

Unter dem Motto »Industrie 4.0 – Aachener Perspektiven« veranstaltete das Fraunhofer IPT gemeinsam mit dem Werkzeugmaschinenlabor WZL der RWTH Aachen das 28. Aachener Werkzeugmaschinenkolloquium AWK. In zahlreichen Vorträgen stellten führende Persönlichkeiten aus Industrie und Forschung die Chancen und Herausforderungen der »Industrie 4.0« vor: Besondere Schwerpunkte lagen auf der wachsenden Flexibilität der produktionstechnischen Abläufe und der Interaktion zwischen Mensch und Maschine. Zusätzlich konnten die Teilnehmer die Maschinenhallen und Labore an WZL und Fraunhofer IPT besichtigen und im Rahmen der angeschlossenen Industrieausstellung mit mehr als 50 Industrieunternehmen eigene Perspektiven und Aufgaben diskutieren. Abgerundet wurde das Programm des AWK durch

8-9 April 2014

### **Aachen Polymer Optics Days**

Together with the Fraunhofer ILT and the Institute of Plastics Processing (IKV), the Fraunhofer IPT has hosted the first Aachen Polymer Optics Days, providing its visitors with an international platform for exchanges about the technology and its potentials. More than 180 experts representing industrial corporations and research institutions from 13 countries discussed technologies, applications and the commercial relevance of plastic optics. 17 presentations covered current developments and challenges such as the introduction of chip technology in lighting applications, the potential of LED headlights in the automotive industry and the benefits of adaptive lenses. As soon as the meeting had – successfully – finished, the host institutions were already discussing the follow-up conference, scheduled for Aachen in 2016, and decided to widen the meeting's international scope by cooperating with the US-American optics network SPIE.

22-23 May 2014

### **Aachen Machine Tool Colloquium (AWK)**

“Industry 4.0 – The Aachen Approach“: this was the motto of the 28th Aachen Machine Tool Colloquium (AWK) that was hosted by the Fraunhofer IPT and the Laboratory for Machine Tools and Production Engineering WZL of the RWTH Aachen University. Leading experts from industrial corporations and research institutions focused their presentations on opportunities and challenges of the topic “Industry 4.0“, concentrating in particular on the growing flexibility of production technology process flows and the interactions between machines and their human operators. The participants were also given the opportunity of visiting the facilities and labs of the Fraunhofer IPT and WZL and discussing tasks and perspectives with more than 50 representatives from selected industrial corporations at the parallel industrial fair. The AWK's program also featured several so-called “break-out sessions“ that familiarized the



sogenannte »BreakOut-Sessions«, in denen aktuelle Entwicklungen am RWTH Aachen Campus und das Aachener Zentrum für integrativen Leichtbau vorgestellt wurden. Mit mehr als 1200 internationalen Teilnehmern unterstrich das AWK 2014 die Spitzenposition der Aachener Konferenz als wichtigstes und größtes Treffen von Experten aus nahezu allen Gebieten der Produktionstechnik.

1. Juli 2014

### **Abschlusskonferenz des Konsortial-Benchmarking in der Technologiefrüherkennung**

Ihre erfolgreichen Ansätze und Konzepte in der Technologiefrüherkennung stellten die Sieger der Konsortial-Benchmarking-Studie des Fraunhofer IPT in verschiedenen Vorträgen auf der Abschlusskonferenz des Projekts vor. Das Fraunhofer IPT zeichnete im Rahmen der Studie Unternehmen aus, die exzellente Leistungen in der Technologiefrüherkennung erzielen. Ein Konsortium aus Experten internationaler Unternehmen wählte nach ausführlichen Interviews und einem »Review-Meeting« aus rund 200 Teilnehmern die fünf Besten aus. Nach einem Besuch bei den Unternehmen zeichneten die Konsortialpartner die 3M Deutschland GmbH, die Endress+Hauser AG, die Enel S.p.A., die Osram GmbH und die Wittenstein AG als »Successful Practices in der Technologiefrüherkennung« aus. Professor Günther Schuh erläuterte die Ergebnisse des Projekts während der Abschlusskonferenz und würdigte die besonderen Leistungen der fünf Unternehmen im Beisein der beteiligten Konsortialpartner und Gewinner.

17.-18. September 2014

### **8. Aachener Technologiemanagement-Tagung**

Bereits zum achten Mal trafen sich Fach- und Führungskräfte zur Aachener Technologiemanagement-Tagung. Unter dem Motto »Markterfolg neu erfinden: Die Zukunft des Technologie- und Innovationsmanagements« setzten sich Referenten und Teilnehmer damit auseinander, wie technologische

participants with the latest developments of the RWTH Aachen Campus and the Aachen Center for Integrative Lightweight Production (AZL). The AWK was attended by more than 1200 international specialists, emphasizing the standing of the conference as the largest and most important meeting of experts and professionals from nearly all areas and fields of production technology.

1 July 2014

### **Final Conference of the Consortial Benchmarking in Technology Intelligence**

The award-winning companies from the Fraunhofer IPT's consortial benchmarking study used the closing conference of the event to present their successful concepts and approaches of ensuring the early recognition of new technologies. At the end of its study, the Fraunhofer IPT presented awards to companies that had excelled in the area of technology intelligence. A consortium of experts from international companies conducted comprehensive interviews and chose the best five companies out of 200 for awards in a "review meeting". Following on-site visits of the enterprises in question, the consortial partners decided to honour 3M Deutschland GmbH, Endress+Hauser AG, Enel S.p.A., Osram GmbH, and Wittenstein AG for their "Successful Practices in Technology Intelligence". Professor Günther Schuh explained the results of the project during the closing conference, emphasizing the outstanding performances of the five companies in the presence of the consortial partners and representatives from the prize-winning corporations.

17-18 September 2014

### **8th Technology Management Meeting at Aachen**

For the eighth time, leading managers and experts met in Aachen for the technology management meeting. Under the motto "Re-Inventing Commercial Success: The Future of Technology and Innovation Management", speakers and par-

Potenziale in Unternehmen nicht nur erkannt, sondern auch in marktfähige Produkte umgesetzt werden können. Um die Zusammenarbeit und den Erfahrungsaustausch weiter auszubauen, hatte das Fraunhofer IPT gemeinsam mit seinem Spin-off KEX AG, dem WZL und der TIME Research Area an der RWTH Aachen bereits im Juni 2014 auf dem RWTH Aachen Campus das »Invention Center« gegründet. Ziel des Invention Centers ist es, einen passenden Ort für die Entwicklung von Lösungen und Innovationen zu schaffen, die passgenau auf die teilnehmenden Unternehmen und deren individuelle Herausforderungen zugeschnitten sind.

24.-25. September 2014

#### **18. Business Forum Qualität**

Das Motto des 18. Aachener Business Forum Qualität lautete »Daten für die Qualität von morgen – generieren, interpretieren und nutzen«. In den Fachforen »Fehlerinformationen nutzen – Produkte nachhaltig absichern« und »Produktionsdaten nutzen – Prozesse nachhaltig verbessern« informierten hochkarätige Referenten die rund 120 Fachbesucher in zwei parallelen Vortragsreihen mit insgesamt 13 Vorträgen über aktuelle Trends des Qualitätsmanagements.

4.-5. November 2014

#### **14. Internationales Kolloquium »Werkzeugbau mit Zukunft«**

Als fester Bestandteil und jährlicher Treffpunkt der Werkzeug- und Formenbaubranche fand zum 14. Mal das Internationale Kolloquium »Werkzeugbau mit Zukunft« statt. Als Plattform für Austausch und Ideenentwicklung bot das Kolloquium nicht nur Vorträge von Experten der Branche, sondern auch eine Industrieausstellung, bei der ausgewählte Zulieferunternehmen ihre Lösungen und Produkte für den Werkzeug- und Formenbau vorstellten. Highlight der Veranstaltung war auch in diesem Jahr der Wettbewerb »Excellence in Production«. Zum

Participants discussed new ways of recognizing the technological potential of corporations and of converting such insights into the distribution of commercially successful products. In order to extend this forum for cooperation and exchanges, the Fraunhofer IPT, its spin-off KEX AG, dem WZL and the TIME Research Area at the RWTH Aachen University had jointly established the "Invention Center" at the campus of the RWTH Aachen University in June 2014. This Invention Center aims to create a suitable base for the development of solutions and innovations customized to the companies individual needs and requirements.

24-25 September 2014

#### **18<sup>th</sup> Business Forum on Quality Issues**

"Data for Tomorrow's Quality Products – and How to Generate, Interpret and Use Them": this was the motto of Aachen's 18<sup>th</sup> Business Forum on Quality Issues. The event was subdivided into two specialist forums, one under the topic "How to Make Use of Error Information – Towards a Sustainable Protection of Products" and another for the issue "How to Make Use of Production Data – Towards a Sustainable Improvement of Processes". Renowned experts from the field provided two parallel series with a total of 13 presentations to inform the approx. 120 guests about the trends in quality management.

4-5 November 2014

#### **14<sup>th</sup> International Colloquium on "Tool and Die Making for the Future"**

The 14<sup>th</sup> edition of the international colloquium "Tool and Die Making for the Future" provided the community of tool and die manufacturers with a wide range of presentations by renowned experts and a platform for the exchange of ideas and experiences, confirming its place as an unmissable annual conference and a firm fixture on the industry's calendar. Like its predecessors, the colloquium was accompanied by



elften Mal präsentierten das Fraunhofer IPT und das WZL der RWTH Aachen die besten Unternehmen der Werkzeugbau-branchen. Gesamtsieger wurde die Gerresheimer Regensburg GmbH, die nun den Titel »Werkzeugbau des Jahres 2014« tragen darf. Vorjahressieger Axel Wittig, Geschäftsführer der Webo Werkzeugbau GmbH, übergab den Pokal während der feierlichen Abendveranstaltung des ersten Konferenztages an den neuen Gesamtsieger. Aus mehr als 290 angemeldeten Werkzeug- und Formenbaubetrieben wählten neun fachkundige Jurymitglieder den Gesamtsieger des Wettbewerbs und die Sieger in vier Kategorien. Am Tag nach der Preisverleihung stellten ausgewählte Vertreter der nominierten Unternehmen ihre Erfolgsstrategien im Aachener Quellenhof vor.

3.-4. Dezember 2014

#### **Fachtagung »Hybride Multi-Layer-Technologie«**

Mit der neuen Fachtagung »Hybride Multi-Layer-Technologie« hat das Fraunhofer IPT erstmals gemeinsam mit dem Fraunhofer IAP und Fraunhofer COMEDD in Aachen über unterschiedliche Aspekte der Technologien zur kombinierten chemischen, optischen und elektrischen Funktionalisierung von Polymerfolien im Rolle-zu-Rolle-Verfahren informiert. Die Fachtagung zeigte den Teilnehmern den aktuellen Stand von Forschung und Technik sowie unterschiedliche Anwendungsfelder der Technologie auf. Als Referenten kamen neben den Fraunhofer-Forschern sowohl Anbieter von Technologien zur Funktionalisierung von Polymerfolien als auch Anwender aus der Medizin- und Beleuchtungstechnik zu Wort. Abgerundet wurde die Tagung durch einen Hallenrundgang im Fraunhofer IPT sowie eine gemeinsame Abendveranstaltung mit viel Raum für fachübergreifende Diskussionen und Networking.

an industrial fair where suppliers presented solutions and products for the tool and die making industry. The highlight of the event was the gala to conclude the "Excellence in Production" competition. For the eleventh time, the Fraunhofer IPT and WZL had the privilege of providing awards to the best companies from the tool and die making industry. The prize for the overall winner went to Gerresheimer Regensburg GmbH, the "Tool Maker of the Year 2014". Axel Wittig, Managing Director of Webo Werkzeugbau GmbH (the previous year's winner), handed over the trophy to the new champion during a festive gala ceremony on the first evening of the conference. More than 290 companies had been registered for the competition and were assessed by the nine experts of the jury, which had the task of picking the winners in four sub-categories and one overall champion. Representatives from the nominated companies were presenting their successful strategies on the next day in Aachen's Quellenhof center.

3-4 December 2014

#### **Conference on "Hybrid Multi-Layer-Technology"**

The first edition of the new expert meeting on "Hybrid Multi-Layer-Technology", jointly hosted in Aachen by the Fraunhofer IPT, the Fraunhofer IAP and the Fraunhofer COMEDD, provided facts and information about technologies to combine chemical, optical and electric functions of polymer foils in the reel-to-reel process. The conference familiarized the participants with the latest developments in research and industry and new applications for the technology. Speakers included researchers from the Fraunhofer institutes, providers of technologies to functionalize polymer foils and representatives from companies in medical and lighting technology. The two-day meeting also featured a visit of the facilities at the Fraunhofer IPT and a joint evening event with much room for cross-disciplinary discussions and networking.

# EHRUNGEN AWARDS

## **»JEC Europe Innovation Award« in der Kategorie »Prozess« für Dr.-Ing. Michael Emonts**

Auf der europäischen Leitmesse für Faserverbundtechnologien, der JEC Europe in Paris, sind Dr.-Ing. Michael Emonts vom Fraunhofer IPT und Coerk Kok von AFPT für die Entwicklung eines modularen und multifunktionalen Tapelegesystems mit dem JEC Award ausgezeichnet worden. Der sogenannte »Multi-Material-Head« ist besonders für kleinere Unternehmen interessant, die mit nur einer Anlage alle gängigen Halbzeugmaterialien verarbeiten möchten.

## **»Preis der Dr.-Ing. Siegfried Werth Stiftung« für Nicolai Brill**

Am 6. Mai 2014 erhielt Nicolai Brill während der Fachmesse »Control« in Stuttgart den Preis der Dr.-Ing. Siegfried Werth Stiftung. Nicolai Brill verfasste seine Masterarbeit am Fraunhofer IPT und erweiterte die optische Kohärenzmesstechnik (OCT) um die Polarisations sensitivität, durch die transparente und semitransparente Materialien zerstörungsfrei in besonders hoher Messfrequenz auf mechanische Eigenspannungen geprüft werden können.

## **»Innovation Award Laser Technology« des AKL e.V. und des European Laser Institute ELI für Guilherme Mallmann und Niels König**

Am 7. Mai 2014 belegten Guilherme Mallmann und Niels König den zweiten Platz des Innovationspreises Lasertechnik. Gemeinsam mit vier weiteren Projektpartnern der Precitec Group und der Scheidt & Bachmann GmbH forschten sie an einem Messsystem auf Basis der kurzkohärenten Interferometrie für die Online-Qualitätssicherung von Laserbearbeitungsprozessen.

## **”JEC Europe Innovation Award” in the “Process” Category for Dr.-Ing. Michael Emonts**

Dr.-Ing. Michael Emonts from the Fraunhofer IPT and Coerk Kok from AFPT have received the JEC Award for their development of a modular and multifunctional tape-laying system at the leading European fair for fiber reinforcement technologies, the JEC Europe in Paris. The so-called ”Multi-Material Head” is specifically interesting for small and medium-sized enterprises that may want to operate a single facility for the processing of all commonly used semifinished materials.

## **”Dr.-Ing. Siegfried Werth Foundation Award” for Nicolai Brill**

Nicolai Brill has received the Award of the Dr.-Ing. Siegfried Werth Foundation on 6 May 2014, during the ”Control” industrial fair at Stuttgart. Nicolai Brill had completed his Master’s thesis at the Fraunhofer IPT, extending the scope of the technology to conduct optical coherence measurements (OCT) by polarization sensitivity. This allows the non-destructive testing of transparent and semitransparent materials for internal mechanical stress levels with particularly high measuring frequencies.

## **”Innovation Award Laser Technology” of the AKL e.V. and the European Laser Institute ELI for Guilherme Mallmann and Niels König**

On 7 May 2014, Guilherme Mallmann and Niels König have been honoured as the runners-up in the Laser Technology Innovation Award. Together with four project partners of the Precitec Group and Scheidt & Bachmann GmbH, they had conducted research on a measuring system based on short-coherent interferometry for the online quality assurance of laser machining processes.

### **»Eli Whitney Productivity Award« der Society of Manufacturing Engineers (SME) für Professor Fritz Klocke**

Für sein außerordentliches Engagement in der Produktionstechnik wurde Prof. Dr.-Ing. Fritz Klocke, Leiter des Fraunhofer IPT und Lehrstuhlinhaber am Werkzeugmaschinenlabor WZL der RWTH Aachen, mit dem Eli Whitney Productivity Award ausgezeichnet. Für seinen Einsatz in der Entwicklung neuer Fertigungsverfahren und seine Kenntnisse in der Weiterentwicklung bestehender Verfahren wurde er als einer von sieben Preisträgern des Jahres 2014 geehrt. Die von der US-amerikanischen Ingenieurgesellschaft SME verliehene Auszeichnung wird an internationale Persönlichkeiten der Produktionstechnik verliehen, die sich in Ausbildung, Lehre, Forschung oder Management verdient gemacht haben.

### **»Best Paper Award« der ICPR 2014 für Tobias Pickshaus und Professor Robert Schmitt**

Während der 7. International Conference on Production Research / American Region (ICPR 2014) in Lima, Peru sind Tobias Pickshaus und Prof. Dr.-Ing. Robert Schmitt für ihre Publikation mit dem Titel »Fostering Technology Strategies through Structured and Recursive Requirements Engineering« ausgezeichnet worden. Ihre Forschung konzentrierte sich auf die Entwicklung und Validierung einer Vorgehensweise, die die systematische Verknüpfung von Technologieeinführungen mit Entwicklungsprojekten auf Datenebene ermöglicht.

### **»Erlangen Innovation Award Optical Technologies« der LANE 2014 für Sascha Frank**

Für die Entwicklung eines zweistrahligen Laserverfahrens, mit dem sich Stahl und Aluminium flussmittelfrei verbinden lassen, hat Sascha Frank während der LANE im September 2014 den Erlangen Innovation Award Optical Technologies empfangen.

### **“Eli Whitney Productivity Award” of the Society of Manufacturing Engineers (SME) for Professor Fritz Klocke**

Prof. Dr.-Ing. Fritz Klocke, Director of the Fraunhofer IPT and Ordinary Professor at the Laboratory for Machine Tools and Production Engineering WZL of the RWTH Aachen University, has received the Eli Whitney Productivity Award for his exceptional contributions to production technology. One of seven award winners in 2014, he was honored for his successful involvement in the development of new production technologies and his skills in the continued development of existing techniques. The prize, which is awarded by the US-American engineering company SME, is meant to honor international scientists and industrialists who have made substantial contributions to the field of production technology, whether as teachers, academics, researchers or managers.

### **“Best Paper Award” of the ICPR 2014 for Tobias Pickshaus and Professor Robert Schmitt**

Tobias Pickshaus and Prof. Dr.-Ing. Robert Schmitt have been honoured for their paper titled “Fostering Technology Strategies through Structured and Recursive Requirements Engineering” during the 7<sup>th</sup> International Conference on Production Research/American Region (ICPR 2014) in Lima, Peru. Their research had focused on the development and validation of techniques that enabled the systematic linking of technology launches with development projects on a data level.

### **“Erlangen Innovation Award Optical Technologies” at LANE 2014 for Sascha Frank**

During LANE in September 2014, Sascha Frank has received the Erlangen Innovation Award Optical Technologies for the development of a two-beam laser technique that allows the creation of a flux-free bonding of steel and aluminum. The

Das Verfahren bietet eine flexible und effiziente Möglichkeit, um Stahl und Aluminium mit besonders guter Oberflächenqualität zu fügen.

**»DAAD-Preis der RWTH Aachen« für Ameya Rane**

Für sein Engagement als Senior Mentor in Rahmen der International Academy Gemeinschaft und seine Tätigkeit als Präsident des indischen Studierendenvereins AISA e.V. in Aachen wurde Ameya Rane, Studentische Hilfskraft in der Abteilung »Feinbearbeitung und Optik« am Fraunhofer IPT, mit dem DAAD-Preis ausgezeichnet.

**»Borchers-Plakette der RWTH Aachen« für Dr.-Ing. Kristian Arntz**

Dr.-Ing. Kristian Arntz ist von der RWTH Aachen mit der Borchers-Plakette für seine mit Auszeichnung bestandene Promotion geehrt worden. Unter dem Titel »Technologie des Mehrfachfräsens von vergütetem Schnellarbeitsstahl« entwickelte er ein Modell zur Vorhersage der Randzonenschädigung von Schnellarbeitsstahl während des Fräsprozesses.

new technique represents a flexible and efficient method of bonding steel and aluminum while providing specifically high levels of surface quality.

**“DAAD Award of the RWTH Aachen University” for Ameya Rane**

Ameya Rane, Undergraduate Assistant in the department for “Fine Machining and Optics” of the Fraunhofer IPT, has received the DAAD Award for his involvement as a Senior Mentor in the International Academy community and for his efforts as the President of the Association of Indian Students (AISA e.V.) in Aachen.

**“Borchers Medal of the RWTH Aachen University” for Dr.-Ing. Kristian Arntz**

Dr.-Ing. Kristian Arntz has been awarded the Borchers Medal of the RWTH Aachen University for his doctoral thesis that had won a special distinction. In his thesis, called “The Technology of Multiple Milling of Tempered High-Speed Steel”, he had developed a model for the prediction of damages in marginal zones of high-speed steel during milling processes.

# MESSEN FAIRS

4.-6. Februar 2014  
**Photonics West**  
San Francisco (USA)

12.-14. März 2014  
**JEC Europe 2014**  
Paris (F)

19.-22. März 2014  
**GrindTec**  
Augsburg

30. März - 4. April 2014  
**Light & Building**  
Frankfurt/Main

7.-11. April 2014  
**Hannover Messe**  
Hannover

5. Mai 2014  
**bonding Firmenkontaktmesse**  
Bochum

6.-9. Mai 2014  
**Control**  
Stuttgart

14.-15. Mai 2014  
**Rapid.Tech**  
Erfurt

20.-22. Mai 2014  
**Optatec**  
Frankfurt/Main

20.-25. Mai 2014  
**ILA**  
Berlin

7.-12. September 2014  
**IMC**  
Prag (CZ)

7.-9. Oktober 2014  
**Composites Europe**  
Düsseldorf

14.-18. Oktober 2014  
**Fakuma**  
Friedrichshafen

21.-24. Oktober 2014  
**Glastec**  
Düsseldorf

21.-25. Oktober 2014  
**EuroBlech**  
Hannover

6. November 2014  
**Nacht der Unternehmen**  
Aachen

11.-14. November 2014  
**Electronica**  
München

12.-13. November 2014  
**Precision Fair**  
Veldhoven (NL)

12.-15. November 2014  
**Compamed**  
Düsseldorf

25.-28. November 2014  
**Euromold**  
Frankfurt/Main

3. Dezember 2014  
**bonding Firmenkontaktmesse**  
Aachen

# VERÖFFENTLICHUNGEN 2014

## PUBLICATIONS 2014

Anacker, H.; Dumitrescu, R.; Gausemeier, J.: Design Framework for the Integration of Cognitive Functions Based on Solution Patterns. In: Design Methodology for Intelligent Technical Systems, Hrsg.: Gausemeier, J.; Rammig, F.; Schäfer, W., Springer, Berlin 2014, o.a.S.

Anacker, H.; Dumitrescu, R.; Gausemeier, J.; Iwanek, P.; Schierbaum, T.: Methodology for the identification of self-optimising potentials for mechatronic systems. In: Proceedings of 2<sup>nd</sup> Joint Symposium on System-integrated Intelligence: New Challenges for Product and Production Engineering (SysInt), Bremen 2014, o.a.S.

Arntz, K.; Bock, M.; Ottersbach, M.; Stolorz, M.: Hartbearbeitung im Werkzeug- und Formenbau: Neue Tonnenfräswerkzeuge. In: FORM + Werkzeug 1 2014, S. 18-21

Arntz, K.; Schüler, M.; Schumacher, H.: Wasserstrahlschneiden – Ein Trennverfahren mit Entwicklungspotenzial. In: Ingenieurspiegel 2014, 3, S. 45-48

Arntz, K.; Liu, Y.; Wegener, M.: CAM Supported Process Planning of Additive Manufacturing by Laser Deposition Welding. In: Journal of Laser Applications 26 2014, S. 568-572

Becker, S.; Dziwok, S.; Gerking, C.; Heinzemann, C.; Meyer, M.; Pohlmann, U.; Schäfer, W.: The Mechatronic UML Method: Model-Driven Software Engineering of Self-Adaptive Mechatronic Systems. In: Companion Proceedings of the 36<sup>th</sup> International Conference on Software Engineering (ICSE Companion 2014), ACM, New York 2014, o.a.S.

Borzykh, M.; Trächtler, A.: Railcab. The Innovative Platform for Design and Test of New Railway Technologies. In: X Jubilee International Scientific and Practical Conference for Students and Young Scientists "Trans-Mech-Art-Chem", Moscow State University of Railway Engineering, Moskau 2014, o.a.S.

Bouzakis, K.-D. et. al.: Development of coated milling cutters based on the chip formation mechanisms and coating and substrate properties investigated by innovative methods. The A Coatings, Vol. 11, S. 161-168

Brecher, C.; Emonts, M.; Brack, A.; Wasiak, C.; Schütte, A.; Krämer, N.; Bruhn, R.: New concepts and materials for the manufacturing of MR-compatible guide wires. In: Biomedical Engineering / Biomedizinische Technik 59 2014, 2, S. 147-151

Brecher, C.; Emonts, M.; Eckert, M.: Laser-Assisted Sheet Metal Working by the Integration of Scanner System Technology into a Progressive Die. In: Laser Assisted Net Shape Engineering 7, Hrsg.: Schmidt, M.; Vollertsen, F.; Geiger, M.; Aachen 2014, S. 249-256

Brecher, C.; Emonts, M.; Eckert, M.; Weinbach, M.: Double sided irradiation for laser-assisted shearing of ultrahigh strength steels with process integrated hardening. In: 8<sup>th</sup> International Conference on Laser Assisted Net Shape Engineering LANE 2014, Hrsg.: Schmidt, M.; Vollertsen, F.; Merklein, M., Aachen 2014, S. 1427-1435

Brecher, C.; Emonts, M.; Hermani, J.; Storms, T.: Laser Roughing of PCD. In: Physics Procedia 2014, S. 1107-1114

Brecher, C.; Emonts, M.; Kermer-Meyer, A.: Composite Tailored Blanks. In: Press Forming of Thermoplastic Composites, Hrsg.: Vriese, L., Composite Production of Tomorrow Press Forming of Thermoplastic Composites, Sirris Leuven-Gent Composite Application Lab, Heverlee / Belgium 2014, S. 29-41

Brecher, C.; Emonts, M.; Kermer-Meyer, A.; Janssen, H.: Flexible volume production of multi-material components. In: Proceedings of TexComp-11 Conference, Hrsg.: Lomov, S., KU Leuven, Leuven / Belgium 2014, online

- Brecher, C.; Emonts, M.; Kermer-Meyer, A.; Janssen, H.; Werner, D.: Herstellung von belastungsoptimierten thermoplastischen Faserverbundbauteilen. In: ATZ/MTZ-Fachbuch: Leichtbau-Technologien im Automobilbau, Werkstoffe, Fertigung, Konzepte. Hrsg.: Siebenpfeiffer, W., ATZ/MTZ-Fachbuch 2014, Springer Vieweg Wiesbaden 2014, S. 70-75
- Brecher, C.; Flore, J.; Klatte, M.; Wenzel, C.; Merz, A.: Machine integrated, direct measuring devices for the compensation of thermal deformation. In: Proceedings of the 12<sup>th</sup> Euspen International Conference. Hrsg.: Shore, P.; Spaan, H.; Burke, T., Euspen Bedford, UK 2014, S. 376-379
- Brecher, C.; Kermer-Meyer, A.; Emonts, M.: Efficient processes for continuous fiber-reinforced thermoplastics. In: Proceedings "4th International Carbon Composite Conference", Arcachon, France, 12-14 May 2014, Hrsg.: Avantage-Aquitaine Arcachon 2014, S. 116
- Brecher, C.; Klocke, F.; Emonts, M.; Mattfeld, P.; Schindler, F.; Janssen, A.; Hermani, J.; Storms, T.: Effizienzsteigerung bei der PKD-Bearbeitung. Kombination von Laserstrahlabtragen und Schleifen erhöht Produktivität. In: wt – Werkstattstechnik online 104 2014, S. 333-340
- Brecher, C.; Lindemann, D.; Wenzel, C.: Influences of Closed Loop Control Components on the Performance of Ultra-precision Machines. In: Key Engineering Materials 2014, S. 207-212
- Brenner, C.; Greenyer, J.; Holtmann, J.; Liebel, G.; Stieglbauer, G.; Tichy, M.: ScenarioTools Real-Time Play-Out for Test Sequence Validation in an Automotive Case Study. In: Proceedings of the 13<sup>th</sup> International Workshop on Graph Transformation and Visual Modeling Techniques (GT-VMT 2014), 2014, o.a.S.
- Brill, N.: Optische Kohärenztomographie. In: Leitfaden zur optischen 3D-Messtechnik, Hrsg.: Sackewitz, M., Fraunhofer Verlag Stuttgart 2014, S. 48-50
- Bulla, B.; Robertson, D.; Dambon, O.; Klocke, F.: Efficient machining of ultra precise steel moulds with freeform surfaces. In: SPIE Optifab 2013, Hrsg.: Bentley, J.; Pfaff, M., Proceedings of SPIE 8884, SPIE Bellingham, WA 2014, S. 8884-Q
- Bobzin, K.; Zhao, L.; Öte, M.; Linke, T.; Klocke, F.; Brummer, C.; Gräfe, S.: Characterization of a HVOF-sprayed WC-CoCr coating before and after laser-assisted turning. In: Proceedings of the International Thermal Spray and Conference and Exposition May 21-23, 2014, Barcelona, Spain, Hrsg.: Krömmer, W. Bericht Band 302, DVS-Verlag Barcelona, Spain 2014, S. 26-30
- Busch, M.; Klocke, F.; Bergs, T.; Ottersbach, M.: Development of a Systematical Methodology for Predicting Coated Milling Tool's Efficiency. ICMCTF San Diego, San Diego 2014, o.a.S.
- Commans, P.; Winands, K.; Arntz, K.; Klocke, F.; Baumgartner, W.: Laser-based biomimetic functionalization of surfaces: From moisture harvesting lizards to specific fluid transport systems. In: Design & Nature and Economics 2014, 9, S. 206-215
- Damerow, U.; Tabakajew, D.; Borzykh, M.; Schaermann, W.; Homberg, W.; Trächtler, A.: Analysis of high speed bending operations as a basis for integrating self-correcting components to increase process reliability. In: 11<sup>th</sup> International Conference on Technology of Plasticity ITCP 2014, Volume 81, Nagoya 2014, S. 831-836
- Degen, F.: Zusätzliche Drehachse senkt Kosten im Triebwerksbau. In: VDI-Z. Nr. 10, S. 12

Degen, F.; Bergs, T.; Klocke, F.: "Simultaneous Three Axis Turning" process for time and cost efficient machining of rotational symmetric turbomachinery components. In: Proceedings of the 5<sup>th</sup> Machining Innovations Conference (MIC 2014), Seattle 2014, o.a.S.

Degen, F.; Bergs, T.; Schäfer, A.: Presentation of a Novel "Simultaneous Three Axis Turning" Process for Time and Cost Efficient Machining of Turbine Components Made of Difficult-to-Machine Super Alloys. Aeromat, Orlando, Juni 2014, o.a.S.

Degen, F.; Klocke, F.; Bergs, T.; Busch, M.: Investigation of suitability of CVD diamond thick film tool coatings for high performance cutting of Ti6Al4V super alloys. In: Proceedings of ICMCTF San Diego, San Diego, Mai 2014

Degen, F.; Klocke, F.; Bergs, T.; Ganser, P.: Comparison of rotational turning and hard turning regarding surface generation. In: WGP, Volume 8, 3, S. 309-317

Diedrich, C.; Meyer, M.; Evertz, L.; Schäfer, W.: Dienste in der Automatisierungstechnik – Automatisierungsgeräte werden I40-Komponenten. In: atp-edition Automatisierungstechnische Praxis, Volume 56, DI-Verlag, München 2014, S. 24-35

Dorociak, R.; Dumitrescu, R.; Gausemeier, J.; Iwanek, P.: Specification Technique CONSENS for the Description of Self-Optimizing Systems. In: Design Methodology for Intelligent Technical Systems. Hrsg.: Gausemeier, J.; Rammig, F.; Schäfer, W., Springer-Verlag, Berlin 2014, o.a.S.

Dumitrescu, R.: Chancen und Herausforderungen – was bringt Industrie 4.0 für die Region OWL. 19. Industrial Communication Congress, Bad Pyrmont, 18. März 2014, o.a.S.

Dumitrescu, R.: Cyber-Physical Systems, Industrie 4.0 – Auf dem Weg zu den technischen Systemen von morgen. WiGeP-Jahrestagung, Enschede, Niederlande, 13. März 2014, o.a.S.

Dumitrescu, R.: Fertigung auf dem Sprung in die Zukunft. Keynote Die Fabrik der Zukunft – Die Produktion auf dem Weg zu »Industrie 4.0«. Zukunfts.Kreis.GT, Gütersloh, 25. September 2014, o.a.S.

Dumitrescu, R.: Intelligente Technische Systeme aus OWL. Wincor World, A2-Forum, 22. Januar 2014

Dumitrescu, R.: Systems Engineering für Industrie 4.0 – Warum intelligente Systeme eine intelligente Entwicklung benötigen. Keynote auf dem 3DEXPERIENCE Forum, Mannheim, 17. September 2014

Dumitrescu, R.: Why intelligent systems need MBSE. In: Prime – Microsoft Technology in Discrete and Process Manufacturing, Autumn 2014, o.a.S.

Dumitrescu, R.; Fechtelpeter, C.; Kühn, A.: Systematische Berücksichtigung von Fertigungsanforderungen im Model-Based Systems Engineering. In: Tag des Systems Engineering. Hrsg.: Maurer, M.; Schulze, S.-O., Carl Hanser Verlag, München 2014, o.a.S.

Dumitrescu, R.; Gausemeier, J.; Iwanek, P.: Introduction to Self-Optimization. In: Design Methodology for Intelligent Technical Systems, Hrsg.: Gausemeier, J.; Rammig, F.; Schäfer, W., Springer, Berlin 2014, o.a.S.

Dumitrescu, R.; Gausemeier, J.; Iwanek, P.; Vassholz, P.: From Mechatronics to Intelligent Technical Systems. In: Design Methodology for Intelligent Technical Systems, Hrsg.: Gausemeier, J.; Rammig, F.; Schäfer, W., Springer, Berlin 2014, o.a.S.

Dziwok, S.; Gerking, C.; Becker, S.; Thiele, S.; Heinzemann, C.; Pohlmann, U.: A Tool Suite for the Model-Driven Software Engineering of Cyber-Physical Systems. In: Proceedings of the 22<sup>nd</sup> ACM SIGSOFT International Symposium on Foundations of Software Engineering (FSE), ACM, New York 2014, S. 715-718

- Fockel, M.; Holtmann, J.: A Requirements Engineering Methodology Combining Models and Controlled Natural Language. In: 4<sup>th</sup> International Model-Driven Requirements Engineering Workshop (MoDRE), IEEE, Karlskrona, Sweden 2014, o.a.S.
- Fockel, M.; Holtmann, J.; Meyer, M.: Mit Satzmustern hochwertige Anforderungsdokumente effizient erstellen. In: OBJEKTSpektrum – Online Themenspecial Requirements Engineering, SIGS DATACOM, Troisdorf 2014, o.a.S.
- Fockel, M.; Meyer M.: ReqPat verleiht Flügel – Mit Satzmustern hochwertige Anforderungsdokumente effizient erstellen, Thementag Sprachmuster, Arbeitskreis Requirements Engineering, Gesellschaft für Informatik, München, 29. April 2014, o.a.S.
- Frank, S.: Development of a double beam process for joining aluminum and steel. In: SPIE Proceedings Volume 8963: High-Power Laser Materials Processing: Lasers, Beam Delivery, Diagnostics, and Applications III, Hrsg.: Dorsch, F., SPIE Proceedings 8963, San Francisco 2014, S. 896304-1 - 896304-9
- Gausemeier, J.; Dumitrescu, R.; Jasperneite, J.; Kühn, A.; Trsek, H.: Der Spitzencluster it's OWL auf dem Weg zu Industrie 4.0. In: zwf – Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb, Carl Hanser Verlag, München 2014, S. 336-346
- Gausemeier, J.; Dumitrescu, R.; Steffen, D.; Czaja, A.; Wiederkehr, O.; Tschirner, C.: Systems Engineering in Industrial Practice. Heinz Nixdorf Institut; Fraunhofer-Institut für Produktionstechnologie IPT, Projektgruppe Entwurfstechnik Mechatronik; UNITY AG, Paderborn 2014
- Gausemeier, J.; Grafe, M.; Kühn, A.: Verbesserung von Virtual Prototyping durch mittelstandsgerechtes Reifegradmanagement. In: zwf – Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb, Carl Hanser Verlag, München 2014, S. 756-760
- Gausemeier, J., Schäfer, W., Ramming, F.: Design Methodology for Intelligent Technical Systems – Develop Intelligent Technical Systems of the Future. Springer-Verlag, Heidelberg 2014
- Gausemeier, J.; Trächtler, A.; Schäfer, W. (Hrsg.): Semantische Technologien im Entwurf mechatronischer Systeme: Effektiver Austausch von Lösungswissen in Branchenwertschöpfungsketten. Carl Hanser Verlag, München 2014
- Gerking, C.; Heinzemann, C.: Solving the Movie Database Case with QVTo. In: Proceedings of the 7<sup>th</sup> Transformation Tool Contest part of the Software Technologies: Applications and Foundations (STAF 2014) Volume 1305, York 2014 S. 98-102
- Gräfe, S.: Laserhärten in Drehmaschinen. In: CNC-Arena eMagazin 2014, 1, S. 52-53
- Große-Böckmann, M.; Krappig, R.; Stolorz, M.; Schmitt, R.: Data-Mining in der Produktion. Neue Methoden für eine robuste Prozessentwicklung. In: wt – Werkstattstechnik online 2014, 11-12, S. 921-925
- Große-Böckmann, M.; Schmitt, R.: Energiereglerkreis in der Produktion. In: 3<sup>rd</sup> ICMC 2014 – International Chemnitz Manufacturing Colloquium/ 3<sup>rd</sup> International Colloquium of the Cluster of Excellence eniPROD Part 1 – Innovations of Sustainable Production for Green Mobility, Hrsg.: Neugebauer, R.; Drossel, W., 1. Aufl., Verlag Wissenschaftliche Scripten Auerbach 2014, S. 667-682
- Haag, S.; Sinhoff, V.; Müller, T.; Brecher, C.: Engineering of automated assembly of beam-shaping optics. In: Proceedings of SPIE Vol. 8960 – Laser Resonators, Microresonators, and Beam Control XVI, Hrsg.: Kudryashov, A.; Paxton, A.; Ilchenko, V.; Aschke, L.; Washio, K., Bellingham / USA 2014, S. 896010-1 - 896010-10

- Hartbrich, I.: Airbus geht neue Wege in der Flugzeugproduktion. In: VDI Nachrichten, Nr. 21, online
- Heeschen, D.: Pilotprojekt: Process Mapping zur Optimierung der Auftragsabwicklung. In: Forschungsbericht 2012/2013 der Aachener Werkzeugbau Akademie WBA. Hrsg.: Boos, W.; Schuh, G., Shaker Verlag Aachen 2014, S. 55-64
- Heeschen, D.: Automatisierung der Fertigung im Werkzeugbau. In: Forschungsbericht 2012/2014 der Aachener Werkzeugbau Akademie WBA. Hrsg.: Boos, W.; Schuh, G., Apprimus Verlag Aachen 2014, S. 111-117
- Henke, C.: Model-based design of mechatronic systems exemplified by a self-correcting strategy for manufacturing of small metal parts. High Tech Systems 2014, 's-Hertogenbosch, Niederlande, 7. Mai 2014
- Hill, C.: Faseroptische interferometrische Rauheitsmesstechnik: In: Fraunhofer-Allianz Vision Leitfaden zur optischen 3D-Messtechnik. Hrsg.: Sackewitz, M., Fraunhofer-Allianz Vision Leitfaden 14, Fraunhofer Verlag Stuttgart 2014, S. 88-90
- Holtmann, J.; Shipchanov, D.: Considering Architectural Properties in Real-time Play-out. In: Proceedings of the 13<sup>th</sup> Workshop Automotive Software Engineering, Bonner Köllen Verlag, Bonn 2014, o.a.S.
- Jürgenhake, C., Fechtelpeter, C., Dumitrescu, R., Heidsiek, D.: Optimized process sequences for prototyping of molded interconnect devices, In: Advances Materials Research Vol. 1038, Trans Tech Publications, Switzerland 2014, S. 19-27
- Jürgenhake, C.; Fechtelpeter, C.; Wild, P.: Zuverlässigkeit bei MID – Hemmnisse, Handlungsfelder, Potentiale. In: Produktion von Leiterplatten und Systemen (PLUS), Leuze Verlag, Bad Saulgau 2014, o.a.S.
- Jürgenhake, C.; Schierbaum, T.; Faltus, F.: Entwicklungsplaner zur Wirtschaftlichkeitsbetrachtung und Entwicklung von MID-Produkten (MID-Plan). In: Produktion von Leiterplatten und Systemen (PLUS), Leuze Verlag, Bad Saulgau 2014, o.a.S.
- Jürgenhake, C.; Schierbaum, T.; Fischer, C.; Dumitrescu, R.: Integrative Development of MID. In: Three-Dimensional Molded Interconnect Devices (3D-MID) - Materials, Manufacturing, Assembly and Applications for Injection Molded Circuit Carriers, Hrsg.: Franke, J., Carl Hanser Verlag, München 2014, o.a.S.
- Kaiser, L.: Einsatz von Model-Based Systems Engineering im Spitzencluster it's OWL. Vortrag auf dem Kick-Off zur Fachgruppe Systems Engineering, Vlotho, August 2014
- Kaiser, L.: Mechatronische Systembeschreibung in der Anwendung. Vortrag auf dem AlumniExperts – FridayNightTalk der Nordakademie, Hamburg, September 2014
- Kaiser, L.: Systems Engineering in der industriellen Praxis. Vortrag auf der 8. Fachtagung Virtual Prototyping & Simulation in der Praxis, Paderborn, September 2014
- Keßler, J. H.; Krüger, M.; Trächtler, A.: Continuous Objective-based Control for Self-Optimizing Systems with Changing Operation Modes. In: 13<sup>th</sup> European Control Conference (ECC), Strasbourg, Frankreich 2014, S. 2096-2102
- Klocke, F.: Production Technology in high-wage countries – From ideas of today to products of tomorrow. In: Industrial engineering and ergonomics. Visions, concepts, methods and tools, S. 13-30
- Klocke, F.: Technologiewissen für die digitale Produktion. In: Industrie 4.0: Aachener Perspektiven – Aachener Werkzeugmaschinenkolloquium 2014, Hrsg.: AWK Aachener Werkzeugmaschinen-Kolloquium, Brecher, C.; Klocke, F.; Schmitt, R.; Schuh, G., Shaker Verlag, Aachen 2014, S. 247-269

Klocke, F.: Auf dem Weg in eine neue Produktionstechnik. In: tec2 (Technik-Magazin des VDI), 2014, S. 23-25

Klocke, F.; Arntz, K.; Heeschen, D.: Decision-Making Process in Manufacturing Technology Planning for Small Scale Productions. In: Proceedings of the Forty-Seventh Annual Hawaii International Conference on System Science, Hrsg.: CPS Conference Publishing Services Washington D.C./USA 2014, S. 836-845

Klocke, F.; Brummer, C.: Laser-assisted metal spinning of challenging materials. In: Procedia Engineering 2014, 81, S. 2385-2390

Klocke, F.; Dambon, O.; Andrecht, D.; Driemeyer Wilbert, A.; Kretschmer, A.: Roboterbasierte Feinbearbeitung von Stahlwerkstoffen. In: wt – Werkstatttechnik online 104, Nr. 11/12, S. 757-762

Klocke, F.; Dambon, O.; Rohwerder, M.; Bernhardt, F.; Merzlikin, S.: Coating wear characteristic in heating tests under process conditions of Precision Glass Molding. In: Proceedings of 5<sup>th</sup> International Conference of Asian Society for Precision Engineering and Nanotechnology ASPEN 2013, Hrsg.: Fan, K., National Taiwan University, Taiwan 2014, S. 1393

Klocke, F.; Heinen, D.; Schongen, F.; Arntz, K.; Liu, Y.; Bäcker, V.; Feldhaus, B.: Wear protection of deep drawing tools by systematic optimization of highly stressed surfaces. In: WGP Congress 2012 – Progress in Production Engineering. Advanced Materials Research 907, Trans Tech Publications Durnten/Swiss 2014, S. 439-453

Klocke, F.; Joseph, Y.; Trächtler, A.; Adams, O.; Backmeyer, M.; Blattner, M.; Brockmann, M.; Eisenblätter, G.; Gierlings, S.; Henke, C.; Jamal, R.; Kamps, S.; Keitzel, G.; Schulz, K.; Veselovac, D.; Wirtz, G.: Sensoren für die digitale Produktion. In: Industrie 4.0: Aachener Perspektiven – Aachener

Werkzeugmaschinenkolloquium 2014, Hrsg.: AWK Aachener Werkzeugmaschinen-Kolloquium, Brecher, C.; Klocke, F.; Schmitt, R.; Schuh, G., Shaker Verlag, Aachen 2014, S. 271-296

Klocke, F.; Wegener, M.; Liu, Y.; Arntz, K.: Process Chains for CAM Supported Additive Manufacturing by Laser Deposition Welding. In: Proceedings DDMC 2014 Fraunhofer Direct Digital Manufacturing Conference. Hrsg.: Demmer, A., Fraunhofer Verlag Berlin, Germany 2014, S. 1 -5

Koch, T.; Holtmann, J.; DeAntoni, J.: Generating EAST-ADL Event Chains from Scenario-Based Requirements Specifications. In: Proceedings of the 8<sup>th</sup> European Conference on Software Architecture (ECSA), Hrsg.: Avgeriou, P.; Zdun, U., Springer, Berlin/Heidelberg 2014, S. 146-153

Krüger, M.: Model-based design of self-correcting forming processes, KoMSO Challenge Workshop Math for the Digital Factory, Berlin, 7.-9.Mai 2014

Kruse, D.; Schweers, C.; Trächtler, A.: Methodology for a partly automated parameter identification for the validation of multi-domain models. In: ASME International Mechanical Engineering Congress and Exposition IMECE 2014, Montreal, Canada 2014, o.a.S.

Kühn, A.: Industrie 4.0 – Intelligente Technische Systeme in der Produktion, REFA-Jahreshauptversammlung OWL, April 2014

Kühn, A.: Systems Engineering – Innovative Produktentstehung in der Praxis, Vortrag im Rahmen der solutions-Veranstaltungsreihe, IHK Ostwestfalen zu Bielefeld in Kooperation mit CLAAS, Harsewinkel, 18. November 2014

Kühn, A.; Bremer, C.; Dumitrescu, R.; Gausemeier, J.: Feature models supporting trade-off decisions in early mechatronic systems design. In: NordDesign 2014, Espoo, Finland 2014, o.a.S.

Kühn, A.; Kliewe, D.; Dumitrescu, R.; Gausemeier, J.: Strategy controlling for innovation clusters – the example of “it’s OWL”. ISPIM Conference 2014, o.a.S.

Kulik, M.; Schenk, F.; Schmitt, R.: Induziert pluripotente Stammzellen iPS: Die vollautomatisierte Herstellung. In: GIT Labor-Fachzeitschrift 58, 2, 2014, S. 22-24

Mahadhir, K. A.; Tan, S. C.; Low, C. Y.; Dumitrescu, R.; Amin, A. T. M.; Jaffar, A.: Terrain Classification for Track-driven Agricultural Robots. In: Procedia Technology 15, S. 776-783

Mann, S.; Abels, P.; de Melo, L.: Measurement of particle density distribution of powder nozzles for laser material deposition. In: ICALEO International Congress on Applications of Laser & Electro-Optics, Atlanta 2014

Meyer, M.: Dienste-basierte Infrastrukturen im Kontext von Industrie 4.0, EKA – Entwurf komplexer Automatisierungssysteme 2014, Tutorium, Magdeburg, 14. Mai 2014

Meyer, M.: Entwurfstechniken für die flexible Vernetzung von Produktionsanlagen, Jahrestagung der GI-Fachgruppe »Architekturen«, Ladenburg, 7. Juli 2014

Meyer, M.: Smarte Systeme durch smarte Entwicklung – Entwurfstechniken für intelligente technische Systeme, Rhapsody & DOORS User Group Summit (RUGS & DUGS), Paderborn, 22. Mai 2014

Meyer, M.: Softwareentwicklung für Intelligente Technische Systeme: Vortragsprogramm der GI-Regionalgruppe OWL, Paderborn, 20. Februar 2014

Meyer, M.: Spitzencluster Intelligente Technische Systeme OstWestfalenLippe – Wegbereiter für Industrie 4.0, Prozessinnovationen in der zukünftigen chemischen Industrie (Industrie

4.0) 726. DECHEMA-Kolloquium, Frankfurt am Main, 20. November, 2014

Minoufekr, M.: Process Characterization and Evaluation of NC Machining Processes based on Macroscopic Engagement Simulation. In: Proceedings of the 11<sup>th</sup> International Conference on Informatics in Control, Automation and Robotics (ICINCO-Konferenz), Volume 2, o.a.S.

Minoufekr, M.; Glasmacher, L.; Adams, O.: Macroscopic Simulation of Multi-Axis Machining Processes. In: ICINCO 2013 – Proceedings of the 10<sup>th</sup> International Conference on Informatics in Control, Automation and Robot, Volume 2, Reykjavik/Iceland, 29-31 July, 2013. Hrsg.: Ferrier, J.; Gusikhin, O.; Madani, K.; Sasiadek, J., SciTePress Reykjavik/Iceland 2014, S. 505-516

Niendorf, L.; Große-Böckmann, M.; Schmitt, R.: Challenges of data acquisition and analysis for characteristics-driven and metrology-based optimization of milling process development. In: Mechanics and Control Engineering III. Hrsg.: Zhang, J.; Chang, G.; Marburg, S., Applied Mechanics and Materials 704, Trans Tech Publications Pfaffikon Switzerland 2014, S. 233-238

Ottersbach, M.; Kölker, W.: Zerspanung von Hochleistungswerkstoffen mit innovativ beschichteten Hartmetallwerkzeugen. In: Hanser Tagung: Schwer zerspanbare Werkstoffe in der industriellen Praxis. o.a.S.

Ottersbach, M.; Busch, M.; Degen, F.; Stolorz, M.: Efficient Machining of Aerospace alloys with geometrical adapted milling tools. Aeromat, Orlando 2014

Pickshaus, T.: ReqMech – Requirements based mechatronic product development Abschlussbericht. FQS Forschungsgemeinschaft Verlag 2014, o.a.S.

- Pickshaus, T.; Schmitt, R.: Fostering technology strategies through structured and recursive requirements engineering. In: Proceedings of the 7<sup>th</sup> ICPR-AR 2014 – International Conference on Production Research / American Region, Hrsg.: Bullón Salazar, L.; Jan, A.; Cauvi G., 2014, S.1-5
- Plutz, M.; Schmitt, R.; Jussen, T.: Method for the Monetary Quantification of Failure Risks in Production. In: Safety, Reliability and Risk Analysis: Beyond the Horizon. Hrsg.: Steenbergen, R.; Gelder, P.; Miraglia, S.; Vrouwenvelder, T., CRC Press London 2014, S. 492-492
- Plutz, M.; Schmitt, R.; Reyes, C.: Technical Risk Management in Medical Technology. In: Quality Assurance 2014, online
- Pohlmann, U.; Dziwok, S.; Meyer, M.; Tichy, M.; Thiele, S.: A Modelica Coordination Pattern Library for Cyber-Physical Systems. In: Proceedings of the 7<sup>th</sup> International ICST Conference on Simulation Tools and Techniques (SIMUTools ,14), Brussels, Belgium 2014, o.a.S.
- Pohlmann U.; Holtmann, J.; Meyer M.; Gerking, C.: Generating Modelica Models from Software Specifications for the Simulation of Cyber-physical Systems. In: Proceedings of the 40<sup>th</sup> Euromicro Conference on Software Engineering and Advanced Applications (SEAA), IEEE Computer Society Press, Verona, Italien 2014, o.a.S.
- Pohlmann, U.; Meyer, M.; Dann, A.; Brink, C.: Viewpoints and Views in Hardware Platform Modeling for Safe Deployment. In: Proceedings of the 2<sup>nd</sup> Workshop on View-Based, Aspect-Oriented and Orthographic Software Modelling, New York 2014, o.a.S.
- Pohlmann, U.; Trsek, H.; Dürkop, L.; Dziwok, S.; Oestersötebier, F.: Application of an Intelligent Network Architecture on a Cooperative Cyber-Physical System. An Experience Report. In: Proceedings of the 19<sup>th</sup> IEEE Conference on Emerging Technologies and Factory Automation (Work-in-Progress), Barcelona 2014, o.a.S.
- Prater, K.; Dukwen, J.: Guide4Diffractive – Replikative Fertigung von diffraktiven Glasoptiken. In: wt – Werkstattstechnik online, 2014, S. 763-768
- Priesterjahn, C.; Holtmann, J.; Meyer, M.: Smarte Entwicklung für smarte Systeme – Softwareentwicklung im Kontext des Gesamtsystems. In: Tagungsband Embedded Software Engineering Kongress 2014, Sindelfingen 2014, o.a.S.
- Rabe, M.; Anacker, H.; Dumitrescu, R.: Methodology for the identification of solution patterns within mechatronic systems. In: Proceedings of the 15<sup>th</sup> International Workshop on Research and Education in Mechatronics (REM), El Gouna, Egypt 2014, o.a.S.
- Reiser, W., Brecher, C.; Wenzel, C.; Ellinghaus, J.: Enhanced tool cutting edge detection for ultra precision diamond machining applying a conventional setting system. In: Proceedings of the 14<sup>th</sup> euspen international conference of the European Society for Precision Engineering and Nanotechnology, Bedford 2014, S. 327-330
- Riedel, J.: Weißlichtinterferometrie. In: Leitfaden zur optischen 3D-Messtechnik, Hrsg.: Sackewitz, M., Fraunhofer Verlag/ Fraunhofer-Allianz Vision, Stuttgart 2014, S. 40-44
- Schaermann, W; Borzykh, M; Trächtler, A; Tabakajew, D; Damerow, U; Homberg, W; Hesse, M; Jungeblut, T.: Selbstkorrigierende Biegeprozesse in der Umformtechnik. In: Automation 2014: Smart X – powered by automation, VDI Verlag, Düsseldorf 2014, o.a.S.

- Schenk, F.: High-Speed Microscopy – Scanning of Microtiter Plates at Unprecedented Speed. In: *Imaging & Microscopy*, 16, 2014, 1, S. 20-22
- Schierbaum, T.; Gausemeier, J. Dumitrescu, R.: Method for the Identification and Comparison of Alternative Process Chains Focusing on Economics Efficiency Analysis During the Conceptual Design of Mechatronic Integrated Devices. In: *Advances Materials Research Vol. 1038*, Trans Tech Publications, Switzerland 2014, S. 3-9
- Schmitt, R.: Perceived Quality. Subjektive Kundenwahrnehmungen in der Produktentwicklung nutzen. Hrsg.: symposion Publishing GmbH, Düsseldorf 2014
- Schmitt, R.: Resolution. In: *CIRP Encyclopedia of Production Engineering*, Hrsg.: Laperrière, L.; Reinhart, G., Springer-Verlag Berlin, Heidelberg 2014, o.a.S.
- Schmitt, R.: Scanning Electron Microscope. In: *CIRP Encyclopedia of Production Engineering*, Hrsg.: Laperrière, L.; Reinhart, G., Springer-Verlag Berlin, Heidelberg 2014, o.a.S.
- Schmitt, R.; Ackermann, R.; Bauer, K.; Große-Böckmann, M.; Hammers, C.; Kaufmann, T.; Middelkamp, S.; Plapper, V.; Permin, E.; Plutz, M.; Richter, K.; Wegener, D.: Industrie 4.0. Konzept der resilienten Fabrik. In: *Industrie 4.0: Aachener Perspektiven – Aachener Werkzeugmaschinenkolloquium 2014*, Hrsg.: AWK Aachener Werkzeugmaschinen-Kolloquium, Brecher, C.; Klocke, F.; Schmitt, R.; Schuh, G., Shaker Verlag Aachen 2014, S. 427-449
- Schmitt, R.; Große-Böckmann, M.: Kollaborative Cyber-Physische Produktionssysteme: Ausbruch aus der Produktivitätsfalle. In: *Industrie 4.0: Aachener Perspektiven – Aachener Werkzeugmaschinenkolloquium 2014*, Hrsg.: AWK Aachener Werkzeugmaschinen-Kolloquium, Brecher, C.; Klocke, F.; Schmitt, R.; Schuh, G., Shaker Verlag Aachen 2014, S. 361-369
- Schmitt, R.; Große-Böckmann, M.; Günther, S.; Niendorf, L.; Permin, E.; Plutz, M.; Vollmer, T.: Produktionsdaten nutzen – Prozesse nachhaltig verbessern. In: *18. Business Forum Qualität – Daten für die Qualität von morgen – generieren, interpretieren und nutzen*, Hrsg.: Schmitt, R., Apprimus Verlag, Aachen 2014, S. 23-45
- Schmitt, R.; Harnisch, E.: Optimierte Schreiben optischer Mikrostrukturen. In: *Mikroproduktion 12 (2014)*, 5, S. 37-41
- Schmitt, R.; Hill, C.: Evaluation of the Potential of Inline Tool Wear Monitoring in Micro Milling. In: *14<sup>th</sup> International Conference & Exhibition of the European Society of Precision Engineering and Nanotechnology 2014: 2-6 June 2014*, Dubrovnik, Croatia. Hrsg.: Leach, R.; Charlton, N.; Nyman, D.; Phillips, D., Proceedings of the Euspen International Conference 14, 1. Aufl., Euspen Bedford/UK 2014, S. 225-228
- Schmitt, R.; König, N.; Hill, C.: Charakterisierung von Mikrowerkzeugen – Grundlage für die wirtschaftliche Mikroproduktion Potenziale und Bedeutung aktueller Messverfahren für die Charakterisierung von Mikrofräs- und -drehwerkzeugen. In: *5. VDI/VDE Fachtagung, VDI-Berichte. Metrologie in der Mikro- und Nanotechnik 2194*, VDI-Verlag Düsseldorf 2014, S. 119-130
- Schmitt, R.; König, N.; Hill, C.: Optische Messtechnik für die berührungslose Oberflächencharakterisierung. In: *5. Fachtagung Verzahnungsmesstechnik 2014*, Nürtingen, Germany, 23.-24. September 2014, Hrsg.: VDI-Verlag Düsseldorf 2014, S. 33-44
- Schmitt, R.; Mallmann, G.: Hochpräzise Inline-Messtechnik für die Prozesskontrolle bei Laserstrukturiersystemen. In: *Laser in der Elektronikproduktion & Feinwerktechnik*, Hrsg.: Schmidt, M.; Roth, S., Meisenbach Verlag, Bamberg 2014, S. 250-259

- Schmitt, R.; Mallmann, G.; Devrient, M.; Schmidt, M.: 3D Polymer Weld Seam Characterization Based on Optical Coherence Tomography for Laser Transmission Welding Applications. In: *Physics Procedia* 2014, 56, S. 1305-1314
- Schmitt, R.; Radermacher, K.; Plutz, M.; Janß, A.: Wenn Risiken das Handeln prägen. Systemischer Risikomanagementansatz für kleinere Unternehmen. In: *Qualität und Zuverlässigkeit* 59 (2014), S. 18-21
- Schmitt, R.; Permin, E.; Fuhrmann, M.: Cognitive Self-Optimization for quality control loops – Potentials and future challenges in research. In: *Advanced Materials Research* 2014, 1018, S. 477-484
- Schmitt, R.; Permin, E.; Günther, S.: Daten für die Qualität von morgen – Datenmanagement im Zeitalter von Industrie 4.0. In: *Qualität und Zuverlässigkeit* 59 2014, 8, S. 30-31
- Schmitt, R.; Pfeifer, T.; Mallmann, G.: Machine integrated telecentric surface metrology in laser structuring systems. In: *ACTA IMEKO* 2 2014, 2, S. 73-77
- Schmitt, R.; Plutz, M.: Effizienz und Effektivität Ihres Qualitätsmanagements steigern. Kulturbasiert! In: *zwf – Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb* 109 (2014), S. 214-217
- Schraknepper, D.; Göbel, M.: Cluster für höhere Ressourceneffizienz. In: *Industrieanzeiger*, 22.14, S. 63-65
- Schug, P.; Glasmacher, L.; Klocke, F.: Modellierung und Evaluation von CAx-Prozessketten. In: *Innovations of Sustainable Production for Green Mobility Energy-Efficient Technologies in Production – 3<sup>rd</sup> International Chemnitz Manufacturing Colloquium ICMC 2014 ; 3<sup>rd</sup> International Colloquium of the Cluster of Excellence eniPROD, Part 1*, Hrsg.: Neugebauer, R.; Drossel, W., *Berichte aus dem IWU* 80, Verlag Wissenschaftliche Scripten, Auerbach 2014, ISBN 9873957350046, S. 871-891
- Schug, P.; Kotlov, A.: Designing CAx-process chains: Model and modeling language for CAx-process chain methodology. In: *ICINCO – 11<sup>th</sup> International Conference on Informatics in Control, Automation and Robotics, Volume 2*, Hrsg.: Filipe, J., *ICINCO 2014 2*, S. 724-733
- Schug, P.; Mallok, M.; Glasmacher, L.: Durchgängige CAx-Prozesskette. In: *Werkzeugbau Akademie Forschungsbericht 2012/2013*. Hrsg.: Boos, W.; Schuh, G., *Apprimus Verlag Aachen* 2014, S. 126-132
- Schuh, G.: *Handbuch Produktion und Management. Bd. 7: Einkaufsmanagement*. Springer-Verlag: Berlin 2014
- Schuh, G.; Aghassi, S.; Schneider, B.; Bartels, P.: Influencing Factors and Requirements for Designing Customized Technology Transfer Portals. In: *Proceedings of the ICMIT 2014 – 7<sup>th</sup> IEEE International Conference on Management of Innovation and Technology*, Hrsg.: *ICMIT Singapur* 2014, S. 105-110
- Schuh, G.; Apfel, K.: Framework to design type-based transfer processes between technology and product development. In: *Management Studies* 2 (2014), S. 357-372
- Schuh, G.; Apfel, K.: Hype Cycle of Technology Intelligence. In: *International Journal of Engineering and Technical Research* 2 (2014), S. 126-130
- Schuh, G.; Bachmann, H.; Apfel, K.; Kabasci, P.; Lau, F.: Erfolgreiche Technologiefrüherkennung – von der Pflicht bis zur Kür. In: *zwf – Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb* 109 (2014), S. 796-800
- Schuh, G.; Bräkling, A.; Marso-Walbeck, K.; Drescher, T.: Wissen braucht Struktur und Netzwerke. In: *Infoline* (2014), S. 18-19

- Schuh, G.; Bräkling, A.; Apfel, K.: Identification of Requirements for Focused Crawlers in Technology Intelligence. In: PICMET ,14. Infrastructure and Service Integration – Conference on Management of Engineering & Technology. Hrsg.: Kocaoğlu, D., Portland International Conference on Management of Engineering & Technology, Portland International Center for Management of Engineering and Technology Portland/USA 2014, S. 2918-2923
- Schuh, G.; Brecher, C.; Graw, M.; Kermer-Meyer, A.: The future of thermoplastic composites – an application roadmap. In: JEC Composites Magazine 2014, S. 21-24
- Schuh, G.; Engel, M.; Drescher, T.; Apfel, K.: Comprehensive Technology Exploitation using System Dynamics. In: PICMET'14 Portland International Center for Management of Engineering Proceedings – Infrastructure and Service Integration. Hrsg.: Kocaoglu, D., PICMET Proceedings, PICMET Portland International Center for Management of Engineering and Technology Portland/USA 2014, S. 3224-3233
- Schuh, G.; Graw, M.; Schön, N.: Exploitation-oriented Manufacturing Technology Development. In: Procedia CIRP 2014, 17, S. 680-685
- Schuh, G.; Guo, D.; Wellensiek, M.: Transferability of the synoptical and incremental planning approach to technology planning: a review of the literature. In: European Journal of Research and Reflection in Management Sciences 2 (2014), S. 45-55
- Schuh, G.; Guo, D.; Wölk, S.; Ryschka, S.; Schön, N.; Bachmann, H.: Strategische Technologieplanung. Von der Strategie über die Roadmap zur Plattformentwicklung. In: IM: die Zeitschrift für Information Management und Consulting (2014), S. 56-64
- Schuh, G.; Hoppe, M.: Design rules for purchasing integration in new product development. In: IAMOT 2013 Proceedings, 22<sup>nd</sup> IAMOT International Conference for Management of Technology, 2014, o.a.S.
- Schuh, G.; Hoppe, M.: Purchasing's role in new product development: Towards rating companies' purchasing integration. In: Proceedings of the 22<sup>nd</sup> Annual International Purchasing and Supply, Education and Research Association Conference (IPSERA 2013), Hrsg.: Giannakis, M. et al., 2014, S. 1174-1185
- Schuh, G.; Kabasci, P.; Aghassi, S.; Drescher, T.: The Knowledge Exchange. A platform for pooling technology intelligence knowledge between practitioners, researchers, and technologists. In: Proceedings of the ICMIT 2014 – 7<sup>th</sup> IEEE International Conference on Management of Innovation and Technology, Hrsg.: Subramanian, A., Singapur 2014, S. 99-104
- Schuh, G.; Kabasci, P.: Why do companies use technology scanning? In: The Proceedings of the 2014 ISPIM Asia-Pacific Innovation Forum. Hrsg.: Huizingh, E.; Conn, S.; Torkkeli, M.; Bitran, I., Lappeenranta University of Technology Press Lappeenranta 2014.
- Schuh, G.; Kreimeier, M.: Ensuring Know-how Protection in Production. In: IJMER - International Journal of Modern Engineering Research 4, 12 (2014), S. 30-34.
- Schuh, G.; König, C.; Bachmann, H.; Drescher, T.: Entwickeln Sie eine Technologiestrategie! Strategische Technologieplanung – wozu und wie? In: Management und Qualität 44, 12, S. 11-13
- Schuh, G.; König, C.; Schön, N.; Wellensiek, M.: Concept for Determining the Focus of Technology Monitoring Activities. In: International Journal of Social, Management, Economics and Business Engineering 2 (2014), S. 3107-3114

Schuh, G.; von Mangoldt, J.: Messung des technologischen Kompetenz-Fits bei der technologie- und kompetenzbasierten Diversifikation. In: 10. Symposium für Vorausschau und Technologieplanung, Hrsg.: Gausemeier, J., Vorausschau und Technologieplanung 334, Heinz Nixdorf Institut Paderborn 2014, S. 127-144

Schuh, G.; Schön, N.: Mehrwert durch systematisch abgeleitete Technologiefelder. In: zwf – Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb 109 (2014), 12, S. 931-934

Schuh, G.; Wemhöner, H.; Ryschka, S.: Technology Strategies Within the Strategic Context of Manufacturing Companies. In: IAMOT' 2014 International Association for Management of Technology Proceedings – Science, Technology and Innovation in the Age of Economic, Political and Security Challenges. Hrsg.: Hosni, Y., IAMOT Proceedings, International Association for Management of Technology (IAMOT) Washington D.C/USA 2014, S. 1-16

Schuh, G.; Wölk, S.; Schraknepper, D.; Such, A.: Die Effizienz im Fokus, Innovative Fertigungstechnologien für komplexe Turbomaschinenkomponenten. In: WB Werkstatt + Betrieb 147, 12, 2014, S. 88-91

Schuh, G.; Wölk, S.; Schraknepper, D.; Such, A.: Approach for an Integrative Technology Assessment Method Combining Product Design and Manufacturing Process. In: International Journal of Social, Management, Economics and Business Engineering 2014, 8, S. 3223-3228

Schwartz, M.; Schiller, F.; Kramer, L.: TiCo: Technologie-management in Communitys – Ergebnispräsentation einer Onlinebefragung mit dem Ziel der Identifikation von KMU-spezifischen Präferenzen bezüglich Communitys. In: UdZ Unternehmen der Zukunft 15, 2014, 3, S. 24-25

Shareef, Z.; Just, V.; Teichrieb, H.; Trächtler, A.: Design and Control of a Vertical Ball Juggling Delta Robot without Visual Guidance. In: 13<sup>th</sup> International Conference on Intelligent Autonomous Systems, Springer-Verlag, Padua, Italy 2014, o.a.S.

Simone, D.; Ellinghaus, J.; Ahmar, E.: Herstellung komplexer Freiformoptiken für Kleinserien. In: Photonik – Fachzeitschrift für optische Technologien 46 (2014), S. 42-44

Sindler, J.; Sulitka, M.; Ur-Rehman, R.; Richterich, C.; Schäfer, A.: Simulation model for quick predictions of workpiece dynamic response in machining. In: 11<sup>th</sup> International Conference on High Speed Machining, HSM 2014. Proceedings. Prag 2014, S. 5

Stolorz, O.; Otterbach, M.; Degen, F.: Einsatz geometrisch angepasster Fräswerkzeuge. In: Hanser Tagung: Frästagung: Innovative spanende Fertigung, o.a.S.

Stolorz, O.; Ottersbach, M.; Kalocsay, R.: Prediction and compensation of process induced shape deviations in multi axis high-speed HARD finish milling. In: 11<sup>th</sup> International Conference on High Speed Machining, HSM 2014. Proceedings. Prag 2014, S. 5

Stürwald, S.: Functional Testing of Varifocals. In: Optik & Photonik 9 (2014), 2, S. 38-40

Stürwald, S.; Schmitt, R.: Investigation of diffraction-based measurement errors in optical testing of aspheric optics with digital micromirror devices. In: Journal of Micro/Nanolithography, MEMS, and MOEMS 13, 2014, 1, o.a.S.

Stürwald, S.; Schmitt, R.: Non diffractive beam configurations for optical trapping. In: Fringe 2013 – 7<sup>th</sup> International Workshop on Advanced Optical Imaging and Metrology. Hrsg.: Osten, W., Springer Heidelberg 2014, S. 356-362

Stürwald, S.; Schmitt, R.: Optical testing of progressive ophthalmic glasses based on galvo mirrors. In: Proc. SPIE 8936, Design and Quality for Biomedical Technologies VII, Hrsg.: Raghavachari, R.; Liang, R. SPIE Proceedings 8936, SPIE Bellingham, Washington/USA 2014, S. 278-286

Stürwald, S.; Schmitt, R.; Asfour, J.: Systematische Messfehler bei der Formprüfung mittels Computer-generierter Hologramme. In: Photonik – Fachzeitschrift für optische Technologien (2014), 2, ISSN 1432-9778, S. 30-33

Tschirner, C.; Kaiser, L.; Dumitrescu, R.; Gausemeier, J.: Collaboration in Model-Based Systems Engineering based on Application Scenarios. In: NordDesign 2014, Espoo, Finnland 2014, o.a.S.

Vaegs, T.; Valdez, A.; Schaar, A.; Bräkling, A.; Aghassi, S.; Jansen, U.; Thiele, T.; Welter, F.; Jooß, C.; Richert, A.; Schulz, W.; Schuh, G.; Ziefle, M.; Jeschke, S.: Enhancing Scientific Cooperation of an Interdisciplinary Cluster of Excellence via a Scientific Cooperation Portal. In: Proceedings of the Seventh International Conference on E-Learning in the Workplace 2014. Hrsg.: Guralnick, D., ICLW Eigenpublikation, New York 2014

Valdez, A.; Schaar, A.; Vaegs, T.; Thiele, T.; Kowalski, M.; Aghassi, S.; Jansen, U.; Schulz, W.; Schuh, G.; Jeschke, S.; Ziefle, M.: Scientific Cooperation Engineering. Making Interdisciplinary Knowledge Available within Research Facilities and to External Stakeholders. In: Proceedings of 10<sup>th</sup> International Conference on Webometrics, Informetrics and Scientometrics & 15<sup>th</sup> COLLNET Meeting 2014, Hrsg.: Markscheffel, B.; Fischer, D.; Büttner, D.; Kretschmer, H., Technische Universität Ilmenau, Ilmenau 2014, S. 77-86

Varnhagen, V.; Bechtold, J.; Stich, C.; Lauenstein, C.; Schuh, G.; Kuhlmann, K.; Pitsch, M.; Komorek, N.: Digital Value Networks in the Tool Manufacturing Industry. Capgemini Consulting Munich/Germany 2014

Vollmer, T.; Große-Böckmann, M.; Schmitt, R.: Resource Value Stream Map. Systematic identification and optimization of consumers. In: Resource Value Stream Map, Hrsg.: Klocke, F., Fraunhofer-Verlag, Stuttgart 2014, S. 1-12

Vollmer, T.; Große-Böckmann, M.; Schmitt, R.: Tools for the "Resource Value Stream Map" – Software support to visualize and improve resource consumptions. In: Tools for the "Resource Value Stream Map". Hrsg.: Klocke, F., Fraunhofer-Verlag Stuttgart 2014, S. 1-11

von Cube, P.; Abbas, B.; Schmitt, R.; Jeschke, S.: A monetary approach of risk management in procurement. In: 7<sup>th</sup> International Conference on Production Research / American Region, Lima - Peru from July 30<sup>th</sup> through August 2<sup>nd</sup>, 2014, Hrsg.: Bullón, L.; Quezada, L.; Hernandez, L., 2014

von Cube, P.; Abbas, B.; Schmitt, R.; Jeschke, S.; Vossen, R.: Monetäre Quantifizierung von Risiken bei der Produktbeschaffung (Q-Risk). Schlussbericht zu dem IGF-Vorhaben der Forschungsstellen Fraunhofer-Institut für Produktionstechnologie IPT/An-Institut für Unternehmenskybernetik IfU, Fraunhofer IPT/IFU Aachen 2014

von Cube, P.; Schmitt, R.: Execution of ramp-up projects in day-to-day operations through a quantitative risk management approach. In: Procedia CIRP 2014, S. 26-31

Wegener, M.; Heeschen, D.: Projekt der WBA: Methodik zur Bewertung der Wirtschaftlichkeit generativer Fertigungsverfahren im Werkzeugbau. In: Werkzeugbau Akademie Forschungsbericht 2013/2014, Hrsg.: Schuh, G.; Boos, W., 1. Aufl., Apprimus Verlag Aachen 2014, S. 88-92

Werner, D.; Emonts, M.; Brecher, C.: Multi-Material-Head. In: JEC Composites Magazine (2014), S. 60-63

Werner, D.; Emonts, M.; Brecher, C.: Tapelegekopf zur laserunterstützten Verarbeitung thermoplastischer Tapes, duroplastischer Prepegs sowie zum Dry-Fiber-Placement. In: Lightweightdesign 7 (2014), 4, S. 50-55

Wiederkehr, O.; Dumitrescu, R.; Gausemeier, J.: Der Entwicklungsauftrag als Basis für eine vorausschauende und systemorientierte Produktentstehung. In: Tag des Systems Engineering, Hrsg.: Maurer, M.; Schulze, S.-O., Carl Hanser Verlag, München 2014

Zeis, M.; Klink, A.; Klingbeil, N.: Alternativen zur Blisk-Fertigung. In: maschine + werkzeug 115 (2014), Dezember, S. 70-71

Zeis, M.; Klink, A.; Klingbeil, N.: A BLISK Machining Breakthrough. Alternative Manufacturing Technologies for Machining Nickel-based HPC BLISK's. In: Aerospace Manufacturing 80 (2014), 9, ISSN 2056-3434, S. 26

# DISSERTATIONEN 2014

## DISSERTATIONS 2014

Becker, P.: Softwaremodell zur zeitlichen und thematischen Prozesskettenplanung und -koordination in der standortübergreifenden, replikativen Optikfertigung. Diss. RWTH Aachen, 2014

Buß, C.: Steigerung der Formgenauigkeit bei der Replikation komplexer Freiformoptiken. Diss. RWTH Aachen, 2014

Dubratz, M.: Laserunterstütztes Fiber Placement Verfahren für die Herstellung dreidimensionaler Strukturkomponenten aus endlosfaserverstärkten thermoplastischen Prepregs. Diss. RWTH Aachen, 2014

Große Böckmann, M.: Senkung der Produktionskosten durch Gestaltung eines Energiereglerkreis-Konzeptes. Diss. RWTH Aachen, 2014

Hannig, S.: Auslegung von Ultraschallwerkzeugen am Beispiel ausgewählter Referenzprozesse. Diss. RWTH Aachen, 2014

Hassan, B.: A Design Framework for Developing a Reconfigurable Driving Simulator. Diss. Universität Paderborn, 2014

Hüntten, M.: Modellbildung für das Warmumformen von Glas. Diss. RWTH Aachen, 2014

Kaiser, L.: Rahmenwerk zur Modellierung einer plausiblen Systemstruktur mechatronischer Systeme. Diss. Universität Paderborn, 2014

Kolb, P.: Schwindungskompensation bei der Kunststoffreplikation dickwandiger LED-Beleuchtungsoptiken. Diss. RWTH Aachen, 2014

Krüger, M.: Parametrische Modellordnungsreduktion für hierarchische selbstoptimierende Systeme. Diss. Universität Paderborn, 2014

Marx, U.: Hochauflösende optische Kohärenztomografie zur automatischen Qualitätsprüfung semitransparenter Materialien. Diss. RWTH Aachen, 2014

Minoufekar, M.: Produkte der Medizintechnik auf der Grundlage biomechanischer Anforderungen. Diss. RWTH Aachen, 2014

Nollau, S.: Die virtuelle Technologieentwicklungsunternehmung. Diss. RWTH Aachen, 2014

Osmic, S.: Flachheitsbasierte Methode zum stoßfreien Umschalten von Reglerstrukturen. Diss. Universität Paderborn, 2014

Schütte, A.: Kontinuierliches Verfahren zur Herstellung miniaturisierter faserverbundtechnischer Profile mit axial variablen mechanischen Eigenschaften. Diss. RWTH Aachen, 2014

Stimpfl, J.: CO<sub>2</sub>-laserunterstütztes Tapelege-/Wickelverfahren zur Verarbeitung von ungefärbten, endlos glasfaserverstärkten Thermoplast-Tapes. Diss. RWTH Aachen, 2014

Stürwald, S.: Wave Front Sensor Based on Digital Mirror Matrix for Functional Characterization of Freeform Ophthalmic Optics. Diss. RWTH Aachen, 2014

Weinzierl, M.: Submikrometergenauigkeit in der zerspanenden Fertigung. Diss. RWTH Aachen, 2014

Witty, M.: Prozessauslegung für das Tauchfräsen tiefer Kavitäten. Diss. RWTH Aachen, 2014

# REFERENZEN

## REFERENCES



# IMPRESSUM

## EDITORIAL NOTES

### Herausgeber/Publisher

Fraunhofer-Institut für Produktionstechnologie IPT  
Steinbachstraße 17  
52074 Aachen  
Telefon/Phone +49 241 8904-0  
Fax +49 241 8904-198  
info@ipt.fraunhofer.de  
www.ipt.fraunhofer.de

### Redaktion/Editorial Staff

Susanne Krause M.A.  
Julia Glock M.A.

### Übersetzung/Translation

European Translation Centre Ltd., Capestang, F  
Julia Glock M.A.

### Layout/Layout

Heidi Peters

### Fotos/Photos

Fraunhofer IPT  
außer/except  
Seite 7: Ralph Essers  
Seiten 21, 23, 25, 27, 45, 73, 81, 109, 111, 125:  
Panther Media GmbH  
Seite 64: Matthias Knepeck  
Seite 66: Peter Winandy  
Seite 70, 77, 109: MEV Verlag

### Druck/Print Shop

schmitz druck & medien GmbH & Co.KG, Brüggen

© Fraunhofer-Institut für Produktionstechnologie IPT  
Aachen, 2015

Nachdruck, auch auszugsweise, nur mit vollständiger  
Quellenangabe und nach Rücksprache mit der Redaktion.  
Belegexemplare werden erbeten.

No part of this publication may be reproduced or transmitted  
in any form or by any means without prior permission by the  
publishers and without identification of the source. Voucher  
copies are requested.



# INFORMATION-SERVICE

## INFORMATION SERVICE

Wenn Sie mehr Informationen zu den Forschungs- und Entwicklungsleistungen des Fraunhofer IPT wünschen, kreuzen Sie bitte das entsprechende Themenfeld an und senden oder faxen uns eine Kopie dieser Seite.

If you would like to receive more information about the research and development activities and services at the Fraunhofer IPT, please post or fax us the following form, indicating your interests.

**Fax +49 241 8904-6180**

### Ihre Anschrift/Your Address

Name \_\_\_\_\_

Titel/Title \_\_\_\_\_

Firma/Company \_\_\_\_\_

Abteilung/Department \_\_\_\_\_

Straße/Street \_\_\_\_\_

Postleitzahl/Zip Code \_\_\_\_\_

Stadt/Town \_\_\_\_\_

Telefon/Phone \_\_\_\_\_

Fax \_\_\_\_\_

E-Mail \_\_\_\_\_

### Periodica/Periodicals

Jahresbericht/Annual report

### Themen und Branchen/Themes and Industries

- Adaptive Fertigung/Adaptive Manufacturing
- Automatisierung und Sondermaschinen/Automation and Specialist Machines
- Computerunterstützte Fertigung/Computer-aided Manufacturing
- Faserverbundtechnik/Fiber-Reinforced Plastics Technology
- Feinbearbeitung und Mikrotechnik/Fine Machining and Micro Technology
- Funktionalisierung von Oberflächen/Functionalization of Surfaces
- Hochleistungszerspanung/High Performance Cutting
- Lasermaterialbearbeitung/Laser Material Processing
- Replikation von Optiken/Optics Replication
- Ultrapräzisionstechnik/Ultra Precision Technology
  
- Beratung und Management/Consulting and Management
- Integrierte mechatronische Systeme/Integrated Mechatronic Systems
- Leichtbau-Produktionstechnik/Production of Lightweight Components
- Life Sciences/Life Sciences
- Maschinen- und Anlagenbau/Mechanical and Plant Engineering
- Optik/Optics
- Turbomaschinen/Turbomachinery
- Werkzeug- und Formenbau/Tool and Die Making

© 2015

**Fraunhofer-Institut für  
Produktionstechnologie IPT**

**Institutsleitung**

**Executive Director**

Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Dr. h.c. Dr. h.c. Fritz Klocke

**Institutsdirektorium**

**Board of Directors**

Prof. Dr.-Ing. Christian Brecher

Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Dr. h.c. Dr. h.c. Fritz Klocke

Prof. Dr.-Ing. Robert Schmitt

Prof. Dr.-Ing. Dipl.-Wirt. Ing. Günther Schuh

Steinbachstraße 17

52074 Aachen

Germany

Telefon/Phone +49 241 8904-0

Fax +49 241 8904-198

[info@ipt.fraunhofer.de](mailto:info@ipt.fraunhofer.de)

[www.ipt.fraunhofer.de](http://www.ipt.fraunhofer.de)