



**Fraunhofer**

**IPT**

FRAUNHOFER-INSTITUT FÜR PRODUKTIONSTECHNOLOGIE IPT

**JAHRESBERICHT**

**2013**

**ANNUAL REPORT**

**FRAUNHOFER IPT**

**JAHRESBERICHT**  
**2013**  
**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,

bald ist es soweit: Unser Neubau ist im vergangenen Jahr sichtbar in die Höhe gewachsen und wird voraussichtlich zum Herbst 2014 bezugsfertig. Noch ist der Alltag am Institut immer wieder geprägt durch die räumliche Enge. Doch das hält uns nicht davon ab, unsere geschäftlichen Aktivitäten weiter auszubauen – zum Teil auch, indem wir weitere räumliche Kapazitäten im Umfeld des Instituts anmieten. Mit dem geplanten Einzug in den Neubau wird sich die Situation aber für alle Beteiligten endlich spürbar entspannen.

Ein wichtiger Stützfeiler unserer Tätigkeit ist der frisch bewilligte Fraunhofer-Innovationscluster »Adaptive Produktion für Ressourceneffizienz in Energie und Mobilität – AdaM«. Die Arbeiten sind im Jahr 2013 mit guter Unterstützung des Landesministeriums, des Industriekonsortiums und des benachbarten Fraunhofer ILT angelaufen. Hier haben wir ein Gemeinschaftsprojekt gestaltet, das für Industrie, Mensch und Umwelt wertvolle Ergebnisse liefern wird.

Die Zeit vergeht schnell und so haben wir im vergangenen Herbst bereits unser 13. Internationales Kolloquium »Werkzeugbau mit Zukunft« in Aachen abgehalten. Zum zehnten Mal jährte sich die Siegerehrung im Wettbewerb »Excellence in Production« – mit einem Preis, der inzwischen zu einem echten Qualitätsmerkmal für die Unternehmen der Werkzeugbau-Branche avanciert ist. Sowohl das jährliche Kolloquium als auch die Preisverleihung zählen heute zu den festen Terminen im Kalender des Werkzeug- und Formenbaus.

Neue Produkte aus neuen Werkstoffen erfordern neue Fertigungsverfahren: Das dachten sich auch Professor Christian Brecher und Professor Christian Hopmann vom Institut für Kunststoffverarbeitung in Industrie und Handwerk an der RWTH Aachen und hoben das AZL, das Aachener Zentrum für integrativen Leichtbau, aus der Taufe. Schon bald werden unsere Leichtbau-Produktionsforscher in neuen, eigenen

Dear readers,

Finally, we are heading for the finish line: over the past year, our new building has visibly gained in stature and in height, and by the autumn of 2014, we will, in all probability, be ready to move in. For the time being, meanwhile, the every-day life of the Institute is still "hemmed in" by spatial limitations – which has not, at any rate, prevented us from further extending the scope of our business activities, partly by renting additional facilities in the vicinity of the Institute. Once we have moved into our new buildings, however, the situation is bound to improve, and all of us will be able to breathe more freely.

The Fraunhofer Innovation Cluster "Adaptive Production for Resource Efficiency in Energy and Mobility – AdaM" is one important pillar of our activities. Research activities have started in 2013 with support from the Federal State Ministry, the industrial consortium and the neighbouring Fraunhofer ILT. We have developed a common project that will deliver important and valuable results for the industry, the environment and the general population.

Time passes quickly, and our most recent international colloquium "Tool and Die Making for the Future" last autumn in Aachen was already the 13<sup>th</sup> edition. The award ceremony of the competition "Excellence in Production", meanwhile, celebrated its tenth anniversary – its prizes have, over the past decade, become much sought-after quality standards for the tool and die making industry. Both the annual colloquium and the "Excellence in Production" award ceremony are key events in the calendar of the tool and die making industry.

New products and new materials require new production techniques: this is also what Professor Christian Brecher and Professor Christian Hopmann from the Institute of Plastics Processing (IKV) in Industry and the Skilled Crafts at RWTH Aachen University must have thought when they established



Räumlichkeiten am Campus Melaten daran mitwirken, die fertigungstechnischen Fragen eines enorm zukunftsreichen Marktes zu beantworten.

Und auch unsere Fraunhofer-Projektgruppe Entwurfstechnik Mechatronik in Paderborn entwickelt sich weiterhin sehr gut: Mit 80 Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern zählt die Projektgruppe inzwischen zu den Wegbereitern von »Industrie 4.0« und setzt wichtige Maßstäbe im BMBF-Spitzencluster »Intelligente Technische Systeme Ostwestfalen-Lippe – it's OWL«.

Alles in allem: Die Produktionstechnik ist in Aachen hervorragend positioniert, aber es wird darauf ankommen, auch weiterhin mit guten Ideen und überzeugenden Konsortien die Industrie und öffentliche Forschungsförderer für uns zu gewinnen. Gelingen wird uns das durch wissenschaftliche Exzellenz und eine noch bessere strategische Fokussierung, wie sie auch fraunhoferweit immer stärker in den Vordergrund rückt. Unseren engagierten Kolleginnen und Kollegen am Fraunhofer IPT ist das bereits heute selbstverständlich, daher gilt ihnen mein besonderer Dank! Nicht vergessen möchten wir mit unserem Dank aber auch alle Kunden und Projektpartner, die unsere Arbeit überhaupt erst möglich machen. Wir wünschen Ihnen und uns weiterhin eine erfolgreiche und vertrauensvolle Zusammenarbeit und viele spannende Forschungsideen für das Jahr 2014.

Aachen, im Februar 2014

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'F. Klocke'.

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

the "Aachener Zentrum für integrativen Leichtbau" (AZL), the Aachen-based center for integrated lightweight construction engineering. Soon, our own lightweight construction research fellows will move into their dedicated facilities at the Campus Melaten from where they will be able to contribute their ideas to some of the most pressing production issues of a hugely promising market with enormous potentials for the future.

Meanwhile, our own Paderborn-based Fraunhofer project group on Mechatronic Systems Design is evolving nicely: with a staff of 80 people, the project group has become one of the pioneering institutions of "Industry 4.0", setting important standards in the leading-edge cluster "Intelligent Technical Systems OstWestfalenLippe" of Germany's Federal Ministry of Education and Research.

All in all: production technology enjoys excellent opportunities in Aachen, but we will need to continue and further strengthen our efforts of attracting industrial corporations and public research bodies through good ideas and persuasive consortium concepts. We will succeed by reaffirming our unceasing commitment to scientific excellence and by further sharpening our strategic focus, in line with similar priorities of other institutes from the Fraunhofer-Gesellschaft. This is already daily practice for our committed friends and colleagues at the Fraunhofer IPT, which is why I want to thank them with all my heart. I am equally grateful to all our clients, customers and project partners without whose active engagement we would not be in a position to do any work at all. We hope that we will be able to continue our excellent business relationship which has not only been successful but also inspired by a spirit of mutual trust – and are looking forward to many exciting ideas for new and groundbreaking research in 2014.

# **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	68	<b>Unsere Ziele: Produktion der Zukunft</b> Our Objective: Production for the Future
16	<b>Organigramm</b> Organizational Chart	78	<b>Unsere Kompetenzen</b> Our Competencies
18	<b>Die Fraunhofer-Gesellschaft</b> The Fraunhofer-Gesellschaft	120	<b>Unsere Außenstellen</b> Our Branch Offices
20	<b>Denken in Prozessketten</b> To Consider the Entire Process	132	<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 following 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 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 3500 m<sup>2</sup> mit modernster Technik ausgestattet. Insgesamt umfasst das Fraunhofer IPT rund 6000 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 3500 m<sup>2</sup>. The entire Fraunhofer IPT occupies an area of app. 6000 m<sup>2</sup>.

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

Mehr als 450 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 2013 14 Wissenschaftlerinnen und 111 Wissenschaftler. Dies entspricht einer Frauenquote von elf 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. Im Jahr 2013 haben wir unsere Bemühungen noch verstärkt und erstmals die Veranstaltung »Women in Science!« mit einem Workshop und Informationen zum Fraunhofer IPT speziell

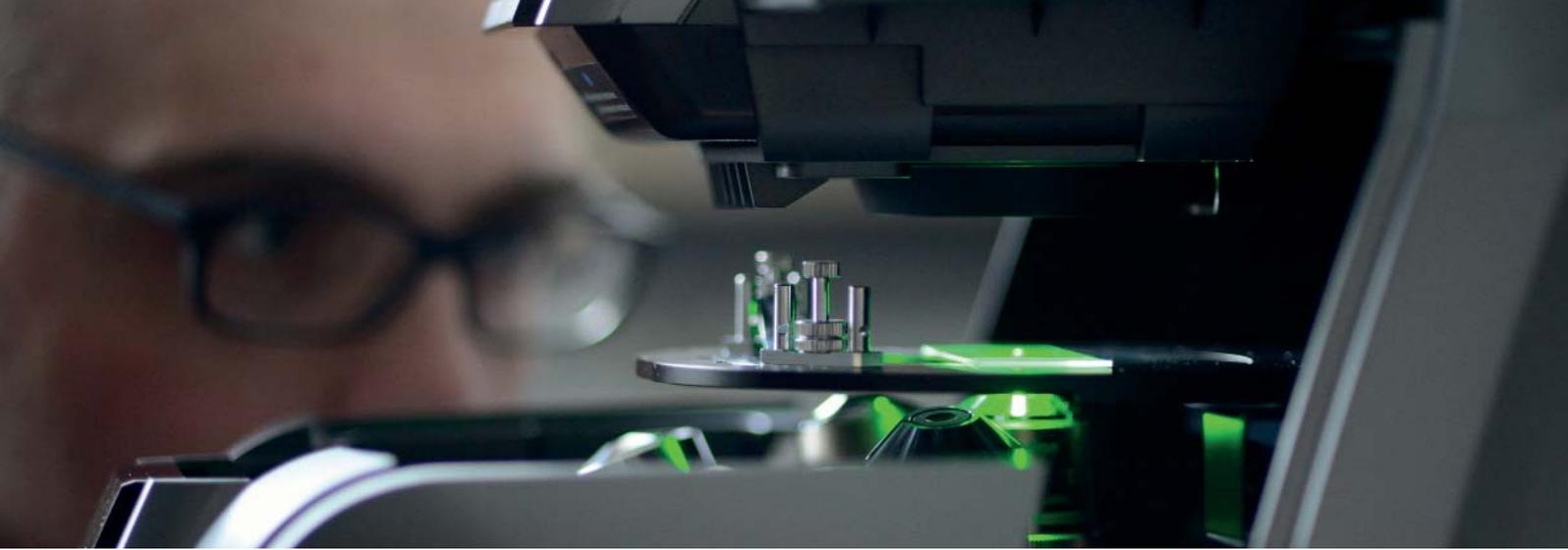
More than 450 highly committed and creative people are currently helping the Fraunhofer IPT to achieve its vision and to implement its various projects. All of the Institute's employees contribute their skills and knowledge to cross-departmental, interdisciplinary teams: our flat-hierarchy organizational 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 a few 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 2013, the Fraunhofer IPT employed 14 women in a workforce of 125 scientists, a ratio of eleven 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 specifically by providing family-friendly working conditions.



für Studentinnen der MINT-Fächer (Mathematik, Informatik, Naturwissenschaft und Technik) angeboten. Die Veranstaltung war sehr gut besucht und die Resonanz hervorragend, so dass wir uns entschlossen haben, sie auch im kommenden Jahr wieder stattfinden zu lassen.

Damit unsere Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter Familie und Beruf besser verbinden können, bietet das Fraunhofer IPT auch Teilzeitbeschäftigungen an. Einige der wissenschaftlichen Mitarbeiter nehmen mittlerweile die Partnermonate 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 Plätzen in den lokalen Kindertagesstätten.

### **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.

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

In 2013, we intensified our efforts in this field and hosted our first ever »Women in Science!« event which featured a workshop and provided 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 we received a highly positive echo, so it has already been decided to repeat the exercise in 2014.

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.

### **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 Team Leaders and, subsequently, assume the responsibilities of a Senior Engineer for one of our Departments. Senior Engineers remain on average for another five years at the 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.

persönlichen Karriereplanung. Hierfür wurde in Zusammenarbeit mit dem WZL der RWTH Aachen eigens die Personalberatung »Karrierepool WZL Aachen GmbH« eingerichtet. Diese unterstützt die wissenschaftlichen Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter des Fraunhofer IPT und des WZL 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 2013 haben 19 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 drei Jahren auch die Zahl der Bewerber, die an Universitäten außerhalb Aachens studiert haben, stark zugenommen.

Um auf dem hart umkämpften Arbeitsmarkt passende Bewerber noch schneller und besser für das Fraunhofer IPT gewinnen zu können, wurde mit Beginn des Jahres 2013 eine Position mit der Aufgabe des Personalmarketings im Umfeld der Öffentlichkeitsarbeit eingerichtet. Erste Aktivitäten in diesem Bereich waren neben der strategischen Planung und Aktualisierung des Internetauftritts speziell für Bewerber eine umfassende Personalmarketingkampagne und die Teilnahme an verschiedenen Karrieremessen und -veranstaltungen für Absolventinnen und Absolventen. Zusätzlich finden seit Anfang 2013 regelmäßige Informationstage für Studierende statt. Interessierte können so die Arbeitsatmosphäre am

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 established – in close cooperation with the WZL of the RWTH Aachen University – the “Karrierepool WZL Aachen 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 2013, 19 of our young scientists have left the Institute for a job in an industrial corporation.

#### **Professional personnel marketing as a weapon 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. In the past few years, the proportion of candidates who completed their studies at universities outside the Aachen region has substantially increased.

In order to recruit suitable candidates more quickly and more effectively for the Fraunhofer IPT, we created a new personnel marketing position for our PR department in early 2013. Initial activities included strategic planning, an overhaul of our website (particularly our job adverts), the organization of a comprehensive staff marketing campaign and the participation in various trade fairs and events, specifically targeted at young graduates. Additionally, we have been organizing a regular students’ information day since the beginning of 2013, enabling promising candidates to acquire some first-hand impressions of the Institute and all of its departments and to



Institut hautnah erleben und sich im persönlichen Gespräch mit Mitarbeitern über ihre Karrierechancen am Fraunhofer IPT informieren. Dieser gelungene Einstieg in ein professionelles 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.

Die herausragenden Leistungen des Fraunhofer IPT basieren nicht zuletzt auch auf optimalen internen Abläufen und fundiertem Methodeneinsatz. Verwaltung und interne Dienstleister sind aktiv in die Leistungserbringung eingebunden und stellen sicher, dass sich die Fachabteilungen auf technologische und methodische Innovationen konzentrieren können.

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

In den vergangenen fünf Jahren ist das Fraunhofer IPT von 295 auf rund 453 Mitarbeiter angewachsen, allein die Zahl der Festangestellten erhöhte sich seit 2008 von 132 auf mehr als 215.

Die Neubauaktivitäten in der Steinbachstraße sind bereits weit fortgeschritten und sollen bis zum Herbst 2014 zusätzlichen Raumgewinn schaffen. Der Neubau wird eine Gesamtfläche von mehr als 5250 m<sup>2</sup> umfassen. Die bisherige Infrastruktur bleibt zum großen Teil unverändert. Im Anschluss an den bestehenden Bürotrakt wird ein neuer Bürokomplex mit fünf Stockwerken errichtet. Insgesamt kostet der Neubau rund 14 Millionen Euro, dazu kommen zweieinhalb Millionen für das Parkhaus, die je zur Hälfte der Bund und das Land NRW tragen.

Starken Einfluss auf das Wachstum hatte im Jahr 2013 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

find out more about their own potential career prospects at the Fraunhofer IPT in conversations with members of staff. These successful personnel marketing initiatives will provide 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.

The outstanding record of the Fraunhofer IPT is also a product of its streamlined internal processes and methodology. The back office department and internal service providers are actively involved in the performance of our services and allow the specialized departments to concentrate fully on the development of innovative technologies and techniques.

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

Over the past five years, the headcount of the Fraunhofer IPT has steadily grown from 295 to 453 employees. The number of staff with a permanent employment contract has increased from 132 in 2008 to more than 215.

Construction works at the Steinbachstraße building site are nearing completion and will provide us with more space for our activities by the autumn of 2014. The new building will have a total floor space of more than 5250 m<sup>2</sup> while leaving the previous infrastructure largely unchanged. The new five-floor extension will be added to the existing suite of offices next door. In total, the new construction will cost roughly € 14 million, not counting € 2.5 million for the multi-storey 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 three professors

Paderborn zusammen. Die drei seit Beginn an der Fraunhofer-Projektgruppe beteiligten Professoren Jürgen Gausemeier, Wilhelm Schäfer und Ansgar Trächtler sind Lehrstuhlinhaber und leiten leistungsfähige Arbeitsgruppen am Heinz Nixdorf Institut. Seit 1. Oktober 2013 hat Prof. Dr.-Ing. Iris Gräßler die Abteilung »Produktentstehung« von ihrem Vorgänger Prof. Dr.-Ing. Jürgen Gausemeier übernommen. Erreicht die Projektgruppe, die mit zunächst 15 Mitarbeitern im Jahr 2011 gestartet ist, bis zur Evaluierung im Jahr 2015 alle geforderten Ziele, kann 2016 die Institutsgründung erfolgen. Die Projektgruppe wird sich in einem innovativen Umfeld entwickeln: 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.

#### **Neue Abteilungsleiter im Bereich Produktionsqualität und Messtechnik**

Im September 2013 hat Dipl.-Phys. Niels König die Leitung der Abteilung »Produktionsmesstechnik« von Dr.-Ing. Stephan Bichmann übernommen.

Seit November 2013 leitet Dipl.-Wirt.-Ing. Markus Grosse Böckmann als Nachfolger von Dr.-Ing. Christoph Hammers die Abteilung »Produktionsqualität«.

who were involved in the Fraunhofer project group from the beginning – Jürgen Gausemeier, Wilhelm Schäfer and Ansgar Trächtler – are fully tenured and lead highly efficient working groups at the Heinz Nixdorf Institute. Since 1 October 2013 Prof. Dr.-Ing. Iris Gräßler has assumed the responsibilities from her predecessor Prof. Dr.-Ing. Jürgen Gausemeier as Head of Department for "Product engineering". 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.

#### **New Heads of Department in Production quality and metrology**

Since September 2013, Dipl.-Phys. Niels König has assumed the responsibilities of Dr.-Ing. Stephan Bichmann as Head of Department for "Production Metrology".

Since November 2013, Dipl.-Wirt.-Ing. Markus Grosse Böckmann has been following Dr.-Ing. Christoph Hammers as Head of Department for "Production Quality".

# AUSSTATTUNG

## EQUIPMENT

### Schleif- und Polieranlagen

#### Grinding and polishing machines and systems

- Rotationsschleifmaschinen zur Waferplanbearbeitung:  
G&N Multi-Nanogrinder
- Poliermaschinen zur Endbearbeitung sphärischer Bauteile:  
LOH SPS 120, Phoenix 4000
- Doppelseiten-Poliermaschine zum Planpolieren:  
Peter Wolters AC 530
- Topfschleifmaschine zur Vor- und Feinbearbeitung  
sphärischer Optiken: LOH SPM Spheromatic
- Manuelle Polierarbeitsstation
- Tribometer-Versuchsstand TRM 1000
- Zwei Schleif- und Polierroboter ABB IRB 4400
- Asphären-Polierroboter Satisloh All
- Schleifmaschine für Glasfasern: UltraPol Sculpted End

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

#### Equipment for optics replication of glass and plastics

- Anlage zum nicht-isothermen Blankpressen von Glas:  
Füller GT52
- Anlagen zum Präzisionsblankpressen optischer Gläser:  
Toshiba GMP 211V, Toshiba GMP 207HV, Moore Nanotech  
065 GPM-S
- Anlage zum Prägen optischer Mikrostrukturen

### Ultrapräzisionsdreh- und -schleifmaschinen

#### Ultra precision turning and grinding machines

- Drehmaschinen zur Präzisions- und Ultrapräzisions-  
zerspanung von NE-Metallen, Stahl, technischer Keramik,  
Kunststoff, Halbleiterwerkstoffen und Glas:  
Precitech Nano Form 350, Rank Pneumo MSG 325,  
LT-Ultra MTC

- Präzisionsdrehmaschinen zur Hartbearbeitung: Hembrug  
Slantbed Microturn 50 CNC linear, Hembrug Slantbed  
Microturn 100 CNC, Hembrug Slantbed Microturn CNC
- Drehmaschine: Benzinger TNC
- Ultrapräzisionsschleif- und -drehmaschinen:  
Toshiba ULG 100D (SH3), Moore Nanotech 350FG Five Axis  
Freeform Generator, Moore Nanotech 500 FG

### Präzisions- und Hochleistungsbearbeitungszentren

#### Precision and high performance machining centers

- 5-Achs-Präzisionsschleif- und Fräsmaschine: Kern Micro
- 5-Achs-Hochleistungsfräsmaschinen:  
Heller MC 25, Alzmetall GX 1000/5-FDT
- Hochleistungsdrehbearbeitungszentrum:  
Monforts UniCen 1000 Multiturn
- Schaufelbearbeitungszentrum: StarragHeckert LX151
- 5-Achs-Präzisionsfräsmaschinen:  
Mikron HSM U 600, Kern Pyramid Nano, Kern HSPC 2216,  
LT Ultra MMC 1100-2Z
- 3-Achs-Portalfräsmaschine mit Dreh-Schwenktisch zur  
HSC- und Hartbearbeitung: Mikromat 8V HSC
- 5-Achs-Großfräsmaschinen zur Sonderbearbeitung:  
Ingersoll Bohle Mastercenter, Deckel Maho DMC 165 V  
Linear

### Beschichtungsanlage

#### Coating system

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

### **Lasergeräte und Handhabungsanlagen**

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

- Nd:YAG-Festkörperlaser zur Materialbearbeitung mit einer Leistung bis zu 3 kW: Haas HL 3006 D
- Nd:YVO<sub>4</sub>-Laser zur Laserstrahlstrukturierung: Rofin Powerline E, Edgewave IS 1064-40 E
- 6-Achs-Roboter zur 3D-Lasermaterialbearbeitung: Stäubli RX 170
- 3- und 5-Achs-Handhabungssysteme für Bauteilgrößen bis zu 2 x 3 m<sup>3</sup> und Bauteilgewichten bis 10 t: Schuler Held
- Präzisionsdrehmaschine zur laserunterstützten Bearbeitung: Benzinger TNE-1S
- Drehmaschine für integrierte Prozessketten der Zerspanung und Lasermaterialbearbeitung: Monforts UniCen 400 LaserTurn
- Anlagen zur generativen Fertigung von Keramik- und Metallteilen:  
Lasersintern: EOSINT M 160, EOSINT M250 Xtended;  
Lasergenerieren und Drahtauftragschweißen:  
Röders RFM-600 CMB
- Drückmaschine zum konventionellen und laserunterstützten Metalldrücken: Leifeld PNC/CNC 75
- 5-Achs-Präzisionsfräsmaschine zum Laserstrukturieren von Freiformflächen: Mikron HSM U 600
- CO<sub>2</sub>-Laser: Trumpf TruCoax 2000
- IPG-Faserlaser YLR-6000-S2
- Fasergekoppeltes Diodenlasersystem: LDF 400-5000 LLK-D
- Pikosekunden-Laser: Lumera SUPER-RAPID
- 6-achsige Montage- und Handhabungsroboter: aico AR6560, AR6560-L, AR6590 (Manz Automation)
- 4-Achs-Roboter: DR1200/4 (Manz Automation)
- 5-achsiges Präzisionsbearbeitungszentrum für das Laserstrahlstrukturieren: Kern Evo

- 5-Achs-Gantry-Bearbeitungszentrum für die flexible Laseroberflächenbehandlung: Alzmetall GX 1000-LOB
- Superkontinuum-Laser NKT Photonics SuperK Extreme

### **Sondereinrichtungen**

#### **Specialist equipment**

- Hochdruckwasserstrahlbearbeitung: 5-achsige Ridder Portalanlage mit 600 MPa für das Rein- und Abrasiv-Wasserstrahlschneiden
- Reinraum Klasse 1000 (46 m<sup>2</sup>), Flow-Boxen 100
- Klimatisierte Kammern (±0,1 °C)
- Großkammer-Rasterelektronenmikroskop mit Vakuumkammer für Bauteile bis ca. 2 m<sup>3</sup>
- Labor für metallographische Untersuchungen
- 3D-Röntgen-Computertomograph: Metrotom 1500 Carl Zeiss IMT
- Spritzgießmaschinen: Arburg, Ferromatik
- Zellkulturlabor

### **Datenverarbeitung und Simulationswerkzeuge**

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

- Softwaresysteme für CAx-Anwendungen: Siemens PLM Software NX, CATIA V5, Pro Engineer Wildfire, Mastercam, Vericut, Cimatron, NCProfiler, Delcam
- FEM-Simulationsprogramme: ABAQUS, AdvantEdge, ANSYS, Cosmos M
- Zemax, Mountains Map, Vision 32, COMETinspect, PolyWorks



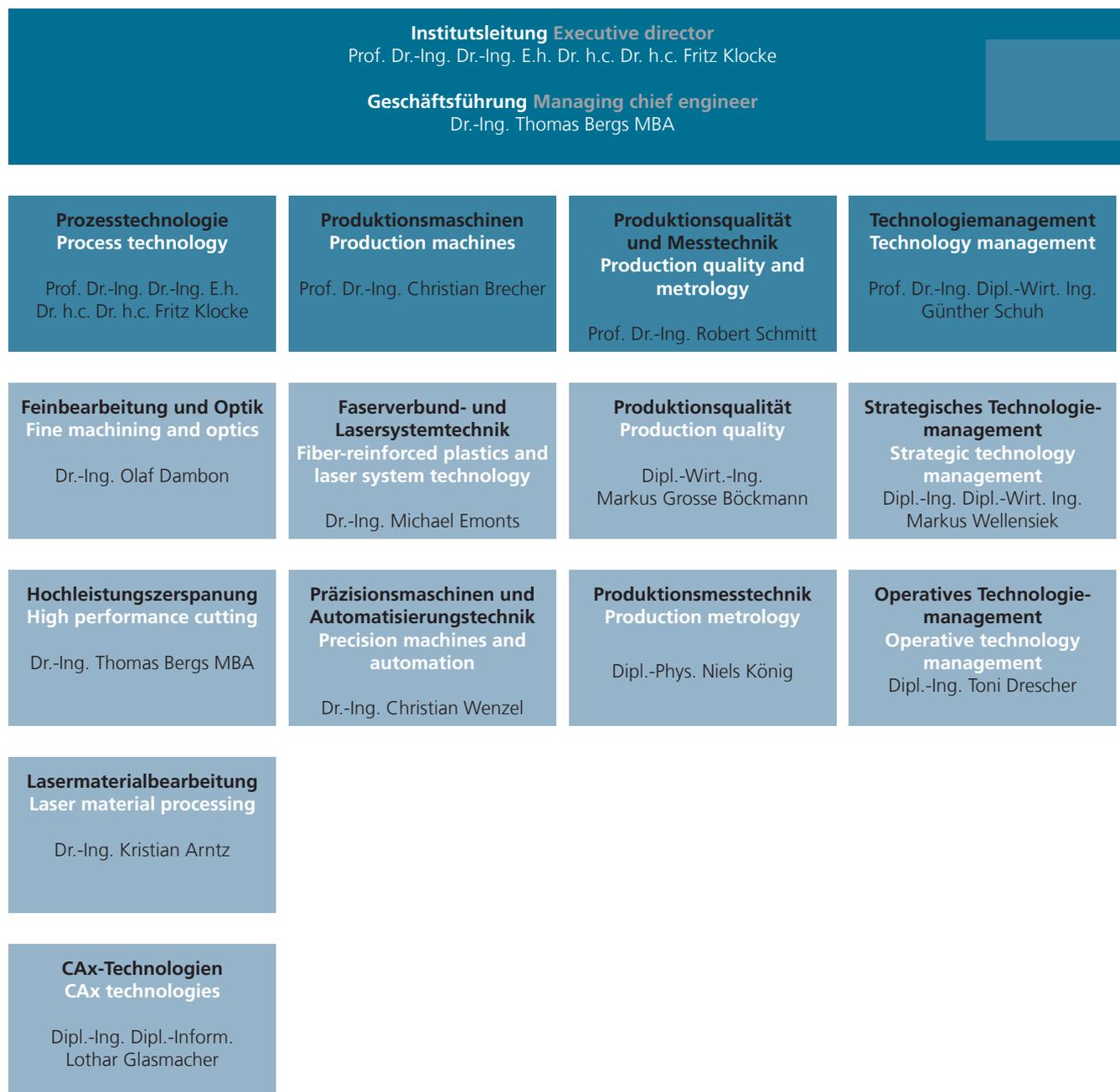
## Mess- und Prüfeinrichtungen

### Metrology and testing equipment

- Laserinterferometer zur Formprüfung: Zygo VeriFire AT+6", Wyko 6000, Fisba  $\mu$ PhaseDCI 2HR
- Deflektometrie-Messsystem: SpecGAGE<sup>3D</sup>
- Asphären-Messplatz: Mahr Surf LD120 Aspheric
- Wellenfrontmessgeräte: TriOptics WaveMaster, Trioptics WaveMaster LAB
- Weißlicht-Interferometer zur Mikrotopographie- und Rauheitsbestimmung: Veeco NT 1100
- Weißlicht-Interferometer für große Bauteile: Bruker NPFLEX 3D Surface Metrology System
- Konfokales 3D-Oberflächenmesssystem: Nanofokus  $\mu$ Surf Custom
- Hochauflösendes, optisches 3D-Oberflächenmesssystem: Alicona Imaging Infinite Focus System G4
- 5-Achs-Koordinatenmessgerät zur multisensoriellen Freiformkontrolle mit taktilen und optoelektronischen Messköpfen: Werth Videocheck IP
- 3D-Koordinatenmessgerät: Werth Videocheck UA 400
- Quarzkristall-3-Komponenten-Dynamometer: Kistler 9255 B
- Portalintegrierter chromatischer Sensor zur 3D-Oberflächenmessung: FRT MicroProof 100
- Lasertriangulationsscanner, Steinbichler L-Scan; Nikon LC 60D integriert in Werkzeugmaschine und Koordinatenmessgeräte
- Streifenprojektionssysteme, Steinbichler COMET 5 11M
- Form- und Oberflächenmessgeräte: Taylor Hobson Talyrond, Talysurf
- Rundheitsmesssystem mit optischer Antastung: Mahr MMQ 400
- Rasterelektronenmikroskop: Zeiss DSM 962 inkl. EDX-Analyse Oxford Isis, Carl Zeiss NeonTM EsB mit EDX-/EBSD-Analysesystem
- Konfokales Laserscanning-Mikroskop: Leica TCS SL
- Konfokales Lasermikroskop: Keyence VK-9700
- Fluoreszenz-Mikroskop: Keyence BZ-9000
- Lichtmikroskop: Zeiss Axiophot inkl. Bildanalyse SIS analySIS auto
- Digital-Mikroskop: Keyence VHX-500F
- Nanopositionier- und -messmaschine: Sios Messtechnik mit integriertem Fokus-Sensor
- Partikelmessgeräte zur Bestimmung der Partikelgrößenverteilung und Partikelform: Malvern Mastersizer 2000, Malvern FPIA-2100
- Laserstrahldiagnostiksysteme: Prometec Laserscope UFF 100, Prometec Lasermeter
- Mobiles Röntgendiffraktometer zur Messung von Eigenspannungen und Restaustenit ohne Kalibrierung: Stresstech XSTRESS 3000
- Tragbares Messgerät zur zerstörungsfreien Prüfung von Schleif- und Drehbrand, Härte, Entkohlungen und Wärmebehandlungsfehlern nach dem Barkhausenrauschen-Verfahren: Stresstech RollScan 200
- Laborausstattung zur metallographischen Präparation von Gefügen, Bruch und Oberflächen
- Messsysteme zur Analyse des geometrischen, kinematischen, dynamischen und thermischen Verhaltens hochpräziser Maschinen
- Diverse Mess- und Prüfgeräte (Kraft-, Temperatur-, Härte-, Schwingungsmessungen, etc.) sowie Auswertesysteme
- Hochgeschwindigkeitskameras: SpeedCam MacroVis monochrom, BFi OPTiLAS
- Flowbox zur Unterstützung von Montagearbeiten

# 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 1.1.2014

#### 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

Prof. Dr.-Ing. Iris Gräßler

#### EDV, Haustechnik IT and building services

Dr.-Ing. Thomas Bergs MBA

#### Regelungstechnik Control engineering

Prof. Dr.-Ing. habil.  
Ansgar Trächtler

#### Interne Prozesse, Werkstätten und Labore Internal processes, workshops and laboratories

Dipl.-Ing. Axel Demmer

#### Softwaretechnik Software engineering

Prof. Dr. Wilhelm Schäfer

#### Strategische Geschäftsfeldentwicklung 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 67 Institute und Forschungseinrichtungen. Rund 23 000 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter, überwiegend mit natur- oder ingenieurwissenschaftlicher Ausbildung, erarbeiten das jährliche Forschungsvolumen von zwei 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 67 institutes and research units. The majority of the more than 23,000 staff are qualified scientists and engineers, who work with an annual research budget of 2 billion euros. Of this sum, more than 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,

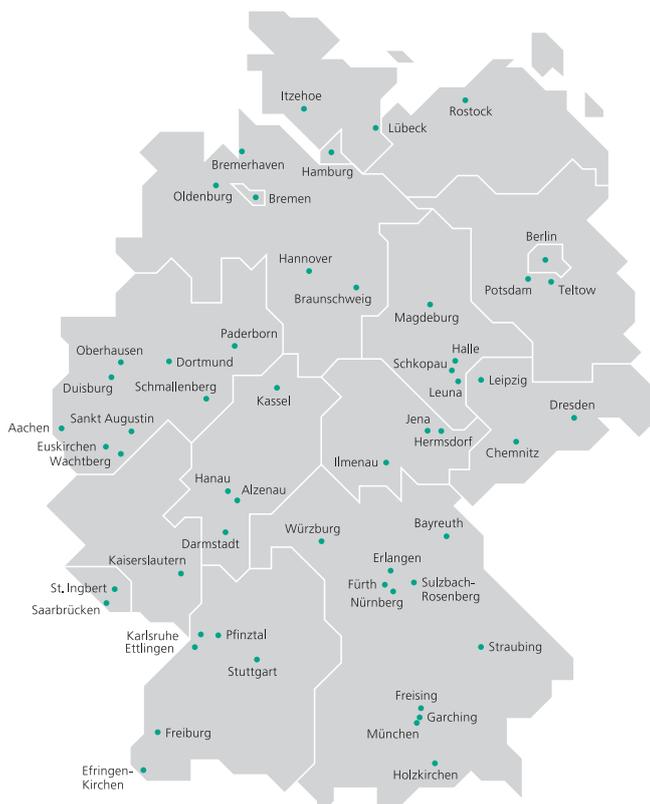
Ihren Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern bietet die Fraunhofer-Gesellschaft die Möglichkeit zur fachlichen und persönlichen Entwicklung für anspruchsvolle Positionen in ihren Instituten, an Hochschulen, in Wirtschaft und Gesellschaft. Studierende eröffnen sich aufgrund der praxisnahen Ausbildung und Erfahrung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

improving the acceptance of new technologies, and helping to train the urgently needed future generation of scientists and engineers.

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, erfolgversprechende 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 give 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 competences in every significant component of the process chain for the replicative fabrication of precision glass optics. The core competences 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 from 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

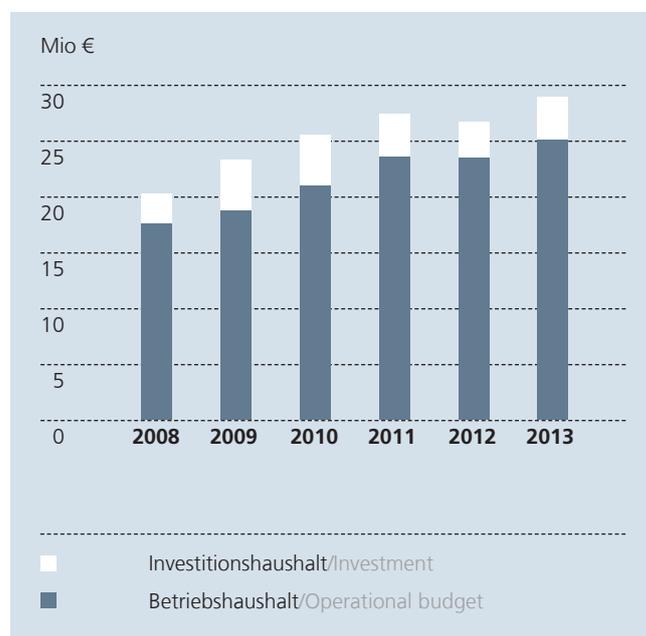
## FACTS AND FIGURES

### 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 2013 ein Volumen von circa 24,9 Mio €. Er wies für das Berichtsjahr eine Eigenfinanzierungsquote des Instituts von etwa 74 Prozent auf.

### **Vertragsforschung**

Die Erträge aus Forschungsprojekten, die von Bundes- und Länderministerien gefördert wurden, sind gestiegen und trugen mit 5,2 Mio € bzw. 28 Prozent zur Eigenfinanzierung bei.

Die Erträge aus Projekten mit der EU-Kommission sind im Vergleich zum Vorjahr auf 2,3 Mio € gestiegen. 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 9,62 Mio €, also 52 Prozent des Eigenfinanzierungsanteils erreichten.

Die Zahlen geben den vorläufigen Jahresabschluss 2013 an.

### **Operational budget**

The operational budget amounted to approx. 24.9 million euros in 2013, with 74 percent self-financing.

### **Contract research**

Profits generated through research in national and statefunded projects increased slightly, contributing 5.2 million euros to the institute's financing (28 percent).

Profits generated through EU-funded projects increased to 2.3 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 9.62 million euros to the institute's finances (52 percent).

The figures indicate the preliminary annual financial statement of 2013.

**Personalstruktur des Fraunhofer IPT**

Im Jahr 2013 waren im Schnitt 453 Mitarbeiter am Institut beschäftigt. Der Personalbestand der festangestellten wissenschaftlichen und nicht-wissenschaftlichen Mitarbeiter wuchs in diesem Jahr auf 215 Mitarbeiter an. Der Anteil der Wissenschaftler lag bei circa 58 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.

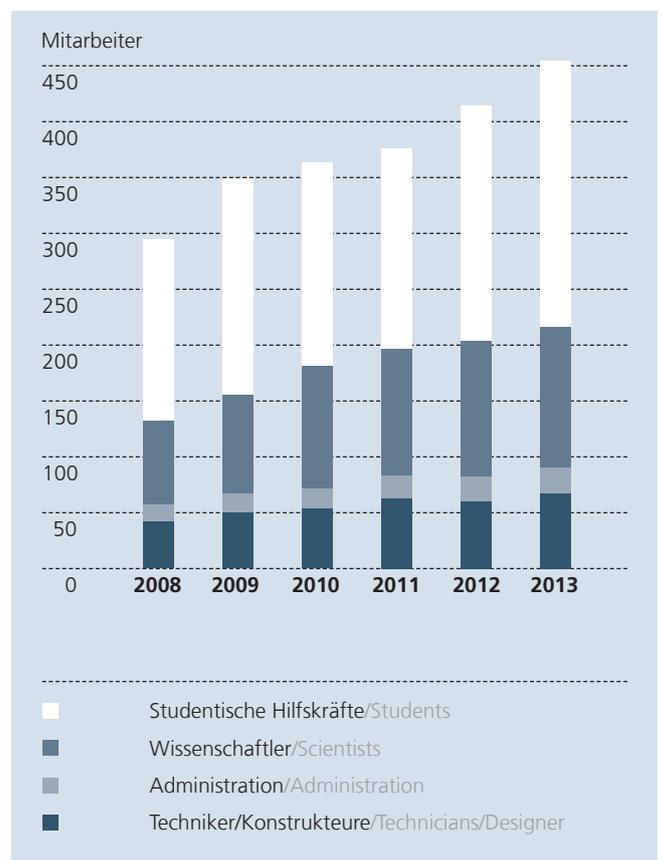
Am Fraunhofer Center for Manufacturing Innovation CMI in Boston, USA, waren in diesem Jahr 27 Mitarbeiter beschäftigt. Die Zahl der festangestellten wissenschaftlichen Mitarbeiter betrug 2013 15 Mitarbeiter. Zwei nicht-wissenschaftliche Festangestellte unterstützten sie bei der Projektarbeit.



**Personnel structures at the Fraunhofer IPT**

An average of 453 staff was employed at the institute in 2013, with around 215 permanent staff members in scientific and non-scientific departments (58 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  
Basel/Schweiz

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

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

Dr.-Ing. Markus Hilleke  
Schraag 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

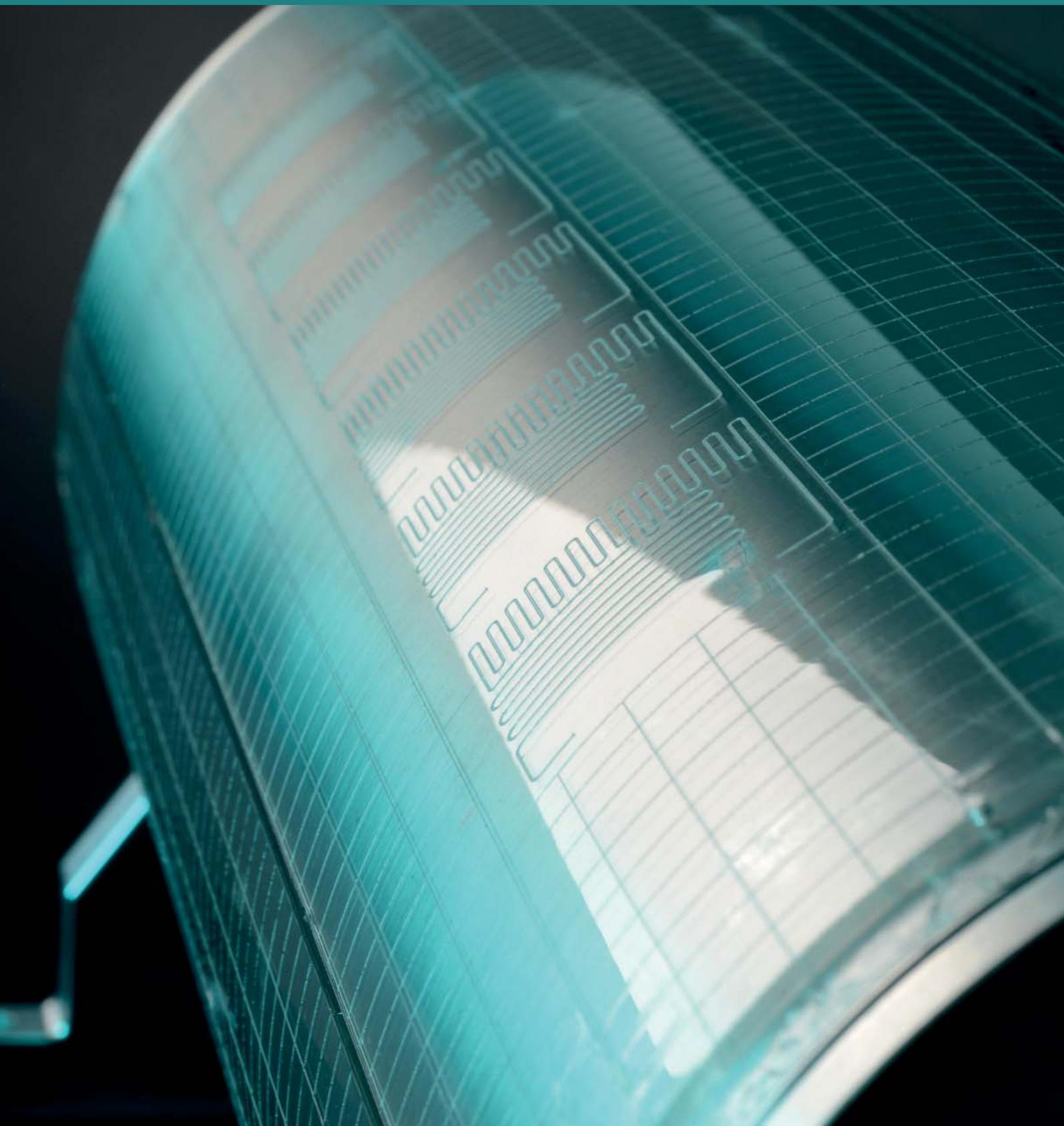
Karl Schultheis, MdL  
Mitglied des Landtags Nordrhein-Westfalen, Düsseldorf  
Member of the North Rhine-Westphalian Landtag, Düsseldorf

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

**62 Life Sciences Engineering**

# TURBOMASCHINEN

## TURBOMACHINERY

Höhere Effizienz und niedrigere Emissionswerte sind die zentralen Ziele bei der Entwicklung moderner Turbomaschinen. Kennzeichnend sind zum Beispiel hochwärmefeste 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

### 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



### **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 »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 Turbomaschinenkomponenten 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 Bewertung der Ressourceneffizienz erfolgt dabei erstmals 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 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 neuen 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.

### **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 turbo engine 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 turbo engines. 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 turbo engines. Research and development works 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. Fraunhofer's new cluster of innovations 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.

### **Messtechnische Charakterisierung 5-achsiger Werkzeugmaschinen**

Turbomaschinenkomponenten wie Turbinenschaufeln besitzen komplexe Freiformflächen mit strömungstechnischer Funktion, die nur mit modernen 5-Achs-Werkzeugmaschinen gefertigt werden können. Doch die unvermeidbaren Abweichungen der Werkzeugmaschinenachsen von den idealen Sollbahnen führen bei den Funktionsflächen oft zu Form- und Maßfehlern: Je mehr Bearbeitungsachsen eingesetzt werden, desto größer sind auch die resultierenden Gesamtabweichungen am Bauteil.

Die eingesetzten Werkzeugmaschinen zu kalibrieren und steuerungstechnisch zu kompensieren, ist daher für die Produktion von Turbomaschinenkomponenten zwingend erforderlich. Die konventionellen messtechnischen Verfahren sind allerdings sehr zeit- und ressourcenintensiv. Das Fraunhofer IPT entwickelt in Zusammenarbeit mit Partnern aus der Industrie neue Verfahren, um die Wirtschaftlichkeit dieser Prozesse sowie die Genauigkeit 5-achsiger Werkzeugmaschinen zu optimieren. Zusätzlich setzt das Fraunhofer IPT bereits seit vielen Jahren standardisierte Vorgehensweisen im Rahmen bedarfsgerechter Messdienstleistungen ein und leistet damit einen wichtigen Beitrag zur effizienten Produktion von Turbomaschinenkomponenten.

### **Faseroptische Messung von Tannenbaumnuten in Dampfturbinen**

Bei der Fertigung von Turbinen werden Tannenbaumnuten in die Turbinenscheiben gefräst und mit Schaufeln einzeln bestückt. Diese sensiblen Verbindungsbereiche erfordern eine Qualitätsprüfung, um die Funktion der sicherheitskritischen Endprodukte sicherzustellen. Die Messung von Tannenbaumnuten ist jedoch auf konventionellem Weg kaum durchzuführen. Komplexe Geometrien und enge Toleranzen verlangen neue messtechnische Ansätze. Das Fraunhofer IPT hat den

### **Metrological characterization of 5-axis machine tools**

Turbo engine components such as turbine blades feature complex freeform surfaces with aerodynamic functions that can only be manufactured with the help of 5-axis machine tools. The inevitable deviations of the machine tool axes from their programmed trajectories, however, often lead to functional surfaces with formal defects and dimensional errors. The more axes a machine has, the larger the total deviation of the component.

This is why any production process of turbo engine components must include a proper calibration of the tool machines – one in which the control technology is adjusted so it can compensate for such deviations. Conventional measuring techniques, however, are very time-consuming and expensive. Together with a range of industrial partners, the Fraunhofer IPT is currently developing new methods of optimizing both the economic efficiency of such processes and the accuracy of 5-axis machine tools. The Fraunhofer IPT has furthermore been providing customized metrology services for years, based on standardized processes, making a vital contribution to the efficient production of turbo engine components.

### **Fiber-optic measurements of fir tree grooves in steam turbines**

During the production of turbines, fir tree grooves are milled into the turbine disks and individually equipped with blades. These sensitive contact surfaces require a quality check in order to make sure that the safety-critical end products function properly. Fir tree grooves, however, are very hard to measure accurately with conventional means. Complex geometries and narrow bands of tolerable variations require new metrological concepts. The Fraunhofer IPT has developed the prototype of a testing device that, for the first time, allows two-dimensional measurements and quality checks. The system features a test-



Prototypen einer Prüfvorrichtung entwickelt, der erstmals die zweidimensionale Messung und Prüfung ermöglicht. Das System besteht aus einem Prüfkörper mit 20 faseroptischen Abstandsmesssonden und einer optoelektronischen Auswerteeinheit, der an die Nutenform angepasst ist. Die Messdaten werden rechnergestützt protokolliert, verarbeitet und ausgewertet. Zur Messung wird der Prüfkörper in eine Tannenbaumnut eingeführt und mit Hilfe eines Druckluftstempels verspannt.

Aus den Abstandswerten lassen sich anhand mathematischer Modelle des Messsystems und der vorliegenden Nut mechanische Positionierfehler errechnen und die relevanten Kenngrößen für die Nut ausgeben. Die Verfügbarkeit einer solchen Fertigungsmesstechnik erlaubt im Turbinenbau den Einsatz neuer, leistungsfähigerer Fertigungsverfahren mit geringeren Herstellungskosten und kürzeren Prüfzeiten.

#### **CAX-Software-Tools für die Bearbeitung dünnwandiger Bauteile**

Ein Schwerpunkt im Projekt »Dynamill« (Förderkennzeichen FoF-NMP-2012-4) ist die Bereitstellung von CAX-Software-Tools für die Bearbeitung dünnwandiger Bauteile. Die Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten konzentrieren sich hier auf die Aspekte des dynamischen Verhaltens eines dünnwandigen Bauteils. Ziel ist die Entwicklung einer Software, die das Schwingungs- und Resonanzverhalten des teilgefertigten Bauteils während der Fertigung bereits in der CAM-Planung berücksichtigen kann. Dazu werden dynamische Simulationen und numerische Berechnungen durchgeführt, die die Positionierung der Schneidwerkzeuge auf dem Werkstück in der Werkzeugmaschine und damit auch die Oberflächenqualität und Formgenauigkeit der Werkstücke verbessern. Das Forschungs- und Entwicklungsprojekt dauert drei Jahre und läuft bis zum Ende des Jahres 2015.

ing probe, comprising 20 fiber-optical distance measurement sensors and an opto-electronic evaluation unit, that has been adjusted to fit the shapes of the grooves. The measurement data are recorded, processed and evaluated by a computer. In order to perform the measurement, the probe is inserted into a fir tree groove and tightened with the help of a compressed air punch.

Based on the distance values and mathematical models of the measuring system and the existing groove, mechanical positioning errors can be calculated, and the relevant parameters for the grooves can be generated. The availability of such a manufacturing technique allows the turbine constructors the application of new and more efficient production processes with lower costs and shorter testing cycles.

#### **CAX software tools for the processing of thin-walled components**

One focus of the "Dynamill" project (contract number FoF NMP 2012-4) is the provision of CAX software tools for the processing of thin-walled components. Research and development activities have concentrated on certain dynamic behaviour patterns of thin-walled components. The project aims to develop a software which is capable of predicting the vibration and resonance patterns that a semi-finished component will exhibit during the production process, taking these into account for the purposes of the subsequent CAM planning. To this end, dynamic simulations and numerical calculations are performed that optimize the way in which the cutting tools are positioned on the workpiece inside the machine tool, thereby improving surface quality and dimensional accuracy of the workpieces. The research and development project has been scheduled for three years and will be completed in late 2015.

### **Computerunterstützte Qualitätsmanagementsysteme**

Exzellenz im Turbomaschinenbau umfasst nicht nur technisch sehr gute Produkte, sondern auch ein umfassendes Daten- und Informationsmanagement. Neben gesetzlichen Vorschriften und Branchenstandards verlangt auch eine Vielzahl an Kunden genaue Informationen, welche Bauteile wann und unter welchen Bedingungen hergestellt wurden.

Für Hersteller bedeutet das, aus zahlreichen Quellen, Datenspeichern und -formaten in der Produktion Informationen zu sammeln, zu aggregieren und auszuwerten. Dies ist oft mit hohen Aufwänden und zum Teil manueller Eingabe von Papierdokumenten verbunden. Das Risiko, nicht zur richtigen Zeit die richtigen Informationen zur Verfügung zu haben, ist dabei enorm hoch.

Um dieses Risiko zu überwinden und gleichzeitig den Aufwand zur Beschaffung von Informationen zu reduzieren, sind Computer-Aided-Quality-Systeme (CAQ) ein Schritt in die richtige Richtung – solange sie richtig eingesetzt, beziehungsweise umgesetzt werden. CAQ-Systeme sind große, zentrale Datenbanken, die die Produktion und angrenzende Prozesse auf einem hohen Detaillierungsgrad verbinden. Fertigungsmaße und Informationen sowie Ergebnisse von Prüfungen entlang der Bauteilfertigung werden gespeichert – von der visuellen Röntgenuntersuchung bis hin zur Messung auf einer Koordinatenmessmaschine. Zusätzliche Dokumente und Zertifikate können ebenfalls abgelegt und verwaltet werden. CAQ-Systeme helfen darüber hinaus bei der Stabilisierung und beim Monitoring von Fertigungsprozessen, der Wareneingangskontrolle oder auch dem Lieferantenmanagement.

Die Planung und Einführung eines solchen zentralen Systems ist jedoch nicht einfach: Datenquellen sind in der Regel bei den Unternehmen weit verstreut und heterogen. Die Implementierung von Schnittstellen ist oft der Hauptkostentreiber

### **Computer Aided Quality Systems**

In order to achieve true excellence in the production of turbomachinery, the production of high-quality products is only a first step – manufacturers also need to implement a comprehensive data and information management. Customers and standards of the industry demand precise information about which components were manufactured at what time and under which conditions.

Manufacturers therefore need to acquire, aggregate and process information from a wide range of sources, data storage facilities and data formats of the production process. This is a generally time-consuming and resource-intensive effort which requires the manual input of hard-copy documents. The risk of missing the right information at the right time is excessively high.

Computer Aided Quality systems (CAQ) can help to eliminate this risk and, simultaneously, reduce the effort that is needed to acquire the necessary information – provided they are used and implemented correctly. CAQ systems are large and centralized databases that link the production process with associated operations in a highly detailed way. Product dimensions and related information, as well as the results of tests along with the entire component manufacturing chain, can be stored, ranging from a visual X-ray check to measurements on a coordinate measuring machine. It is also possible to enter and manage additional documents and certificates. Furthermore, CAQ systems help to stabilize and monitor manufacturing processes, the inspection of incoming goods and the supplier management.

However, it is not easy to plan and implement such a centralized system: data sources are widely dispersed and diverse in most enterprises. The implementation of interfaces often represents the main cost driver of any such project. The system



eines solchen Projektes. Da es direkt Wertschöpfungsprozesse unterstützt, muss die Verfügbarkeit des Systems zudem hoch sein. Neben technischen Fragen gibt es aber auch eine wichtige zwischenmenschliche Seite: Menschen aus zahlreichen Abteilungen und Positionen wollen von einem solchen System überzeugt und in Grundsatzentscheidungen einbezogen werden. Ein großer Teil der Hindernisse für die Einführung eines CAQ-Systems erwächst aus diesem emotionalen Bereich.

Das Fraunhofer IPT hat im Jahr 2013 Kunden aus dem Turbomaschinenbau bei der Planung und Einführung von CAQ-Systemen begleitet und unterstützt. Dies umfasste neben technischen Machbarkeitsfragen vor allem auch die Erstellung von Spezifikationen und Lastenheften, Umsetzungsplanungen, Marktspiegeln und Business-Case-Betrachtungen.

#### **Studentenprojekt »Mikrogasturbine«**

Bereits seit 2012 bietet das Fraunhofer IPT Studierenden die Gelegenheit, in einem Studentenprojekt die Komponenten einer selbst entwickelten Mikrogasturbine herzustellen und zu montieren. Für die Auslegung und Fertigung der Triebwerkskomponenten gilt es, strömungstechnische und fertigungsgerechte Aspekte zu beachten. Das breite Themenspektrum rund um die Mikrogasturbine bildet die Basis für zahlreiche Studienarbeiten in enger Kooperation mit dem Institut für Strahlantriebe und Turboarbeitsmaschinen (IST) der RWTH Aachen, den Fachbereichen für Luft- und Raumfahrttechnik sowie Maschinenbau und Mechatronik der FH Aachen und mit dem Fraunhofer-Institut für Lasertechnik ILT.

must also possess high levels of availability, since it directly supports value-adding processes. Next to those technical problems, there are also difficulties in regard to human psychology: in order to make such a system work, employees from many different levels of hierarchy and different departments must be convinced of its merits and need to be involved in the decision-making process. This social aspect is one of the biggest obstacles to overcome in the successful implementation of a CAQ system.

In 2013, the Fraunhofer IPT helped clients from the turbo engine manufacturing industry to plan and implement CAQ systems, assisting them in conducting technical feasibility studies, determining technical data, developing implementation plans and preparing market analyses together with business case scenarios.

#### **Student project "Micro gas turbine"**

Since 2012, the Fraunhofer IPT has been giving students an opportunity of producing and assembling the components of a self-developed micro gas turbine in a specifically designed students' project. Both aerodynamics and the requirements of an industrial production process must be taken into account for the purposes of designing and manufacturing the engine components. The wide range of tasks that are involved in designing and manufacturing a micro gas turbine provides the basis for many students' papers. The project is conducted in close cooperation with the Institute for Jet Propulsion and Turbo Machinery (IST) of the RWTH Aachen University, the departments for Aerospace Technology and Mechanical Engineering and Mechatronics of the FH Aachen University of Applied Sciences and the Fraunhofer Institute for Laser Technology ILT.

# LEICHTBAU-PRODUKTIONSTECHNIK

## PRODUCTION OF LIGHTWEIGHT COMPONENTS

Das Spektrum an Leichtbauwerkstoffen ist sehr weit und die Einsatzfelder sind nahezu unbeschränkt. 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 Automobil und Luftfahrt, 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, Hochleistungsmetallen, Keramiken und Multimaterialsystemen.

### Unsere Leistungen

- Produktionsgerechte Entwicklung von Multimaterial- und Faserverbundstrukturen
- Entwicklung und Automatisierung von Produktionssystemen für die Herstellung von 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.-Ing. Dipl.-Wirt. Ing. Myron Graw, M. Sc.  
Telefon/Phone +49 241 8904-346  
myron.graw@ipt.fraunhofer.de

The range of lightweight construction materials has expanded enormously over the years and the areas of application considerations prevent the deployment of these innovative materials – particularly when large quantities are required. In the "Production of Lightweight Components" business unit, the Fraunhofer IPT is therefore developing innovative manufacturing systems and technologies for large-scale manufacture of lightweight components. We focus our expertise in production technology and our knowledge of the challenges to be overcome when processing lightweight materials for the automotive and aerospace industries as well as in renewable energy environments, oil and gas, process engineering and other areas of industry. 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



### **Cross-Industry-Roadmap für Produkte aus faserverstärkten Kunststoffen**

Thermoplastische Faserverbundkunststoffe bieten ein großes Potenzial, um dem wachsenden Bedarf an Leichtbau-Komponenten mit leistungsfähigen und massentauglichen Produktionstechnologien zu begegnen. Möglich macht das die Kombination aus laserunterstütztem Tapelegen – einem flexiblen Herstellungsverfahren für Halbzeuge – und dem Thermoformen – einem hochproduktivem Bearbeitungsverfahren mit Zykluszeiten von weniger als einer Minute. Doch welche attraktiven Zielmärkte und Branchen gibt es für ein Unternehmen? Wie können die technologischen Anforderungen von höchst unterschiedlichen Märkten systematisch abgeleitet und miteinander verglichen werden? Was für ein Produkt bietet sich für den Einstieg in einen attraktiven Markt an und wie kann eine nachhaltige Entwicklung für eine produktionsoptimierte Technologie gelingen?

Um diese Fragen zu beantworten, erstellt das Fraunhofer IPT im Projekt »Integrative Prozesskette für die automatisierte und flexible Produktion von Bauteilen aus faserverstärkten Kunststoffen – FibreChain« eine Cross-Industry-Roadmap. Diese Roadmap verbildlicht auf einfache Weise das aktuelle und zukünftige technologische Potenzial für die Adressierung branchenübergreifender Anwendungsfelder in Verbindung mit ihrem Marktpotenzial und der Zahl der für sie relevanten Branchen. Das Vorhaben wird von der Europäischen Union innerhalb des siebten Rahmenprogramms (Förderkennzeichen FP7-NMP-2010-Large-4, Grant Agreement Nr. 263385) gefördert.

### **Aachener Zentrum für integrativen Leichtbau (AZL) der RWTH Aachen**

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

### **Cross-industry roadmap for fiber-reinforced plastic products**

Fiber-reinforced thermoplastics may eventually provide the answer to the rising demand for both lightweight construction components and for the high-performance manufacturing technologies which are required to produce them in large series. This is a reasonable prospect because the production of FRPs combines laser-assisted tape laying – a flexible technique for processing semi-finished products – with the highly productive thermoforming process and its cycle times of less than one minute. But which are the attractive target markets and industries for a corporate provider? How can the technological requirements of different markets be systematically derived and compared with each other? What type of product would be ideally launched first on an attractive market, and how can a technology, optimized for industrial production processes, be successfully subjected to a sustained development?

In order to answer all of these questions, the Fraunhofer IPT is developing a cross-industry roadmap under the project "An Integrative Process Chain for the Automated and Flexible Production of Fibre-Reinforced Plastic Components – FibreChain". The roadmap is designed to deliver a simple description of the current and future technological potential that is provided by the development of cross-industry applications in the light of their market potential and the number of industries with a possible interest. The project is funded by the European Union as part of its Seventh Framework Programme (contract number FP7-NMP-2010-Large-4, Grant Agreement no. 263385).

### **The Aachener Zentrum für integrativen Leichtbau (AZL) of the RWTH Aachen University**

The manufacturing of fiber-reinforced plastic products still requires a good deal of manual labor, and the proportion of labor costs to total costs remains relatively high. This means that the production of fiber-reinforced plastics in Europe only

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. Zudem stellt sich in der Leichtbau-Produktionsforschung heraus, dass eine isolierte Untersuchung einzelner Fertigungsprozesse nicht mehr ausreicht – nicht nur aufgrund der starken Wechselwirkungen der Teilprozesse einer Fertigungskette untereinander, sondern auch wegen der steigenden Nachfrage nach Multimaterialsystemen: Ihre Produktion erfordert eine integrativ-interdisziplinäre Betrachtungsweise entlang der gesamten Wertschöpfungskette. Das Ziel des Aachener Zentrums für integrativen Leichtbau (AZL) ist daher die Überführung des Leichtbaus in die Großserie. Durch die enge, interdisziplinäre Zusammenarbeit zwischen den Werkstoffwissenschaften und der Produktionstechnik soll eine Umsetzung großserientauglicher Prozessketten gelingen.

Um dieses Ziel zu erreichen, arbeiten das Fraunhofer IPT, das AZL und das Institut für Kunststoffverarbeitung (IKV) in Industrie und Handwerk an der RWTH Aachen zusammen mit sechs 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. Das Know-how umfasst die Herstellung von Carbon- und Glasfasern, textile Halbzeuge, hochvolumenfähige Kunststoffverarbeitung, Automatisierung, Bearbeitung und Prüfung von Anwendungen in einer Bandbreite von Öl-, Wasser- und Gasanwendungen, Bauteile für Infrastruktur und Gebäude bis zum Fahrzeugbau. Für Industrieunternehmen besteht die Möglichkeit, als Partner am AZL direkt an der Forschungstätigkeit des neuen Instituts zu partizipieren.

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. On top of that, industrial research in the field of lightweight construction methods has demonstrated that it is no longer enough to focus exclusively on individual production processes – 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. This is why the Aachener Zentrum für integrativen Leichtbau, the Aachen-based Center for Integrative Lightweight Production, aims at finding ways of adapting manufacturing processes for lightweight components to the conditions of large series production. The close interdisciplinary cooperation 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, the AZL and the Institute of Plastics Processing (IKV) in Industry and the Skilled Crafts at RWTH Aachen University are working together with six 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, such as expertise in carbon and glass fibers, semi-finished textile products, high-volume-capable methods of processing plastics, automation, the development and testing of applications in a range of oil, water and gas applications, infrastructural components and components for buildings or car manufacturing. Industrial corporations can become partners of the AZL and thus benefit directly from the new Center's research activities.



### **Temperatur- und Dehnungsmessung in Bauteilen aus faserverstärkten Kunststoffen**

Die Messung von Zustandswerten in Bauteilen kann dazu genutzt werden, Health-Monitoring von Bauteilen zu betreiben und aktiv in die Steuerung von Maschinen und Anlagen einzugreifen, um Bauteilbelastungen und Kraftflüsse zu optimieren. Erkenntnisse über Dehnungen und Temperaturveränderungen, beispielsweise in Rotorblättern während des Betriebs von Windkraftanlagen, unterstützen die Wartung der Anlagen und können in Verbindung mit der Integration von Aktoren zu einer aktiven Änderung des Strömungsprofils genutzt werden. Genauso können Spannungen in Faserverbundstrukturen erfasst und zur Optimierung von Kraftflüssen genutzt werden.

Aus diesem Grund entwickelt das Fraunhofer IPT ein Verfahren, das quasi-kontinuierliche Dehnungs- und Temperaturmessungen in Bauteilen aus faserverstärkten Kunststoffen erlaubt. Das Fraunhofer IPT nutzt dazu Fasersonden mit bis zu sieben Millionen Messstellen auf einer Sensorlänge von maximal 70 Metern. Sie registrieren sowohl Temperaturunterschiede von 0,1 °C als auch Dehnungen um 1 µm/m und geben ortsaufgelöste Werte aus. Aufgrund ihres geringen Durchmessers und ihrer Flexibilität können sie sehr einfach in Bauteile und Halbzeuge aus faserverstärkten Kunststoffen eingebracht werden. Da das Material sowohl chemisch inert als auch temperaturbeständig ist, eignet sich die Technologie auch zur Messung in aggressiven Umgebungen.

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

Mit der Nutzung von Elektromotoren steigt das Gesamtgewicht von Fahrzeugen durch die Batterie stark an. Konsequenter Leichtbau unter Verwendung neuer Werkstoffkombinationen kompensiert dieses Mehrgewicht und verbessert die mechanischen Eigenschaften. Faserverstärkte Kunststoffe bieten hierals neue Werkstoffgruppe ein hohes

### **Measuring temperature and expansion in fiber-reinforced plastic components**

Measuring current state values in components can make a significant contribution to an effective health monitoring of components, preparing to – if necessary – actively intervene into the control system of machines and entire facilities in order to optimize the stress exposure of components and the flow of forces. Information about the level of expansion and temperature changes – for example in the rotor blades of wind power turbines – can inform the maintenance of such facilities and may, in conjunction with the integration of the actuators, be used to engineer a change of the flow profile. Much in the same way, tensions in fiber-reinforced structures can be detected and used to optimize the flow of forces.

With these opportunities in mind, the Fraunhofer IPT is currently developing a technology that would allow a quasi-continuous conduct of measurements of expansion and temperature in fiber-reinforced plastic components. For this purpose, the Fraunhofer IPT is using fiber probes with up to seven million measuring points on a maximum sensor length of 70 meters. These points detect temperature changes of 0.1 °C and expansions of 1 µm/m and issue spatially resolved values. Due to their small diameters and their flexibility, they can be easily integrated into fiber-reinforced plastic components and semi-finished products. Since the material is both chemically inert and temperature-resistant, the technology is also suitable for aggressive environments.

### **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 – made from new combinations of materials – can compensate for this increase and improve the mechanical properties. Fiber-reinforced plastics provide a large potential for weight reduction. By selecting

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.

#### **Energieeffiziente Produktion funktionsintegrierter thermoplastischer Faserverbundbauteile**

Leichtbaukomponenten aus Faserverbundkunststoffen besitzen großes Potenzial, den Energie- und Materialbedarf in technischen Systemen bei gleichen oder besseren Eigenschaften deutlich zu senken. Ein automatisiertes System für die Herstellung belastungs- und verschnittoptimierter Organobleche ist derzeit am Markt jedoch nicht verfügbar. Für die branchenübergreifende Anwendung etwa für das Transportwesen oder den Maschinenbau sind die Verarbeitungsprozesse heute oft noch zu energie-, zeit- und personalintensiv.

Das Fraunhofer IPT entwickelt daher im Projekt »E-Profit« gemeinsam mit zehn Unternehmen eine Prozesskette und die dazugehörigen Produktionsanlagen für Strukturbauteile für die

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, that the alignment of the fibers will reflect the likely amount of material stress they must withstand and that hybrid materials are being employed.

As part of the "Fraunhofer System Research for Electromobility – 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 technique for manufacturing large series of functionally integrated, hybrid lightweight elements of car bodies. For this purpose, it will be 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.

#### **The energy-efficient production of functionally integrated fiber-reinforced thermoplastic components**

Lightweight components made from fiber-reinforced plastics will one day significantly reduce the energy and material requirements of technological systems while delivering equally good (or even better) performances. Meanwhile, no system for the automatic production of organic sheets with optimized stress-resistance and waste optimization systems is currently available on the market. The manufacturing processes that would be needed require too much energy and too many personnel resources for a wider application in industries such as transport or heavy engineering.

Anbindung von Fahrzeugsitzen – von der Halbzeugherstellung bis zur Bauteilbearbeitung. Bearbeitet werden dabei die Teilsysteme »Ressourceneffiziente Herstellung belastungs- und verschnittoptimierter Organobleche«, »In-Situ-Umformung«, »Besäumung und Funktionalisierung belastungs- und verschnittoptimierter Organobleche«, »Prozessübergreifende integrierte Mess- und Qualitätssicherungssysteme«, »Automatisierte Handhabung von Halbzeugen, Inserts, Inlays und fertigen FVK-Bauteilen« sowie »Großserientaugliche Herstellung repräsentativer FVK-Leichtbaukomponenten«.

»E-Profit« wird mit Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF) im Rahmenkonzept »Forschung für die Produktion von morgen« gefördert und vom Projektträger Karlsruhe (PTKA) betreut.

This is why the Fraunhofer IPT is – together with ten industrial companies – participating in the “E-Profit” project, developing a process chain and the corresponding production facilities for structural components that have been designed for the fastening of vehicle seats, from the manufacturing of the semi-finished products to the finished product. Sub-systems of the project include the resource-efficient production of organic sheets with optimized stress-resistance and waste optimization systems, in-situ forming processes, the trimming and functionalization of organic sheets with optimized stress-resistance and waste optimization systems, the process-independent integration of measuring and quality assurance systems, the automated handling of semi-finished products, inserts, inlays and finished FRP components and the series production of representative FRP lightweight components.

The “E-Profit” project receives funds from the Federal Ministry of Education and Research under the framework program “Research for Tomorrow’s Production Environment” and is managed by the Project Management Agency Karlsruhe (PTKA).

# 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



### **Adaptive Tonnenfräswerkzeuge auf dem Weg zur Marktreife**

Funktions- und Strukturbauteile in Rennwagen, Flugzeugen oder auch Werkzeuge und Formen bestehen oft aus komplex geformten Oberflächen, die durch eine mehrachsige Fräsbearbeitung besonders effizient hergestellt werden können. Neue Hochfrequenzspindeln mit speziell angepassten Fertigungsprozessen sollen in Zukunft auch bei schwer zerspanbaren Werkstoffen hohe Schnittgeschwindigkeiten über 250 m/min erreichen. Das Fraunhofer IPT hat im Forschungsprojekt «GammaHSC» gemeinsam mit sechs Projektpartnern den Einsatz von Tonnenfräswerkzeugen erprobt, die passenden Prozessparameter ermittelt und die erforderliche CAM-Anbindung geschaffen.

Für die Fräsversuche stellten die Projektpartner repräsentative Bauteile ihrer Branchen bereit: Komplexe Formeinsätze für urformende Fertigungsverfahren und Funktionsbauteile für den Motorsport dienten dazu, die Werkzeuge und Fräsprozesse sowohl für die Unikat- als auch die Serienfertigung gründlich zu erproben. Während des Projektverlaufs haben die Projektpartner die Werkzeuge nicht nur eingesetzt, sondern auch schon erste Verbesserungen in den neuen Varianten implementiert. Die neue Werkzeugtechnik des Tonnenfräswerkzeugs bietet hier noch weitreichendes Potenzial. Einer der Projektpartner hat die Werkzeuge bereits als eigenständiges Produkt in sein Angebot aufgenommen. Innerhalb weniger Monate entstanden außerdem zwei CAM-Lösungen für das Tonnenfräswerkzeug, die während der Projektlaufzeit erprobt und angepasst werden konnten. Die neuen Bearbeitungsstrategien für die Tonnenfräswerkzeuge stehen seit der zweiten Jahreshälfte 2013 den Kunden zur Verfügung.

### **Adaptive barrel cutting tools are being prepared for their market launch**

Functional and structural components of race cars, airplanes or tools and dies often feature complex surfaces that can be applied most efficiently by using a multi-axis milling tool. With the help of new high-frequency spindles and customized manufacturing techniques, it will be possible in the future to achieve cutting speeds in excess of 250 m/min, even for those materials that are difficult to machine. Under the research project "GammaHSC", the Fraunhofer IPT and six project partners have experimented with the use of barrel cutting tools, establishing suitable process parameters as well as the required CAM connection.

For the milling experiments, the project partners provided commonly used components from their respective industries. Complex mold inserts for industrial forming procedures and functional motorsport components served as the basis for thorough trials of tools and milling processes, in the production of both prototypes and larger series. Not only did the partners apply these tools in the course of the project: they already implemented initial improvements into new variants. The new technology of the barrel cutting tools provides rich potential for such improvements. One of the project partners already has integrated these tools as independent items into his product range. Within a few months, two CAM solutions for the barrel cutting tool were developed and then, in the later stages of the project, subjected to a range of trials and further adapted. In the second half of 2013, the new processing strategies for the barrel cutting tools were made available to the customers.

### Lokaler Verschleißschutz verbessert Standzeiten von Tiefziehwerkzeugen

Umformwerkzeuge zum Tiefziehen großer Bauteile verschleiben an den Kanten besonders schnell. Das Fraunhofer IPT hat deshalb gemeinsam mit der Mühlhoff Umformtechnik GmbH und weiteren Partnern ein Laserverfahren weiterentwickelt, mit dem sich an besonders beanspruchten Oberflächen lokale Verschleiß-Schutzschichten auftragen lassen. Die teuren Werkzeuge halten dadurch mehr als 2,5-mal so lange wie bisher – eine immense Zeit- und Kostenersparnis im täglichen Einsatz. Zum Schutz der Werkzeugoberfläche entwickelte das Fraunhofer IPT ein 5-achsiges Verfahren für das Laserauftragschweißen weiter. Ein Zusatzwerkstoff wird dabei punktgenau auf die Oberfläche aufgetragen und bewahrt die empfindlichen und besonders beanspruchten Kanten des Werkzeugs gezielt vor Verschleiß. Der Vorteil für Mühlhoff: längere Werkzeugstandzeiten und damit auch eine dauerhaftere Reproduzierbarkeit der gefertigten Bauteile.

Um den Verschleißschutz haltbar auf das Werkzeug aufzutragen setzten die Partner innerhalb der Innovationsallianz »Green Carbody Technologies – InnoCaT®« auf eine herkömmliche 5-Achs-Fräsmaschine, die mit einem Diodenlaser ausgestattet wurde. Eine eigens entwickelte CAx-Software, mit der der voll automatisierte Schweißprozess bereits im Vorfeld simuliert werden kann, steuert den Laser schließlich anhand der optimierten Prozessparameter präzise über die Werkzeugoberfläche.

Die Mühlhoff Umformtechnik GmbH hat das bearbeitete Werkzeug bereits im industriellen Einsatz erprobt und zeigte gemeinsam mit dem Fraunhofer IPT auf der EuroMold 2013 das Ergebnis der gemeinsamen Arbeiten: Die stark belasteten Werkzeugoberflächen waren selbst nach mehr als 200 000 Tiefziehvorgängen sichtlich weniger beschädigt als beim Vergleichswerkzeug ohne Schutzschicht.

### Local wear protection extends service life of molding dies

Forming dies for the deep-drawing of large components are subject to considerable levels of wear, particularly around the edges. The Fraunhofer IPT has therefore – in close cooperation with Mühlhoff Umformtechnik GmbH and other industrial partners – improved existing laser technology of applying local wear protection coatings to surfaces that are exposed to particularly high levels of stress. This has served to extend the service lives of the expensive tools by 250 percent, generating significant cost and time savings in routine industrial operations. For the purpose of protecting the tool surface, the Fraunhofer IPT improved an existing 5-axis laser deposit welding technology. Under the new technology, an additional material is applied with utmost precision to the surface where it protects the sensitive and specifically stressed edges of the tool from wear. The benefits for Mühlhoff: extended tool service lives and therefore longer-term guarantees for a high reproducibility of their manufactured components.

In order to apply a durable wear protection coating to the tool, the partners of the Innovation Alliance "Green Carbody Technologies – InnoCaT®" used a conventional 5-axis milling machine that was equipped with a diode laser. At the process development stage, the fully automated welding process can be simulated with customized CAx software, and the same software is used to apply the protective coating, when it – based on the optimized process parameters – steers the laser with pin-point precision across the tool surface.

Mühlhoff Umformtechnik GmbH already has used the tool in an industrial environment and was exhibiting its improved output – together with the Fraunhofer IPT – at its stand on the EuroMold 2013: Even after 200,000 deep-drawing sequences, the tool surfaces have successfully withstood the high levels of stress to which they are exposed, displaying far fewer signs of damage than comparative tools without protective coatings.



### **Entwicklung und Umsetzung energieeffizient temperierter Werkzeuge**

Die energieeffiziente Prozessführung temperierter Werkzeuge beeinflusst entscheidend die Produktivität des Fertigungsprozesses. Vor allem bei konturnaher Werkzeugtemperierung spielen die Gesamtprozesszeit sowie die Erzeugung und Leitung notwendiger Wärmeströme eine entscheidende Rolle. Die induktive Werkzeugtemperierung ist eine Möglichkeit, die Oberflächen eines Werkzeugs zu temperieren. Die Integration des Induktors in das Werkzeug reduziert dabei den Handlingaufwand und kann die Prozesssicherheit erhöhen. Das Fraunhofer IPT entwickelt Konzepte für die energieeffiziente variotherme Werkzeugtemperierung. Durch die Integration von Sensorik zur Prozessregelung und -überwachung bietet das Fraunhofer IPT zudem intelligente Lösungen zur Prozessführung.

### **Hochpräzise Inline-Messtechnik für Laserstrukturierungssysteme**

Das Laserstrahlstrukturieren von Oberflächen gewinnt in der industriellen Anwendung immer mehr an Bedeutung, denn es eröffnet neue gestalterische Möglichkeiten und erhöht die Flexibilität bei der Werkstoffauswahl. Leistungsfähige Laserstrukturiersysteme werden mittlerweile von mehreren Herstellern angeboten. Mit zunehmender Verbreitung steigen aber auch die Anforderungen an die Prozessqualität und die Effizienz solcher Systeme. Der Initialaufwand, um den Prozess für die Bearbeitung einzurichten, ist heute nach wie vor sehr hoch, da der Prozess nicht automatisiert geregelt werden kann. Zudem lässt sich die Qualität nicht oder nur mit hohem Aufwand während der Fertigung überwachen.

Das Fraunhofer IPT initiierte bereits 2010 gemeinsam mit einem weiteren Forschungsinstitut sowie sechs Unternehmen aus Industrie und Wirtschaft das ERANET-Projekt »Scan4Surf« (Förderkennzeichen 02PO2861), das für drei Jahre im

### **Development and production of tools with energy-efficient temperature control functions**

The energy-efficient use of temperature-controlled tools has a significant impact on the productivity of the underlying manufacturing process. Parameters such as the total overall processing time and the generation as well as the conveyance of the required heat flows are specifically important for close-to-contour tool temperature control systems. Inductive technology provides one possibility of controlling the temperatures on a tool surface. The integration of the inductor into the tool facilitates handling and may additionally improve process reliability. The Fraunhofer IPT is developing concepts for energy-efficient variotherm tool temperature control systems. By integrating process control and process monitoring sensors, the Fraunhofer IPT is additionally providing intelligent process management solutions.

### **High-precision inline measurements for laser structuring systems**

The laser-beam structuring of surfaces is a technology of increasing importance in today's industrial practice, opening up a wide range of design opportunities and material choices. Several manufacturers are already offering high-performance laser structuring systems. The more widely such systems become available, however, the more the customers are asking them to deliver in terms of process quality and economic efficiency. Meanwhile, considerable amounts of time and money still need to be invested into the initial configuration of any such system, because the process cannot be automatically controlled. It is also quite difficult and expensive to install a system capable of monitoring the quality of the output during the production process.

With these problems in mind, the Fraunhofer IPT in close cooperation with another research institute and six industrial partners initiated the ERANET project "Scan4Surf" (contract

7. Rahmenprogramm der Europäischen Union gefördert wurde. Ziel des Projekts war es, ein hochauflösendes, modular aufgebautes Inline-Messsystem zu entwickeln, das Bauteile vor, während und nach Bearbeitung in der Laserstrukturieranlage analysieren kann. Der Lichtstrahl des Messsystems nutzt dabei denselben Strahlengang, der auch zur eigentlichen Oberflächenstrukturierung dient. So gelingt nicht nur eine Qualitätsprüfung innerhalb der Anlage, sondern auch eine CAM-gestützte Prozessregelung in Echtzeit.

Das Messsystem wurde am Fraunhofer IPT in eine Laserstrukturieranlage integriert und evaluiert, indem unterschiedliche Formeinsätze mit und ohne aktive Prozessregelung gefertigt werden. Anhand von Oberflächenanalysen der Formeinsätze und durch den Vergleich der erzielten Ergebnisse ließen sich dann Zusammenhänge zwischen der gefertigten Werkzeugqualität und der Prozessstabilität ableiten.

#### **Leistungsfähigkeit von Unternehmen analysieren**

Kosten, Qualität und Lieferzeit sind Entscheidungskriterien des Werkzeugeinkaufs bei der Vergabe von Aufträgen. Wer sich als Werkzeug-, Formen- und Vorrichtungsbauer in allen drei Kriterien von der Konkurrenz erfolgreich absetzen möchte, muss die Prozesskette zur Werkzeugherstellung optimal beherrschen. Vorhandene Technologien zur Werkzeugherstellung müssen sinnvoll ausgewählt und an der technologischen Grenze geführt werden. Die dazugehörigen organisatorischen Prozesse, von der Angebotserstellung bis hin zur Einplanung und Verteilung der Ressourcen sowie dem Projekt- und dem Werkstattmanagement unterstützen den Herstellungsprozess und entlasten die Mitarbeiter von nicht-wertschöpfenden Tätigkeiten.

Doch nur wer seine technologischen und organisatorischen Kennzahlen entlang des Herstellungsprozesses kennt, kann sein Unternehmen zielgerichtet und langfristig erfolgreich steuern. Dazu bedarf es der Kenntnis, wie es im Gesamt-

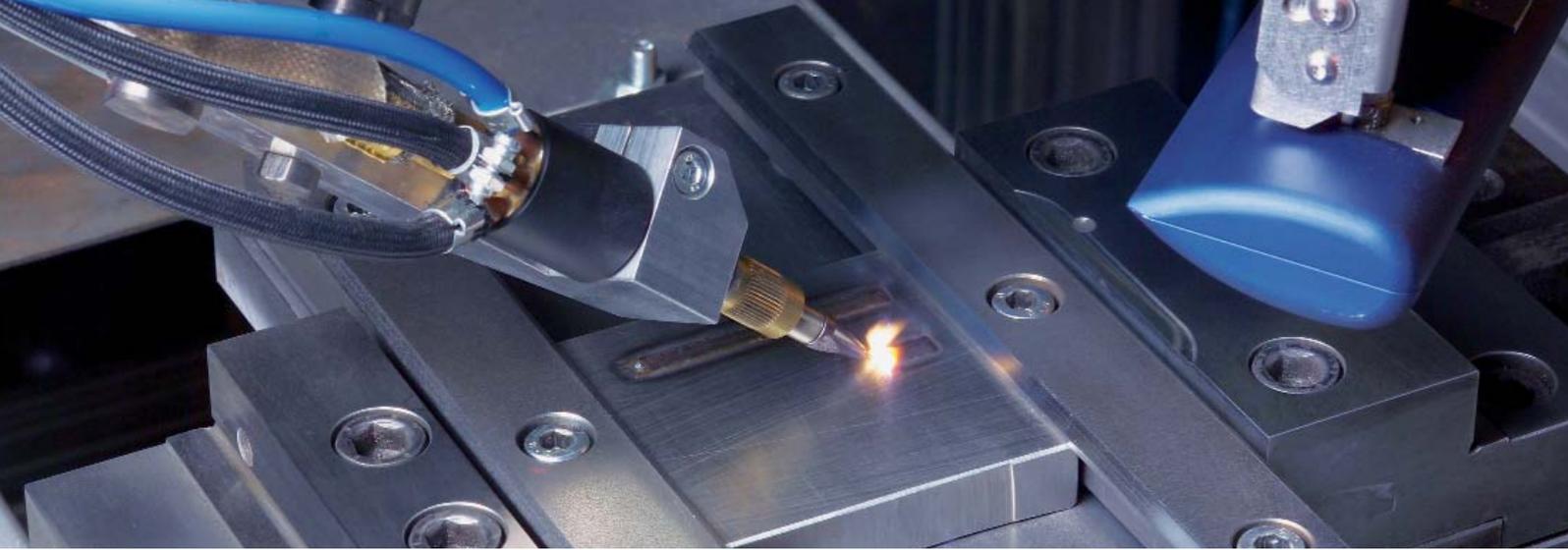
number 02PO2861) in 2010. The project, which was funded for three years by the 7<sup>th</sup> Framework Programme of the European Union, aimed to develop a high-resolution and modular inline measuring system to analyze components before, during and after a laser structuring process. The idea was to make the light beam of the measuring system use the same path of the process laser, providing a quality control monitoring function within the machine system and simultaneously enabling a CAM-assisted real time process control.

The measuring system was integrated into a laser structuring facility at the Fraunhofer IPT and subsequently evaluated by manufacturing different mold inserts with and without an active process control function. Through comparative surface analyses of the mold inserts, it was then possible to demonstrate causal connections and correlations between the tool qualities and the levels of process stability.

#### **Analyzing corporate performance potentials**

Cost, quality and delivery times are the main criteria on which tool purchase decisions are based. Mold, tool and die manufacturers who want to outdo their competitors in all of these areas, will need to exert full control over their tool manufacturing chains. Existing production technologies must be sensibly selected and pushed to their limits. The corresponding structural processes from tendering to resource planning and project management support the manufacturing process and relieve the employees from non-value-adding duties.

Only companies that are familiar with the technological and structural parameters of their production processes, however, will be able to achieve long-term success. Such success requires a profound awareness of the overall business process and its individual sub-divisions. The Fraunhofer IPT has therefore been providing industry-oriented benchmarking projects for the last 15 years. Its dedicated database features anonymized data sets from more than 150 enterprises on



prozess und den dazugehörigen Teilprozessen aufgestellt ist. Das Fraunhofer IPT bietet deshalb seit mehr als 15 Jahren branchenorientierte Benchmarking-Projekte an. In der dazugehörigen Datenbank finden sich Datensätze von mehr als 150 Unternehmen, die anonymisiert zum Vergleich mit der Branche dienen können. Das damit verbundene Kennzahlensystem erlaubt es, die eigene Position im Wettbewerb zu ermitteln und erleichtert es so, Verbesserungen abzuleiten.

#### **Weiterbildungsangebote für den Werkzeug- und Formenbau**

Effiziente industrielle Fertigungsprozesse erfordern präzise und komplexe Werkzeuge, die heute oft in automatisierte Fertigungsanlagen integriert sind. Der Werkzeug- und Formenbau liefert nicht nur das Werkzeug sondern optimiert häufig auch die bestehenden oder noch zu entwickelnden Fertigungsprozesse. Gleichzeitig steht er durch die wachsende Konkurrenz aus Niedriglohnländern unter hohem Kostendruck. Um den Unternehmen der Branche prozesskettenweit und aus neutraler Hand praktische Hilfe zu bieten, bündeln das Fraunhofer IPT und das Werkzeugmaschinenlabor WZL der RWTH Aachen ihr Werkzeugbau-Know-how in der WBA Aachener Werkzeugbau Akademie GmbH.

Mit einem umfangreichen Weiterbildungsangebot von ein-tägigen Seminaren über ein »Expert-Programm« bis hin zum berufs begleitenden Master-Studium bietet die WBA praxisnahe Weiterbildungen für die Unternehmen des Werkzeug- und Formenbaus. Ein eigener Demonstrations-Werkzeugbau steht für die Schulung der Teilnehmer an der Maschine zur Verfügung und dient dazu, weiterführendes Prozess-Know-how zu entwickeln. Gemeinsam mit Unternehmen des Werkzeugbaus sowie Zulieferern der Branche führt die WBA umsetzungsorientierte Forschungs- und Entwicklungsprojekte durch. Unterschiedliche Beteiligungsmodelle ermöglichen es auch kleinen und mittleren Unternehmen, an diesen Projekten teilzunehmen.

whose basis comparative analyses with other companies from the same industry can be performed. The associated benchmark system allows the client company to establish its position in relation to its competitors and to discover potentials for further improvement.

#### **Professional development courses in tool and die making**

Efficient industrial manufacturing processes require precise and complex tools that are often integrated into automated production facilities. Many mold and tool manufacturers, apart from supplying their products, also optimize existing manufacturing processes or design new ones. At the same time, however, they find themselves subjected to growing cost pressures from competitors in low-wage countries. In order to provide enterprises from the industry with neutral and practical help along their entire process chains, the Fraunhofer IPT and the Laboratory for Machine Tools and Production Engineering WZL of the RWTH Aachen University decided to pool their tool manufacturing knowledge in the WBA Aachener Werkzeugbau Akademie GmbH.

The WBA provides tool and die manufacturers with comprehensive and practice-oriented professional development courses, ranging from one-day seminars and an "expert program" to a part-time master's course which has been designed in such a way that it can be completed while continuing a full-time career. The academy has a tool manufacturing facility for demonstration and teaching purposes and for the development of advanced process know-how. In close coordination with tool and mold manufacturers as well as their suppliers, the WBA conducts implementation-oriented research and development projects. Different partnership models also allow small and medium-sized enterprises to benefit from the scheme.

# 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

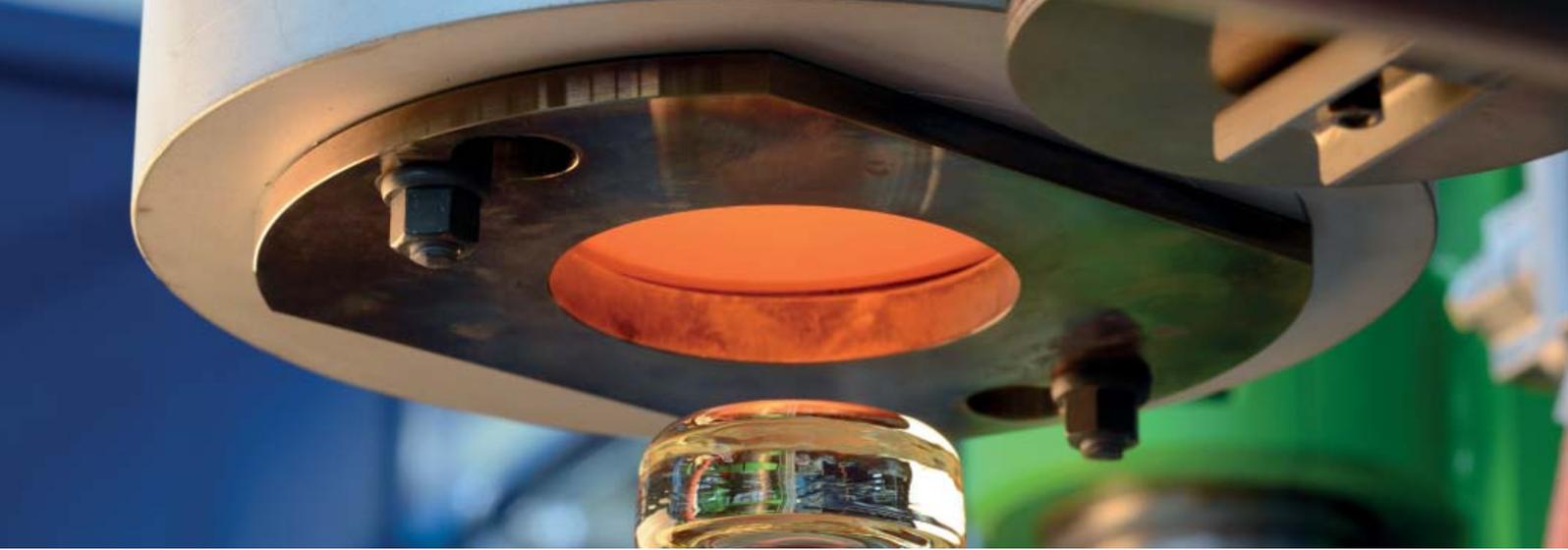
## Kontakt/Contact

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 spectral 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 equipment including suitable measuring instruments for the automation of manufacturing sequences.

## Our services

- Direct production 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



### **Nicht-isothermes Blankpressen zur Herstellung kostengünstiger optischer Komponenten aus Glas**

In der Beleuchtungstechnik, im Automobilbau und in den Anwendungsfeldern der erneuerbaren Energien wächst die Nachfrage nach komplexen und zugleich kostengünstigen Komponenten aus Glas. Doch der Trend zu immer komplexeren Geometrien und höheren Genauigkeiten bei gleichzeitig sinkenden Marktpreisen stellt die Unternehmen vor immer neue Herausforderungen. Das nicht-isotherme Blankpressen ist ein Fertigungsverfahren, mit dem sich komplex geformte Bauteile aus Glas in einem einzigen Prozessschritt ohne weitere mechanische Nachbearbeitung herstellen lassen. Durch die kurzen Prozesszeiten und den Verzicht auf weitere Schritte zur Nachbearbeitung der Bauteile ist der Prozess die erste Wahl für die Serienproduktion komplexer optischer Komponenten aus Glas.

So unterliegen beispielsweise LED-Optiken in manchen Anwendungen starken Umwelteinflüssen wie Feuchtigkeit, aber auch die UV-Strahlung, die von den LEDs selbst emittiert wird, setzt den optischen Bauteilen sehr stark zu. Mit den wachsenden Strahlungsleistungen der LEDs steigen zudem auch die thermischen Belastungen der optischen Elemente. Ab einer bestimmten Leistung können Kunststoffoptiken diesen Beanspruchungen nicht länger standhalten und die Lebensdauer der LED-Leuchten sinkt. Um den Entwicklungen in der LED-Technik auch in Zukunft folgen zu können, ist es für anspruchsvollere Anwendungen erforderlich, die Kunststoffoptiken durch Glas zu ersetzen.

Nicht nur die technologischen Anforderungen an die LED-Optiken wie hohe Formgenauigkeit und Oberflächengüte spielen hier eine wichtige Rolle, sondern vor allem auch wirtschaftliche Anforderungen an den Fertigungsprozess: Während einfache Kunststoffoptiken heute schon sehr kostengünstig hergestellt werden können, gibt es für LED-Glasoptiken bisher

### **Non-isothermal glass molding for cost-efficient production of optical glass components**

In lighting engineering, car manufacturing and across the renewable energies industry, the demand for complex and at the same time cost-efficient glass components is steadily rising. The demand for ever more complex geometries and higher levels of accuracy, however, is accompanied by continuously falling prices – a combination that provides a major challenge for the manufacturers of such components. Non-isothermal glass molding is a manufacturing technique that allows glass components with complex geometries to be produced in a single process step without any need for mechanical finishing or reworking. It is this user-friendly simplicity that – in combination with short cycle times – makes the technique the first choice for the series production of complex optical glass components.

LED optics, for example, are – in some applications – exposed to high levels of environmental influences such as humidity, but their optical components are also damaged by the UV radiation which is emitted by the LEDs themselves. It is also true that the levels of thermal stress to which the optical elements are subjected increase in proportion to the radiant power of the LEDs. Beyond a certain level of performance, plastic components are no longer capable of withstanding this stress, and the service life of the LED element will shorten accordingly. This is why high-end applications will eventually need to replace plastics with glass components if they want to stay apace with the future developments of LED technology.

Meanwhile, the high technological quality of optical LED components – high levels of dimensional accuracy and surface quality, for example – is only one important requirement: the cost-effectiveness of the production process is another. While it is possible to manufacture simple plastic optics at relatively low costs, no production technology for LED glass optics has

noch kein Fertigungsverfahren, das sowohl den technologischen als auch den wirtschaftlichen Erfordernissen hinsichtlich Preis und Stückzahl vollständig gerecht wird.

Ziel im CENTiMO-Projekt (Förderkennzeichen FP7-SME-2013-606105) ist deshalb eine kostengünstige Herstellung komplexer Glasoptiken durch das Verfahren des Blankpressens: Hier werden die LED-Optiken direkt aus der Glasschmelze zu einsatzfähigen Optiken geformt – ohne eine mechanische Nachbearbeitung. Das Fraunhofer IPT entwickelt im Projekt CENTiMO deshalb 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 ein.

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

#### **Effiziente Herstellung komplexer Freiformoptiken für Prototypen und Kleinserien**

Sphärische, asphärische, diffraktive und Freiformlinsen oder -spiegel aus Kunststoff werden bereits heute in großen Stückzahlen produziert. Sie finden sich als zentrale Bauteile in Scannern, Lichtschranken, Barcodelesegeräten, Bewegungs-

yet been developed that would fully meet both technological and economic requirements in terms of price and batch size.

This is where the CENTiMO project (contract number FP7-SME-2013-606105) comes in which has been designed to enable a cost-effective industrial production of complex optical glass components on the basis of the glass-molding technique. Under this method, the optical LED components are directly formed from molten glass without any need for mechanical reworking or finishing. In the CENTiMO project, the Fraunhofer IPT is driving the further development of two processes that are of major importance in the glass-molding technique: firstly, the melting and the portioning of the glass, and secondly, the forming process.

In the interdisciplinary consortium, six partners from four European countries contribute their respective core competencies in LED light engineering, mold and die construction, mechanical engineering, process development and glass melting technology.

The development efforts concentrate on the design of flexible melting furnaces with daily production capacities of up to two tons of glass, the quick and accurate portioning of small amounts of glass, the evaluation of different materials and coatings for the glass molds, the development of a suitable forming process, the FEM simulation of the glass flow and the thermal contraction during the forming process and the development of compensated forming tools.

#### **Efficient production of complex free-form optics for prototypes and small production series**

Spherical, aspherical, diffractive and freeform lenses or mirrors made from plastic are already being produced in large series. Such components are used in scanners, light barriers, barcode readers, motion detectors, rain detectors, cameras, eyeglasses,



meldern, Regensensoren, Kameras, Brillen, Lupen, Medizintechnik und Messinstrumenten. Mit einem Marktvolumen von mehr als 40 Milliarden Euro und einer Exportquote über 60 Prozent spielen die Branchen der »Consumer Optics«, der Präzisionsoptik und Photonik sowie der Medizintechnik eine wichtige Rolle für die deutsche Wirtschaft.

Zahlreiche neue Produkte fordern Optik-Designs mit einer wachsenden Komplexität. Doch diese neuen Optiken entstehen heute immer noch in zahlreichen Iterationsschleifen – vom eigentlichen Design, das sich an der gewünschten Funktion des Bauteils orientiert, bis hin zur Herstellung von Prototypen, die dazu dienen, die Funktion der Optiken noch weiter zu optimieren. Erst wenn dieser Prozess mehrfach durchlaufen ist, kann meist eine Serienfertigung erfolgen. Je nach Komplexität der Optiken entfallen deshalb bis zu 35 Prozent der Entwicklungskosten eines neuen Produkts auf den iterativen Prozess zwischen Design und Prototypenfertigung. Hier schlummert ein großes Potenzial zur Kostenreduktion.

Das Fraunhofer IPT hat im AiF-geförderten EraSME-Projekt »Orbital Production – O-PRO« (Förderkennzeichen 16 INE 021) im Rahmen des europäischen EraSME-Programms eine neue Plattform entwickelt, die erstmals eine kostengünstige Entwicklung, direkte Fertigung und Charakterisierung komplexer Kunststoffoptiken in einer Aufspannung erlaubt. Dauer und Kosten für die Entwicklung der Prototypen sollen sich so um 50 Prozent reduzieren. Die Prototypen können damit in weniger als 15 Minuten mit Formgenauigkeiten unterhalb von 2 µm gefertigt werden.

Das erweiterte Bearbeitungszentrum der Satisloh AG kombiniert das Fräsen, das Diamantdrehen und die optische Messtechnik in einer Maschine und verringert durch entsprechende Spann- und Einrichtetechnik sowie Datendurchgängigkeit die Anzahl der Schnittstellen und verkürzt die Umspannzeiten. Das Fräsen dient dabei zur Vorbearbeitung und Konturierung des

magnifying glasses, medical instruments and measuring equipment. The German industries in the fields of consumer optics, precision optics, photonics and medical technology have a joint market volume of more than 40 billion euros and export more than 60 percent of their total output, constituting a major force in the national economy.

Many new products require optical designs of increasing complexity. Before these new products become commercially available, however, they must still run through a large number of iteration loops – on their way from the drawing board, where a component is planned to fulfil a specific purpose and function, to the production of prototypes which allow a further improvement and optimization of the optics. In most cases, a series production follows only after this process has been repeated several times. This is why, depending on the complexity of the optics in question, the iterative process between initial design and prototype production accounts for up to 35 percent of the total development costs – providing a large potential for cost reductions.

Under the project "Orbital Production – O-PRO" (contract number 16 INE 021), which is sponsored by the AiF, the German Federation of Industrial Research Associations, and also part of the European EraSME programme, the Fraunhofer IPT has developed a new platform which for the first time allows the cost-efficient development, the direct production and the characterization of complex plastic optics in a single setup. This looks set to reduce the cost for developing prototypes by 50 percent. With the help of the new platform, the prototypes can be manufactured in less than 15 minutes with dimensional accuracies of less than 2 µm.

The new treatment center combines milling, diamond turning and optical measuring processes in a single machine, using suitable clamping and configuration technology as well as data consistency to reduce the number of interfaces and

Kunststoffrohlingen, das Diamantdrehen mit hochdynamischer Zusatzachse zur Herstellung der optisch-funktionalen Oberfläche. Die optische Messtechnik kommt bei der Formcharakterisierung des Prototypen zum Einsatz.

Das neue Ultrapräzisions-Bearbeitungszentrum orientiert sich exemplarisch an der Herstellung individuell angepasster Gleitsichtbrillengläser. Ein weiteres Marktsegment, das durch die neue Maschinenteknik profitieren wird, ist die Herstellung von LED-Optiken aus Kunststoff, beispielsweise für innovative Beleuchtungsanwendungen. Das O-PRO-Bearbeitungszentrum bietet damit eine schnelle und kostengünstige Möglichkeit zur Fertigung von Prototypen im Bereich der Kunststoffoptik und verschafft den europäischen Unternehmen einen wertvollen Vorsprung auf dem stark umkämpften globalen Markt.

#### **Funktionale Prüfung von Gleitsichtbrillengläsern mit Wellenfrontsensorik**

Die funktionale Prüfung von Freiformoptiken – auch hier beispielsweise für Gleitsichtbrillengläser – erfolgt heute meist durch eine Messung des Scheitelbrechwertes an weniger als zehn Messpunkten. Zur vollflächigen Prüfung der Gläser dienen teure deflektometrische Messsysteme. Denn herkömmliche Shack-Hartmann-Sensoren haben zurzeit noch keinen ausreichenden Mess- und Auflösungsbereich, um hochgenaue Messergebnisse für eine flexible Prüfung der frei geformten Gleitsichtbrillengläser zu liefern.

Das Fraunhofer IPT hat deshalb ein neues Verfahren zur Wellenfrontmessung nach dem Shack-Hartmann-Prinzip entwickelt – mit einer besseren lateralen Auflösung und einem größeren Messbereich als bei den bisher verfügbaren Wellenfrontsensoren. Das neue Messkonzept setzt dabei auf eine digital verschaltete Mikrospiegelmatrix, die den Messbereich gegenüber konventionellen Shack-Hartmann-Sensoren deutlich vergrößert.

shorten the resetting time. During the milling stage, the plastic blank is being shaped and pre-processed, while the diamond turning – with a highly dynamic additional axis – applies the optical-functional surface. The optical metrology is used for the characterization of the form for the prototype.

The new ultra-precision treatment center has been exemplarily designed to manufacture individually customized multifocal spectacle lenses. The production of LED optics from plastic also looks set to benefit from the new manufacturing technology and could use it in the production of innovative lighting applications, for example. The O-PRO center thus provides a quick and cost-effective solution for the production of prototypes in the field of plastic optics, ensuring that European manufacturers can benefit from a potentially valuable head start on a hotly contested global market.

#### **Functional assessment of multifocal spectacle lenses with wavefront sensors**

The functional assessment of freeform optical components – for example, the lenses of multifocal spectacles – is commonly conducted by establishing the peak index of refraction in fewer than ten measuring points. The full surface of the glasses can only be tested with the help of an expensive deflectometric measuring system, because conventional Shack-Hartmann sensors do not yet have a sufficiently large range of measurement and resolution to deliver high-precision measurements for a flexible examination of free-formed multifocal spectacle lenses.

This is why the Fraunhofer IPT has developed a new wavefront measuring technique which still follows the Shack-Hartmann principle but is characterized by a higher lateral resolution and a larger measurement range than conventional wavefront sensors. The new metrological concept is based on a digitally connected micro-mirror array which substantially enlarges the measuring range of conventional Shack-Hartmann sensors.



Im BMBF-geförderten Verbundprojekt »VariScan« (Förderkennzeichen 13N11709) konnte das Fraunhofer IPT zeigen, dass sich das Messprinzip für die Funktionsprüfung der frei geformten Gleitsichtbrillengläser eignet: Alle Bereiche der Gläser können vollständig und mit hoher Auflösung vermessen werden. Dazu wird das Brillenglas mit Laserlicht beleuchtet und die Wellenfront, die beim Durchgang durch das Glas entsteht, in weniger als zehn Sekunden gescannt. An den Veränderungen dieser Wellenfront lässt sich ablesen, ob das Gleitsichtbrillenglas den Vorgaben entspricht oder ob Fertigungsfehler vorliegen. Weitere Anwendungsfelder für das neue Messverfahren sind auch frei geformte optische Bauteile für die Astronomie, die Lasertechnik oder die Untersuchung des menschlichen Auges in der Medizin.

In the collaborative research project "VariScan", sponsored by Germany's Federal Ministry of Education and Research (contract number 13N11709), the Fraunhofer IPT was able to demonstrate that this measuring principle is suitable for functional tests of free-formed multifocal spectacle lenses: all areas of the lenses can be fully measured with high resolutions. For this purpose, the lenses are illuminated with the light of a laser, and the wavefront that results from the passage of the light through the glass is scanned in less than ten seconds. The changes of this wavefront then allow the engineers to establish whether the multifocal spectacle lens complies with the specifications or whether a manufacturing defect has occurred. The new technology can also be used to measure freeform optical components for applications in astronomy, for laser technology and for medical examinations of the human eye.

# INTEGRIERTE MECHATRONISCHE SYSTEME

## INTEGRATED MECHATRONICAL 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 auf eine einzelne Technologie zur Funktionsintegration zu setzen. 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

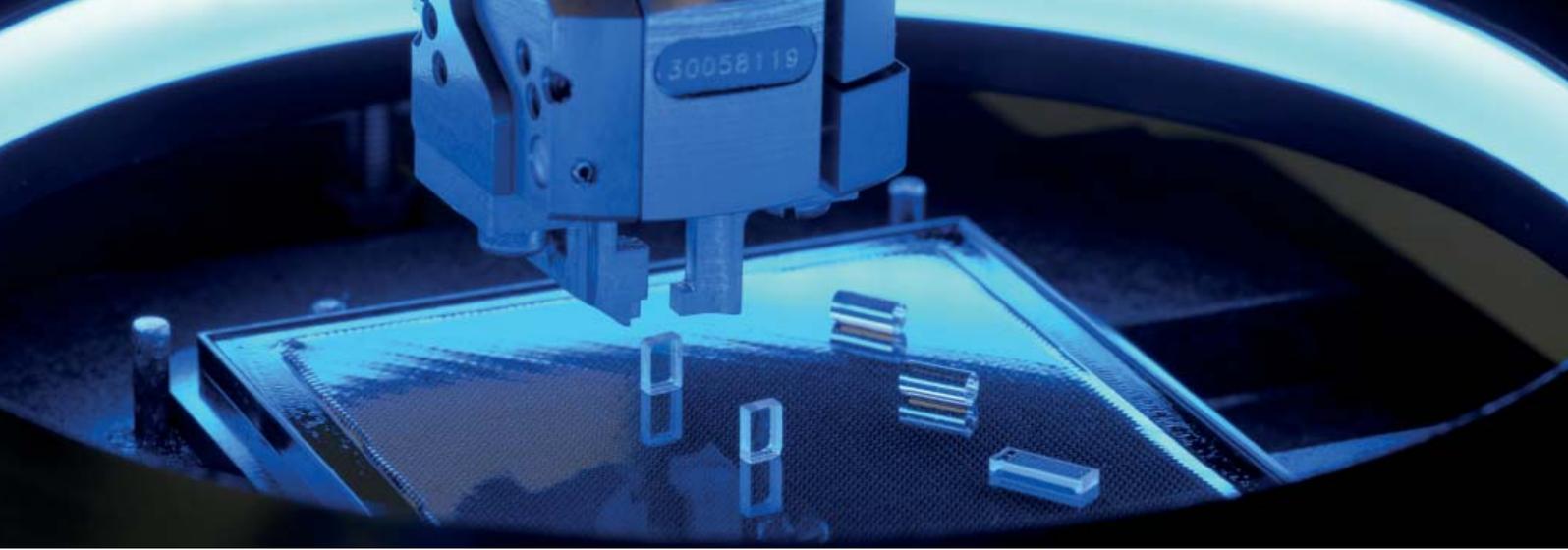
Dipl.-Ing. Michel Klatte M.Sc.  
Telefon/Phone +49 241 8904-321  
michel.klatte@ipt.fraunhofer.de

In the business field "Integrated Mechatronical 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



### **Aufbau innovativer Lasersysteme**

Die Lasertechnologie ist eine Schlüsseltechnologie des 21. Jahrhunderts, die neue Anwendungen in anspruchsvollen und gesellschaftlich relevanten Gebieten oft erst möglich macht. Die Entwicklung und Herstellung von Lasersystemen ist jedoch komplex und anspruchsvoll und daher oft mit hohen Kosten verbunden – ein Umstand, der auch bei vielversprechenden Anwendungen einem Durchbruch oft entgegensteht. Um hier Abhilfe zu schaffen, entwickelt das Fraunhofer IPT eine Lösung für den Aufbau mikrooptischer Systeme, die in Lasersysteme integriert werden können.

In den EU-geförderten Forschungsprojekten »APACOS« (Förderkennzeichen FP7-SME-2012 315711) und »DeLas« (Förderkennzeichen O2PJ2542) sowie im DFG-geförderten Exzellenzcluster »Integrative Produktionstechnik für Hochlohnländer« arbeitet das Fraunhofer IPT daran, den Aufbau der Laseroptik-Systeme voll zu automatisieren. In anderen Projekten mit Industriepartnern ist die besondere Aufgabe, Prototypen von Laserprodukten zunächst zu montieren und davon ausgehend automatisierte Montagebänder zu entwickeln. Gerade die funktionstüchtigen Prototypen bilden einen wichtigen Meilenstein in der Produktentwicklung, denn sie dienen als Grundlage für wichtige Konstruktionsentscheidungen und beeinflussen damit letztlich auch den Erfolg des Produkts am Markt.

Kompetenzen aus verschiedenen Bereichen sind gefragt, um ein nachhaltiges Produkt- und Produktionskonzept zu erarbeiten. Das Fraunhofer IPT verfügt über weitreichende Kompetenzen in der mikrooptischen Montage – von der Entwicklung kompakter und modularer Mikromanipulatoren über die Konstruktion individueller Greifer bis hin zur Automatisierung aktiver und passiver Ausrichtungsstrategien, beispielsweise für die Klebtechnik auch mit Blick auf das Schrumpfverhalten UV-aushärtender Klebstoffe. Mit langjähriger Erfahrung

### **Assembly of innovative laser systems**

Laser technology is a key technology of the 21<sup>st</sup> century enabling innovative applications in demanding and socially relevant domains. The development and production of laser systems is complex and challenging and therefore often leads to high unit costs thus preventing the breakthrough of laser technology in promising applications. Therefore, the Fraunhofer IPT develops solutions for the assembly of micro-optics in laser systems.

While the work in current research projects such as the EU-funded projects "APACOS" (contract number FP7-SME-2012 315711) and "DeLas" (contract number O2PJ2542), and the Cluster of Excellence "Integrative Production Technology for High-Wage Countries" funded by the German Research Foundation (DFG) aims for the full automation of laser optics assembly. The challenge in many projects with industry partners is to assemble prototypes of laser products prior to the development of automated assembly lines. Fully functional prototypes depict important milestones in the course of product development because they serve as a basis for important design decisions which determine the success of the product regarding a sound production concept. In most cases competencies from different domains are required in order to achieve a sustainable product and production concept.

Core competencies of the Fraunhofer IPT in the field of micro-optical assembly are compact and modular micromanipulator technology, customized gripper nozzle design and automation of active and passive alignment strategies considering the influence of the bonding technology such as shrinkage induced by UV-curing adhesives. Based on many years of experience in these fields and a wide spectrum of cleanroom equipment and precision manufacturing capabilities, the Fraunhofer IPT is a competent partner during laser product development and for production solution development.

auf diesem Gebiet und umfangreicher Ausstattung für den Reinraum und die Präzisionsfertigung gilt das Fraunhofer IPT seinen Industriepartnern als starker Partner für die Entwicklung von Lasersystemen und Produktionslösungen.

Das israelische Unternehmen Pebbles Interfaces, Ltd. entwickelt hochauflösende, kostengünstige Sensorik zur Gestenerkennung für Consumer-Produkte wie Smartphones, Smart TVs und andere tragbare Geräte. In einem gemeinsamen Projekt unter Koordination der Micro Mountains Applications AG hat das Fraunhofer IPT gemeinsam mit dem Fraunhofer-Institut für Lasertechnik ILT und den Industriepartnern ein automatisierbares und thermisch stabiles, kleines Lasermodul entwickelt, das zur 3D-Gestenerkennung genutzt werden kann. Das Modul besteht aus kompakten optischen Elementen mit hochintegrierten optischen Funktionen und wurde in mehreren Iterationen gefertigt und montiert.

Aufgabe des Fraunhofer IPT war es, ein kostengünstiges Gehäuse für die automatisierte Montage der Lasermodule zu entwickeln. Dem Projektpartner Häcker Automation GmbH kam es dabei besonders auf eine hohe Produktionsleistung an, das Fraunhofer ILT legte Wert auf thermische Stabilität. Das Gehäuse und die Prototypen der Lasermodule wurden in den Reinräumen des Fraunhofer IPT hergestellt. Zum Einsatz kamen halbautomatisierte Montagestationen und C6-Mikromanipulatoren als Ergebnis des Exzellenzclusters.

Das Projektteam arbeitet jetzt an einem Konzept für automatische Montagelösungen, um das gewünschte Produktionsvolumen sowie die Qualität und Stückkosten zu gewährleisten.

Das Fraunhofer IPT nutzt dafür ein VICO-XTec-Mikromontagesystem der Häcker Automation GmbH und führt damit die erfolgreiche Zusammenarbeit auch in zukünftigen Projekten weiter.

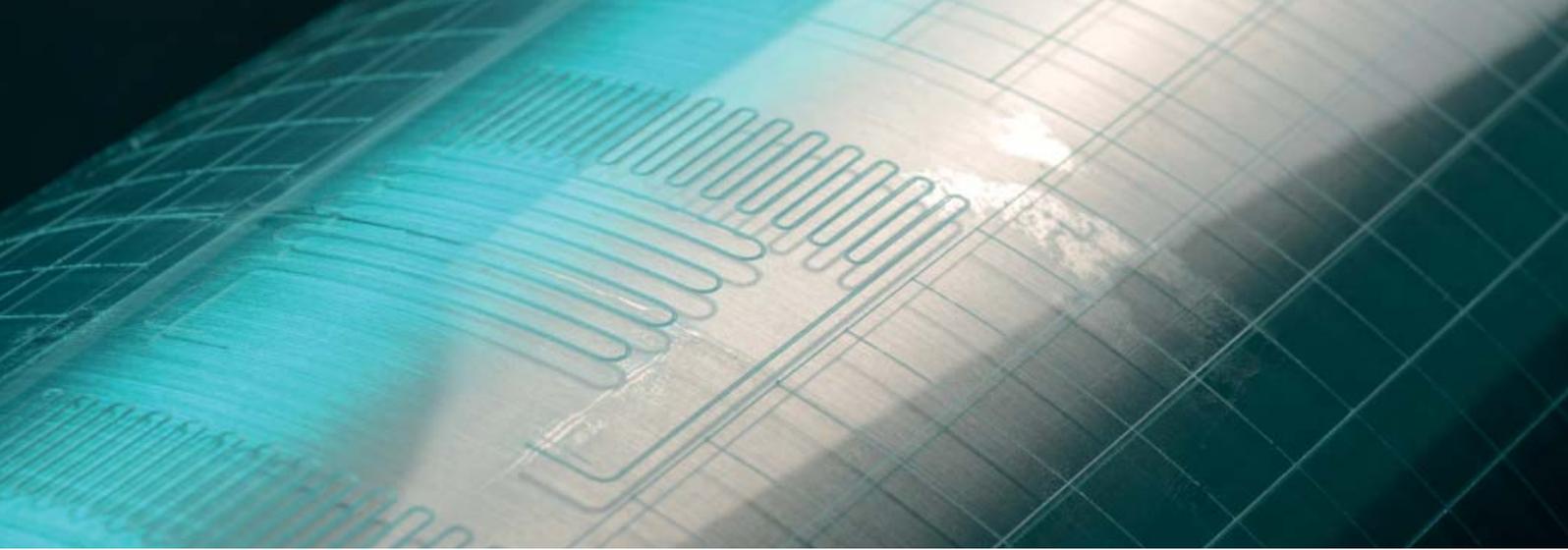
Pebbles Interfaces, Ltd. develops high resolution, minimal hardware, low CPU overhead sensors and embeds it into third party smart products such as smartphones, Smart TV's and wearable devices. Under coordination of MicroMountains Application and in cooperation between the two Fraunhofer institutes in Aachen and industry partners, an automation-friendly and thermally stable product design for a small laser module used for 3D gesture detection with compact optical elements and with highly integrated optical function was developed, manufactured and assembled in several iterations.

The role of the micro-assembly team at the Fraunhofer IPT was to design an automation-friendly and cost-efficient housing for the laser module and to agree upon the design with Haecker Automation considering a high production throughput on the one hand and with the Fraunhofer ILT for thermal stability on the other. The housings were manufactured and prototypal laser modules were assembled in the cleanroom facilities at the Fraunhofer IPT using semi-automated assembly work stations and C6 micromanipulator technology – a result of the first funding period of the Cluster of Excellence.

The project is ongoing and the consortium works on concepts for an automated assembly solution in order to achieve the desired production volume and quality level as well as the desired unit costs.

The Fraunhofer IPT acquired a VICO XTec machine – an industrial micro-assembly system from Häcker Automation GmbH – in order to intensify the fruitful cooperation between the institute and the Haecker Automation company in future projects.

To serve as a platform for clustering expert knowledge in the field of micro-optical assembly and for carrying out industry-oriented research and development, the two Fraunhofer Institutes plan to found an industrial working group in 2014.



Fraunhofer IPT und ILT planen für 2014 die Gründung einer industriellen Arbeitsgruppe, die als Austauschplattform für Fachwissen rund um die mikrooptische Montage sowie industriennahe Forschung und Entwicklung dienen soll.

### **Rolle-zu-Rolle-Fertigung**

Die Funktionalisierung von Kunststofffolien in kontinuierlichen Fertigungsprozessen bietet eine Vielfalt an Möglichkeiten zur kostengünstigen Herstellung multifunktionaler Funktionseinheiten. Das Fraunhofer IPT erarbeitet für die so genannte Rolle-zu-Rolle-Produktion Prozess- und Produktionslösungen, die sich zur elektrischen, optischen, biologischen und mikrofluidischen Funktionalisierung polymerer Oberflächen eignen. Auf diese Weise werden einfache Polymerfolien zu komplexen Funktionsträgern. Mit neu entwickelten Fügeverfahren können einzelne funktionale Folien zu einem System gefügt werden, das diese heterogenen Funktionselemente vereint. Die daraus entstehenden Produkte sind integrierte mechatronische Systeme, die komplexe Funktionen auf engstem Raum vereinen.

Aktuelle Forschungsschwerpunkte erstrecken sich über Verfahren zur Mikrostrukturierung von Folien anhand ultra-präziser Prägwalzen, Oberflächenfunktionalisierung durch die Abscheidung funktionaler Schichten sowie das Drucken und Sintern elektrischer Leiterbahnen. Im EU-Forschungsprojekt »ML<sup>2</sup>« (Förderkennzeichen FP7-ICT-2011-8) entwickelt das Fraunhofer IPT im Rolle-zu-Rolle-Verfahren verschiedene Lab-on-a-Chip-Systeme zur medizinischen Diagnostik. Die räumliche Integration durch mehrschichtige Systeme, so genannte »Multilayer« ist ein Themenschwerpunkt im Geschäftsfeld »Integrierte mechatronische Systeme«.

### **Reel-to-reel production**

The functionalization of plastic foils in continuous manufacturing processes provides a large variety of opportunities for the low-cost production of multi-functional units. For the purposes of the so-called reel-to-reel production, the Fraunhofer IPT is developing process and manufacturing solutions which support the electrical, optical, biological and micro-fluidic functionalization of polymer surfaces, turning simple polymer foils into complex functional units. Using newly developed joining techniques, individual functional foils can be added to establish an integrated system that combines these heterogeneous functional elements. The resulting products are integrated mechatronic systems which combine different complex functions in a minimum of space.

Current research studies are concentrating on the micro-structuring of foils with ultra-precision embossing rollers, the functionalization of surfaces through the separation of functional layers and the printing and sintering of electrical conductors. Under the EU research project "ML<sup>2</sup>" (contract number FP7-ICT-2011-8), the Fraunhofer IPT is developing various lab-on-a-chip systems for medical diagnoses, using the reel-to-reel technique. The Business unit "Integrated mechatronic systems" focuses on this kind of spatial integration into so called "multi-layered" systems.

# 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

Dipl.-Phys. Ulrich Marx  
Telefon +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 engineering graduates, biologists and medical scientists, we design customized concepts and technology solutions for the entire product development process, helping our clients to manage the whole length of the product development path from initial research to market launch and certification.

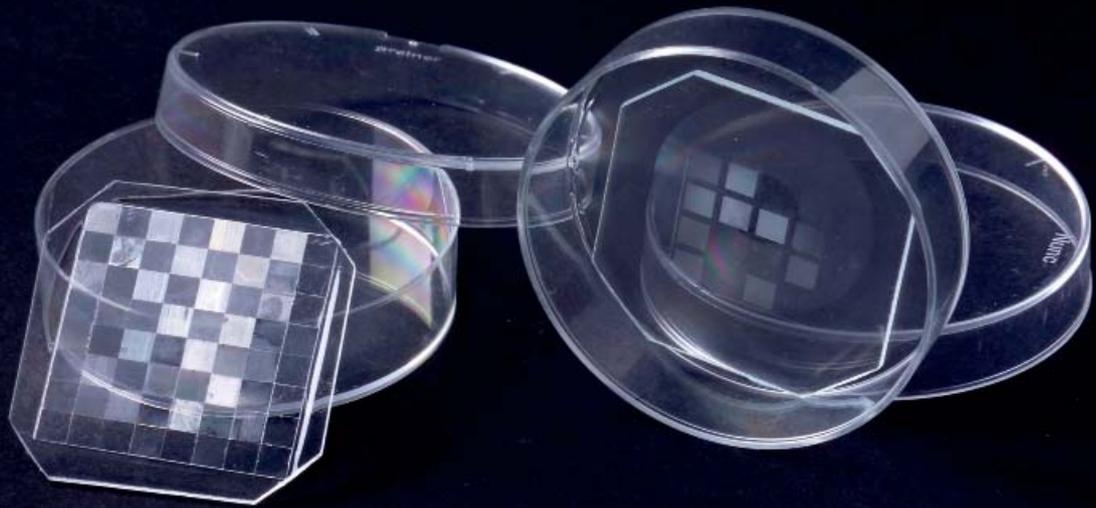
Our dense network of contacts allows us furthermore to benefit from the know-how of many scientific and academic institutions in Germany and the US. We enjoy specifically close relationships with the Laboratory for Machine Tools and Production Engineering WZL of the RWTH Aachen University, the Fraunhofer 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 micro-structures
- Technology management and quality management in the life sciences

## Contact

Alexis Sauer-Budge, Ph.D  
Phone +1 617 353 1888  
asauerbudge@ipt.fraunhofer.org



### Mikrostrukturen für Anwendungen in der Biotechnologie

Bereits seit Jahrzehnten versucht die biotechnologische Forschung, für Transplantationen Gewebeersatz aus körpereigenen Zellen herzustellen. Denn Patienten mit Gewebedefekten, die Organversagen verursachen, müssen oft mit langen Wartezeiten rechnen: Immer noch wird fast ausschließlich körperfremdes Spendergewebe implantiert.

Eine Alternative zur Transplantation von Fremdgewebe 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 Phänotypen 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 unterschiedlichste 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,

### Micro-structures for biotechnology applications

For several decades, biotechnology researchers have been trying to generate replacement tissue from body cells for the use in transplantations. Until now, patients who are suffering from tissue defects that have caused acute organ failure must expect to be put on a long waiting list because nearly all transplantation surgeries are using external donor tissue.

Tissue engineering appears to provide a possible alternative solution for the future. This technique models the organically grown tissue by coating an appropriately shaped synthetic network with extra-cellular matrix proteins such as collagen, fibronectin and laminin before populating it with primary cells. Nobody has yet managed, however, to cultivate the amounts of donor tissue cells that would be required for the remodeling of a full body organ.

This is why the Fraunhofer IPT is aiming to create conditions that would allow a differentiation of adult stem cells and progenitor cells into defined phenotypes through adhesion on defined topographies. Pilot schemes have demonstrated that technological structures in the micro- and nano-range 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 such structures in the micro- and sub-micro-range could be applied to different materials using different production techniques. The two-photon lithography, for example, allows the production of prototypes with complex geometries in the micro- and sub-micro-range. Structures of the same type can also be manufactured through diamond milling and can be subsequently shaped in large series by using injection molding. Laser technology, meanwhile, is a good method for structuring in the micrometer range, while additionally offering a high level of flexibility, since biocompatible materials can be directly

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.

### **Bionische Oberflächen für technische Anwendungen**

Feuchtigkeitserntende Echsen können auf ihrer Haut kondensiertes Wasser gezielt bis ins Maul transportieren, ohne sich dabei zu bewegen. Dieser gerichtete Flüssigkeitstransport gelingt der Echse aufgrund der besonderen Oberflächenstruktur ihrer Haut, denn diese ist so beschaffen, dass Kapillarkräfte auf das Wasser wirken. Um den Effekt auch technisch nutzbar zu machen, initiierte das Fraunhofer IPT gemeinsam mit dem Institut für Biologie II der RWTH Aachen im November 2012 das BMBF-geförderte VIP-Projekt »BioLas.exe« (Förderkennzeichen 16V0352).

Ziel des Projekts ist es, die Funktionsweise und – damit eng verknüpft – den geometrischen Aufbau der biologischen Hautstruktur im Detail zu untersuchen. Der bionische Ansatz dient dazu, den Effekt des gerichteten Flüssigkeitstransports auf technische Bauteile zu übertragen. Bei Lagern oder Schneidwerkzeugen ließe sich damit die Verteilung von Schmier- oder Kühlschmierstoffen verbessern, um dadurch Reibung und Verschleiß zu verringern. Auch für die Entwicklung neuer Sensoren, Filtersysteme, Ölabscheidevorrichtungen oder Wärmetauscher können solche Strukturen genutzt werden.

Sie werden dazu mit dem Verfahren des Laserstrukturierens in die Oberfläche des Bauteils eingebracht. Im Projekt »BioLas.exe« kommen spezielle Ultrakurzpulslaser zum Einsatz, die sehr präzise und qualitativ hochwertige Oberflächenstrukturen erzeugen können. Außerdem entwickelt das Fraunhofer IPT in dem Projekt einen neuen Ansatz zur Strukturprogrammierung,

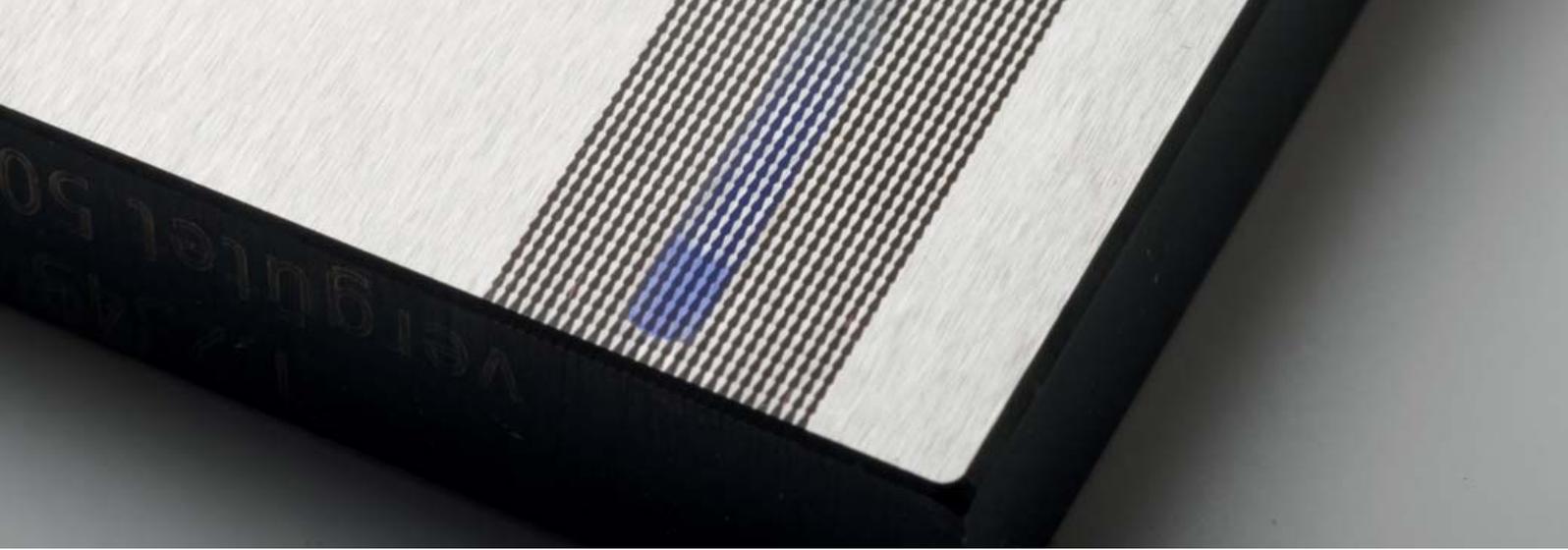
structured for purposes of modelling. The Fraunhofer IPT is currently working on a process that would allow it to print the successfully tested structures on to tissue culture plastics of different sizes. The ultimate aim is to prepare these products for a market launch and make them commercially available.

### **Bionic surface for technology applications**

So-called moisture-harvesting lizards are capable of conveying condensed water which has formed on their skin into their mouths without moving – thanks to a capillary system that exists in between their scales. In order to study and ultimately to exploit these capillary forces through technology, the Fraunhofer IPT and the Institute for Biology II of the RWTH Aachen University have initiated the "BioLas.exe" project in November 2012, sponsored as a VIP project by the German Federal Ministry of Education and Research (contract number 16V0352).

The project aims to subject the geometrical structure of the skin and the functional principle of the water transport to a detailed analysis and, using a bionic approach, to replicate the principle in technological structures. Such a technology could, for example, improve the distribution of lubricants or cooling agents in bearings and cutting tools, decreasing friction and wear. It could also inform the development of new sensors, filter systems, oil separation units and heat exchangers.

For this purpose, the structures are applied to the component surface through laser structuring. The "BioLas.exe" project uses customized ultra-short pulse lasers which are capable of producing high-precision and high-quality surface structures. In the project, the Fraunhofer IPT is furthermore developing a new structure programming strategy which is implemented into a customized CAM software. This software helps the engineers to program and control the laser system, thus also making it easier to perform the automatic surface structuring process.



der in eine spezielle CAM-Software implementiert wird. Die Software vereinfacht die Programmierung und Steuerung der Laseranlage und erleichtert damit auch die automatisierte Oberflächenstrukturierung.

### **Automatisierte Produktion von Stammzellen**

Ziel des Projekts »StemCellFactory« (Förderkennzeichen 005-1007-0023) ist die automatisierte Herstellung, Vermehrung und Differenzierung induzierter pluripotenter Stammzellen hin zu patientenspezifischen Zellen, mit denen sich personalisierte Medikamente für Erkrankungen des Nervensystems oder des Herzens erforschen lassen. Zu ihrer Herstellung werden im Projekt »StemCellFactory« adulte, also »erwachsene« Körperzellen durch ein spezielles Verfahren der Reprogrammierung in den Zustand von embryonalen Stammzellen zurückversetzt. Aufgrund des hohen Grades an komplexen Handhabungsschritten existierte bisher kein industrieller Prozess, der den Bedarf an humanen, stammzellbasierten Zellprodukten zur Erforschung neuer Wirkstoffe zufriedenstellend bediente. Für die Automatisierung des manuell sehr aufwändigen und langwierigen Laborprozesses untersuchte das Fraunhofer IPT alle biologischen Prozesse von der Zellisolation aus Haut und Knochenmark über die Kultivierung, Reprogrammierung und Selektion der pluripotenten Stammzellklone bis hin zur Differenzierung in Vorläuferzellen von Nervenzellen.

Nachdem anlagentaugliche Prozessabläufe festgelegt waren, entwickelte das Fraunhofer IPT ein modulares Anlagenkonzept. Die Anlage wurde aus verschiedenen, teilweise selbst entwickelten Teilkomponenten aufgebaut und Mitte 2013 in Betrieb genommen. Neben dem Fraunhofer IPT waren Lehrstühle der RWTH Aachen sowie der Universität Bonn, die Life & Brain GmbH, das Max-Planck-Institut für molekulare Biomedizin in Münster sowie die Bayer Technology Services GmbH und die Hitec Zang GmbH als Projektpartner beteiligt. Das Land Nordrhein-Westfalen fördert das dreijährige Projekt bis Mitte 2014.

### **Automated stem cell production**

The "StemCellFactory" project (contract number 005-1007-0023) has the objective of paving the way for the automated production and propagation of induced pluripotent stem cells as well as for their differentiation into patient-specific cells. This could then serve as the basis for further research into customized medication for illnesses of the heart or the nervous system. For the production of such cells, the "StemCellFactory" project uses a special reprogramming technique to return adult body cells into the state of embryonic stem cells. Due to the high number of complex handling steps, there has – until now – been no industrial production process that would have been capable of meeting the demand for human, stem-cell-based cell products on whose basis new active ingredients might be explored. For the purpose of automating the time-consuming and complex laboratory process, which features many individual manual interventions, the Fraunhofer IPT analyzed all biological processes including the isolation of cells from skin and bone-marrow, the cultivation, reprogramming and selection of the pluripotent stem cell clones and the differentiation into progenitor cells of nerve cells.

After process sequences had been identified that befitted the scale of the operation, the Fraunhofer IPT developed a modular production concept and constructed a production facility – partly from self-designed components – which it put into operation in mid 2013. Apart from the Fraunhofer IPT, the other project partners are Institutes from the RWTH Aachen University and the University of Bonn, Life & Brain GmbH, the Max-Planck-Institute for molecular biomedicine at Münster, Bayer Technology Services GmbH and Hitec Zang GmbH. The government of the Land of North Rhine Westphalia will support the three-year project until mid 2014.

### Automatisierte Tabakfarm für die Impfstoffproduktion

Mit Molecular Farming lassen sich Impfstoffe und Therapeutika in Pflanzen produzieren – einfach, schnell und sicher. Für die Entwicklung einer komplett automatisierten Pflanzenfabrik mit einer Zulassung nach GMP-Kriterien zur Qualitätssicherung in der Arzneimittelproduktion erhielten Prof. Dr. Andre Sharon vom Fraunhofer CMI und Prof. Dr. Vidadi Yusibov vom Fraunhofer Center for Molecular Biotechnology CMB in Newark im Jahr 2013 den Joseph-von-Fraunhofer-Preis.

Zum Einsatz kommen Tabakpflanzen, um schnell viel Biomasse und damit auch eine größere Menge der gewünschten Proteine zu gewinnen. Die für die Proteinbildung notwendigen genetischen Informationen werden mit Hilfe der Virenvektoren in die Pflanze eingeschleust. Die Regal-Einsätze, in denen die Pflanzen in Hydrokulturen auf Mineralwolle wachsen, sind mit Funktionen für Bewässerung und Nährstoffversorgung ausgestattet. Beleuchtung, Bewässerung und Versorgung mit Nährstoffen werden in speziell gestalteten Wachstumsmodulen exakt dosiert und verteilt. Eigens entwickelte Roboter bewegen die Pflanzen von Station zu Station – vom Einsetzen der Samen über die Vakuuminfiltration bis zur Ernte und Extraktion.

Nach einer Wachstumsphase von rund vier Wochen wird durch Vakuuminfiltration der Virenvektor eingebracht. Danach kommen die Pflanzen zurück in das Wachstumsregal und produzieren innerhalb etwa einer Woche die gewünschten Proteine. Nach der Ernte werden die Blätter vollautomatisch in kleine Stücke geschnitten, homogenisiert und daraus die Proteine extrahiert. In der Pilotanlage können bis zu 300 Kilogramm Biomasse im Monat hergestellt werden, das entspricht etwa 2,5 Millionen Impfstoffeinheiten.

### Automated tobacco farm for the production of vaccines

Molecular farming can produce vaccines and pharmaceutical substances in plants simply, quickly and safely. Prof. Dr. Andre Sharon from the Fraunhofer CMI and Prof. Dr. Vidadi Yusibov from the Fraunhofer Center for Molecular Biotechnology CMB in Newark received the 2013 Joseph von Fraunhofer Award for their development of a fully automated plant factory that received a GMP certificate for quality assurance in the production of pharmaceuticals.

The plants of the factory are tobacco plants since they generate large amounts of biomass and therefore of the desired proteins within a short period of time. The genetic information that is required for the generation of proteins is imbued into the plants with the help of viral vectors. The plants are growing in hydro-cultures on mineral wool. These cultures are stored on shelf inserts that are provided with functions for irrigation and the supply of nutrients. Customized growth modules ensure that the plants receive precisely calculated amounts of light, water and nutrients. Robots have been specifically developed to move the plants from station to station – from the planting of the seeds to the vacuum infiltration and ultimately to their harvest and extraction.

Following a growth phase of roughly four weeks, the viral vector is inserted through a process of vacuum infiltration. After this, the plants are returned back to the shelf, and within the following week, they develop the desired proteins. After the harvest, the leaves are automatically cut into small pieces and homogenized. The proteins are extracted from the resulting biomass. The pilot plant can produce up to 300 kilograms of biomass every month, the equivalent of approx. 2.5 million units of vaccine.



### Qualitäts- und Risikomanagement in der Medizintechnik

Der starke internationale Wettbewerb fordert gerade in der Medizintechnik eine hohe Innovationsgeschwindigkeit, die im Vergleich zu anderen Branchen leicht zu fehlerhaften Prozessen und Produkten führen kann. Der enorme Kostendruck im Gesundheitssystem begünstigt zusätzlich Anwendungsfehler beim Einsatz von Medizinprodukten. Diese wachsende Vielfalt an Risiken, die mit der Herstellung und Anwendung einhergehen, richtig zu bewerten und ihnen mit passenden Maßnahmen zu begegnen, ist eine höchst komplexe Aufgabe.

Das Fraunhofer IPT hatte sich im AiF/FQS-geförderten Forschungsprojekt »SysRisk« (Förderkennzeichen 16745N) zum Ziel gesetzt, eine Methodik zu entwickeln, mit der Unternehmen Risiken im Entwicklungsprozess von Medizinprodukten frühzeitig aufspüren, behandeln und kontrollieren können. Die Risiken komplexer technischer Produkte und Systeme lassen sich durch den entwickelten Risikomanagementansatz über den gesamten Produktlebenszyklus analysieren und beherrschen.

Die entwickelten Module können außerdem für Produkte verschiedener Branchen mit hoher technischer Komplexität in einem risikosensitiven Einsatzumfeld angewendet werden. Ein begleitender Arbeitskreis aus Unternehmen und Pilotanwendern erprobte das System unter verschiedenen Bedingungen – von technisch eher überschaubaren Produkten bis zu komplexen Therapie- und Diagnosesystemen. Ein Leitfaden erläutert dabei die Wirkungsweise der anwendungserprobten Methoden, sodass diese auch branchenübergreifend genutzt werden können. Das versetzt die Unternehmen in die Lage, die Systematik einfach und schnell in ihrer täglichen Arbeit anzuwenden.

### Quality management and risk management in medical technology

The climate of specifically intense global competition requires all manufacturers in the medical technology industry to adopt a high speed of innovation which can easily lead to flawed processes and products. On top of that, enormous cost pressures in the public health systems may provoke mistakes in the application of their medical technology. The number of risks that are connected with the production and the application of medical equipment is constantly growing, and the task of assessing them and of developing counterstrategies is correspondingly increasing in complexity.

In the "SysRisk" research project, funded by the German Federation of Industrial Research Associations (AiF) and the Forum Qualitative Research (FQS) (contract number 16745N), the Fraunhofer IPT was aiming to design a method that would enable enterprises to identify risks in the development process of medical products at an early stage, to control and to eliminate them. The risk management approach that was the outcome of the project allows the analysis and control of the risks that are generated by complex technological products and systems across their entire life cycle.

The individual modules of the new risk management system can also be used for products from other industries that are equally distinguished by high levels of technological complexity and intended for a risk-sensitive environment. A focus group of entrepreneurs and pilot users tested the system under a range of conditions, applying it to relatively simple technological products as well as to complex therapy and diagnosis systems. A manual explains how the comprehensively tested methods are working, allowing them to be used in other industries, too. This allows the enterprises to integrate the new system easily and quickly into their daily routines.

**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.

**70 E<sup>3</sup>-Produktion**  
E<sup>3</sup>-Production

**72 Industrie 4.0**  
Industry 4.0

**74 Exzellenzcluster »Integrative Produktionstechnik für Hochlohnländer«**  
Cluster of Excellence "Integrative Production Technology for High-Wage Countries"

**76 Forschungscampus »Digital Photonic Production«**  
Research Campus "Digital Photonic Production"

# E<sup>3</sup>-PRODUKTION

## E<sup>3</sup>-PRODUCTION

Deutschlands Wirtschaft lebt vor allem von der Produktion qualitativ hochwertiger Güter. Doch Rohstoffknappheit, Umwelt- und Klimaschutz und der demographische Wandel prägen bereits seit mehreren Jahren die wirtschaftliche und gesellschaftliche Diskussion. Deshalb wird die Betrachtung des gesamten Produktlebenszyklus immer wichtiger. Eine wachsende Anzahl politischer Auflagen, veränderte Kosten und Strukturanpassungen fordern neue Technologien und Prozesse für den Umgang mit Energie und Material sowie die verantwortliche und nachhaltige Einbindung von Mitarbeitern. Der Fraunhofer-Verbund Produktion fasst dies unter dem Begriff »E<sup>3</sup>-Produktion« zusammen: energie- und ressourceneffiziente Produktion, emissionsneutrale Fabrik und die Einbindung des Menschen in die Produktion.

Immer mehr Menschen möchten weltweit am Wohlstand der Industrienationen teilhaben. Doch ein großer Teil der natürlichen Rohstoffe ist bereits nahezu aufgebraucht. Daher arbeitet der Fraunhofer-Verbund Produktion 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. Emissionsneutrale Produktionsstätten gewinnen für den Umwelt- und Klimaschutz immer mehr an Bedeutung: Produzierende Unternehmen müssen in Zukunft die regenerativen Energiequellen für die Erzeugung von Elektrizität und Wärme stärker heranziehen und Energiemanagementsysteme nutzen. Deshalb arbeiten die Institute im Fraunhofer-Verbund Produktion daran, Architektur und Versorgungssysteme auf die Fertigungsprozesse abzustimmen sowie Energie- und Werkstoffkreisläufe einzurichten. Hohe Fluktuation am Arbeitsmarkt, die demographischen Entwicklungen, neue Technologien und Arbeitsprozesse fordern eine bessere Einbindung der Mitarbeiter in die Produktion. Jedem Mitarbeiter sollen genau die Informationen einfach und verständlich zur Verfügung stehen, die auf ihn und seine Entscheidungssituation zugeschnitten sind. Die Institute im Fraunhofer-Verbund Produktion

The German economy is essentially a provider of high-quality, high-end goods. But raw material shortages, the need to protect our climate and environment and demographic changes have for years dominated the public discussion about economic and social affairs. These discussions have highlighted the need to adopt an integrated view of the entire product life cycle. In the light of a growing array of government regulations, changed cost structures and organizational readjustments, new technologies and processes are required to make better and more efficient use of energy and material resources. The Fraunhofer Group for Production has coined the term "E<sup>3</sup>-Production" to characterize this development: energy-efficient and resource-efficient production, emission-neutral factories and the integration of human beings into the production process.

An increasing number of human beings across the world are claiming their share in the global wealth. Many natural resources, meanwhile, have been largely depleted by centuries of western industrialization. This is why the Fraunhofer Alliance for Production has dedicated the Fraunhofer flagship project "E<sup>3</sup> Production" to the task of making production processes more energy-efficient 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 the light of the need to protect our climate and our environment, emission-neutral production facilities are increasingly important. In the future, manufacturing corporations will be forced to employ energy management systems and to use regenerative energies for the generation of heat and electricity. This is why the institutes in the Fraunhofer consortium on production are trying to adjust architecture and supply systems to the manufacturing processes and to configure the consumption cycles of energy and materials. High levels of personnel fluctuation, the current demographic trends, new technologies and new working processes require improved methods of integrating workers into the production process.



entwickeln deshalb Hilfsmittel und neue Anlagentechnik, um monotone Tätigkeiten zu verringern oder schwere Objekte mit maschineller Unterstützung leichter zu handhaben.

### **Bewertung von ressourceneffizienten Gießprozessketten und generativen Prozessen**

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. Die hohe Variantenvielfalt in der Automobilproduktion fordert heute eine sorgfältige Auswahl der passenden generativen Verfahren. 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.

The objective is to provide each and every employee with the information – in clear and unambiguous language – that they may require when they must make decisions. The institutes in the Fraunhofer Alliance on production are therefore designing tools and technologies to reduce the number of monotonous or physically demanding working processes, for example developing ways of lifting heavy objects with the assistance of customized equipment.

### **Assessment of resource-efficient process chains in casting and of generative processes**

In its attempts to make industrial production processes more energy-efficient and resource-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. Small and medium-sized enterprises, too, will benefit from the new concepts that are bound to emerge from the project.

# INDUSTRIE 4.0

## INDUSTRY 4.0

Die vierte industrielle Revolution – oder kurz »Industrie 4.0« – zählt zu den Zukunftsprojekten der Hightech-Strategie der Bundesregierung. Sie umfasst nicht nur neue Formen intelligenter Produktions- und Automatisierungstechnik, sondern bringt auch eine intelligente Gestaltung von Produktion, Engineering und Produktionsumfeld mit sich. Sie berücksichtigt dabei sowohl den Ingenieur als kreativen Planer als auch den Werker in der Produktion und trägt Sorge dafür, dass für jede Gruppe individuell neue, kollaborative Formen der Arbeitsorganisation gestaltet werden können.

Ein Ansatz von Industrie 4.0 beschäftigt sich mit der integrierten und durchgängigen Produktion: Zuverlässige virtuelle Modelle sollen Aussagen sowohl zum Produkt- als auch zum Maschinenverhalten ermöglichen. Um immer komplexere Bauteilgeometrien, Prozessabläufe und Produktvarianten handhaben zu können, unterstützt die digitale Produktion die Planungs-, Entwicklungs- und Produktionsvorgänge mit Simulationen und virtuellen Darstellungen. In der Produktplanung erfordert dies eine durchgängige Datenkette, die alle prozessrelevanten Informationen aus verschiedenen Quellen in einen gemeinsamen Kontext stellt. Die Integration von Sensorik, zum Teil als cyber-physische Systeme ausgeführt, soll die Kluft zwischen der virtuellen und realen Produktionsumgebung verringern. Aufgabenbezogene, benutzerfreundliche Mensch-Maschine-Schnittstellen ermöglichen eine systematische Verarbeitung von Plan- und Rückmeldedaten sowie realitätsnahe Simulationen für eine bisher ungekannte Transparenz und Güte von Produktionsplanung und -steuerung. Die entstehende Komplexität von Produkten und Produktionsdaten 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 leiten. Denn Flexibilität und dezentrale Entscheidungsfindung hängen

The fourth industrial revolution – “Industry 4.0” for short – is at the heart of the Federal Government’s high-tech strategy. Industry 4.0 will provide us with new forms of intelligent production and automation technology, and – beyond that – with new and intelligent ways of designing production processes, engineering techniques and other features of the industrial environment. It will take into account the engineer as the creative planner as well as the worker at the factory, and generates innovative, collaborative methods of structuring human labor for each of them.

One aspect of Industry 4.0 concerns with integrated and continuous production processes based on virtual models to predict machine behavior patterns. A digital production environment supports planning, development and manufacturing processes with simulations and virtual representations in order to handle complex component geometries, process sequences and product variants. High levels of automation require a continuous data chain to provide a common context for all the process-relevant information arriving from different sources. Integrated sensors which can also be designed as cyber-physical systems help to narrow down the gap between virtual and actual production environments. User-friendly man-machine-interfaces, systematic treatment of planning data and realistic simulations enable operators to plan and control the production process with high levels of transparency and accuracy. Such a production environment provides an enormous complexity, on the levels of both the products themselves and the production data, which needs to be controlled: firstly by assessing the product requirements and the development of their specifications over multiple life cycles, and secondly by integrating product and process development processes into cooperating networks. All this must be based on a comprehensive knowledge of the technologies involved that informs the process of networking human resources, machines and communication as well as information technology. Flexibility and decentralized decision-making will depend on the right information available at the right time in the right place.



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 so genannte »Smart Products« hervorbringen und die Produktivität verbessern.

Unter dem Motto »Smart Production 4 Automotive« engagiert sich das Fraunhofer IPT gemeinsam mit sieben weiteren Fraunhofer-Instituten aus den Bereichen der Produktionstechnik, Logistik und IT in einem Fraunhofer-internen Projektvorhaben zur Entwicklung eines cyber-physischen Produktionssystems für die deutsche Automobilindustrie. Intelligente Objekte sollen mit internetbasierten Services in einem hochsicheren Umfeld vernetzt werden. Für drei OEMs aus dem Automobilbereich sollen Technologien, Anwendungen und Anlagen entwickelt werden, mit denen sich neue Produktionskonzepte verwirklichen lassen. Das Projektkonsortium aus OEMs, Fabrikarüstern, Zulieferern und Anbietern von Informations- und Kommunikationstechnologien erarbeitet und testet die Anwendungen in Demonstrationszentren, bevor sie in Anlauf- und Lernfabriken implementiert, validiert und in den Produktivfabriken in Betrieb genommen werden.

Das Thema »Industrie 4.0 – Aachener Perspektiven« wurde am 8. Oktober 2013 in Frankfurt am Main während des ersten Expertentreffens im Vorfeld des 28. Aachener Werkzeugmaschinen-Kolloquiums umfassend diskutiert: Als Leitthema des AWK 2014 werden hochrangige Vertreter aus Industrie und Forschung am 22. und 23. Mai wichtige Aspekte herausgreifen und ihre Antworten auf die rasanten Entwicklungen in der Produktionstechnik formulieren. Die gemeinsame Konferenz des Werkzeugmaschinenlabors WZL der RWTH Aachen und des Fraunhofer IPT lockt in dreijährigem Turnus mehr als 1000 führende Köpfe der Produktionstechnik und verwandter Fachgebiete in den Aachener Eurogress.

Cyber-physical production systems use such information for resilient production processes which guarantee high levels of quality and flexibility. This is where information and planning systems finally merge with production systems into reconfigurable networks that deliver so-called "smart products", improving productivity across the entire enterprise.

Under the motto "Smart Production 4 Automotive", the Fraunhofer IPT – together with seven other Fraunhofer institutes from areas such as production technology, logistics and IT – is participating in a Fraunhofer-internal project to develop a cyber-physical production system for the German car manufacturing industry. Technologies, applications and facilities capable of implementing new approaches to production will be developed for three OEMs from the automotive industry. The project consortium of OEMs, factory outfitters, suppliers and providers of information and communication technologies will design and test the applications in demonstration centers before they are implemented and validated in prototype and experimental facilities and, ultimately, integrated into a commercial industrial environment.

The topic "Industry 4.0 – the Aachen approach" also provided the focus for comprehensive discussions during the first experts' meeting on 8 October 2013 in Frankfurt which were held prior to the 28<sup>th</sup> Aachen Machine Tool Colloquium AWK. The need to react to the rapid development of production technology will provide the main topic for the leading representatives from industry and research who will meet on 22 and 23 May for the AWK 2014. The conference, jointly hosted by the Laboratory for Machine Tools and Production Engineering WZL of RWTH Aachen University and the Fraunhofer IPT, is staged every three years and usually attracts more than 1000 experts from production technology and neighbouring disciplines.

# EXZELLENZCLUSTER

## CLUSTER OF EXCELLENCE

Die Produktionstechnik leistet einen wichtigen Beitrag für Wohlstand und soziale Stabilität in Hochlohnländern. Mehr als 30 Prozent der europäischen Arbeitnehmerinnen und Arbeitnehmer sind dem produzierenden Gewerbe zuzuordnen. Allerdings sehen sich produzierende Unternehmen heute infolge dynamischer globaler Entwicklungen und besonderer ökonomischer, ökologischer und sozialer Herausforderungen erschwerten Rahmenbedingungen ausgesetzt.

### »Integrative Produktionstechnik für Hochlohnländer«

Im Exzellenzcluster »Integrative Produktionstechnik für Hochlohnländer« arbeiten mehr als 20 Lehrstühle der RWTH Aachen aus dem Maschinenbau, Materialwissenschaften, Mathematik, Betriebswirtschaftslehre und Psychologie gemeinsam mit Fraunhofer IPT und ILT in interdisziplinären Teams an Lösungen, die das produzierende Gewerbe in Hochlohnländern langfristig konkurrenzfähig erhalten. Dazu werden Modelle und Technologien, die bereits in der ersten Phase des Exzellenzclusters – in den Jahren 2005 bis 2011 – entwickelt wurden, zu einer ganzheitlichen Produktionstheorie kombiniert, die produzierende Unternehmen in die Lage versetzen soll, auf globale Herausforderungen schnell zu reagieren und von diesem Vorsprung zu profitieren. Mit dem Exzellenzcluster wurde das »Aachen House of Production Technology« gegründet, das die produktionstechnischen Kompetenzen an der RWTH Aachen bündelt und insbesondere die Kooperation und Einbindung von Unternehmen sowie Nachwuchswissenschaftlern weltweit in die Aktivitäten des Exzellenzclusters ermöglicht.

### Flexible Montagesysteme für die selbstoptimierende Produktion

Das Fraunhofer IPT befasst sich innerhalb des Exzellenzclusters unter anderem mit der Entwicklung und dem Aufbau flexibler Montagesysteme für die Produktion hybrider, optomechanischer Systeme. Solche Systeme stellen höchste Anforderungen

Production technology makes an important contribution to social stability and the creation of wealth in high-wage countries. More than 30 percent of the total European workforce are employed by industrial manufacturers. In the wake of dynamic global developments, however, and faced with the current economic, ecological and social challenges, such manufacturing companies must cope with increasingly difficult conditions.

### “Integrative Production Technology for High-Wage Countries”

In the Cluster of Excellence “Integrative Production Technology for High-Wage Countries”, more than 20 institutes of the RWTH Aachen University – from departments such as heavy engineering, material sciences, mathematics, business administration and psychology – have established interdisciplinary teams with scientists from the Fraunhofer IPT and ILT to develop solutions that are capable of preserving the long-term competitiveness of manufacturing companies in high-wage countries. For this purpose, models and technologies that had been developed during stage one of the excellence cluster from 2005 to 2011 were combined to establish an integrated production theory which is intended to enable manufacturing companies to react quickly to global challenges and to benefit from their technological leads. Together with the excellence cluster, the “Aachen House of Production Technology” was established in order to concentrate the production technology knowledge of the RWTH Aachen University in one place and to pave the way for the world-wide involvement of industrial corporations and young scientists into the excellence cluster’s activities.

### Flexible assembly systems for self-optimizing production facilities

One of the topics in the Cluster of Excellence on which the Fraunhofer IPT is focusing its attention is the development and installation of flexible assembly systems for the production



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 Festkörperlasers. 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.

#### **Simulation von Eigenspannungen, induziert durch Zerspanprozesse**

Im Bereich der Hochleistungszerspanung arbeitet das Fraunhofer IPT im Exzellenzcluster daran, die Eigenspannungen innerhalb von Werkstücken nach der Fräs- und Drehbearbeitung zu simulieren. Denn diese können in vielfältiger Weise die Leistungsfähigkeit und Lebensdauer der Bauteile beeinflussen. Durch die Simulation der Eigenspannungsprofile unterschiedlicher Stahlwerkstoffe soll es gelingen, schon im Vorfeld der Bearbeitung neue Fertigungsprozesse auf ihre Eignung für bestimmte Anwendungen zu überprüfen. Das Fraunhofer IPT entwickelt im Rahmen des Exzellenzclusters ein Simulationstool auf Basis eines hybriden Finite-Elemente-Modells, das in der Lage ist, schnell hochgenaue Vorhersagen induzierter Eigenspannungen zu treffen.

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.

#### **Simulation of residual stress that has been induced by machining processes**

In the section of the Cluster of Excellence which is dedicated to high-performance machining, the Fraunhofer IPT is developing simulations for the residual stress levels of workpieces that have been subjected to turning and milling operations – residual stress, after all, can affect the performance and service life of components in many ways. The simulation of residual stress profiles in different steel materials will, it is hoped, enable engineers to establish the suitability of new manufacturing techniques for certain applications at an early, pre-industrial process development stage. In the Cluster of Excellence, the Fraunhofer IPT is developing a simulation tool which is based on a hybrid finite-element model and which will be capable of forecasting the levels of induced residual stress quickly and accurately.

# FORSCHUNGSCAMPUS DIGITAL PHOTONIC PRODUCTION RESEARCH CAMPUS DIGITAL PHOTONIC PRODUCTION

Kein anderes Werkzeug lässt sich nur annähernd so präzise dosieren und steuern wie das Licht. Experten bezeichnen den Laserstrahl deshalb als das einzige Werkzeug, das ähnlich schnell »arbeitet« wie ein Computer »denkt«. Um die physikalischen Effekte des Lichts auch in der Produktion nutzbar zu machen, haben sich die RWTH Aachen, die Fraunhofer-Gesellschaft und 27 Partner aus der Industrie unter Federführung des Fraunhofer-Instituts für Lasertechnik ILT nun zu einer langfristigen Kooperation zusammengeschlossen: Gemeinsames Ziel ist es, auf dem Forschungscampus »Digital Photonic Production« neue Methoden zur laserbasierten generativen Fertigung zu entwickeln, mit denen sich komplexe Bauteile aus unterschiedlichsten Materialien schneller, kostengünstiger und ressourcenschonender herstellen lassen.

Ab Sommer 2015 soll der Forschungscampus DPP in einem 7000 m<sup>2</sup> großen Büro- und Laborgebäude in direkter Nachbarschaft zu den beteiligten RWTH-Lehrstühlen und den beiden Fraunhofer-Instituten untergebracht werden. Auf dem Gelände des RWTH Aachen Campus wollen die Partner aus Wissenschaft und Wirtschaft ihre Forschungsarbeiten durchführen, gemeinsam auf Geräte und Anlagen zugreifen und ihre Ergebnisse und Risiken teilen. Langfristig sollen 116 Mitarbeiter aus den Unternehmen an den gemeinsamen Projekten mitwirken. Die Unternehmen leisten dazu einen Eigenbeitrag von rund 25 Mio. Euro, der dem Forschungscampus zugute kommt.

## **Drei integrative Roadmaps weisen den Weg**

Zur Planung und Konkretisierung der Zusammenarbeit wurden bereits mit allen Partnern drei integrative Roadmaps in den Bereichen »Direct Photonic Production«, »Femto Photonic Production« und »Nano Photonic Production« abgestimmt. Einen vierten Schwerpunkt bildet das Thema der durchgängigen Prozesskettengestaltung. Entlang der technologischen Roadmaps erforschen die Partner nun grundlegende Aspekte der Lichterzeugung, neue Möglichkeiten der Lichtführung und

No other tool can be controlled with nearly the same precision as light. This is why experts refer to the laser beam as the only tool that is capable of "working" fast enough to match the "thinking" speed of a computer. In order to exploit this physical potential of light for the purposes of an industrial manufacturing operation, the RWTH Aachen University, the Fraunhofer-Gesellschaft and 27 industrial corporations decided to establish a long-term cooperation partnership. It is the objective of the consortium – which is led by the Fraunhofer Institute for Laser Technology ILT – to establish the research campus "Digital Photonic Production" for the development of new laser-based generative production processes that are capable of manufacturing complex components from a wide range of materials more rapidly, more cost-effectively and on the basis of fewer resources.

In the summer of 2015, the research campus will move into an office and laboratory building with a total floor space of 7000 m<sup>2</sup> which will be located next door to the two Fraunhofer institutes and the two institutes of the RWTH Technical University that are involved. The partners from research and industry will conduct their studies on the campus of the RWTH Aachen University, sharing the same equipment and facilities as well as risks and results. According to the plans, 116 employees from the partner enterprises will eventually participate in the joint projects. The companies will invest a total of 25 million euros into the research campus.

## **Three integrative roadmaps are pointing the way**

Three integrative roadmaps for joint projects have already been agreed with the partners, one each for the research areas "Direct Photonic Production", "Femto Photonic Production" and "Nano Photonic Production". Integrated process chain design will provide a fourth focus for the research venture. Following the directions of these technology roadmaps, the partners will be conducting research into fundamental aspects of light generation, new possibilities of guiding, controlling



-formung sowie die physikalischen Modelle zur Wechselwirkung von Licht, Material und Funktionalität. Systeme für die »Direct Photonic Production« erlauben die direkte, also formwerkzeuglose Fertigung von Produkten mit nahezu beliebiger Geometrie. Eine langfristige Vision ist hier die generative Herstellung kostengünstiger, bedarfsgerechter und ressourcenoptimierter Produkte mit beliebiger Geometrie und in kleinsten Losgrößen direkt aus Computerdaten. In der »Femto Photonic Production« lassen sich unterschiedlichste Materialien mit Ultrakurzpulslasern bearbeiten, die konventionell oft nur schwer oder gar nicht zu bearbeiten sind, und so neue Funktionalitäten von Werkstoffen und Bauteilen erzeugen. Die Technologie soll in Zukunft dazu beitragen, selbst bei bereits eingeführten Laserprozessen wie dem Schneiden, Abtragen und Bohren die Präzision und Verfahrenseffizienz deutlich zu erhöhen. Die »Nano Photonic Production« soll mit der Bearbeitung kleinster Dimensionen bis hin zu Strukturgrößen im Nanometerbereich dabei helfen, die Eigenschaften von Bauteilen deutlich zu verbessern und damit ein enormes ökonomisches Potenzial für innovative Unternehmen zu erschließen.

#### **Aus- und Weiterbildung in den optischen Technologien**

Weitere Ziele setzt der Forschungscampus in der Aus- und Weiterbildung: So können sich die beteiligten Unternehmen auch in die Aus- und Weiterbildung der RWTH Aachen einbringen. Durch eine Immatrikulation können die Mitarbeiter Veranstaltungen der Hochschule besuchen und zertifizierte Abschlüsse bis hin zur Promotion erreichen. Gleichzeitig können die Industrieunternehmen dazu beitragen, durch ihre Beteiligung an der universitären Ausbildung den Praxisbezug des Ingenieur Nachwuchses zu verbessern und sich beispielsweise als Betreuer für Bachelor- und Masterarbeiten einbringen. Zur wissenschaftlichen Verstärkung des Themenfeldes »Digital Photonic Production« hat die RWTH Aachen beschlossen, eine Professur im Bereich der generativen Fertigung einzurichten, die eng mit dem Forschungscampus verbunden sein wird.

and shaping light beams, and physical models to explain the interactions between light, material and functionality. "Direct Photonic Production" systems allow the direct – i.e. non-molding-tool-based – manufacturing of products of virtually any shape and geometry. In the longer term, it is planned to develop generative methods for manufacturing low-cost, customized and resource-optimized products of complex geometries in very small lot sizes directly from computer data. "Femto Photonic Production" involves the ultra-short-pulse laser treatment of materials that are difficult or impossible to machine with conventional means, opening up new functionality horizons for entire material groups and individual components. The technology has been designed to significantly increase the levels of precision and efficiency of laser processes including established ones such as cutting, abrasion and drilling. "Nano Photonic Production", by machining in the smallest possible dimensions down to structural sizes in the nanometer range, will improve the properties of components significantly and enable innovative companies to access and exploit a huge economic potential.

#### **Training in optical technologies**

The research campus will also provide a range of training courses, allowing the industrial partners to participate in the educational and further educational programs of the RWTH Aachen University. Their members of staff are free to enrol in lectures and seminars of the University and can complete graduate and postgraduate courses including courses for doctoral degrees. At the same time, the corporations themselves can also make active contributions to the university's teaching program, providing for example tutorials for bachelor's and master's degree candidates, thus helping to ground the academic training courses firmly in industrial practice. In order to support the research in the field of "Digital Photonic Production", the RWTH Aachen University has decided to establish an Institute of its own which will be headed by a fully tenured professor. This institute will be closely linked to the research campus.

**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.

**80 Lasermaterialbearbeitung**  
Laser Material Processing

**84 Hochleistungszerspanung**  
High Performance Cutting

**88 CAx-Technologien**  
CAx Technologies

**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
- Lasertrahlunterstützte 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

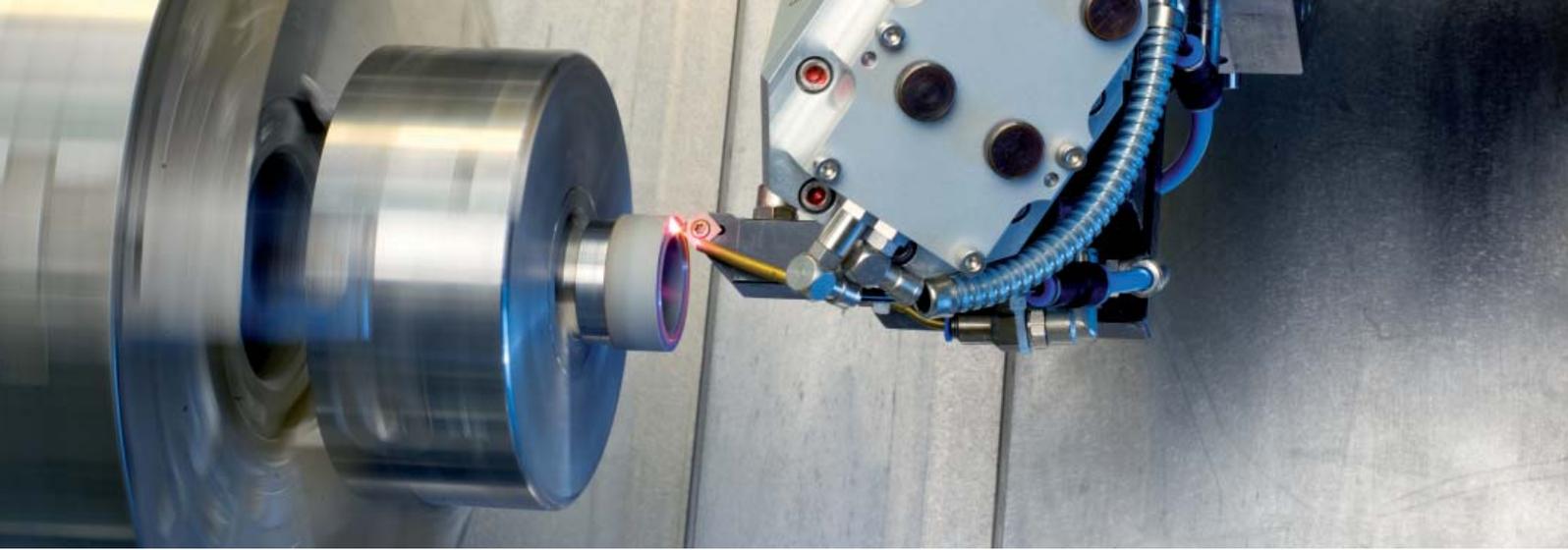
The department for "Laser Material Processing" develops and validates processes that enable us to integrate laser radiation as an effective and efficient tool into the value chain.

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



### **Laserunterstütztes Hartdrehen: Monforts kooperiert mit dem Fraunhofer IPT**

Verschleißgeschützte Bauteile werden meist in mehreren Schritten und auf verschiedenen Maschinen gefertigt, doch der Wechsel zwischen den Maschinen verursacht lange Durchlaufzeiten und logistischen Aufwand. Die Hybridmaschine »RNC 400 Laserturn« der Monforts Werkzeugmaschinen GmbH kombiniert deshalb das klassische Drehen mit der Laserbearbeitung.

Verschiedene Prozessalternativen können umgesetzt werden: Die Kombination aus Präzisionsdrehen und Laserhärten ermöglicht die Komplettbearbeitung von Komponenten in einer Aufspannung. Für schwer bearbeitbare Werkstoffe werden Laser und Drehmeißel simultan zum Einsatz gebracht: Im Prozess entfestigt der Laser den Werkstoff, sodass er sich mit sehr geringem Verschleiß zerspanen lässt. Dafür wurde das Lasersystem vollständig in die Steuerung der Werkzeugmaschine integriert. Die erforderlichen NC-Programme lassen sich einfach erstellen und anpassen; besonderes Fachwissen des Maschinenbedieners wird nicht vorausgesetzt. Sogar eine nachträgliche Integration in bestehende Drehmaschinen ist möglich.

Der Serienreife der Hybridmaschine sind mehrjährige Entwicklungsarbeiten in den Forschungsprojekten »KombiMasch« (Förderkennzeichen 02PW2142) und »FlexProduCer« (Förderkennzeichen IN-6551) vorausgegangen. Im Ergebnis entstand neben der Maschine auch eine gemeinsame Patentanmeldung für das Laserwerkzeugsystem. Im Herbst 2013 hat Monforts nun einen Kooperationsvertrag mit dem Fraunhofer IPT unterzeichnet: Dabei übernimmt das Fraunhofer IPT die Anpassung des Prozesses auf der Maschine bei den Anwendern vor Ort, beispielsweise die Konfiguration der optischen Werkzeuge.

### **Laser-assisted hard turning: Monforts cooperates with the Fraunhofer IPT**

Components with anti-wear protection are generally produced in different manufacturing steps and by different machines, but the need to transport the components from machine to machine causes long throughput times and requires a substantial logistic effort. To address this issue, the hybrid machine "RNC 400 Laserturn" of Monforts Werkzeugmaschinen GmbH has been equipped with both a conventional turning capacity and a laser treatment function.

Several alternative process options can be exercised: the combination of high-precision turning and laser-hardening allows the full treatment of components in a single set-up. Laser and turning tool can be simultaneously used for materials that are difficult to machine: the laser softens the material so it can be turned at a far lower rate of wear. For this purpose, the laser equipment was fully integrated into the control system of the machine tool. The required NC programs can be created and customized with ease – they were developed to be used by operators without any specific skills. It is even possible to integrate them into already existing turning equipment.

Before the hybrid machine could enter series production, several years of technical design and development under the research projects "KombiMasch" (contract number 02PW2142) and "FlexProduCer" (contract number IN-6551) were required. In addition to the machine itself, these projects also produced a jointly filed patent application for the laser tool system. In fall of 2013, Monforts signed a cooperation contract, assigning the Fraunhofer IPT the task of customizing the machine processes at the industrial facilities of the respective client companies, for example the procedures for configuring the optical tools.

### **Mikrostrukturierte Oberflächen verringern Reibungsverluste**

Lebensdauer und Leistungsfähigkeit von Motoren, Pumpen und Dichtsystemen hängen stark von ihrer Belastung ab. Selbst Schmiermittel können diesen Prozess nur verzögern, aber nicht aufhalten. Das Fraunhofer IPT hat deshalb gemeinsam mit sieben Partnern aus sechs europäischen Ländern ein Verfahren für die Serienfertigung entwickelt, das die Reibung der beanspruchten Oberflächen verringern und dadurch auch die Leistung und den Energieverbrauch verbessern kann: Dazu werden mit dem Laser Mikrostrukturen in die gleitenden Kontaktflächen eingebracht. Im EU-Projekt »Stokes – Selective tribological optimisation of fluid kinetics and efficiency by laser surface structuring« (Förderkennzeichen 286783) haben sich die Partner unter Federführung des Fraunhofer IPT zusammengeschlossen, um das Laserstrahlstrukturieren für die Serienfertigung dreidimensional geformter Oberflächen nutzbar zu machen. Gemeinsam haben sie das Laserstrahlstrukturieren anhand realer Produkte simuliert, erprobt und die Oberflächeneigenschaften der hochbeanspruchten Baugruppen verbessert. Als weiteres Ergebnis wurden konkrete Auslegungsregeln für mikrostrukturierte Oberflächen in Hydraulikanwendungen formuliert.

### **Effiziente und flexible Umformung von Titan- und Nickelblechen**

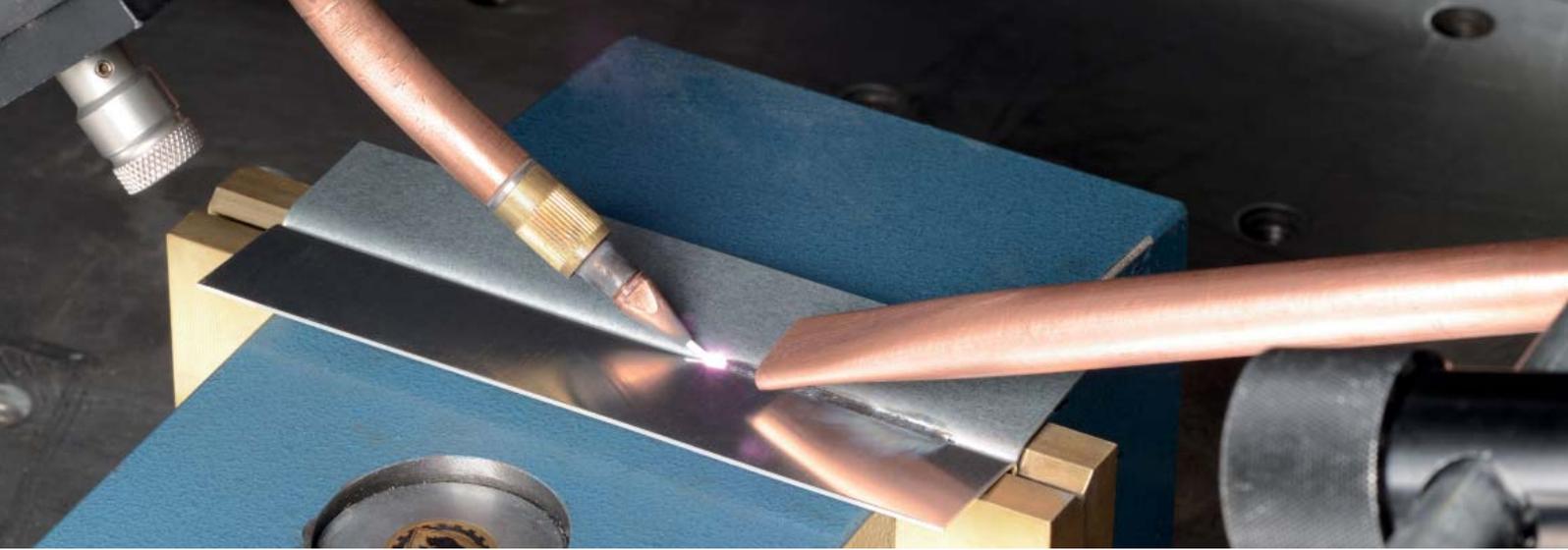
Leistungsfähige Bauteile aus Titan- oder Nickellegierungen, etwa für Anwendungen im Automobil oder in der Luft- und Raumfahrt, mit konventionellen Umformverfahren herzustellen, ist heute noch mit einem enormen Aufwand verbunden. Durch gezielte lokale Erwärmung der Umformzone mit einem Laser lassen sich solche schwer umformbare Werkstoffe deutlich effizienter bearbeiten, da zeit- und kostenintensive externe Wärmebehandlungsschritte entfallen. Mit dem Ziel, die industrielle Eignung des laserunterstützten Metalldrückens für die Verarbeitung von Titan- und Nickellegierungen

### **Micro-structured surfaces reduce friction loss**

Service life and performance of motors, pumps and sealing systems are strongly determined by the levels of stress to which they are regularly exposed. Even lubricants can only delay the inevitable process of wear, not altogether prevent it. This is why the Fraunhofer IPT has – in close cooperation with seven partner organizations from six European countries – developed a technique of how to reduce the friction of surfaces in series production, optimizing both performance and energy consumption. For this purpose, laser beams are applying micro-structures to the contact surfaces in question. In the EU project “Stokes – Selective tribological optimisation of fluid kinetics and efficiency by laser surface structuring” (contract number 286783), the partner organizations – under the stewardship of the Fraunhofer IPT – joined forces to develop laser beam structuring as a technology for the series production of 3D-surfaces. Together, they simulated laser beam structuring processes on real products, tested the technology and improved the surface properties of the assemblies that were regularly subjected to high levels of stress. Additionally, they also formulated specific design rules for micro-structured surfaces in hydraulic applications.

### **Efficient and flexible forming of titanium-based and nickel-based sheet metal**

It is still very difficult and expensive to manufacture high-performance components made from titanium alloys or nickel alloys – for applications in car manufacturing or the aerospace industry, e.g. – with conventional forming methods. It is far more efficient to heat the designated forming area of such high-strength materials with a laser beam first: no longer will any time-consuming and costly external heat treatments be required. This issue also provides the focus for the EU project “EasyForm” (contract number 315111): its objective is to provide evidence for the suitability of the laser-assisted metal



nachzuweisen, wurde das EU-geförderte Projekt »EasyForm« initiiert (Förderkennzeichen 315111). In dem Projekt entwickelt das Fraunhofer IPT gemeinsam mit fünf Partnern aus verschiedenen europäischen Ländern das Umformverfahren und die erforderliche Systemtechnik. Ziel des Projekts ist die Inbetriebnahme eines prototypischen Bearbeitungssystems mit den entsprechenden Bearbeitungsstrategien. Eine Prüfmethodik zur Qualitätssicherung sowie eine wirtschaftliche und technologische Bewertung des laserunterstützten Metalldrückens ergänzen die Arbeiten.

### **Thermisches Fügen von Stahl und Aluminium mit dem Laser**

Aufgrund der wachsenden Bedeutung des Leichtbaus besteht ein großer Bedarf, die Vorteile des Laserstrahlhartlötens auch für Aluminiumwerkstoffe zu erschließen. Das gelang jedoch bisher nur unter Einsatz chemischer Flussmittel – bei vergleichsweise geringer Qualität der Nahtoberfläche und hohem Nachbearbeitungsaufwand. Das Fraunhofer IPT hat deshalb ein Verfahren entwickelt, das die Vorteile des Laserstrahlhartlötens auf das Fügen von Aluminiumwerkstoffen überträgt: Dabei wird der kontinuierlich emittierte Löt laserstrahl durch einen gepulsten Laserstrahl ergänzt. So lassen sich selbst dünnwandige Aluminiumbauteile bei geringem thermischem Verzug ohne chemische Flussmittel fügen. Das Zweistrahlverfahren eignet sich darüber hinaus auch für das Fügen von Stahl-Aluminium-Mischverbindungen. Die erzeugten Nähte bieten eine hohe Festigkeit und Oberflächenqualität. Als Zusatzwerkstoffe sind sowohl Aluminium- als auch Zinklegierungen geeignet. Im BMBF-geförderten VIP-Projekt »FerroPuls« (Förderkennzeichen 03V0203) wird nun bis Ende 2014 die Praxistauglichkeit des neuen Verfahrens geprüft. Das patentierte Verfahren soll später in einer Entwicklungspartnerschaft mit der Industrie in eine marktfähige Systemlösung überführt werden.

spinning technology for the industrial machining of titanium alloys and nickel alloys. Under this project, the Fraunhofer IPT and its five partners from different European countries are developing the forming process and the necessary system technology. It is the ultimate goal of the project to design a prototype for a facility with all the corresponding machining functions. The partners also aim to develop a reliable quality assurance method and a system for assessing the economic viability and the technological effectiveness of their laser-assisted metal spinning technology.

### **Laser joining of steel and aluminium**

With the importance of lightweight design continuously increasing, there is considerable commercial pressure to further explore the benefits of the laser beam brazing technology, specifically to extend its use to aluminium materials. This, however, is so far possible only with the help of chemical fluxing agents – and even then, the seam surface is of relatively poor quality and requires substantial aftertreatment. This is why the Fraunhofer IPT has developed a process that manages to extend the benefits of laser beam brazing to the joining of aluminium materials, complementing the continuously emitting laser beam of the brazing process with a pulsed laser. This technique allows the joining of even thin-walled aluminium components without any chemical fluxing agents, at low levels of thermal distortion. The two-beam technique can also be applied to join aluminium and steel. The brazed seams ensure high levels of strength and surface quality. Both aluminium or zinc-based consumables can be used. Until late 2014, the VIP project "FerroPuls" (contract number 03V0203), sponsored by the German Federal Ministry of Education and Research as part of its effort to "validate the innovation potential" (VIP) of academic research, will examine the fitness of the new process for an industrial use. At a later stage, it is planned to further develop the patented process into a commercially viable system solution within a development partnership with industrial partners.

# 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



### **Dynamische Fräsbearbeitung dünnwandiger Bauteile**

Leichtbaukomponenten gewinnen in europäischen Schlüsselindustrien wie der Luft- und Raumfahrt, der Automobilindustrie, aber auch in der Energiebranche oder der Medizintechnik immer stärker an Bedeutung. Um Gewicht zu reduzieren, werden oft komplexe, dünnwandige Strukturen mit hochfesten Materialien kombiniert. Besondere Herausforderungen bei der zerspanenden Bearbeitung dieser dünnwandigen Bauteile entstehen durch die geringen Steifigkeiten: Die dynamische Anregung durch den Werkzeugeingriff, die statische Werkstückauslenkung durch die Fräskräfte und Deformationen durch Spannkkräfte gilt es, so weit wie möglich zu verringern. Ziel im EU-geförderten Forschungsprojekt »DynaMill« (Förderkennzeichen FoF-NMP-2012-4) ist es deshalb, die Fräsbearbeitung dünnwandiger Bauteile zu beherrschen und ganzheitlich zu optimieren, um ungewollte dynamische Effekte und damit Oberflächenfehler zu vermeiden. Prozessplanung, adaptive Spannsysteme und eine verbesserte Prozessführung müssen ineinandergreifen, um eine entsprechende Qualität mit deutlich geringerem Zeit- und Ressourceneinsatz zu erreichen.

### **Prozesse und Werkzeuge für das mehrachsige Fräsen von Hochleistungswerkstoffen**

Werkzeuge zur spanenden Bearbeitung von Superlegierungen und hochharten Werkzeugstählen unterliegen zum Teil extremen thermo-mechanischen Belastungen. Im EU-Forschungsprojekt »QuickPro« (Förderkennzeichen 262272) entwickelte und verifizierte das Fraunhofer IPT eine standardisierte und effiziente Auslegungsmethodik für Fräswerkzeuge zur 5-Achs-Bearbeitung. So genannte Impacttests konnten schnell und effektiv nachweisen, welchen Einfluss verschiedene Beschichtungsverfahren und Substratvorbehandlungen der Werkzeuge auf Schichteigenschaften wie Adhäsionsneigung, Ermüdungs- und Verschleißverhalten nehmen. Auf einem Analogie-Fräsprüfstand ermittelte das Fraunhofer IPT jeweils charakteristische Kennwerte wie Schnittkräfte oder Segmen-

### **Dynamic milling of thin-walled components**

The use of lightweight components in certain key sections of the European economy such as the aerospace industry, car manufacturing, medical technology and power generation is constantly increasing. Complex, thin-walled structures are often combined with high-resistant materials in order to reduce the weight of the components. Machining these thin-walled components, however, is often very difficult due to their low levels of rigidity: the dynamic excitation of the tool, the static deviation of the workpiece under the forces that are generated through the milling process and the extent of any clamping-force-induced deformation must be reduced as much as possible. With these objectives in mind, the EU research project "DynaMill" (contract number FoF-NMP-2012-4) aims to exert full control over the milling of thin-walled components, optimizing the integrated milling processes in order to avoid undesired dynamic effects and any resulting surface defects. Process planning, adaptive clamping systems and an improved process management must be mutually integrated in order to achieve higher levels of quality with a significantly lower input of time and other resources.

### **Processes and tools for the multiple-axis milling of high-performance materials**

Tools for the machining of super-alloys and high-resistant tool steel are sometimes exposed to extremely high levels of thermo-mechanical stress. In the EU research project "QuickPro" (contract number 262272), the Fraunhofer IPT has developed and validated a standardized and efficient method of designing milling tools for 5-axis machining processes. So-called impact tests can – quickly and effectively – identify the impact of various coating techniques and methods of pre-treating the tool substrates on coating properties such as adhesion, fatigue and wear. On an analogy milling test bench, the Fraunhofer IPT has characterized key values such as cutting forces and chip segmentation levels.

tierungsgrad des Spans. Am Beispiel einer BLISK aus TiAl6V4 zeigte das Fraunhofer IPT, dass sich die Bearbeitungszeit mit einer optimierten Auslegung von Prozess und Werkzeug um knapp 25 Prozent verkürzen lässt. Auch bei Bauteilen aus dem Hybridmaterial X37CrMoV5-1 und X3NiCoMoTi18-9-5, das während seiner Bearbeitung zu ungleichen Oberflächenqualitäten und Konturgenauigkeiten neigt, konnte eine deutliche Verbesserung erzielt werden. Formabweichungen konnten auf  $\pm 5 \mu\text{m}$  eingegrenzt und die Oberflächenrauheit auf  $0,3 \mu\text{m Ra}$  gesteigert werden, sodass ein nachfolgender Finishprozess entfallen kann.

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

Für eine Reparaturprozesskette hat das Fraunhofer IPT ein halbautomatisiertes Spannkonzept 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  $10 \mu\text{m}$  und die Spannzeit ist kürzer als zehn Sekunden. Die Positionierung der Werkstücke erfolgt geometrisch eindeutig und es tritt keinerlei störende Reibung 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 in der Vergangenheit optimale Spannlösungen 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 Radialverdichter**

Hersteller von Kleinflugzeugen setzen bisher eher auf preisgünstige, dafür aber wenig effiziente Antriebseinheiten,

Using the example of a BLISK made from TiAl6V4, the Fraunhofer IPT demonstrated that an optimized process and tool design can reduce the processing time by nearly 25 percent. Similarly significant improvements were observed for components made from the hybrid materials X37CrMoV5-1 and X3NiCoMoTi18-9-5, which had previously exhibited strong tendencies of developing inconsistent surface qualities and dimensional inaccuracies during the machining process. Dimensional inaccuracies could be reduced to levels of  $\pm 5 \mu\text{m}$ , and surface roughness was decreased to  $0.3 \mu\text{m Ra}$ , eliminating any necessity for subsequent finishing.

### **Self-aligning clamping technology for high-efficiency series production**

The Fraunhofer IPT has developed and implemented a semi-automated clamping system for a repair process chain: the self-aligning system comprises four successively operating hydraulic circuits that – with increasing levels of pressure – align the workpiece to a high standard of dimensional accuracy. The method has a repetition accuracy of less than  $10 \mu\text{m}$  and a clamping cycle of under ten seconds. The positions of the individual workpieces are clearly defined, avoiding any undesired friction. This highly effective clamping technology enables companies to use common reference points along the process chain. It is no longer necessary to align or calibrate the workpieces, saving time and money. The Fraunhofer IPT has a long track record of developing and implementing optimized clamping solutions for the manufacturing processes of its industrial partner corporations. For manufacturing companies, clamping technology is a key factor in the drive to lower unit costs and to increase competitiveness.

### **Machining strategies for radial compressors**

The manufacturers of small aircrafts have so far equipped their planes with relatively inexpensive but not tremendously efficient drive units, because the manufacturing processes for



denn die Fertigungsprozesse für geometrisch komplexe Turbomaschinenkomponenten aus schwer zerspanbaren Materialien sind zeitaufwändig und kostspielig. Einen Beitrag zur Entwicklung einer neuen Generation von Kleinflugzeugturbinen bis zu einer Leistungsklasse von 500 kW, leistet das Fraunhofer IPT im Rahmen des EU-geförderten Projektes »ESPOSA«: Der Einsatz neuer Strategien für die Schruppbearbeitung eines ebenfalls völlig neu konzipierten Titan-Radialverdichters verbessert die Effizienz der Prozesskette. Im Vergleich mit der bisherigen Herstellungsmethode konnten die Fertigungskosten für eine Komponente um nahezu 40 Prozent reduziert werden.

#### **Zusätzliche Schwenkachse beim Drehen 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, dreiachsige 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 zurzeit 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.

geometrically complex turbo engine components which are made from materials that are difficult to machine require a lot of time and money. The Fraunhofer IPT is making a contribution to the development of a new generation of small-aircraft turbines up to 500 kW in the EU-funded project "ESPOSA". New strategies for the roughing of an equally newly conceived titanium radial compressor have increased the efficiency of the process chain. The costs of manufacturing components are nearly 40 percent lower than the equivalent costs of conventional production techniques.

#### **Additional rotation axis is meant to reduce turning costs**

The conventional turning of components with complex geometries that are made from super-alloys requires a large number of tool changes and different tool holders. On top of that, it is difficult to perform long and continuous cuts since the tool would be already worn after a few minutes of cutting through materials that are so hard to machine. The process of simultaneous three-axis turning, however, may deliver a solution. The angle in which the turning tool hits the metal is no longer determined by the geometry of the tool holder but by a third, rotational axis. Commercial turning-and-milling stations have for some time been equipped with such a third rotational B-axis, allowing the tool blades to enter the material at different contact points and thereby ensuring that any wear is distributed more evenly across the length of the blade. The Fraunhofer IPT is currently striving to make the B-axis fully available for the turning process, forecasting that such a manufacturing technology could cut production costs by up to 30 percent – through a reduction in the number of tool exchanges and by decreasing the tool wear as well as the idle times of the machine.

# CAX-TECHNOLOGIEN

## CAX-TECHNOLOGIES

Die moderne Fertigung braucht CAM-Software für die Produktion von komplexen Bauteilgeometrien mit kleinen Losgrößen. Verkettete Prozesse erfordern ein lückenloses Datenmanagement, damit Bauteilfehler vermieden werden und manuelle Datenaufbereitung entfällt. Die digitale Produktion – die Abbildung der realen Technologieprozesse in virtuellen Software-Umgebungen – wird immer wichtiger in der modernen Produktion. Die Ziele von Industrie 4.0 definieren flexible Fertigungssysteme, die spontan und schnell auf Kundenanforderungen reagieren und dabei gleichzeitig optimale NC-Programme zur Verfügung stellen können. Die »First-Part-Right«-Produktion kann nur durch virtuelle Optimierung erreicht werden, bevor die eigentliche Produktion beginnt.

### Unsere Leistungen

- Flexible CAX-Prozessketten für Werkzeug- und Formenbau, Herstellung und Reparatur von Turbomaschinenkomponenten sowie Optikfertigung
- Anwendungsspezifische CAM-Module integriert im »CAX-Framework«
- Simulationsgestützte Planung, Programmierung und Optimierung von Bearbeitungsprozessen
- Maschinenindividuelle NC-Datenanalyse und -optimierung mit Hilfe des »NCProfiler«
- Formalisierung, Revisionierung und Migration digitaler Produktionsketten
- Kundenindividuelle Analyse, metrikbasierte Bewertung und kriterienorientierte Optimierung von CAX-Prozessketten

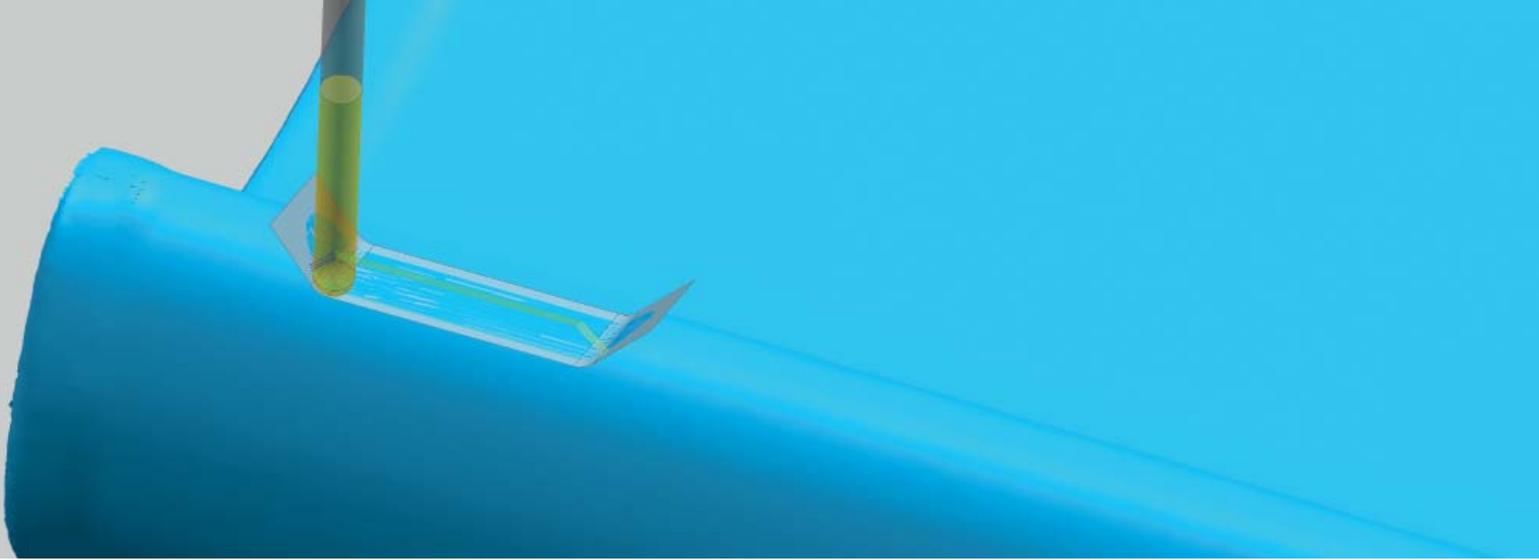
### Kontakt/Contact

Dr. rer. nat. Thomas Bobek  
Telefon/Phone +49 241 8904-149  
thomas.bobek@ipt.fraunhofer.de

Modern manufacturing facilities are increasingly equipped with CAM software for the production of small lot sizes with complex component geometries. Interlinked processes require a seamless data management system to prevent the production of defective components and to ward off any need for manual data preparation. Digital production techniques – the representation of real technology processes in virtual software environments – are spreading fast in today's manufacturing industries. "Industry 4.0" will demand flexible production systems that are capable of reacting quickly and spontaneously to customer requirements and of providing the best possible NC programmes. "First part right" production can only be achieved through virtual optimization which must take place before the production process as such has started.

### Our services

- Flexible CAX process chains for tool and die making, the manufacturing and repair of turbo engine components and the production of optics
- Application-specific CAM modules that are integrated into a "CAX framework"
- Simulation-assisted planning, programming and optimization of industrial processes
- Customized NC analyses and optimization of data through the use of "NCProfiler" software
- Formalization, revision and migration of digital production chains
- Customized analyses, metrics-based evaluation and criteria-based optimization of CAX process chains



### **Wirtschaftliche Fertigung und Reparatur mit CAx-Prozessketten**

Automatisierte Fertigungs- und Reparaturprozessketten erfordern konsistente Schnittstellen sowie einen reibungslosen, verlustfreien Datentransfer zwischen den Prozessen. Das »CAx-Framework« bietet eine Softwareplattform für ganzheitliche Produktionslösungen, die es dem Kunden erlauben, innerhalb einer Arbeitsumgebung die gesamte Prozessplanung, Datenhaltung und -aufbereitung durchzuführen – vom CAD-Modell bis zur Einbindung von Messdaten. Die Darstellung in modernen IT-Umgebungen wie »Siemens Teamcenter« schafft eine zentralisierte Datenverfügbarkeit. Damit kann durch kürzere Fertigungszeiten eine kostengünstigere Produktion erreicht werden. Fertigungsfehler werden vermieden durch eine prozessübergreifende, konsistente Bereitstellung der Daten.

### **Analyse und Optimierung von NC-Daten**

Die Software »NCProfiler« leistet eine maschinenabhängige Analyse und Optimierung von NC-Daten. Dabei berücksichtigt das System neben der Maschinenkinematik auch die dynamischen Limitierungen der einzelnen Achsen sowie Steuerungseigenschaften berücksichtigt. Durch eine Analyse, die exakt an die Bearbeitungsmaschine angepasst wird, können Fehler im NC-Code schon vor der eigentlichen Bearbeitung erkannt und behoben werden. Ziel ist es, eine bessere Oberflächenqualität und Formgenauigkeit bei gleichzeitig kürzerer Fertigungsdauer zu erreichen, aber auch eine höhere Stabilität der Fertigungsprozesse.

Der NCProfiler liest NC-Daten in den Formaten Heidenhain iTNC, Sinumerik, ISO-NC, NX-CLS-Format sowie CATIA APT ein und kann als Postprozessor die optimierten Daten in einem beliebigen Format wieder ausgeben. Dies sorgt für eine reibungslose Integration des NCProfiler in bestehende CAx-Ketten.

### **Efficient production and repair with CAx process chains**

Automatic process chains for production and repair require consistent interfaces as well as a smooth and secure transfer of data (without data loss) between the individual processes. The "CAx framework" provides a software platform for integrated production solutions which allows the client to conduct his entire process planning, data management and data processing operations – from the CAD model to the integration of measuring data – within a single operating environment. The representation in modern IT environments such as Siemens Teamcenter ensures that all data are centrally available, shortening production times and reducing production costs. A cross-process and consistent provision of data helps to avoid production errors.

### **Analysis and optimization of NC data**

The "NCProfiler" software enables machine-specific analyses and the optimization of NC data. The system takes into account the dynamic limitations of the individual axes and the control properties in addition to the machine kinematics. An analysis that has been customized to a specific machine and its properties allows the engineers to detect and eliminate flaws in the NC code before the actual processing operation begins. The objective is to achieve higher levels of surface quality, dimensional accuracy and manufacturing process stability with shorter production times.

The NCProfiler software can recognize and enter NC data in a range of formats (Heidenhain iTNC, Sinumerik, ISO-NC, NX-CLS and CATIA APT) and displays the optimized data as a post-processor in any format. This ensures that the NC profiler can be easily integrated into existing CAx chains.

### Anwendungsspezifische CAX-Module

Das »CAX-Framework« bildet die Basis für ein breites Spektrum an Softwarelösungen im CAD/CAM und Produktionsumfeld. Es erlaubt eine schnelle Entwicklung und Implementierung spezialisierter Softwaremodule. Die Systemkomponenten im »CAX-Framework« bieten grundlegende Methoden und Algorithmen zur Planung beliebiger Werkzeugwege mit angepassten Prozessparametern. Auf dieser Basis werden anwendungs- und kundenbezogene CAM-Module erstellt, die sich flexibel anpassen lassen. Neue Algorithmen und Methoden, die hier erarbeitet werden, können später als Komponenten in das CAX-Framework übernommen werden. Die Aufteilung der Softwarebibliotheken in einen grundlegenden und einen anwendungsbezogenen Teil fördert nicht nur eine hohe Wiederverwendbarkeit, sondern auch eine schnelle Reaktion auf neue Kundenwünsche, Prozessstypen oder Anwendungsfälle.

Das Fraunhofer IPT entwickelte im vergangenen Jahr eine Reihe simulationsgestützter CAM-Module zur Planung komplexer Mehrachsprozesse für das Fräsen, Schleifen, Polieren, Laserauftragschweißen, Laserhärten und -legieren, Laserstrukturieren sowie zur optischen und taktilen Geometriedatenerfassung. In spezialisierten CAX-Modulen sind eigenentwickelte und kundenindividuelle Bearbeitungsstrategien implementiert, die über eine benutzerfreundliche GUI konfiguriert und im Simulationsmodul überprüft werden. Das CAX-Framework bietet umfassende Schnittstellen für die Integration neuer CAX-Module und lassen sich nahtlos an marktübliche CAX-Systeme und NC-Formate anbinden.

### Bewertung von CAX-Prozessketten

Die Herstellung komplexer Bauteile erfolgt in sequentiellen Fertigungsschritten, die von CAX-Systemen unterstützt werden. Parallel zur Fertigungskette sorgt eine technologieabhängige CAX-Prozesskette für eine situationsangepasste,

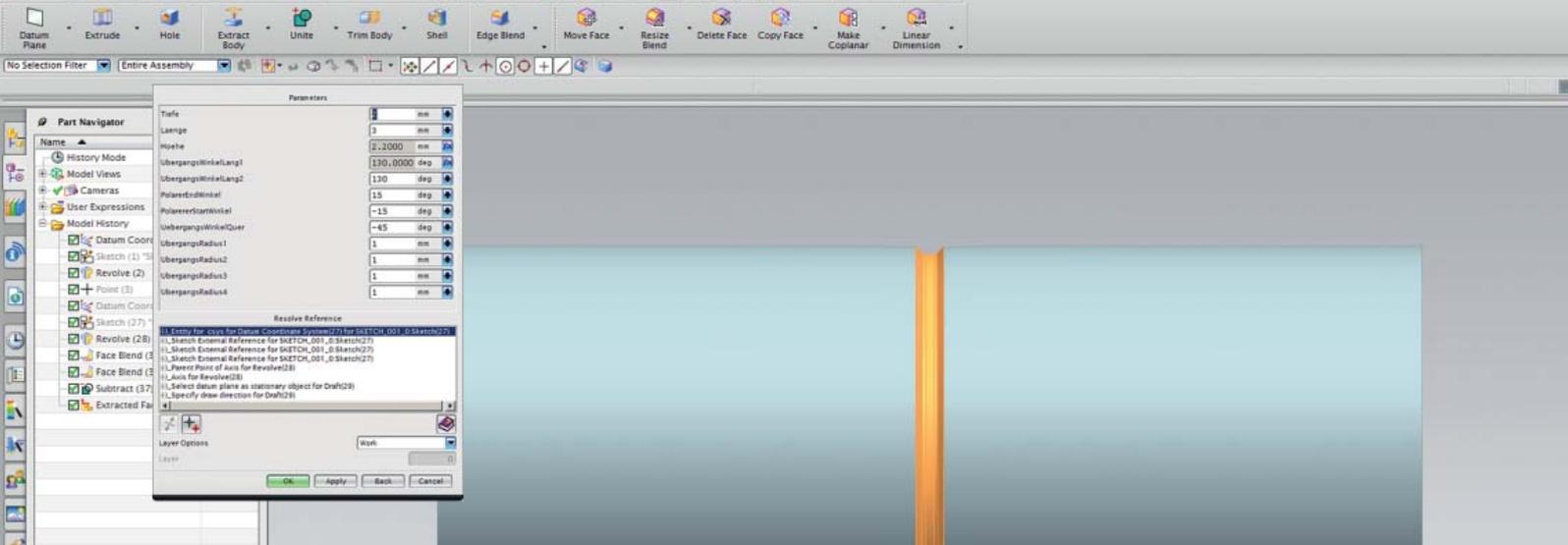
### Application-specific CAX modules

The CAX framework serves as the basis for a wide range of software solutions in CAD/CAM and the manufacturing environment, allowing a rapid development and implementation of customized software modules. The system components in the CAX framework provide fundamental methods and algorithms to plan any desired tool path with correspondingly adjusted process parameters. On this basis, application-specific and client-specific customized CAM modules are generated that can be flexibly adjusted. The newly developed algorithms and methods can be later integrated as components into the CAX framework. The sub-division of the software libraries into fundamental and application-specific departments ensures a high level of reusability and also makes it possible to react promptly to new customer requirements, new process types and new application scenarios.

Over the past year, the Fraunhofer IPT has developed a range of simulation-assisted CAM modules for the planning of complex multi-axis processes for applications such as milling, grinding, polishing, laser deposit welding, laser hardening, laser alloying, laser structuring and the optical or tactile acquisition of geometrical data. Customized CAX modules contain self-developed and customer-specific processing strategies which are configured via a user-friendly GUI and validated in the simulation module. The CAX framework provides comprehensive interfaces for the integration of new CAX modules and can be seamlessly integrated into commercially available CAX systems and NC formats.

### Evaluation of CAX process chains

Complex components are fabricated in sequential production steps with the support of CAX systems. A technology-specific CAX process chain – which operates parallel with the manufacturing chain – ensures that the design of the complex manufacturing operations is sufficiently flexible and well



flexible Auslegung der komplexen Fertigungsvorgänge. Die methodische Erfassung, Bewertung und Analyse der CAx-Prozesse bildet hier die Grundlage für spätere Optimierungen innerhalb der CAx-Prozesskette. Dafür werden die einzelnen CAx-Prozesse und die Zusammenhänge zwischen ihnen modelliert. Anschließend werden Bewertungskriterien zur Erfassung der CAx-Prozesse entwickelt. Auf Basis des so entstandenen Modells der CAx-Prozesskette können Optimierungspotenziale analysiert und quantifiziert werden. Dabei gilt es die individuellen Anforderungen und Rahmenbedingungen des Unternehmens an die CAx-Prozesskette zu berücksichtigen. Ziel ist eine Methodik, die es erlaubt die Optimierungspotenziale innerhalb der CAx-Prozessketten zu identifizieren und zu bewerten, um eine situations- und kundenbezogene, datendurchgängige Lösung zu ermöglichen.

### Algorithmen für das Fräsen und Wasserstrahlschneiden faserverstärkter Kunststoffe

Das EU-Projekt »REFORM« (Förderkennzeichen FP7-NMP-2010-Large-4, 283336) ist auf vier Jahre ausgelegt und dient der Entwicklung sauberer und ressourceneffizienter Technologien zur Herstellung und Entsorgung faserverstärkter Kunststoffe. Die Abteilung »CAx-Technologien« erarbeitet dafür neue Bahnplanungs-Algorithmen zum Wasserstrahl- und Fräsverfahren, mit denen die Bearbeitung faserverstärkter Kunststoffe ressourceneffizienter werden soll. Vor allem die Abtragsrate des Wasserstrahls, die von der Vorschubgeschwindigkeit abhängt, bietet bei der 5-achsigen Bearbeitung große Herausforderungen, da sie sich mit konventionellen CAM-Systemen bisher nicht abbilden ließ. Beim Fräsprozess sollen außerdem die Bearbeitungszeit und die Standzeit der Werkzeuge optimiert werden.

adapted to the requirements of the situation. The systematic acquisition, evaluation and analysis of the CAx processes provide the foundation for later optimizations in the CAx process chain. For this purpose, the individual CAx processes and the ways in which they are connected with one another are being mapped before criteria for assessing and evaluating the CAx processes are developed. This model of the CAx process chain then provides the basis for an analysis and a quantification of the optimization potential, taking into account the conditions of the client enterprise and the specific requirements for its CAx process chain. The objective is the development of a method that allows the identification and evaluation of the optimizing potentials within the CAx process chains, paving the way for a customized and data-consistent solution that reflects the specific requirements of the situation.

### Algorithms for the milling and waterjet cutting of fiber-reinforced plastics

The EU project "REFORM" (contract number FP7-NMP-2010-Large-4, 283336) has been designed to aid the development of clean and resource-efficient technologies for the production and safe disposal of fibre-reinforced plastics. Under the umbrella of this four-year project, the department for "CAx technologies" is developing new path planning algorithms for waterjet and milling techniques that are designed to allow a more resource-efficient processing of fiber-reinforced plastics. One of the key challenges of a 5-axis treatment is the removal rate of the waterjet (which depends on the feed rate), since conventional CAM systems have so far not been able to model it. It is also planned to optimize the processing times of the milling process and to lengthen the tools' service life.

# 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 Diamantzerspannung 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 in ausgewählten 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



### **Ultrapräziser Werkzeugbau für die Glasoptikreplikation**

Das Glaspressen ist ein Verfahren, das es erlaubt, komplexe optische Elemente aus Glas in hohen Genauigkeiten und Stückzahlen kostengünstig herzustellen. Bei optischen Elementen werden in der Regel hohe Anforderungen an die Formgenauigkeit und Oberflächenrauheit gestellt, die schon bei der Fertigung der Glaspressformen berücksichtigt und erfüllt werden müssen. Zur Fertigung der Glaspressformen kommen daher ultrapräzise Bearbeitungsverfahren zum Einsatz. Aufgrund ihrer charakteristischen Härte und Bruchzähigkeit lassen sich viele Formwerkstoffe ausschließlich durch Schleifverfahren bearbeiten. Mit vier Maschinen zum Ultrapräzisions Schleifen, ein Teil davon mit bis zu fünf Achsen, bearbeitet das Fraunhofer IPT hochgenaue Bauteile mit komplexen Geometrien. Verschiedene luftgelagerte Schleif- und Werkstückspindeln dienen zur Bearbeitung von Bauteilen mit Durchmessern bis zu 350 mm und gewährleisten die höchste Form- und Oberflächenqualitäten. Vor allem für die Fertigung von Formen mit nicht-stetigen Oberflächen wie Fresnelstrukturen oder diffraktiven Strukturen kommt zudem das Verfahren der ultrapräzisen Diamantzerspanung zum Einsatz. Mit hochgenauen, defektfrei präparierten monokristallinen Diamanten können viele Werkstoffe mit Formgenauigkeiten von P-V < 250 nm und Rauheiten im optischen Bereich bearbeitet werden.

### **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, definiert sich der Stückpreis der hergestellten Optiken hauptsächlich durch die Standzeit der Werkzeuge. Zu verstehen, welche Mechanismen zum Versagen der Presswerkzeuge führen, hilft Unternehmen dabei, am Markt der replikativen Optikherstellung konkurrenzfähig zu bleiben. Das

### **Ultra-precision tool manufacturing for the replication of glass optics**

Glass molding is a technology that enables companies to produce complex optical glass components with high levels of dimensional accuracy, in large series and at low costs. Optical components are generally subject to demanding requirements in terms of their dimensional accuracy and degree of surface roughness, something that must already be taken into account when manufacturing the molds. This is why ultra-precision machining technologies are applied in the making of these molds. Some mold materials are so hard and fracture-resistant that grinding provides the only possibility of machining them. The Fraunhofer IPT operates four ultra-precision grinding machines – some of them with up to five axes – to machine high-precision components with complex geometries. The use of air bearing spindles allows the Fraunhofer IPT to machine components with sizes up to 350 mm while providing the highest possible standards of dimensional accuracy and surface quality. For the production of molds with non-continuous surface patterns such as Fresnel structures and diffractive structures, it is also possible to apply the technology of ultra-precision diamond machining. High-precision and defect-free monocrystalline diamonds are capable of machining many materials with dimensional accuracies of P-V < 250 nm and with the kind of roughness level that is required by optical technology.

### **Knowledge-based optimization of coatings for the precision molding of glass optics**

Precision molding is a technology that is applied with increasing frequency for the purpose of manufacturing high-end optical components with complex geometries. Since this is a replicative process, one key way of reducing the unit price of the optical components is to extend the service life of the tools. A fundamental understanding of the reasons why molding tools fail would allow enterprises to remain competitive

Fraunhofer IPT untersucht diese Mechanismen und leitet daraus eine wissenschaftliche 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 abzuförmenden Produkte merklich beeinträchtigt wird. Im Projekt »Coat4Glass« (Förderkennzeichen VP2757704WO2) werden darüber hinaus die vielfältigen Belastungen während des Pressprozesses systematisch analysiert. 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 Automatisierung manueller Finishprozesse**

Typische Herstellungsschritte im Werkzeug- und Formenbau sind das mechanische Fräsen mit anschließender Oberflächenveredelung durch Schleifen und manuelles Polieren,

on the global market for replicative optic components. The Fraunhofer IPT is investigating these mechanisms, deriving a knowledge-based method for developing coatings and for assessing the duration of service lives. For this purpose, the Fraunhofer IPT is cooperating with other research institutions, glass manufacturers, tool manufacturers and the commercial providers of material analyses as well as coating technologies. It is the ultimate objective to develop an understanding of the causes for the wear that takes into account the physical interactions on an atomic level, so that coatings can be customized to individual types of glass and made to withstand large numbers of molding sequences.

In the project "InitialWear", the Fraunhofer IPT and the Max-Planck-Institut für Eisenforschung GmbH are investigating the wear processes of the tool under a microscopic and nanoscopic perspective and at a stage when the quality of the molded products has not yet been significantly affected. The project "Coat4Glass" (contract number VP2757704WO2) furthermore subjects the various individual types of stress that are generated during the molding process to systematic analyses. The aim is to develop a better understanding of the wear mechanisms so that customized coatings can be developed for different glass substrates. The Fraunhofer IPT is producing these coatings in its in-house industrial coating facility and subjects them subsequently to performance tests in the facility's test stations which are based on self-developed methods. The Fraunhofer IPT has acquired specific expertise in the application of highly oxidation-resistant coatings that are made from precious metals and separated with high levels of precision using sophisticated PVD technology. This process has been designed to guarantee that the coatings meet the requirements of a replicative manufacturing process for optical products.



auch Finishingbearbeitung genannt. Das Polieren bildet dabei oft den letzten Schritt und ist entscheidend für die Bauteilqualität. Dabei hängen das Polierergebnis, also die erzielte Qualität, und der erforderliche Bearbeitungsaufwand stark vom individuellen Geschick des Handwerkers ab. Ziel der Forschungsaktivitäten am Fraunhofer IPT ist es, zeitintensive manuelle Finishingprozesse im Werkzeugbau zu automatisieren. Neu ist dabei, dass als Automatisierungsplattform vor allem konventionelle Fräsmaschinen, die der Werkzeugbau bereits in der Produktion einsetzt, genutzt werden können. Dadurch sollen sich sowohl der Aufwand als auch die Bearbeitungskosten der Finishbearbeitung im Vergleich zur manuellen Bearbeitung um jeweils mindestens 50 Prozent reduzieren. Um das zu erreichen, muss die Erfahrung des Handwerkers anhand geeigneter Software, also durch CAM-Module zum Finishing, digitalisiert werden. Dabei gilt es, das Feingefühl des Handwerkers für die Anpresskraft bei der Bearbeitung in die automatisierte Lösung zu übertragen. Das Fraunhofer IPT setzt dafür auf einen kraftgeregelten Werkzeughalter, der sehr empfindlich reagiert und mit feinsten Kräften arbeiten kann. Mit eigens dafür optimierten, elastischen Schleif- und Polierwerkzeugen soll der Finishingprozess dann automatisiert und deutlich beschleunigt werden. Die Entwicklungsarbeiten werden im Rahmen des BMBF-geförderten Projekts »IntegFINISH« (Förderkennzeichen 02PK2341) direkt in der Produktion der beteiligten Partnerunternehmen validiert. Die Automatisierung des Finishings bedeutet für die überwiegend kleinen und mittleren Unternehmen des deutschen Werkzeug- und Formenbaus eine erhebliche Zeit- und Kostenersparnis in der Produktion. Der automatisierte Prozess kann weiterhin auch zur direkten Bauteilfertigung, beispielsweise zur Bearbeitung von Turbomaschinenkomponenten verwendet werden.

### **Efficient automation of manual finishing processes**

Tool and die manufacturing typically includes the mechanical milling and the subsequent surface finishing through grinding and manual polishing, sometimes collectively referred to as “finishing processes”. Polishing is often the last of these processes and capable of determining the quality of the component. The result of the polishing process, meanwhile, i.e. the component quality, and the time it takes to complete the process are both a direct function of the individual skills of the person performing the job. The Fraunhofer IPT is currently conducting a research study with the objective of automating these time-consuming manual finishing processes in tool manufacturing. One innovative feature of the technology is its capacity to use conventional milling equipment which is already deployed in existing tool manufacturing facilities as the platform for its automated system. This will allow the manufacturers to reduce both the time and the costs of manual finishing processes by at least 50 percent. In order to reach this objective, the experience of a skilled technician needs to be digitalized through adequate software, i.e. CAM modules. The automated solution must be able to match a skilled person’s intuitive ability for choosing the right level of pressure that needs to be employed. For this purpose, the Fraunhofer IPT is utilizing a force-controlled tool holder that is highly sensitive and capable of applying low levels of pressure. Subsequently, the finishing process will be automated as well as significantly accelerated with the help of customized elastic grinding and polishing tools. The development works – conducted for the project “IntegFINISH” (contract number 02PK2341), sponsored by Germany’s Ministry of Education and Research (BMBF) are validated in the industrial processes of the partner enterprises. Automated finishing processes will allow German tool and die manufacturers – mainly small and medium-sized enterprises – to cut down their production times and production costs significantly. The automated process can also be applied for the purpose of manufacturing finished products, for example in the finishing of turbomachine components.

# 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



### **Polieren funktionaler Oberflächen**

Die manuelle Feinbearbeitung der Funktionsoberflächen, beispielsweise von Spritzguss- oder Ziehwerkzeugen, ist der abschließende Schritt einer üblicherweise vollständig automatisierten Prozesskette. Um die Feinbearbeitung von Stahl effizienter zu gestalten, hat das Fraunhofer IPT im VDI/VDE-Projekt »CONFinish« (Förderkennzeichen 16INE031) ein System für das automatisierte Polieren entwickelt. Es besteht aus einer Ablaufsteuerung des österreichischen Anbieters Eberle Automatische Systeme GmbH & Co. KG, einem Roboter mit einem eigens vom Fraunhofer IPT für das automatisierte Polieren entwickelten Bearbeitungskopf und einem Messsystem für die Prozessüberwachung und Qualitätskontrolle vom Institute of Electrical Measurement and Measurement Signal Processing (EMT) der TU Graz.

Der optische Formbau fordert nicht nur eine hohe Oberflächenqualität, auch der maximale Formfehler ist eine kritische Anforderung an das Ergebnis des Polierprozesses. Durch eine präzise Vorbearbeitung und einen gleichmäßigen Materialabtrag über die gesamte Oberfläche im automatisierten Polierprozess können qualitativ hochwertige Formen in vergleichsweise kurzer Prozesszeit hergestellt werden. Die Dauer der Prozessentwicklung wird durch Ablaufsteuerung und maschinenintegrierte Messsysteme zusätzlich verkürzt.

### **Nachrüstbares Messsystem zur werkstückbezogenen 3D-Produktüberwachung**

Die herkömmliche Signal- und Messwerterfassung in der Produktionstechnik beschränkt sich auf die grafische Ausgabe zeitlicher Sensormesswerte und die Ausgabe binärer Alarmsignale. Eine Zuordnung der Signale zum einzelnen Bauteil ist für Maschinenbediener und Qualitätsmanager nur eingeschränkt möglich. Das Fraunhofer IPT arbeitet deshalb daran, Sensorsignale, beispielsweise den Körperschall, fertigungs- und werkstückbezogen aufzuzeichnen und zu analysieren, sodass eine intuitive Beurteilung möglich wird.

### **The polishing of functional surfaces**

The manual precision-machining of functional surfaces – for example, of dies and injection molds – is the final link in the most of the time fully automated process chain. In order to increase the efficiency of the precision-machining of steel, the Fraunhofer IPT has developed an automated polishing system in the VDI/VDE project "CONFinish" (contract number 16INE031). This system comprises a sequence control unit made by the Austrian manufacturer Eberle Automatische Systeme GmbH & Co. KG, a robot with a processing head that was specifically developed by the Fraunhofer IPT for automated grinding processes and a measuring system for process monitoring and quality control, provided by the Institute of Electrical Measurement and Measurement Signal Processing (EMT) of the Technical University of Graz.

Optical components require a molding process that can deliver a high level of surface quality and, critically, a polishing process with a narrow band of tolerable deviation. Pre-machining processes with high levels of accuracy combine with a material removal process that is consistent across the entire surface to generate high-quality dies in relatively brief production cycles. The process development times are further reduced through the use of sequential control systems and of measuring systems that are integrated into the equipment.

### **Retrofit measuring system for workpiece-specific 3D-product monitoring**

The conventional systems of processing signals and measurement values in manufacturing technology are restricted to the graphic display of sensor-measured time values and the emission of binary alarm signals. Operators and quality assurance managers are generally not in the position to assign signals to individual components. The Fraunhofer IPT, however, is currently trying to enable the workpiece-specific and process-specific acquisition and subsequent analysis of

Dazu hat das Fraunhofer IPT ein Messsystem entwickelt, das parallel Maschinenachsen und zusätzliche Sensorik aufzeichnet, fusioniert und dreidimensional darstellt. Das System ist von Steuerungstechnik und Sensorik unabhängig und lässt sich kostengünstig, vollständig und unsichtbar in bestehende Maschinen und Anlagenkonzepte integrieren.

Mit der 3D-Produktüberwachung lässt sich eine transparente Fertigung durch einen virtuellen Blick in die Produktion erreichen, um Prozesse einfacher zu parametrisieren und so automatisch Prozessstörungen zu analysieren und beheben zu können.

#### **Maschinenmessrahmen mit strukturintegrierter Sensorik**

Werkzeugmaschinen unterliegen im Betrieb mitunter starken Temperaturschwankungen. Rund 75 Prozent aller Fertigungsfehler sind darauf zurückzuführen – vor allem bei großen Bauteilen und entsprechend großen Maschinen, denn die Wärmeausdehnung macht sich über lange Strecken besonders bemerkbar. Aber auch mechanische Belastungen können die Maschinenstruktur verformen und zu Werkstückfehlern führen. Hier setzt ein neues Konzept des Fraunhofer IPT an: Ziel ist es, die Genauigkeit der Werkzeugmaschinen 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, die am Bauteil durch die Verlagerung des Werkzeugs entstehen würden. Indem die Werkzeugverlagerung kontinuierlich berechnet wird, kann die Maschine während der Bearbeitung der Entstehung von Werkstückfehlern vorbeugen. Die Betreiber von Werkzeugmaschinen können mit dem Einsatz des Sensorsystems Nacharbeit vermeiden und so einen erheblichen Teil der Fertigungskosten sparen.

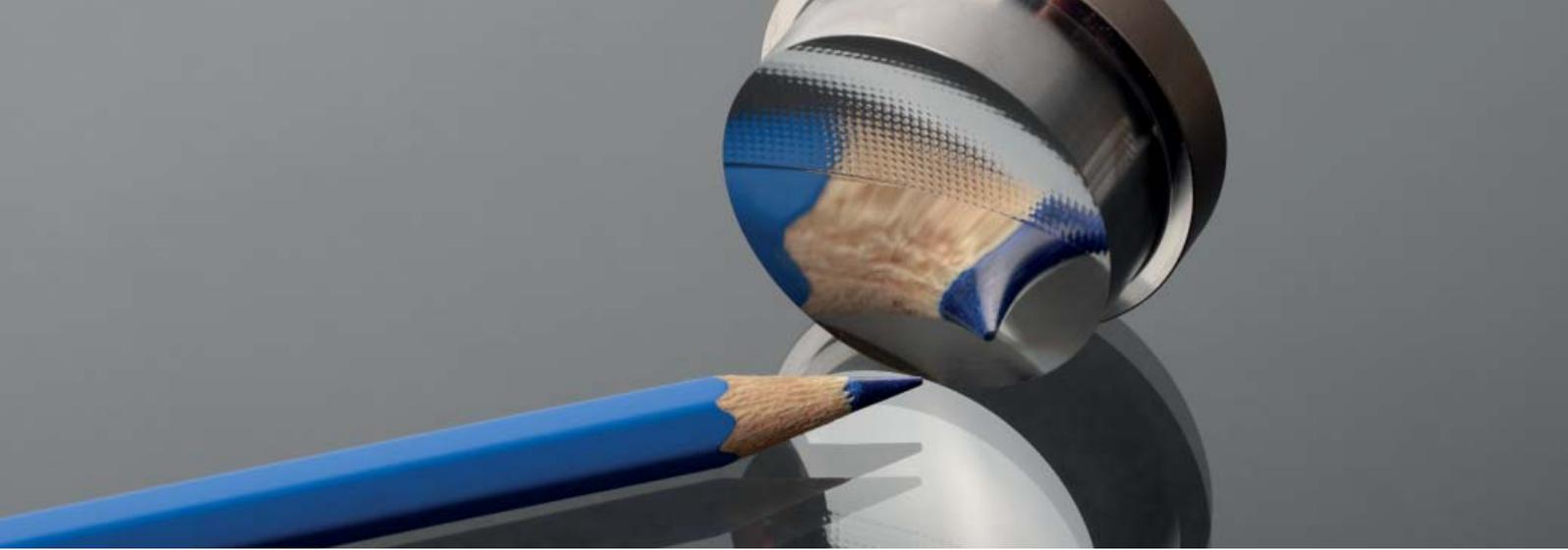
sensor signals, for example information about the levels of mechanical vibration, thus providing the foundation for an intuitive assessment.

For this purpose, the Fraunhofer IPT has developed a measuring system that acquires and merges parallel information from machine axes and additional sensors before displaying this information in the form of a 3D-representation. The system is independent from control technology or sensors and can be – at reasonable costs – fully and invisibly integrated into existing equipment and complex facilities.

The 3D-product monitoring system, allowing the engineers to cast “virtual glances” at ongoing production sequences, makes the manufacturing process more transparent, facilitating the establishment of process parameters and the automatic analyses and subsequent elimination of disruptions.

#### **Machine measuring frame with structurally integrated sensor technology**

Machine tools are often exposed to enormous fluctuations of their operating temperature. The resulting deformations are said to cause up to 75 percent of all manufacturing defects – specifically in large components, because correspondingly large machines are required to manufacture them, and the effects of thermal expansion are particularly pronounced in larger dimensions. But exposure to mechanical stress can also cause deformations of the machine’s structural framework and, eventually, the workpieces themselves. This is where a new concept of the Fraunhofer IPT intends to provide a remedy: in order to stabilize the accuracy of the machine tool, the process of deformation is continuously monitored by a large number of integrated sensors. A mathematical model provides the basis for an approximate forecast of the defects



Das BMBF fördert diesen Lösungsansatz im Verbundprojekt »EPSIS – Energieeffizienz und Präzision durch strukturintegrierte Sensorik« (Förderkennzeichen 02PK2352). Hier wird gemeinsam mit den Verbundpartnern SHW Werkzeugmaschinen und SHW Bearbeitungstechnik das Konzept der strukturintegrierten Sensorik für die Präzisionsfertigung von Großbauteilen umgesetzt. Der Fokus liegt dabei auf dem Energiesparpotenzial der Technologie. Üblicherweise werden zur Stabilisierung der Umgebungstemperatur energieintensive Klimaanlage eingesetzt. Darauf könnten Fertigungsbetriebe zukünftig verzichten, da entsprechend ausgerüstete Maschinen unempfindlicher gegenüber schwankenden Temperaturen sind.

that would result from certain displacements of the tool. The continuous calculation of possible displacements and resulting errors enables the machine to take preventive measures against such defects. The operators of the machine can therefore avoid any need for manually reworking the components which helps them to cut their manufacturing costs drastically.

The Federal Ministry of Education and Research supports this approach, sponsoring the joint project "EPSIS – Energy-Efficiency and Precision through Structurally Integrated Sensor Technology" (contract number 02PK2352). Together with its industrial partners, the machine tool manufacturer SHW Werkzeugmaschinen and the engineering company SHW Bearbeitungstechnik, the Fraunhofer IPT is employing structurally integrated sensor technology for the production of large precision components, while putting a premium on the technology's energy savings potentials. Conventionally, highly energy-intensive air conditioning units are used to stabilize the ambient temperature. With the new technology, however, industrial companies will no longer need such units because the modern machines will be less sensitive to temperature fluctuations.

# 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)



### **Automatisierte Verarbeitung verschiedener Faserverbundhalbzeuge**

Endlosfaserverstärkte Kunststoffe (FVK) erlauben die Herstellung belastungsoptimierter Strukturbauteile. Dadurch, dass die Faseranordnung und -orientierung genau an die Belastungssituation des Bauteils angepasst werden können, lässt sich das Leichtbaupotenzial optimal ausschöpfen. Zur automatisierten und reproduzierbaren Fertigung belastungsoptimierter FVK-Bauteile erforscht das Fraunhofer IPT das Verfahren des Tapelegens und entwickelt schlüsselfertige laserunterstützte Tapelegesysteme.

Der am Fraunhofer IPT entwickelte, multifunktionale »Multi-Material-Head« ist ein Tapelegesystem für die laserunterstützte Verarbeitung thermoplastischer Tapes, duroplastischer Prepregs sowie gespreizter und gebündelter Dry-Fiber-Rovings. Die Integration der Laserquelle erlaubt es, die Vorteile des laserunterstützten Thermoplast-Tapelegens auch bei der Verarbeitung duroplastischer Prepregs sowie gebündelter Dry-Fiber-Rovings zu nutzen: eine gezielte und schnelle Regelung der Energieeinkopplung, geringe thermische Belastung der Anlagenperipherie und höhere Prozessgeschwindigkeit. Bei der Verarbeitung thermoplastischer Tapes entfallen durch die In-situ-Konsolidierung weitere energieintensive Aushärtungsschritte, etwa im Autoklaven, und die Zykluszeit wird verkürzt. Durch den modularen Aufbau kann das System schnell und flexibel mit verschiedenen Materialführungs-, Vorschub-, Kühlelementen oder Schneidsystemen bestückt und an Knickarmrobotern und Portalsystemen als Endeffektor genutzt werden.

### **The automated processing of semi-finished fiber-reinforced products**

Fiber-reinforced plastics (FRP) enable the production of structural components with optimized stress properties. Since the patterns, the layout and the alignment of the fibers can be customized to the prospective stress exposure of each component, it is possible to exploit the potential of the lightweight construction system to the full. The Fraunhofer IPT is currently exploring the tape-laying technique and developing turnkey laser-assisted tape-laying systems in order to enable the automated and reproducible industrial production of FRP components with optimized stress properties.

The multifunctional "Multi-Material Head" that has been developed by the Fraunhofer IPT is a tape-laying system for the laser-assisted processing of thermoplastic tapes, duroplastic prepregs and spread-out dry fiber rovings as well as banded dry fiber rovings. The integration of the laser source makes it possible to take full advantage of all the benefits that the technique of laser-assisted thermoplastic tape laying provides for the processing of duroplastic prepregs and banded dry fiber rovings: namely a quick and selective energy deposition, low levels of thermal stress in the periphery of the facility and higher processing speeds. The in-situ consolidation during the processing of thermoplastic tapes also eliminates the need for additional energy-intensive hardening measures, for example autoclaving, and shortens cycle times. Thanks to its modular structure, the system can be quickly and flexibly fitted with a range of guidance, feeding or cooling elements as well as with cutting devices. It can also be used as an end effector in articulated robots and portal systems.

### **Harte Werkstoffe mit dem Laser schneller und günstiger fräsen**

Anwendungen in der Energie- und Antriebstechnik, in der chemischen Industrie oder Hüttentechnik fordern oft Komponenten aus Hochleistungswerkstoffen wie Titan- und Nickelbasislegierungen oder technischer Keramik, die sich nur schwer fräsen lassen. Beim Drehen solcher Werkstoffe kommt der Laser als unterstützendes Werkzeug bereits zum Einsatz, beim Fräsen ist jedoch eine gezielte, punktuelle Erwärmung aufgrund der rotierenden Schneide weitaus aufwändiger.

Das Fraunhofer IPT hat deshalb für die Rineck Maschinenbau GmbH im BMWi-geförderten Forschungsprojekt »ToolLAM« (Förderkennzeichen 16INE033) ein laserunterstütztes Werkzeugsystem entwickelt, bei dem die optischen Elemente der Strahlführung mitrotieren. Es besteht aus einem zweifachen Schneidplattenhalter mit Hohlchaftkegel, in den ein Optikmodul der Sill Optics GmbH & Co. KG integriert wurde. Die Laserstrahlung gelangt nun direkt vor dem Eingriff des Fräswerkzeugs als mitrotierender Brennfleck auf das Werkstück. So wird nur genau das Volumen an Werkstoff entfestigt, das unmittelbar mit dem Fräswerkzeug abgetragen werden soll. Die Untersuchungen des Fraunhofer IPT haben ergeben, dass sich bei schwer zerspanbaren Werkstoffen, beispielsweise bei der Nickel-Basislegierung IN 718, die Prozesskräfte und der Werkzeugverschleiß bis zu 50 Prozent reduzieren lassen.

### **Schneidwerkzeuge schneller schleifen**

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

### **Laser assistance for faster and less expensive milling of hard materials**

Applications in energy and propulsion technology, in the chemical industry or metallurgy often require components that are made from high-performance materials such as titanium-based and nickel-based alloys or advanced ceramics, all of which are hard to machine. Laser assistance is already quite commonly used in the turning of such materials, but less often for the purpose of milling them, because the heating effect of the laser – due to the rotating blade – must be applied to a smaller focus, which is more difficult and more expensive to achieve.

To overcome these challenges, the Fraunhofer IPT has developed a laser-assisted tool system for Rineck Maschinenbau GmbH under the research project "ToolLAM" sponsored by the Federal Ministry of Economics and Technology (contract number 16INE033) in which the optical elements of the beam guidance system are sharing in the rotational movement. The system features a double cutting plate holder with a hollow shaft cone into which an optical module from Sill Optics GmbH & Co. KG has been integrated. The laser radiation is projected onto the workpiece, in the form of a co-rotating hot spot, immediately before the contact with the milling tool. This means that the laser beam only "softens up" the target volume on the workpiece which is meant to be removed by the milling tool. The research of the Fraunhofer IPT has demonstrated that – when working with materials such as the nickel-based alloy IN718 which are difficult to machine – the process forces and the tool wear can be reduced by up to 50 percent.



hohem Aufwand herstellen lassen. Die Schleifscheiben zur Bearbeitung der Werkzeuge verschleiben schnell und es dauert lange, das Ausgangsmaterial in gewünschter Menge präzise abzutragen.

Während beim Schleifen zunächst mit mechanischen Schruppwerkzeugen Material abgetragen wird, setzt das Fraunhofer IPT hier auf ein selbst entwickeltes Lasermodul. Damit lassen sich bei dem extrem harten Diamantwerkstoff der Schneidplatten deutlich höhere Abtragsraten erzielen als mit einem konventionellen Schleifwerkzeug. Um die geforderten Oberflächenqualitäten zu erreichen, wird das Laserverfahren durch einen mechanischen Schlichtprozess ergänzt.

Mit dem modular aufgebauten System, das sich in herkömmliche Schleifmaschinen integrieren lässt, können Unternehmen die Bearbeitungsdauer um mehr als 50 Prozent verkürzen und den Verbrauch der teuren Diamantschleifscheiben deutlich verringern. Das Lasersystem mit dem Namen »ProPKD«, das das Fraunhofer IPT im Rahmen eines öffentlich geförderten Projekts (Förderkennzeichen 16V0189) entwickelt und erprobt hat, lässt sich individuell an unterschiedliche Schneidplattengeometrien anpassen und erfüllt alle Anforderungen der Werkzeughersteller an Produktivität, Flexibilität, Energieeffizienz und niedrige Anschaffungskosten.

### **Accelerating the grinding of cutting tools**

Due to their high levels of hardness and wear-resistance, cutting tools that are made from polycrystalline diamonds (PCD) are ideally suitable for the machining of light metals, fiber-reinforced plastics and wood. But it is exactly this combination of positive properties that makes these tools so expensive to manufacture. The grinding disks that are used to machine these tools are exposed to high levels of wear, and the removal of precisely the right amounts of material is a time-consuming business.

While the grinding process uses mechanical roughing tools, the Fraunhofer IPT employs a self-developed laser module which – bearing in mind the extreme hardness of the diamond cutting plates – is capable of achieving far higher material removal rates than conventional grinding equipment. In order to obtain the required surface qualities, a mechanical finishing process is added to complement the effects of the laser.

The modular system can be integrated into conventional grinding machines and allows companies to cut processing times by more than 50 percent and to reduce the wear of the expensive diamond grinding disks. The laser system – called "ProPKD" – has been developed and tested by the Fraunhofer IPT under a government-funded project (contract number 16V0189). It can be individually customized to different cutting disk geometries and meets all requirements of tool manufacturers in terms of productivity, flexibility, energy-efficiency and low purchase costs.

# 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 Messtechnikern optimieren und weiterentwickeln. Im Fokus unserer Arbeiten steht die Industrialisierung von Prozessen.

### Unsere Leistungen

- Verfahrens- und Systementwicklung
  - Optikprüfung und -herstellung
  - Kurzkohärente Interferometrie
  - Faseroptik
  - Biophotonik
  - Sondermesssysteme
- Automatisierung und Applikationsentwicklung
  - Automatisierung industrieller Produktionsprozesse
  - Automatisierung biotechnologischer Prozesse
  - Sensorintegration und Datenrückführung
  - Automatisierte Messsysteme
  - Montage faseroptischer Systeme
  - Messdienstleistungen
- Mikro- und Nanoproduktion
  - 3D-Lithographie
  - Interferenzlithographie
  - Resistentwicklung
  - Strukturcharakterisierung

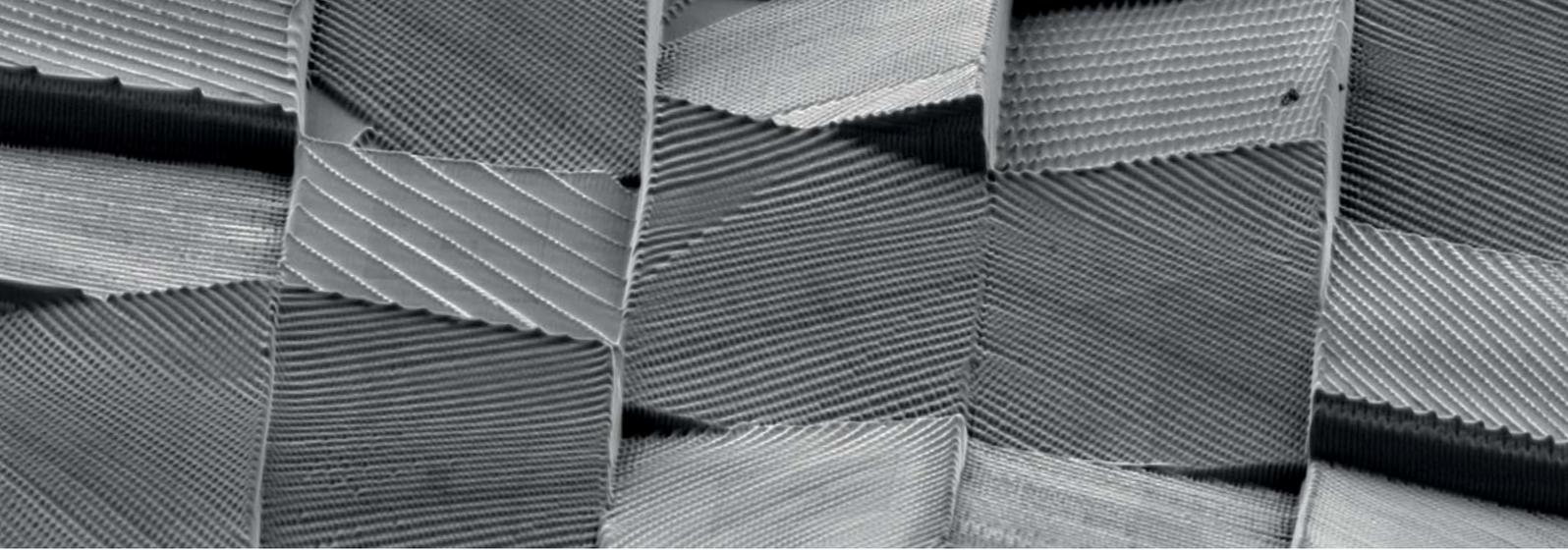
### Kontakt/Contact

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

- Development of processes and systems
  - Manufacturing and testing of optical components
  - Short coherent interferometry
  - Fiber optics
  - Biophotonics
  - Customized measuring systems
- Automation and development of applications
  - 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



### **Hochpräzise Mikrostrukturen durch Zwei-Photonen-Lithografie**

Ob für Zellgerüste in der Biologie, Hybridoptiken oder photonische Kristalle in optischen Schaltkreisen – die Herstellung von Strukturen im Submikrometer- und Nanometerbereich ist nach wie vor eine große Herausforderung. Ein großes Innovationspotenzial liegt in der Herstellung echter 3D-Strukturen, die mit klassischen Fertigungsverfahren nicht zu realisieren sind. Das physikalische Prinzip der Zwei-Photonen-Absorption eröffnet mit dem Verfahren des direkten Laserschreibens die Chance, beliebige dreidimensionale Strukturen im Submikrometerbereich reproduzierbar zu erzeugen. Dabei steht eine breite Palette an verarbeitbaren Materialien zur Verfügung, die individuell auf die unterschiedlichsten Anwendungen abgestimmt werden können. Mit der Zwei-Photonen-Lithographie lassen sich Geometrien herstellen, die mit herkömmlichen mikrostrukturierenden Verfahren unerreichbar sind.

Ziel des Forschungsprojekts »LithOStrukt« (Förderkennzeichen 02PK2294) ist es, eine kostengünstige Prozesskette zur Herstellung hybrider Optiken und die dazu erforderlichen Teilprozesse zu entwickeln. Ein erster Schritt in der Prozesskette sind spezielle Berechnungsmethoden zur Auslegung der Bauteilfunktion, mit denen Geometrie und Struktur des Bauteils festgelegt werden. Auf dieser Basis werden die berechneten Strukturen in das Abformwerkzeug eingebracht. Auf diese Oberfläche wird eine Beschichtung aus Kunststoff aufgebracht, die dann mit einem Femtosekundenlaser strukturiert wird. Das Verfahren nutzt den Effekt der Zwei-Photonen-Polymerisation und erlaubt damit eine dreidimensionale Bearbeitung in höchster Präzision. Die eigentlichen Optiken werden dann durch ein Abformverfahren hergestellt. Das Fraunhofer IPT erarbeitet dafür eine vollständige und qualifizierte Prozesskette zur Fertigung hybrider Optiken, die eine effiziente und präzise Herstellung nach industriellen Maßstäben erlaubt. Die erzeugten Präzisionsoptiken können

### **The application of high-precision micro-structures through two-photon lithography**

Whether it is about cytoskeletons in biology, hybrid optical systems or photonic crystals in optical circuits, the production of structures in the sub-micrometer and nanometer ranges remains a huge challenge. The production of genuine 3D-structures, which cannot be generated with conventional manufacturing techniques, provides a large potential for further innovations. The Direct Laser Writing technique, which makes use of the physical principle of the two-photon-absorption, provides an opportunity of manufacturing reproducible and freely formed 3D-structures in the sub-micrometer range. Images may be represented on a wide range of materials, depending on the requirements of the individual application. The two-photon lithography technique is capable of generating geometries that are totally out of reach with any conventional micro-structuring technology.

The research project "LithOStruct" (contract number 02PK2294) aims to develop a cost-effective process chain for the production of hybrid optics including their sub-processes. Step one in this process chain is the calculation of the geometry and structure of the required component, its layout and its function – this requires customized and often highly complex methods. The structures that result from these calculations are applied to the molding tool, and the surface is covered by a plastic coating which is then structured by a femtosecond laser. This technique exploits the two-photon polymerization effect, making it possible to perform an ultra-precision 3D-structuring process. The optical components themselves are subsequently manufactured in a molding sequence. The Fraunhofer IPT is developing a full and qualified process chain for the production of hybrid optics, paving the way for efficient high-precision production on an industrial scale. The precision components can be used in a range of applications including high-precision telescopes and binoculars, new lighting concepts and medical technology.

beispielsweise in hochpräzisen Ferngläsern und -rohren, neuen Beleuchtungskonzepten oder in der Medizintechnik zum Einsatz kommen.

### **OCT-Systeme für die 100-Prozent-Prüfung**

Das Verfahren der optischen Kohärenztomografie (OCT) eignet sich für die berührungslose Messung komplexer Strukturen und Mehrschichtsysteme. Die hohen Messfrequenzen erlauben Inline- und In-Prozess-Messungen in großer Bandbreite. Für unterschiedliche Messaufgaben entwickelt das Fraunhofer IPT hochauflösende OCT-Systeme, die an die individuellen Anforderungen angepasst sind.

Ein Beispiel für die Anwendung der OCT ist ein Wanddickenmesssystem für Kunststoffampullen, das das Fraunhofer IPT für die Qiagen GmbH aus Hilden entwickelt hat. Die Ampullen mit einem Durchmesser von 3,5 mm werden für die Aufbewahrung von Reagenzien zur DNA-Analyse eingesetzt und durch Schockgefrieren haltbar gemacht. Beim Spritzgießen der Ampullen kann es zu Verformungen des Werkzeugs kommen, sodass die Wanddicken nicht gleichmäßig ausfallen und das schnelle Gefrieren beeinträchtigt wird. Das Fraunhofer IPT hat für Qiagen ein System entwickelt, mit dem sich die Wanddicken und die Konzentrität der Kunststoffampullen nach dem Spritzgießen innerhalb von Sekundenbruchteilen messen lassen. Die Messergebnisse liefern wichtige Informationen über den Prozess und helfen, Ausschussteile schnell zu identifizieren. Dazu misst das System die Wandstärke jeder Ampulle an drei Punkten, bevor eine Software die Dezentrierung sowie die minimale und maximale Wandstärke mikrometergenau bestimmt. Qiagen nutzt das System in Zukunft zur 100-Prozent-Prüfung in der Produktionslinie.

### **OCT systems for full inspections**

Non-contact measurements of complex structures and multi-layer systems can be conveniently performed with coherence tomography (OCT). Its high measurement frequencies allow a wide range of inline and in-process measurements. The Fraunhofer IPT is currently developing customized high-resolution OCT systems for specific measuring tasks.

One example is a system for measuring the thickness of the walls in plastic vials, developed by the Fraunhofer IPT for Qiagen GmbH (Hilden/Germany). The vials have diameters of 3.5 mm and are subjected to rapid freezing for the purpose of safekeeping reagents in DNA analyses. The vials are produced by injection molding, but when the molding tool is distorted during the production process, the vials may have walls with different levels of strength. This can affect the rapid freezing process. The Fraunhofer IPT has now developed a system that allows Qiagen to measure the thickness of the walls and the concentricity of the vials within mere fractions of a second directly after the completion of the injection molding process. These results provide important information about the production process and help Qiagen to identify sub-standard pieces almost immediately. For this purpose, the new system measures the walls of each vial at three measuring points before a software establishes the minimum and maximum levels of wall strength with accuracy levels in the micrometer range. Qiagen will use the system for full inspections at its production lines.

### **Faster testing of new pharmaceuticals**

Biologists and pharmacologists test different agents and chemicals to develop new pharmaceutical products, often using fluorescence microscopes to analyze digital-holographic images. These images represent the inspected cells in 3D.



### Neue Pharmazeutika schneller testen

Für neue Medikamente testen Biologen und Pharmakologen verschiedene Wirkstoffe und Chemikalien – vielfach mit Fluoreszenz-Mikroskopen anhand digital-holographischer Aufnahmen. Die untersuchten Zellen erscheinen auf den Aufnahmen dreidimensional. Das Hologramm wird optisch erzeugt, digital aufgenommen und im Computer ausgewertet. Dies erfordert keinen Marker, um die Zellen sichtbar zu machen, denn die Zellen lassen sich anhand der Hologramme berührungslos untersuchen und in lebendem Zustand charakterisieren. Um effizient und verlässlich prüfen zu können, wie die Zellen auf chemische Substanzen reagieren, müssen diese einzeln in die Haltestrukturen eines Mikrofluidik-Chips eingesetzt werden. Es ist jedoch schwierig, die Zellen in die Haltestrukturen zu befördern, häufig werden diese deshalb mit einer Nährlösung hineingeschwemmt. Das hat jedoch oft zur Folge, dass sich mehrere Zellen in einem Hohlraum befinden und kleine wie auch große Zellen hineingespült werden.

Das Fraunhofer IPT kombiniert deshalb die digital-holographische Mikroskopie mit einer optischen Pinzette – einem Laserstrahl, der durch seinen Strahlendruck eine Zelle festhalten oder auch transportieren kann. Mit diesen Werkzeugen lassen sich ausgesuchte Zellen greifen, einzeln in Mikrostrukturen positionieren und dauerhaft festhalten. So können je nach Zelltyp und Untersuchungsmethode 50 bis 80 Prozent des üblichen Aufwands eingespart werden, denn es sind deutlich weniger Serienmessungen gefordert. Zudem können Zellen, die nicht untersucht werden sollen, mit dem Laser auch gezielt zerstört werden.

The hologram is optically generated, digitally recorded and evaluated by the computer. This process does not require the use of a marker to visualize the cells, because the cells can be subjected to non-contact examinations – thanks to the holograms – and characterized when alive. An efficient and reliable analysis of how the cells react to certain chemical substances requires the insertion of the individual cells into the holding structures of a microfluidic chip. Since it is difficult to move the cells into these holding structures, they are commonly entered together with a nutrient solution. As a consequence, however, several cells may be found in a cavity, and small as well as large cells can be swept inside.

In order to provide a more efficient process control, the Fraunhofer IPT has equipped the digital-holographic microscope with an optical tweezer – i.e. a laser beam, which is capable of holding or transporting an individual cell through the pressure of its beam. These tools can grip selected cells, position them individually into micro-structures and hold them permanently in place. Depending on the cell type and the examination method, the time and effort required for the examination can be cut by 50 to 80 percent because of the significantly smaller number of series measurements that must be performed. It is also useful that those cells which have not been selected for any examination can be individually destroyed by the laser tool.

# 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
  - Prozessmanagement in Produktion und Administration
  - Aufbau integrierter Managementsysteme
  - Zertifizierungsvorbereitung
  - Aufbau und Verbesserung von Energiemanagementsystemen
  - Optimierung von Prozessketten in der Fertigung
  - Integrierte ökonomische und ökologische Bewertung
- Risikomanagement
  - Gestaltung von Risikomanagementsystemen
  - Entwicklung von Methoden zur Risikobeurteilung
  - Projektorientiertes Risikomanagement
  - Risikomanagement in Einkauf, Entwicklung und Produktion
  - Risiko-Analysen, z.B. mittels FMEA, FTA, ETA oder DRBFM

### Kontakt/Contact

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
  - Process management in production and administration
  - Development of integrated management systems
  - Preparation for the certification process
  - Design and optimization of energy management systems
  - Optimization of manufacturing process chains
  - Green Quality – Integrated assessment on the basis of economic and ecological criteria (LCA/LCC)
- Risk management
  - Design of risk management systems in compliance with recognized standards (such as DIN ISO 31000)
  - Development of risk assessment techniques
  - Risk management in procurement, development and production
  - Performance of risk analyses, using well-established techniques such as FMEA, FTA, ETA or DRBFM



## Energiemanagement

Die Energiewende in Deutschland führt nicht nur zu steigenden Bezugskosten sondern auch zu neuen Maßnahmen zum Erhalt der Stromnetze. Auf dem Weg zu »Smart Grids« entwickeln und testen Netzbetreiber und Stromanbieter daher flexible Stromtarife und neue Lastmanagement-Programme. In Zukunft ist damit zu rechnen, dass solche Tarife und Programme immer öfter auch produzierenden Unternehmen angeboten werden. Sie profitieren dabei entweder durch Bonuszahlungen oder durch günstigere Einkaufspreise für Strom und Lastspitzen.

Um Unternehmen zu einer gezielten Steuerung und Regelung ihrer Produktionsprozesse auch hinsichtlich des Strombedarfs zu befähigen, hat das Fraunhofer IPT das Konzept eines Energiereglerkreises in der Produktion entwickelt. Er erweitert die Elemente des so genannten Produktionsregelkreises um umfassende Informationen zu Lastmanagement-Programmen und Stromtarifen. Als zentrale Elemente dienen der Leitstand und die Maschinenbelegungsplanung, die durch Energieprofile und zusätzliche nicht-wertschöpfende Anlagen ergänzt werden. So versetzt es den Planer in die Lage, nicht nur die üblichen Zielgrößen wie Auslastung, Termintreue und Durchlaufzeiten, sondern auch Viertelstundenmittelwerte, Verbrauchswerte sowie Strafzahlungen und Boni aus Lastmanagement-Programmen in seine Berechnungen einzubeziehen.

Das theoretische Konzept des Energiereglerkreises, ein mathematisches Modell auf Basis des »Job Shop Scheduling«, eine Simulationsumgebung und eine vergleichbare, prototypische Umsetzung des Energiereglerkreises wurden in der Praxis bereits bei einem Hersteller von Aluminiumwalzband erprobt.

## Energy management

The new German energy policy – the closure of all nuclear power stations and the strong focus on renewables – has not only increased consumer prices but also required new measures to maintain an effective electricity supply system. On the way towards the development of a »smart grid«, the network operators and energy suppliers are currently developing and testing flexible electricity tariffs and innovative load/demand-side management systems. It seems safe to predict that, at some stage in the future, such tariffs and programs will also be increasingly offered to companies in the manufacturing industry, allowing them to benefit from bonus payments or from lower prices for electricity in general or in peak-load periods.

In order to enable companies to exercise control over their production processes – also in terms of their power consumption – more effectively, the Fraunhofer IPT has developed the concept of an ”energy control circuit” for manufacturing environments which complements the features of the so-called ”production control circuit” with comprehensive information about load management programs and electricity tariffs. Key elements are the control station and the machine resource planning to which energy profiles and additional non-value-added equipment are being added. This allows the resource planning manager to look beyond the common target parameters such as usage rate, adherence to scheduling commitments and throughput times, also basing his calculations on 15-minute-averages, consumption figures and penalties/bonus payments from load management programs.

The theoretical concept of the energy control circuit, a mathematical job-shop scheduling model, a simulation environment and a comparable, prototype-based implementation of the energy control circuit have already been industrially tested by a manufacturer of rolled aluminium sheets.

### **Anforderungsmanagement für produzierende KMU**

Aufgrund des hohen internationalen Konkurrenzdrucks stehen kleine und mittlere Unternehmen in Europa vor der Herausforderung, ihre Produktentwicklungsprozesse konsequent hinsichtlich Zeit, Kosten und Erfolgsquote zu optimieren. Gerade die Komplexität mechatronischer Produkte erfordert deshalb einen integrierten Entwicklungsprozess, bei dem die Disziplinen Mechanik, Elektronik und Software ineinandergreifen. Ein mangelhafter oder fehlender Anforderungsmanagement-Ansatz kann eine inkonsistente Konstruktion zur Folge haben und enorme Mehrkosten für Iterationen im Konstruktionsprozess verursachen. Dies wiederum gefährdet Zeit-, Kosten- oder Qualitätsziele in der Produktentstehung. Im transnationalen IGF-Vorhaben »ReqMech« (Förderkennzeichen 65 EN/1) hat das Fraunhofer IPT deshalb gemeinsam mit 25 Forschungs- und Industriepartnern eine softwaregestützte Methodik für das »Requirements Engineering« kleiner und mittlerer Unternehmen im Bereich der Mechatronik entwickelt. Ziel war es, Entwicklungsprozesse für mechatronische Produkte effizienter und sicherer zu gestalten. Um den Produktentwicklungsprozess zu verbessern, erarbeiteten die Projektpartner eine softwaregestützte Methodik mit der sie die vielfältigen Anforderungen systematisch verwalten und unterschiedliche Produktentwicklungsmethoden wie FMEA oder QFD integrieren konnten. Aktuelle Analysemethoden und Features wurden in die softwaregestützte Methodik integriert und sind nun einsetzbar.

### **Studie: Qualitätskultur**

Gemeinsam mit dem Institut für Unternehmenskybernetik (IfU) e.V. an der RWTH Aachen untersuchte das Fraunhofer IPT in der Studie »Qualitätskultur« die Zusammenhänge zwischen der Unternehmenskultur, dem Einsatz verschiedener Qualitätsmanagement-Ansätze und der Produkt- und Prozessqualität. Die Forschungshypothese war, dass es nicht

### **Requirements management for SMEs in the manufacturing industry**

Due to the high levels of competitive pressure in the international business world, small and medium-sized enterprises in Europe face the challenge of having to rigorously optimize their product development processes in terms of time, cost and success rates. Mechatronic products in particular, with their high level of complexity, require an integrated development process that closely combines mechanics, electronics and software. Companies that fail to implement an efficient requirements management process may experience construction inconsistencies and could, ultimately, face additional expenses for iterations in the construction process – which, in turn, jeopardize the time, cost and quality targets of the product development process. This is why the Fraunhofer IPT – together with ten partner organizations from industry and research – has developed a software-assisted "Requirements Engineering" strategy for small and medium-sized mechatronics companies. It was the objective of the transnational IGF project "ReqMech" (contract number 65 EN/1) to design more efficient and safer development processes for mechatronic products. In order to optimize existing product development processes, the project partners developed a software-assisted method that enabled them to systematically manage the large number and broad range of requirements and to integrate different product development strategies such as FMEA and QFD. Common analytical methods and features have been integrated into the software-based method and can now be applied.

### **Study: A culture of high quality**

In the study on "A culture of high quality", the Fraunhofer IPT and the Institute for Management Cybernetics e.V. (IfU) of the RWTH Aachen University analyzed the connections and correlations between corporate culture, the application of different quality management approaches and the quality of products



nur eine einzige optimale Ausprägung von Qualitätskultur gibt, sondern die optimale Unternehmenskultur von jeweils unterschiedlichen Faktoren wie Produktart oder Preissegment abhängt. Ein geeigneter Ansatz für das Qualitätsmanagement sollte deshalb weitere Faktoren berücksichtigen. Als Ergebnis der Studie wurden Merkmale der Unternehmenskultur bestimmt und kategorisiert, die hier Einfluss nehmen. Bestehende Qualitätsmanagementsysteme lassen sich nun um eine Entscheidungsdimension erweitern und können passend zur Unternehmenskultur ausgewählt und eingesetzt werden. Die Ergebnisse der Studie fließen außerdem in ein Software-Tool ein, das als schneller »Unternehmenskultur-Qualitäts-Check« Führungskräften und Qualitätsbeauftragten erste Orientierung bieten soll. Unternehmen gewinnen dadurch eine Entscheidungsgrundlage zur Einführung von Qualitätsmanagement-Methoden.

#### **Studie: Risikomanagement in der Beschaffung**

In einem weiteren Projekt befasste sich das Fraunhofer IPT mit den zentralen Fragen des Risikomanagements in der Beschaffung. Hier wurden kritische Beschaffungsrisiken aufgedeckt und ihre Wirkzusammenhänge, der Status Quo und Trends der Bewertung von Risiken, Risikofolgen und Maßnahmen analysiert.

Ziel des Projekts war es, ein Software-Tool zu entwickeln, mit dem sich Beschaffungsrisiken systematisieren und effizienter aufzuspüren lassen, um Transparenz über mögliche Kosten zu gewinnen. Außerdem wurden Strategien abgeleitet, um die Risiken zielgerichtet zu behandeln. Anhand des Tools lassen sich nun der Wirkungsgrad der Aktivitäten sowie Kosten und Nutzen der risikominimierenden Strategien ermitteln. Die Software soll es Unternehmen erleichtern, eigene Maßnahmen zur Risikominimierung einzuschätzen und genauer zu bewerten.

and internal processes. The hypothesis of the research claimed that there was more than a single variety of a "culture of quality" and that an effective corporate culture had to be customized in each individual case, taking into account factors such as product type and target price range. Correspondingly, it was concluded, a suitable quality management strategy also had to reflect a wide range of factors. As a result of the study, the relevant features of a corporate culture were identified and categorized. It is now possible to widen the scope of existing quality management systems – adding one more level – and to select as well as to implement the right system in close consideration of the existing corporate culture. The results of the study will also provide the basis for the development of a software tool that will enable executives and quality managers to conduct a quick initial "corporate culture quality check". Companies will thus be able to establish a foundation of facts on which they can then decide which quality management method they will want to adopt.

#### **Study: Risk management in procurement**

In another project, the Fraunhofer IPT analyzed the key issues of risk management in procurement, establishing the critical procurement risks and describing their cause-and-effect relationships, the status quo of risk assessment and the current trends in the field as well as the likely impact of risks and possible measures of eliminating them. It was the objective of the project to develop a software tool capable of revealing procurement risks more effectively and of categorizing them systematically, allowing the executives to render the structure of potential costs more transparent. Furthermore, strategies of addressing and of ultimately eliminating risks were also developed. The tool enables the managers now to assess the effectiveness of their activities as well as the costs and the benefits of their risk-reducing strategies. The software has been designed to enable companies to evaluate their risk-reducing programs with a higher level of accuracy.

# 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 gezielt weiterentwickeln und dadurch Differenzierungspotenziale aufbauen. Dabei ist es besonders wichtig, frühzeitig die relevanten Technologien zu identifizieren. Daraus ergeben sich Fragestellungen aus der Industrie, die oft auf dieselben Problemstellungen abzielen. Wir haben daher unsere Geschäftstätigkeit darauf ausgerichtet, Lösungsansätze für diese Fragestellungen zu erarbeiten. Mit der Umstrukturierung unseres Bereiches in die Abteilungen für operatives und strategisches Technologiemanagement haben wir den organisatorischen Rahmen dafür geschaffen, die einzelnen Themen angemessen zu gewichten.

### Unsere Leistungen

- Technologiemanagement-Audit
- 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



### Strategische Technologieplanung

Ein weltweit führendes Medizintechnikunternehmen möchte vor dem Hintergrund wachsender Konkurrenz und der damit zunehmenden Bedeutung von Alleinstellungsmerkmalen eine strukturierte, kontinuierliche Technologieplanung einführen. Ziel ist es, die Innovationsführerschaft zu erhalten und weiter zu stärken. Das Fraunhofer IPT unterstützt das Unternehmen bei der Erstellung eines initialen strategischen Technologieplanungsprozesses. Dabei sollen die technologische Ausrichtung für die nächsten fünf bis zehn Jahre festgelegt, konkrete interne Entwicklungsprojekte abgeleitet und die Überführung in einen kontinuierlichen Prozess vorbereitet werden.

Zunächst wurden in einem Kick-off-Treffen das Zielbild des Projekts abgestimmt und die strategischen Vorgaben aufgenommen. Anschließend erfolgte unternehmensintern die Aufnahme der vorhandenen relevanten technologischen Kompetenzen sowie die Bestimmung des vorläufigen Kernkompetenzprofils. Als Bewertungskriterien dienten dabei unter anderem die relative Leistungsfähigkeit und die Marktattraktivität der technologischen Kompetenz.

Um die in den Kernkompetenzworkshops aufgenommene interne Sichtweise zu validieren und Stoßrichtungen für die technologische Weiterentwicklung abzuleiten, wird nun eine Umfeldanalyse durchgeführt. Gegenstand der Analyse ist die Ermittlung alternativer Produkt- und Produktionstechnologien, die die Wettbewerbsfähigkeit erhöhen sollen. Dazu werden relevante Technologien anhand von Klassifizierungen systematisch betrachtet. Außerdem werden die technologischen Herausforderungen abstrahiert, sodass Analogien in anderen Branchen zu den spezifischen Problemfeldern identifiziert werden können. Die enge und vertrauensvolle Zusammenarbeit mit Fach- und Führungskräften des Unternehmens ist in dieser Projektphase besonders wichtig, um eine umfassende und zielgerichtete Analyse der Betrachtungsbereiche zu ermöglichen.

### Strategic technology planning

A leading international provider of medical technology, having realized the importance of unique selling points to ward off intensifying competition, intends to implement a structured and continuous technology planning function in order to preserve and reinforce his position as an innovation leader. The Fraunhofer IPT is supporting this company and helping it to design an initial strategic technology planning process. The plan is meant to establish a technology strategy for the next five to ten years, provide a blueprint for specific internal development projects and pave the way for the implementation of a continuous management process.

During the kick-off meeting, the targets and objectives of the project were jointly determined, in consideration of the general strategic guidelines, before the client company conducted an internal survey to establish the availability of relevant technological skills and a preliminary core competence profile. Assessment criteria included the relative performance potential and the marketability of the technological competence.

Currently, an analysis is conducted to validate the internal view which had emerged from the core competence workshops and to determine the direction of the future technology development drive. This analysis is searching to establish which alternative product and production technologies may be capable of enhancing the client company's competitiveness. For this purpose, relevant technologies are systematically analyzed on the basis of a classification scheme. Forthcoming technological challenges will be derived in order to identify analogies from other industries to the client company's issues. In this stage of the project, a close coordination with the experts and executives from the client company is particularly important, since a comprehensive and target-oriented analysis of the issues involved can only succeed on a basis of mutual trust and confidence.

Im weiteren Verlauf des Projekts sollen die Ergebnisse der Workshops und der Umfeldanalyse gegenübergestellt werden. Dazu ist ein weiterer Workshop notwendig. An dieser Stelle müssen weitere Unternehmensbereiche eingebunden werden, um die Akzeptanz der Ergebnisse der strategischen Technologieplanung sicherzustellen. Ziel des Workshops sind die Ableitung einer technologischen Vision unter Beachtung der zu Projektbeginn aufgenommenen strategischen Vorgaben sowie die Priorisierung der in der Kernkompetenz- und Umfeldanalyse ermittelten Technologiefelder. Aufbauend darauf soll in den abschließenden Projektschritten die strategische Positionierung des Unternehmens festgelegt und eine Technologieroadmap mit konkreten Umsetzungsmaßnahmen erstellt werden.

#### **Diversifikationsstudie zur Identifikation neuer Märkte**

Gemeinsam mit einem Hersteller für Antriebssysteme führte das Fraunhofer IPT eine Diversifikationsstudie durch. Ziel war es, neue Anwendungsfelder für die Technologien und technologischen Kompetenzen des Unternehmens zu identifizieren, um deren langfristiges Unternehmenswachstum zu gewährleisten.

Zunächst erarbeitete das Fraunhofer IPT mit Fach- und Führungskräften des Unternehmens ein Suchprofil für die zu identifizierenden Anwendungen und definierte dann Kriterien zur Bewertung der Anwendungen sowohl aus technologischer als auch aus marktseitiger Sicht. In einem nächsten Schritt wurde der Betrachtungsbereich nach unterschiedlichen Branchen und Wettbewerbsfeldern strukturiert, beispielsweise »Umwelt und Klima«, »Chemie und Petrochemie« oder »Lebensmittel und Getränke«. Die Recherche nach potenzialträchtigen neuen Anwendungen basierte auf unterschiedlichen Informationsquellen, etwa Experteninterviews sowohl aus Industrie als auch aus der Forschung, wissenschaftlicher Literatur sowie Technologie- und Marktstudien. Die identifizierten Anwen-

In the later stages of the project, the outcome of this business environment analysis and the results from the workshops will be subjected to a comparative inquiry. For this purpose, another workshop will need to be established, and additional departments of the client company will have to be involved in order to ensure that the results from the strategic technology planning are widely accepted. This second workshop will aim to derive a technological vision, based on the strategic guidelines that were identified earlier in the project, and to determine which of the technological domains that were identified in the core competence and business environment analysis will be treated with priority. Finally, as a conclusion of the project, it is planned to determine a strategic positioning of the client company and to draw up a technology roadmap with concrete steps towards an implementation of the planned measures.

#### **Diversification study for the identification of new markets**

In close coordination with a drive systems manufacturer, the Fraunhofer IPT has conducted a business portfolio diversification study to identify new applications for the client company's technologies and technological skills, ensuring the long-term growth perspectives and success of the business.

The Fraunhofer IPT started by establishing a search profile for the future applications, closely cooperating with experts and executives from the client company, before defining technological and commercial criteria for their eventual assessment. As a next step, the field of the analysis was sub-divided according to the different markets and industries, for example "Climate and Environment", "Chemical and Petrochemical Industry" and "Food and Beverages". The search for potentially lucrative applications was based on a wide range of different sources of information, including interviews with experts from



dungen wurden in Form von Steckbriefen dokumentiert. Diese enthalten eine allgemeine Kurzbeschreibung der Anwendung, deren Potenziale und Herausforderungen sowie die Beurteilung anhand der zuvor definierten Kriterien.

Aus einer Vielzahl von Anwendungen wurden zehn aufgrund ihrer Kompatibilität zum Suchprofil als die potenzialträchtigsten beurteilt. Diese wurden in einer Abschlussitzung dem Kunden vorgestellt und gemeinsam diskutiert. Das Fraunhofer IPT hat mit seinem Vorgehen zur Diversifikation eine fundierte Entscheidungsbasis geschaffen und dem Kunden konkrete Handlungsempfehlungen hinsichtlich einer Diversifikation vorgeschlagen.

#### **Technologie- und Marktpotenzialanalyse – Themenfeld »Erneuerbare Energien«**

Gemeinsam mit einem Technologiekonzern führte das Fraunhofer IPT eine breit angelegte Markt- und Technologiestudie zum Themenfeld »Erneuerbare Energien« durch. Ziel war es, eine fundierte Informationsbasis für die Bewertung der Markt- und Technologieattraktivität von Wind- und Solarenergie sowie Biogastechnologien zu schaffen – vor dem Hintergrund eines zukünftigen Markteinstiegs des Unternehmens.

In enger Kooperation mit dem Konzern wurden nach einer Grobrecherche und Vorbewertung aus den verschiedenen Suchfeldern die attraktivsten Technologiefelder identifiziert. Für diese wurde im weiteren Verlauf eine Detailrecherche durchgeführt. Hier erfolgte eine gezielte Erhebung und Auswertung technologie- und marktseitig relevanter Informationen. Dazu zählten unter anderem die grundsätzliche Funktionsweise einzelner Technologien, deren Reifegrade, Treiber und Hemmnisse, die Marktgröße und das zu erwartende Marktwachstum. Abschließend wurden die Technologien in einer Portfolioanalyse anhand vorher definierter Bewertungs-

research institutions and manufacturing corporations, scientific literature, technology studies and market research. Promising applications were documented in the form of brief profiles which featured a short description of the application, its potential, anticipated challenges and an assessment that was based on the previously defined criteria.

Finally, the ten applications with the most significant potential were identified on the basis of their compatibility with the search profile, presented to the client company and discussed in the project's concluding session. The business portfolio diversification study of the Fraunhofer IPT represents a basis for well-informed corporate decisions, providing the client company with factually based recommendations of how to diversify its customer portfolio.

#### **Analysis to establish the technology and commercial potentials of "renewable energies"**

In close coordination with a technology corporation, the Fraunhofer IPT has conducted a broad inquiry into the technological and commercial potential of "renewable energies". The study aimed to provide a solid foundation of factual information for the assessment of the technological viability and marketability of wind power, solar energy and biogas technologies – under the perspective of the client company's intention to launch products of its own on this market.

Following an initial basic search and a pre-assessment, the Fraunhofer IPT and its client corporation selected the most promising technologies from the various areas. These were then subjected to a far more detailed analysis including the acquisition and evaluation of technologically and commercially relevant data such as the fundamental operating principles of the individual technologies, their degree of technological maturity, drivers, potential drawbacks and the size of the market

kriterien einander gegenübergestellt und mit dem Kunden intensiv diskutiert. Schließlich wurde eine erste Roadmap für Technologien aus der Solar- und der Biogasindustrie entwickelt, mit der zeitlichen Abbildung konkreter, umzusetzender Maßnahmen für einen möglichen Markteintritt.

### **Konsortial-Benchmarking im Technologiemanagement**

Bereits zum vierten Mal führte das Fraunhofer IPT mit einem hochkarätig besetzten Industriekonsortium ein Benchmarking im Technologiemanagement durch. Beteiligt waren die Aesculap AG, Alstom (Schweiz) AG, Bosch Diesel Systems (Robert Bosch GmbH), Daimler AG, Mibelle AG, Miele & Cie. KG, MTU Friedrichshafen GmbH, Roche Diagnostics GmbH, Schaeffler Technologies AG & Co. KG und V-Zug AG.

Die Konsortialpartner legten zu Beginn des Projekts anhand eigener Fragen und Herausforderungen die thematischen Schwerpunkte für die Benchmarking-Untersuchung fest. Auf dieser Basis wurden Unternehmen in Europa schriftlich befragt und einer Analyse unterzogen. Das Fraunhofer IPT identifizierte in einem bewährten Auswertungs- und Auswahlprozess fünf Unternehmen, die über besonders erfolgreiche Vorgehensweisen im Technologiemanagement verfügten und eine Auszeichnung zum »Successful Practices im Technologiemanagement« erhielten: 3M Deutschland GmbH, Infineon Technologies AG, Johnson Controls Automotive Seating, Oerlikon Leybold Vacuum GmbH, Rolls-Royce plc.

Neben den Siegern brachte die Benchmarking-Studie zehn Erfolgsfaktoren hervor, die über Erfolg und Misserfolg im Technologiemanagement entscheiden:

- Strukturen sind gut, Kultur macht den Unterschied
- Technologiemanager fallen nicht vom Himmel
- Mut, die eigene Zukunft zu gestalten

as well as its likely future growth rate. Finally, the technologies were compared with one another in a portfolio analysis, based on previously defined assessment criteria, and the results of this exercise were discussed with the client enterprise. On the basis of these results and the discussions, an initial roadmap for solar and biogas technologies was developed, which identified concrete steps on the way to a possible market launch and also featured a schedule.

### **Consortium benchmarking in technology management**

The fourth technology management benchmarking exercise conducted by the Fraunhofer IPT featured yet another high-calibre consortium of industrial corporations which included Aesculap AG, Alstom (Switzerland) AG, Bosch Diesel Systems (Robert Bosch GmbH), Daimler AG, Mibelle AG, Miele & Cie. KG, MTU Friedrichshafen GmbH, Roche Diagnostics GmbH, Schaeffler Technologies AG & Co. KG, and V-Zug AG.

At the beginning of the project, the consortium partners established the agenda for the benchmarking survey, resting on their own questions and practical challenges. Based on this list, questionnaires were compiled and sent to companies across Europe. Having studied and analyzed the replies, the Fraunhofer IPT – on the basis of its proven assessment and evaluation technique – then awarded prizes to five companies with specifically "Successful Practices in Technology Management": 3M Deutschland GmbH, Infineon Technologies AG, Johnson Controls Automotive Seating, Oerlikon Leybold Vacuum GmbH, and Rolls-Royce plc.

Based on the results of the benchmarking study, the Fraunhofer IPT also identified the key factors of a successful technology management system, distilling them into ten recommendations:



- NetWORKING – Netzwerke systematisch bearbeiten
- »Open Innovation« ist auch die Kunst, die richtigen Fragen zu stellen
- Technologien kennen keine Branchengrenzen
- Technologieplattformen als Baustein der Innovationsfähigkeit verstehen
- Vorsprung durch moderne IT schaffen
- Erfolg von Technologiemanagement mittels Indikatoren sichtbar machen
- Technologiemanagement kontextspezifisch weiterentwickeln

Die Benchmarking-Ergebnisse zeigen nicht zuletzt einen klaren Wandel auf: Die Bedeutung und Stellung von Technologiemanagement im Unternehmen emanzipiert sich von einer Support-Funktion zum Treiber der Unternehmensentwicklung – dies spiegelt sich im Unternehmen auch durch entsprechende Mitarbeiter in den Chefetagen wider.

### **Materialkostenoptimierung im Einkauf mit Performance Pricing**

Für ein großes mittelständisches Unternehmen, das Systemlösungen für verschiedene Branchen anbietet, führte das Fraunhofer IPT gemeinsam mit dem Einkauf des Unternehmens eine Materialkostenoptimierung für zwei verschiedene Bauteilgruppen durch.

Ziel des Projekts war unter anderem die Pilotanwendung der Methode des »Performance Pricing« im Unternehmen. Mit dieser Methode, die das Fraunhofer IPT weiterentwickelt hat, sollten innerhalb eines Jahres konkrete Kosteneinsparungen erreicht werden.

Mit Hilfe des Performance Pricing kann eine hohe Transparenz über Einkaufspreise und zugrunde liegende Kostenstrukturen hergestellt werden. Dies ist eine wichtige Voraussetzung zur Identifikation technischer und kommerzieller Kostenpotenziale

- Structures are good, but it is the corporate culture that makes the difference
- Technology managers do not suddenly materialize out of thin air
- You need the courage to determine your own future
- NetWORKING is the systematic cultivation of networks
- "Open Innovation" also means the art of asking the right questions
- Technologies do not respect any boundaries between different industries
- You need to understand technology platforms as elements of the ability to innovate
- Sophisticated modern IT systems can create a competitive edge
- Use indicators to demonstrate the results of a successful technology management
- Adjust the development of your technology management function to its specific context

The results of the benchmarking study indicated a clear trend: corporate technology management is increasingly evolving from a supporting function into a driving force behind the development of the enterprise – something that is also reflected by the composition of many a Board of Directors.

### **Optimizing material procurement costs through "Performance Pricing"**

On behalf of a large SME provider of system solutions for different industries, the Fraunhofer IPT has performed a material cost optimization for two groups of components. The project, jointly conducted by the Fraunhofer IPT and the client company's sourcing department, also aimed to subject the "Performance Pricing" method to an extended practical trial. The objective was to use the method, which had been further developed for this purpose by the Fraunhofer IPT, to generate significant cost savings within one year.

und damit ein wesentlicher Erfolgsfaktor im Einkauf. Allerdings fehlten dem Einkauf des Unternehmens das erforderliche Methodenwissen sowie Tools und Prozesse zur schnellen Erstellung von Kostentransparenz und zielgerichteten Auswahl von Bauteilen zur detaillierten Kostenanalyse.

Es wurden zunächst zwei Teilefamilien ausgewählt, für die die Pilotanwendung durchgeführt werden sollte. Wichtig bei der Auswahl war, dass es sich um homogene Bauteilgruppen handelte, die ähnliche Eigenschaften und Features besitzen und durch gleiche Parameter beschrieben werden können.

In einem Workshop mit den zuständigen Einkäufern und Entwicklern wurden relevante Funktions- und Kostentreiber der Teilefamilien identifiziert und dann die benötigten Daten aus der Entwicklung abgefragt und ausgewertet. Auf Grundlage der Datenbasis wurden Analysecharts erstellt, geprüft und gemeinsam mit Einkauf und Entwicklung erste Ergebnisse interpretiert.

Für eine Teilefamilie stellte sich das Performance Pricing als sehr geeignet heraus. Es konnte aufgezeigt werden, dass der aktuelle Hauptlieferant in vielen Leistungsbereichen eine intransparente Bepreisung aufwies und bei vergleichbarer Leistung deutlich teurer im Verhältnis zu Mitbewerbern war. Mit Hilfe der Analysen des Fraunhofer IPT konnte dem Lieferanten die Notwendigkeit für eine Preissenkung nachvollziehbar deutlich gemacht werden und es wurden Einsparungen von knapp zehn Prozent des gesamten betrachteten Beschaffungsvolumens erzielt.

Die zweite Bauteilgruppe stellte sich als weniger geeignet für das Performance Pricing heraus, da es sehr viele Varianten mit vielen unterschiedlichen Spezifikationen gab. Des Weiteren

Performance Pricing is capable of bringing transparency into purchase prices and underlying cost structures. This in turn is a key condition for the successful identification of technological and commercial cost potentials and therefore an essential ingredient of an effective procurement strategy. The client company's sourcing department, however, lacked the knowledge, the tools and the processes that are required to ensure immediate cost transparency and a target-oriented selection of components for a detailed cost analysis.

As a first step, two groups of components were selected for the trial. It was important to pick homogeneous component groups with similar properties and features that could be described by identical parameters.

In a workshop that was attended by the client's product development and procurement managers, the functions and cost drivers of the component groups were identified before the required data were acquired from the development department for further evaluation. Based on these data, analytic charts were compiled and assessed, and initial results were interpreted in close coordination with the product development and procurement departments of the client company.

Performance Pricing was found to be highly useful for one of the two component groups. It was demonstrated that the price structure of the current main supplier lacked transparency in many key performance areas and that his prices were far higher than those for products with comparable performance parameters from his competitors. With the assistance of the Fraunhofer IPT's analyses, the client company managed to convince its main supplier of the need to reduce his prices, and they ultimately managed to cut the acquisition price for the total procurement volume by nearly 10 %.



stellte sich die Beschaffung der technischen Daten ebenfalls als schwierig heraus, da keine einheitliche Datenbasis vorhanden war. Das Fraunhofer IPT griff deshalb auf alternative Kostenanalysemethoden zurück. Mit Unterstützung der Entwicklung wurde anhand kritischer technischer Parameter eine umfassende Variantenanalyse durchgeführt. Auch hier konnten Einsparpotenziale in beträchtlicher Höhe von circa sechs Prozent aufgezeigt werden, unter anderem durch Variantenreduktion, Lieferantenwechsel und technische Entfeinerungen.

Das Fraunhofer IPT verfügt über langjährige Erfahrung bei der Preis- und Kostenanalyse von technischen Beschaffungsgütern. Mit leistungsstarken Methoden wie dem Performance Pricing unterstützt das Fraunhofer IPT den Einkauf bei der Analyse großer Einkaufsvolumina sowie der Ableitung und Umsetzung von kaufmännischen und technologischen Verbesserungsmaßnahmen. So kann eine nachhaltige Stärkung der Verhandlungsposition gegenüber Zulieferern erreicht werden.

The second component group was found to be less suitable for the Performance Pricing assessment strategy, since there were many different models with a wide range of specifications. In the absence of a standardized basis for the data it was also difficult to acquire technological information. The Fraunhofer IPT therefore decided to use alternative cost analysis methods and, with the help of the product development department, performed a comprehensive variant analysis on the basis of critical technical parameters. The survey revealed a cost-cutting potential of roughly six percent. The measures recommended to exploit this potential included a reduction in the number of variants, a change of suppliers, and technical simplifications.

The Fraunhofer IPT has many years of experience in the performance of price and cost analyses of technological goods. It uses tried and proven methods such as Performance Pricing to support procurement departments in the conduct of analyses for large purchase volumes and in the development and implementation of both technological and commercial improvements, strengthening the positions of client companies in their negotiations with suppliers.

**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.

#### **122 Paderborn**

Fraunhofer-Projektgruppe Entwurfstechnik Mechatronik  
Fraunhofer Project Group Mechatronic Systems Design

#### **126 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 spezialisiert auf Entwurfstechniken, um den Wandel hin zu intelligenten mechatronischen Produkten und Produktionssystemen zu beschleunigen. Neben Forschungs- und Entwicklungsarbeiten gehören der Wissenstransfer, Angebote zu Fachtagungen und Weiterbildungsmaßnahmen, Beratungsleistungen und die Unterstützung bei der Erschließung neuer Technologien zum Leistungsangebot der Projektgruppe. Hierzu werden, häufig in Kooperation mit Industriepartnern, intelligente Produkte, Produktionssysteme sowie Dienstleistungen entwickelt, die sich durch Ressourceneffizienz, Usability und Verlässlichkeit auszeichnen. Die Fraunhofer-Projektgruppe Entwurfstechnik Mechatronik ist Teil des Forschungs- und Entwicklungsclusters »Zukunftsmeile Fürstenallee« in Paderborn. Sie ist eng mit dem Heinz Nixdorf Institut der Universität Paderborn verbunden, indem sie Ergebnisse aus der Grundlagenforschung anwendergerecht in die Praxis transferiert.

## Unsere Leistungen

- 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
- Anforderungsspezifikation mit Satzmustern

## 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 aims to accelerate the trend towards intelligent mechatronic products and production systems. In addition to research and development work, the service range of the project group includes knowledge transfers, the organization of congresses and training courses, technology consultancy services and the provision of support for the exploration of innovative technologies. For this purpose, it develops – often in close cooperation with industrial corporations – intelligent products, production systems and services that are distinguished by resource efficiency, usability and reliability. The Fraunhofer Project Group for Mechatronic Systems Design is part of the research and development cluster "Zukunftsmeile Fürstenallee" (a "road for the future") in the west German town of Paderborn. It is closely linked with the Heinz Nixdorf Institute, converting results from basic research – in line with user requirements – into an industrial production environment.

## Our services

- Performance improvements in software development
- Requirements engineering
- X-in-the-loop: development and test environments
- Model-based systems engineering
- Performance improvements using virtual prototyping and simulations
- Integrated mechatronic systems by 3D-MID
- Intelligent control of production plants
- Modelling, simulation and virtualization
- Integrated, model-based software development processes
- Requirement specifications incl. sets of samples



Ein steigender globaler Wettbewerbsdruck und die Individualisierung der Produktion bis hin zur Fertigung von Einzelstücken fordern immer flexiblere Produktionsanlagen. Die Vernetzung der virtuellen und realen Produktion ist dabei ein Schlüsselfaktor. Für Deutschland als hochspezialisierten Produktionsstandort sowie Standort führender Fabrikaurüster und Technologiespitzenreiter im Bereich der eingebetteten Systeme ergeben sich hier vielversprechende Perspektiven, die neuerdings unter dem Begriff »Industrie 4.0« zusammengefasst werden.

Abläufe in der »Industrie 4.0« zeichnen sich durch Transparenz, Anpassungs- und Wandlungsfähigkeit sowie eine hochgradige unternehmensübergreifende Vernetzung entlang von Wertschöpfungsketten aus. Eine solche flexible Fertigung hilft entscheidend dabei, Produktionsprozesse standortübergreifend zu optimieren. Während Maschinen lange Zeit auf bestimmte Arbeitsabläufe festgelegt waren, können sie heute eigenständig auf sich ändernde Anforderungen reagieren und sich selbstständig optimieren.

#### **it's OWL-ReSerW – Ressourceneffiziente selbstoptimierende Wäscherei**

Das Innovationsprojekt »it's OWL-ReSerW«, das im Rahmen des Spitzenclusters »Intelligente technische Systeme – it's OWL« im Oktober 2012 gestartet ist, beschäftigt sich mit der Optimierung industrieller Großwäschereien. Maschinen, die in solchen Anlagen zum Einsatz kommen, sind mit den aus Haushalt oder Reinigungen bekannten nicht zu vergleichen, da sie völlig anderen Anforderungen bezüglich Durchsatz, Hygiene und Waschergebnis standhalten müssen. Um einen möglichst effizienten Betrieb der Wäscherei zu erreichen, ist eine optimale Abstimmung der Betriebsparameter auf die ankommende Wäsche nötig. Innerhalb des Innovationsprojekts sollen deshalb intelligente Regelungs-, Steuerungs- und Optimierungsstrategien entwickelt werden, die das Zusammenspiel

Growing competitive pressures on the global markets and the increasing demand for customized products – down to the production of single pieces – require highly flexible production plants. One key factor in this is the cross-linking of virtual and real production facilities. The development of "Industry 4.0" opens up many interesting perspectives for a country like Germany, the home of many highly specialized industrial manufacturers, of leading engineering companies and of technology leaders in the field of embedded systems.

The processes of this "Industry 4.0" will be transparent, flexible (easy to adjust to changing conditions and requirements) and integrated along value-added chains involving many different companies. Such a flexible manufacturing operation will help to optimize production processes in all facilities involved. While, for many years, machines had been designed to perform a clearly defined range of functions, today they are enabled to react to changing conditions and requirements and are increasingly capable of optimizing themselves.

#### **it's OWL-ReSerW – Resource-efficient, self-optimizing laundry facility**

The innovation project "it's OWL-ReSerW", which started in October 2012 as part of the leading-edge cluster "Intelligent Technology Systems – it's OWL", intends to optimize industrial-scale laundry facilities. These facilities are using equipment that cannot be compared with any of the washing machines that we know from our own households or even from professionally operated laundrettes and dry cleaning companies since they are subject to entirely different requirements in terms of throughput rates, hygiene and results. The operational parameters must be accurately adjusted to the amounts of laundry that need to be processed in order to ensure that the facility is operating at the level of optimum efficiency. The innovation project therefore aims to develop intelligent control and optimization strategies which can improve the interaction

der Maschinen mit den entsprechenden Prozessen verbessern. Aufgrund der prozessorientierten Struktur der Anlagen bestehen konzeptionelle Analogien zu Produktionssystemen. Durch Simulationsmodelle, die zum Beispiel den Materialfluss beschreiben, können sowohl die Konzipierung als auch der Betrieb der Anlagen optimiert werden. Die Fraunhofer-Projektgruppe Entwurfstechnik Mechatronik übernimmt an dieser Stelle die Modellbildung über verschiedene Ebenen der Anlage hinweg. Dabei werden die Prozesse zunächst abstrakt beschrieben und den ausführenden Ressourcen zugeordnet. Auf einer darunterliegenden Ebene können die technischen Beziehungen zwischen den Ressourcen dargestellt werden. Auf Basis dieser konzeptionellen Beschreibung konzentrieren sich Arbeiten auf den Aufbau eines simulationsfähigen Modells auf Gesamtsystem-Ebene.

Eine weitere Herausforderung bietet die Handhabung von Wäsche: Vor allem Krankenhauswäsche kann aufgrund starker Verunreinigungen Gefahren für das Wäschereipersonal bergen. Die Vorsortierung verschmutzter Krankenhauswäsche in der Wäscherei ist deshalb in Deutschland gesetzlich untersagt. Jedoch kann die Wäsche möglicherweise auch nach der Reinigung noch gefährliche Fremdkörper enthalten. Ein weiteres Ziel des Innovationsprojekts ist deshalb die Entwicklung eines intelligenten Greifroboters, der durch leistungsfähige Bildverarbeitungsalgorithmen auf die speziellen Einsatzbedingungen in einer industriellen Wäscherei zugeschnitten ist. Die Fraunhofer-Projektgruppe Entwurfstechnik Mechatronik hat hier erste Konzepte erarbeitet, die jetzt konkretisiert werden. Das nächste Ziel ist dann die prototypische Umsetzung der Konzepte.

### **Selbstkorrigierende Fertigungsprozesse**

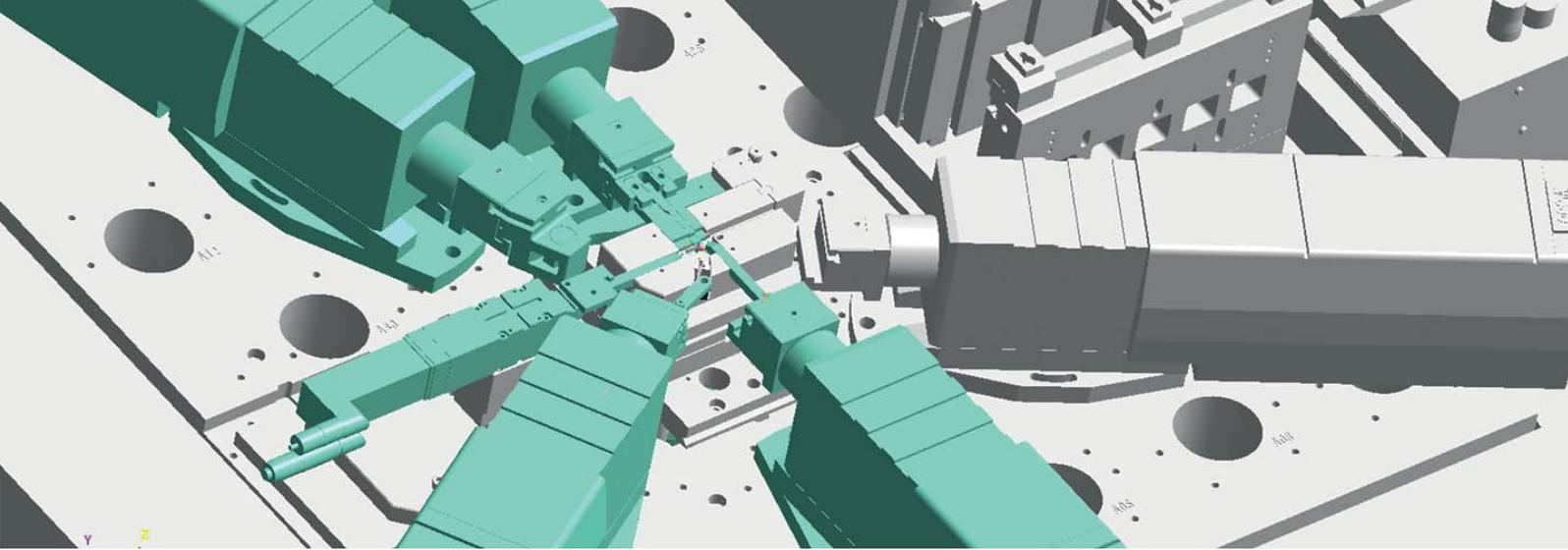
Gemeinsam mit der Paul Hettich GmbH & Co. KG beschäftigen sich die Fraunhofer-Projektgruppe Entwurfstechnik Mechatronik, der Lehrstuhl für Umformende und Spanende

between the machines and the corresponding processes. Due to the process-oriented structure of the equipment, there are certain conceptual analogies with production systems. Simulation models that describe the material flow, for example, may serve to optimize the conceptual design or the operation of the facility. The Fraunhofer Project Group for Mechatronic Systems Design models the system across different levels of the facility, starting by describing the processes in abstract terms and assigning them to the resources that are tasked with performing them. The technical relationship between the individual resources can be outlined on a lower level. On the basis of such a conceptual description, further works concentrate on the construction of a simulation model which represents the entire system.

The laundry itself may pose another problem: hospital bed sheets in particular can be so heavily soiled that they represent a substantial health risk for the members of staff. This is why the law in Germany prevents laundries from pre-sorting soiled hospital laundry. But such items can contain harmful bacteria even after they have been washed. This is why the innovation project is also aiming to develop an intelligent gripping robot, customized by high-performance imaging algorithms to the specific working conditions and requirements of a large professional laundry facility. The Fraunhofer Project Group for Mechatronic Systems Design has completed initial conceptual designs which are currently in further development. The next milestone of this project is the development of a prototype capable of implementing the group's concepts.

### **Self-correcting production processes**

As part of the leading-edge cluster "Intelligent Technology Systems – it's OWL", the Fraunhofer Project Group for Mechatronic Systems Design is developing self-correcting production processes, together with Paul Hettich GmbH & Co. KG, the Institute for Forming and Machining Production Technology at



Fertigungstechnik der Universität Paderborn (LUF) und das Exzellenzcluster »Cognitive Interaction Technology (CITEC)« der Universität Bielefeld innerhalb des Spitzenclusters »Intelligente technische Systeme – it's OWL« mit selbstkorrigierenden Fertigungsprozessen.

Hersteller biegeumformtechnischer Massenprodukte werden heute mit hohen Anforderungen an Preis und Qualität konfrontiert. Das Innovationsprojekt hat sich deshalb das Ziel gesetzt, Technologien der Selbstkorrektur in die auch heute häufig noch rein mechanisch gesteuerten Anlagen zu implementieren. Die Anlage kann dadurch selbstständig Schwankungen im Prozess erkennen und korrigierend darauf einwirken. Der Ausschuss einer Produktion kann so – bei gleichzeitig höherer Ausbringungsrate – auf ein Minimum verringert werden. Durch Senken des Toleranzbands der Umformteile verbessert sich außerdem die Qualität.

In den bisherigen Arbeiten wurde ein neuer Ansatz der Prozessmodellierung unter Zuhilfenahme der Mehrkörpersimulation (MKS) weiterentwickelt. Diese Simulation fokussiert gegenüber der klassischen FEM-Simulation die reine Umformgeometrie des Bauteils und die Aktorik der Anlage. In einem weiteren Schritt wird der Prozess einer Sensitivitätsanalyse unterzogen, um ausschlaggebende Umformschritte für die Regelung des Umformprozesses zu identifizieren. Als Grundlage dient das zuvor aufgestellte MKS-Modell. Dadurch können nicht nur umfangreiche und zeitintensive Versuchsreihen entfallen, sondern sogar die bisherige physisch vorhandene Anlage für die Versuche. Vorteilhaft ist auch, dass noch vor Inbetriebnahme der Anlage die Regelung ausgelegt und ein Funktionsnachweis erbracht werden kann.

the University of Paderborn (LUF) and the Excellence Cluster for Cognitive Interaction Technology (CITEC) at the University of Bielefeld.

On today's markets, the manufacturers of large series of bend-formed products need to supply high quality at low prices. This is why the innovation project has been designed to implement self-correction technologies into existing production equipment much of which is still – even today – mechanically controlled. Such technologies enable the machine to recognize fluctuations in the process and to take corrective action on its own, without any external intervention, reducing the number of rejects significantly even at an increased output rate. By reducing the range of permissible variation in the formed parts, it is additionally possible to improve the product quality.

So far, the work has concentrated on further developing a new process modelling approach, using multi-body simulation techniques. This simulation technique concentrates, in contrast to the classic FEM simulation, on the transforming geometry of the component and the machine's actuator system. As a next step, the process is subjected to a sensitivity analysis in order to identify the essential forming operations for the control system of the forming process, based on the multi-body simulation model. This allows to dispense with not only comprehensive and time-consuming series of experiments but even with any physical experimental facility altogether. It is equally beneficial that the control system can be designed and customized before the facility is put into operation and that the full functionality can be demonstrated.

# 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



### **Exzentrisches Positioniersystem für das Präzisions-schleifen von Innenflächen**

Das Präzisions-Innenschleifen ist ein Prozess, der bei der Herstellung runder oder zylindrischer Oberflächen aus harten Materialien zum Einsatz kommt. Oft macht das Innenschleifen bei der Fertigung von Zahnrädern und Lagern bis zu 30 Prozent der Herstellungskosten aus. Ein neues System zum Schleifen von Innendurchmessern, mit dem es gelingen könnte, diese Kosten bei gleicher oder besserer Qualität zu senken, könnte am Markt großen Anklang finden. Das Fraunhofer CMI entwickelt deshalb gemeinsam mit einem Partnerunternehmen aus der Industrie ein neues dreiaxsiges Positioniersystem für das Innenschleifen, das sowohl lineare Bewegungen in X- und Y-Richtung ausführen als auch unterschiedliche Zustellwinkel auf der B-Achse einnehmen kann.

Dieses System verfügt über eine völlig neue, exzentrisch gelagerte Spindel, die beliebige Bahnbewegungen innerhalb des X-, Y- und B-Koordinatenraums ausführen kann. Der Ansatz des Fraunhofer CMI verspricht einige Pluspunkte für das Innenschleifen: Indem in der Spindel Wälzlager zum Einsatz kommen und so auf hydraulische Systeme für hydrostatische Lager verzichtet werden kann, verringern sich Komplexität, Energieverbrauch und Kosten für den Maschineneinsatz. Auch verbessert sich die Leistungsfähigkeit des Gesamtsystems, da es durch die integrierte Positioniereinheit gelingt, in Echtzeit Messdaten über die Kräfte und Ablenkung der Spindel zu gewinnen. Damit lässt sich nicht nur die Bewegung der Schleifwerkzeuge kompensieren, sodass ein optimaler Rundlauf gegenüber dem Werkstück gewährleistet ist und die Genauigkeit sich verbessert. Die Möglichkeit zu flexiblen Wechseln zwischen Vorschub und kontrolliertem Andruck verkürzen außerdem die Fertigungszeiten.

### **Eccentric Positioning System for I.D. Grinding**

Precision internal grinding is a process used in manufacturing round or cylindrical internal surfaces on hardened materials. It is often used in the production of gears and bearings, and can account for 30 % of their cost of manufacture. A new internal diameter (I.D.) grinding system which reduces grinding costs while maintaining or improving part quality would have broad market appeal. The Fraunhofer CMI is developing, jointly with its sponsor, a new three axis positioning system capable of linear (X, Y axes) and angular (B axis) motions for I.D. grinding.

This system has a novel and unique implementation, using eccentric rotary bearing spindles, that allows arbitrary trajectory motion within the X, Y, and B coordinate space. The new approach provides several advantages to I.D. grinding machines. The use of rolling element bearings in the spindles will reduce the cost and complexity of grinding machines by eliminating hydraulic systems for hydrostatic bearings, and reduce their energy consumption as well. The performance of the equipment will also improve, as the integrated linear and angular positioning would allow real time measurement of forces and grinding spindle deflection. This not only allows grinding wheels to be compensated to run true to the workpiece, improving part accuracy, but allows instant transition between "rate-feed" and "controlled force" grinding, to reduce part production time.

The system is currently under development at the Fraunhofer CMI. Detailed mechanical design of the eccentric positioning system is underway. Finite Element Analysis is used to optimize the stiffness of the system and placement of the fluid dampers. The system is being engineered for retrofit onto a commercial I.D. grinder base for workholding and test purposes.

Zurzeit entwickelt das Fraunhofer CMI den mechanischen Aufbau des exzentrischen Positioniersystems. Finite-Elemente-Analysen dienen dazu, die Steifigkeit des Systems zu optimieren und die Fluiddämpfer zu platzieren. Später soll es dann an kommerziell erhältliche Schleifwerkzeughalter für das Innenschleifen angepasst und erprobt werden.

### Probenentnahme von Pflanzen

Das Fraunhofer CMI hat ein System entwickelt, mit dem sich Gewebeproben von lebenden Maispflanzen für genetische Tests automatisiert entnehmen lassen. Die Jungpflanzen, die in hydroponischen Paletten aufwachsen, werden automatisiert aus ihren Gefäßen befreit und zur Probenentnahme befördert. Ein speziell entwickelter Algorithmus stellt sicher, dass sich das Blattmaterial auf einer Vakuumplatte optimal ausbreitet. Ein speziell entwickeltes optisches Messsystem stellt dort fest, ob die vorhandene Menge an Pflanzenmaterial für die Entnahme einer Gewebeprobe ausreicht. Dazu orientiert sich das System selbstständig an dem größten verfügbaren Blatt. Ein CO<sub>2</sub>-Laser, kombiniert mit einem X-Y-Scankopf, schneidet dann ein entsprechendes Stück von der Pflanze an der richtigen Stelle aus.

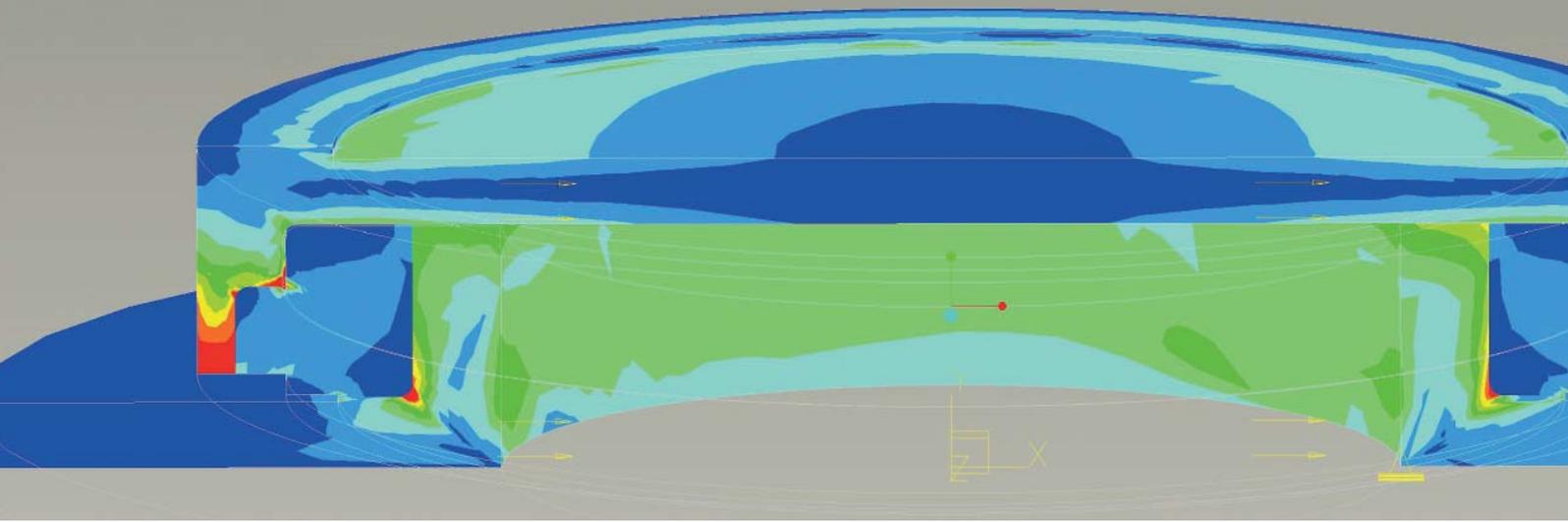
Die Proben werden für den DNA-Test auf einer Mikrotiterplatte platziert. Eine zentrale Datenbank stellt sicher, dass jede Probe sich zu der dazugehörigen Pflanze zurückverfolgen lässt. Die Pflanzen, an denen erfolgreich Proben entnommen werden konnten, sortiert das System in Paletten für die Weiterverarbeitung. Die Pflanzen, die für die Probenentnahme noch zu klein waren, kommen in einer separaten Aufzuchtpalette in das Gewächshaus zurück, damit sie vor dem nächsten Versuch der Probenentnahme noch ein wenig wachsen können.

### Sampling of Plant Tissue

The Fraunhofer CMI has designed and built a system to automatically take tissue samples from live corn plants for genetic testing. The young plants, which are grown in hydroponic plugs, are automatically removed from plant trays and transported to the sampling location. An optimized algorithm ensures the leaf material to be spread out on a vacuum chuck. This presents the leaves to a sophisticated vision system which determines if there is sufficient leaf material to take a defined sized sample. The sample shape is optimized based on the width of the largest available leaf. A CO<sub>2</sub> laser, combined with an X-Y scan head is used to then cut the sample at the determined location.

The separated samples are placed in micro titer plates for bulk DNA testing. Integration into a central sample database ensures the traceability of each sample back to the corresponding plant. The plants that were successfully sampled are placed in outgoing trays while those which are too small to be sampled are placed on a separate tray. This tray, called a hospital tray, is then returned to the green house to be re-sampled at a later date.

Using this system, the Fraunhofer CMI was able to significantly improve the sampling throughput of the client's sampling process over the previously-used manual operations. More importantly, the automatic process produces a significantly more repeatable sample size than the manual sampling process. This allows better quantification during DNA testing. The use of bar code readers which automatically identify both plant trays and sample titer plates, along with the database integration, ensure global traceability of each sample and plant throughout the whole process.



Mit diesem System gelingt es dem Fraunhofer CMI, den Durchsatz bei der Probenentnahme für den Kunden gegenüber der manuellen Tätigkeit deutlich zu erhöhen. Was noch wichtiger ist: Die Größe der Proben ist deutlich gleichmäßiger als bei der manuellen Probenentnahme, sodass die Menge der zu untersuchenden DNA wesentlich weniger schwankt. Durch den Einsatz von Barcode-Lesegeräten lassen sich außerdem die Pflanzgefäße den Titerplatten automatisch zuordnen und die Datenbank unterstützt eine weltweite Rückverfolgung jeder einzelnen Probe zurück zur Pflanze während des gesamten Untersuchungsprozesses.

**EREIGNISSE, PUBLIKATIONEN, REFERENZEN**  
**EVENTS, PUBLICATIONS, REFERENCES**



- 132 **Konferenzen**  
Conferences
- 136 **Ehrungen**  
Awards
- 138 **Messen**  
Fairs
- 139 **Veröffentlichungen 2013**  
Publications 2013
- 150 **Dissertationen 2013**  
Dissertations 2013
- 151 **Referenzen**  
References

# KONFERENZEN

## CONFERENCES

30. Januar 2013

### **Abschlusskonferenz des Konsortial-Benchmarkings im Technologiemanagement**

Auf einer eintägigen Abschlusskonferenz stellte das Fraunhofer IPT gemeinsam mit einem hochkarätigen Industriekonsortium die fünf besten Unternehmen seines europäischen Benchmarkings im Technologiemanagement vor. Ziel des Projekts war es, besonders erfolgreiche Ansätze und Konzepte im Technologiemanagement führender europäischer Unternehmen zu identifizieren. Für ihre herausragenden Leistungen zeichnete das Fraunhofer IPT die Oerlikon Leybold Vacuum GmbH, die 3M Deutschland GmbH, Rolls Royce PLC, Johnson Controls Automotive Seating sowie die Infineon Technologies AG als »Successful Practices« aus. Das Fraunhofer IPT ermittelte die Besten des Vergleichs in Zusammenarbeit mit einer Jury aus Leitern des Technologiemanagements und Mitgliedern der Forschung und Entwicklung erfolgreicher internationaler Unternehmen, die zugleich das Konsortium des Projekts stellten. Während der Abschlusskonferenz stellte Professor Günther Schuh die Projekterkenntnisse in Form von zehn handlungsleitenden Thesen zum Technologiemanagement vor. Wie eine erfolgreiche Umsetzung in der Praxis aussehen kann, präsentierten die Sieger-Unternehmen in jeweils eigenen Vorträgen und wurden anschließend durch Professor Schuh ausgezeichnet.

20.-21. Februar 2013

### **International Conference on Turbomachinery Manufacturing – ICTM 2013**

Mit der zweiten International Conference on Turbomachinery Manufacturing hatten das Fraunhofer-Institut für Lasertechnik ILT und das Fraunhofer IPT Unternehmen aus dem Flugzeugbau und der Energieerzeugung zum Erfahrungsaustausch und zur Diskussion über aktuelle Trends nach Aachen eingeladen. Der Fokus der Veranstaltung lag auf neuen Verfahren für die

30 January 2013

### **Final conference of the Consortial Benchmarking in Technology Management**

During a one-day final conference, the Fraunhofer IPT – joined by the members of a high-calibre industrial consortium – awarded prizes to the five best enterprises from its European benchmarking exercise in technology management. The project had been designed to identify particularly successful technology management strategies and concepts of leading European enterprises. The Fraunhofer IPT awarded its prizes for outstanding "Successful Practices" to Oerlikon Leybold Vacuum GmbH, 3M Deutschland GmbH, Rolls Royce PLC, Johnson Controls Automotive Seating and Infineon Technologies AG. The winners of the competition had been selected by the Fraunhofer IPT in close coordination with a jury that featured technology management directors and members of the research and development teams from the enterprises in the industrial consortium. During the closing conference, Professor Günther Schuh presented "10 Guidelines for a Successful Technology Management" that had been derived from the results of the project. Before receiving their awards from the hands of Professor Schuh, each of the winners from the competition showed in a brief presentation how these guiding principles can be implemented into successful business practices.

20-21 February 2013

### **International Conference on Turbomachinery Manufacturing – ICTM 2013**

The second International Conference on Turbomachinery Manufacturing, jointly hosted by the Fraunhofer Institute for Laser Technology ILT and the Fraunhofer IPT in Aachen, was attended by enterprises from the aerospace and power generation industries which took advantage of the opportunity to exchange views and experiences and to discuss the latest



Herstellung und Reparatur moderner Turbomaschinen. Über 250 Teilnehmer von führenden Unternehmen der Luftfahrt und der Energieerzeugung aus fünfzehn Nationen verfolgten während der Konferenz mit großem Interesse die Vorträge hochkarätiger Experten aus Industrie und Forschung, die neue Produktkonzepte und geeignete Fertigungstechnologien vorstellten. Eine Führung durch die beiden Fraunhofer-Institute bot den Konferenzteilnehmern die Gelegenheit, sich über laufende Forschungs- und Entwicklungsprojekte zu diesen Themen zu informieren und sich im Umfeld moderner Anlagen zu den erzielten Ergebnissen auszutauschen.

1.-5. Juli 2013

### **11. Internationales Symposium für Messtechnik und intelligente Messeinrichtungen (ISMTII)**

Unter dem Motto »Messtechnik – Globalen Herausforderungen begegnen« lockte das 11. ISMTII mehr als 300 Messtechnik-Experten aus Wissenschaft und Industrie nach Aachen und Braunschweig. Die internationale Symposium-Reihe findet in zweijährigem Turnus im Wechsel an verschiedenen Veranstaltungsorten in Asien und in Europa statt – im Jahr 2013 mit einer begleitenden Industrieausstellung im Aachener Eurogress, Rundgängen durch Hallen und Labore der Veranstalter sowie einem umfassenden Rahmenprogramm. Ein Bustransfer zur Physikalisch-Technischen Bundesanstalt nach Braunschweig und Zwischenstopps bei der Forschungszentrum Jülich GmbH, der Claas KGaA mbH in Harsewinkel und beim Laser Zentrum Hannover e.V. (LZH) rundeten das Programm an den letzten beiden Veranstaltungstagen ab. Mit seiner Themenvielfalt von der Produktionsmesstechnik über die Sensorik und optische Messverfahren bis hin zum Qualitätsmanagement spannte das ISMTII aus Sicht der Messtechnik einen weiten Bogen auf – sowohl für Wissenschaftler als auch für Experten aus der Industrie.

trends. The event focused on new industrial processes for the production and repair of modern turbo engines. More than 250 representatives of enterprises in the aerospace and energy industries from 15 nations listened closely as leading business experts and research scientists introduced new manufacturing strategies and production technologies. During a guided tour of the two hosting Fraunhofer Institutes, the participants of the conference had the opportunity of acquiring information about ongoing R&D projects and of discussing their results in an ambience of sophisticated technology.

1-5 July 2013

### **11<sup>th</sup> International Symposium for Metrology and Intelligent Measuring Equipment (ISMTII)**

More than 300 metrology experts from universities and industrial research institutions came to Aachen and Brunswick this year for the 11<sup>th</sup> ISMTII which was held under the motto "Metrology – Meeting Global Challenges". The international series of symposia is organized once every two years, alternatingly in Asia and in Europe – in 2013, it coincided with a parallel industrial exhibition at Aachen's Eurogress congress center and also featured guided tours of the facilities and labs of the host organization as well as a comprehensive program of fringe events. On the final two days of the event, the participants were also invited to join a bus trip to the Physikalisch-Technische Bundesanstalt (PTB) in Brunswick, Germany's national institute for metrology, that featured stopovers at the Forschungszentrum Jülich GmbH, at Claas KGaA mbH in Harsewinkel and the Laser Zentrum Hannover e.V. (LZH). With its wide range of topics from production metrology and sensor technology to optical measuring techniques and quality management, the ISMTII provided deep insights into the latest trends in the field – for scientists and academics as well as for industrial researchers.

12.-13. September 2013

### **7. Aachener Technologiemanagement-Tagung**

Das Fraunhofer IPT hat im Jahr 2013 bereits zum siebten Mal die Aachener Technologiemanagement-Tagung ausgerichtet. Das Motto der Tagung mit mehr als 130 Fachbesuchern lautete »Kultur und Struktur im modernen Technologie-management«. Während der zweitägigen Veranstaltung erfuhren die Teilnehmer in zahlreichen praxisnahen Fachvorträgen, mit welchen Methoden und Instrumenten sie ihr Technologiemanagement effektiv und zugleich wettbewerbsfähig gestalten können. Das Technologiemanagement wurde am Beispiel erfolgreicher Unternehmen verdeutlicht und die unternehmensspezifische Gestaltung von Prozessen und Methoden diskutiert. Neben Referenten aus Industrie und Wissenschaft kamen bei der Tagung auch die Teilnehmer zu Wort: Zwischen den Vorträgen, auf Ausstellungen sowie während der Abendveranstaltung bestand reichlich Gelegenheit zum intensiven Erfahrungsaustausch zu aktuellen Themen des Technologiemanagements.

25.-26. September 2013

### **17. Business Forum Qualität**

Das 17. Aachener Business Forum Qualität stand dieses Mal ganz unter dem Motto »Produktqualität ganzheitlich gestalten und absichern«. Zu den Themen »engineer to reliability« und »engineer to value« informierten hochkarätige Referenten die rund 50 Fachbesucher in zwei parallelen Vortragsreihen mit insgesamt elf Vorträgen über aktuelle Trends des Qualitätsmanagements. Die Referenten der Dr.-Ing. h.c. F. Porsche AG und der Rittal GmbH & Co. KG, der Hilti AG, der Gildemeister AG, der TRW Automotive GmbH und der Bosch Rexroth AG berichteten über neue Ansätze und Konzepte des Qualitätsmanagements.

12-13 September 2013

### **7<sup>th</sup> Technology Management Meeting at Aachen**

In 2013, the Fraunhofer IPT hosted what was already the 7<sup>th</sup> Technology Management Meeting at Aachen. The motto of this year's conference was "Culture and Structure in Modern Technology Management". The two-day meeting with more than 130 visitors featured a wide range of practice-oriented presentations and speeches, providing its participants with the opportunity of finding out more about the latest trends in the field and about new tools and methods of how to increase the efficiency and competitiveness of their own technology management function. Good practices were explained by describing the best examples of successful companies, and the design of customized processes and methods was widely discussed. The speakers came from leading industrial companies and research institutions, while in between their presentations, during exhibitions and evening events, the participants also had ample opportunities of exchanging their own experiences and their views about current technology management issues.

25-26 September 2013

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

The 17<sup>th</sup> Business Forum on Quality Issues in Aachen was dedicated to the topic "The Integrated Design of Product Quality and Quality Assurance". Speakers from leading industrial companies provided their audience of about 50 professionals from the field with information about the latest trends in quality management, presenting a total number of eleven lectures in two parallel series on "engineer to reliability" and "engineer to value". These lectures, held by representatives from Dr.-Ing. h.c. F. Porsche AG, Rittal GmbH & Co. KG, Hilti AG, Gildemeister AG, TRW Automotive GmbH and Bosch Rexroth AG, focused on new quality management approaches and strategies.



16.-17. Oktober 2013

### **13. Internationales Kolloquium**

#### **»Werkzeugbau mit Zukunft«**

»Bestehende Erfolge ausbauen« – so lautete das Motto des 13. Internationalen Kolloquiums »Werkzeugbau mit Zukunft«. Das Kolloquium als Plattform für den Austausch und der Wettbewerb »Excellence in Production« gelten in der Branche seit Jahren als feste Größe.

Auf kompakte Art und Weise bot die Veranstaltung wieder praktische Handlungsempfehlungen, damit Unternehmen im Wettbewerb langfristig erfolgreich bestehen. Die Vorträge wurden von renommierten Experten der besten Unternehmen aus dem Werkzeug- und Formenbau und von den Werkzeugbau-Experten des WZL der RWTH Aachen und des Fraunhofer IPT gehalten. Parallel zu den Vorträgen fand außerdem eine Ausstellung ausgewählter Zulieferer entlang der Prozesskette des Werkzeug- und Formenbaus statt.

Am Abend des ersten Veranstaltungstages, stand die Webo Werkzeugbau Oberschwaben GmbH aus Amtzell im Allgäu im Rampenlicht: Während der feierlichen Abendveranstaltung des Kolloquiums erhielt Geschäftsführer Axel Wittig den neu gestalteten Branchenpreis im Krönungssaal des Aachener Rathauses von Vorjahressieger Herbert Johann, Leiter des Werkzeugbaus bei der ZF Friedrichshafen AG. Das Fraunhofer IPT und das WZL der RWTH Aachen hatten Webo zusammen mit neun weiteren Finalisten des Wettbewerbs anhand eines ausführlichen Vergleichs von mehr als 300 Werkzeug- und Formenbau-Betrieben nominiert. Zehn fachkundige Juroren aus Industrie, Politik und Wissenschaft bestimmten Sieger in vier Kategorien und den Gesamtsieger. Der Wettbewerb »Excellence in Production« fand bereits zum zehnten Mal statt.

16-17 October 2013

### **13<sup>th</sup> International Colloquium**

#### **“Tool and Die Making for the Future”**

“Building on a Foundation of Success” – this was the motto of the 13<sup>th</sup> International Colloquium “Tool and Die Making for the Future”. Within the industry, the colloquium has been considered as an indispensable platform of exchanges for many years, and the competition “Excellence in Production” enjoys an equally high prestige.

In 2013, the event again managed to pack practice-oriented advice and recommendations into a compact format, helping companies to achieve long-term survival in today's highly competitive business environment. Speeches were presented by renowned experts from leading tool and die manufacturers and by experts from the WZL of the RWTH Aachen University and the Fraunhofer IPT. The event also featured an exhibition where selected suppliers familiarized the participants with new tool manufacturing products and solutions.

On the evening of the first day, the limelight belonged to Webo Werkzeugbau Oberschwaben GmbH from Amtzell in Germany's Allgäu region: during a festive evening gala in the Coronation Hall of Aachen's city hall, Chief Executive Axel Wittig received the newly designed prize for the industry from the previous year's winner, Herbert Johann, Director of the Tool Manufacturing Department of ZF Friedrichshafen AG. The Fraunhofer IPT and the WZL of the RWTH Aachen University had nominated Webo together with the nine other shortlisted finalists of the contest, following a comprehensive comparative assessment of more than 300 tool and die manufacturing companies. The jury, featuring ten high-ranking professionals from the industry itself, from research institutions and political bodies, picked winners in each of four sub-categories and one overall champion. This was the 10<sup>th</sup> edition of the competition “Excellence in Production”.

# EHRUNGEN

## AWARDS

### **Joseph-von-Fraunhofer-Forschungspreis für Professor Andre Sharon**

Für die Entwicklung einer komplett automatisierten Pflanzenfabrik mit einer Zulassung nach GMP-Kriterien zur Qualitätssicherung in der Arzneimittelproduktion erhielten Prof. Dr. Andre Sharon vom Fraunhofer CMI in Boston und Prof. Dr. Vidadi Yusibov vom Fraunhofer Center for Molecular Biotechnology CMB in Newark während der Jahrestagung der Fraunhofer-Gesellschaft am 10. Juni 2013 in Hannover den Joseph-von-Fraunhofer-Forschungspreis.

### **MM-Award zur EMO 2013 für Jan-Patrick Hermani**

Während der EMO 2013 wurde die Rineck Maschinenbau GmbH aus Harsewinkel bei Bielefeld mit dem MM-Award des Vogel-Verlags für die Entwicklung eines laserunterstützten Fräswerkzeugs ausgezeichnet. Gemeinsam mit Jan-Patrick Hermani vom Fraunhofer IPT nahm Inhaber Thomas Rineck am 17. September 2013 auf der Messe den Preis entgegen. Das ostwestfälische Unternehmen hatte das Werkzeug gemeinsam mit dem Fraunhofer IPT im BMWi-geförderten Projekt »TooLaM« entwickelt und auf der Messe der Öffentlichkeit vorgestellt.

### **Best Paper Award der ASPEN 2013 für Frank Bernhardt**

Für sein Paper mit dem Titel »Coating wear characteristic in heating tests under process conditions of Precision Glass Molding« erhielt Frank Bernhardt auf der 5<sup>th</sup> International Conference of Asian Society for Precision Engineering and Nanotechnology – ASPEN 2013 in Taipei/Taiwan am 14. November 2013 den Best Paper Award.

### **Joseph-von-Fraunhofer-Award for Professor Andre Sharon**

For the development of a fully integrated, automated Good Manufacturing Practices (GMP) compliant plant factory Professor Andre Sharon from the Fraunhofer CMI and Professor Vidadi Yusibov from the Fraunhofer Center for Molecular Biotechnology CMB in Newark were awarded with one the Joseph von Fraunhofer prizes at the annual meeting of the Fraunhofer-Gesellschaft on 10 June 2013 in Hannover.

### **MM Award at the EMO 2013 for Jan-Patrick Hermani**

During the EMO 2013, Rineck Maschinenbau GmbH – an engineering company from Harsewinkel near the German town of Bielefeld – received the MM Award of the publishing house Vogel for the development of a laser-assisted milling tool. Thomas Rineck, the owner of the company, and Jan-Patrick Hermani from the Fraunhofer IPT accepted the award on 17 September 2013. The enterprise, based in the east of NRW state, had developed the prize-winning tool jointly with the Fraunhofer IPT as part of the "TooLaM" project funded by the Federal Ministry for Economic Affairs and Energy and had presented it to a wider public on the occasion of the fair.

### **Best Paper Award at ASPEN 2013 for Frank Bernhardt**

At the 5<sup>th</sup> International Conference of the Asian Society for Precision Engineering and Nanotechnology – ASPEN 2013 in Taipei/Taiwan on 14 November 2013, Frank Bernhardt received the Best Paper Award for his paper titled "Coating wear characteristic in heating tests under process conditions of Precision Glass Molding".

### **JEC Americas Innovation Award 2013 für Alexander Kermer-Meyer und Myron Graw**

Am 4. Oktober 2013 haben Alexander Kermer-Meyer und Myron Graw den JEC Americas Innovation Award 2013 in Boston stellvertretend für die 18 Partner im EU-Forschungsprojekt »FibreChain« entgegengenommen. Die international besetzte Forschungsgruppe aus sieben europäischen Ländern erhielt den Preis für die Entwicklung einer flexiblen, automatisierten Fertigungsprozesskette für Leichtbaukomponenten aus faserverstärkten Kunststoffen in kleinen und mittleren Stückzahlen. Die Projektergebnisse sollen die Produktivität der Herstellung dreidimensionaler, mehrschichtiger Leichtbauteile aus endlosfaserverstärkten Thermoplasten verbessern – durch geringere Kosten, höhere Ressourcen- und Energieeffizienz sowie mehr Flexibilität.

### **German High Tech Champions 2013 Award für Alexander Kermer-Meyer**

In Tokio hat die Fraunhofer-Gesellschaft im Namen der Initiative »Werbung für den Innovations- und Forschungsstandort Deutschland« am 18. November 2013 den »GHTC® – the German High Tech Champions Award« an Alexander Kermer-Meyer vergeben. Er erhielt den Preis für seine Forschungsarbeiten zur laserunterstützten Verarbeitung von kohlenstofffaserverstärkten Kunststoffen, die während des Symposiums »Green Technology made in Germany – Lightweight Design« unter dem Titel »Local Carbon – Laser-assisted integration of local composite reinforcements« in Tokio vorgestellt wurden. Der Preis war mit 10 000 Euro dotiert und wurde gefördert durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung.

### **JEC Americas Innovation Award 2013 for Alexander Kermer-Meyer und Myron Graw**

On 4 October 2013, Alexander Kermer-Meyer and Myron Graw accepted the JEC Americas Innovation Award 2013 in Boston on behalf of the 18 partners from the EU research project "FibreChain". The research group with scientists from seven European countries had been awarded the prize for the development of a flexible and automated manufacturing chain for small and medium-sized series of lightweight components made from fiber-reinforced plastics. The project had been designed to increase the productivity of manufacturing processes for 3D- and multilayered lightweight components that are made from continuous fiber-reinforced thermoplasts – by reducing production costs and by increasing resource efficiency, energy efficiency and flexibility.

### **German High Tech Champions 2013 Award for Alexander Kermer-Meyer**

On 18 November 2013 in Tokyo, the Fraunhofer-Gesellschaft – acting on behalf of the initiative "Promoting Germany as a Place for Innovation and Research" – awarded the GHTC®, the German High Tech Champions Award, to Alexander Kermer-Meyer. He received the prize for his research into the laser-assisted processing of carbon-fiber-reinforced plastics. Results from his prize-winning research were presented during the Tokyo symposiums on "Green Technology made in Germany – Lightweight Design" under the title "Local Carbon – Laser-assisted integration of local composite reinforcements". The award carries a cash prize of 10,000 euros and has been sponsored by Germany's Federal Ministry of Education and Research.

# MESSEN FAIRS

26. Februar -1. März 2013

## **Z – Internationale Zuliefermesse**

Leipzig

26.-28. Februar 2013

## **Medtec**

Stuttgart

12.-14. März 2013

## **JEC Europe 2013**

Paris (F)

8.-12. April 2013

## **Hannover Messe**

Hannover

13.-16. Mai 2013

## **Laser – World of Photonics**

München

14.-15. Mai 2013

## **RapidTech**

Erfurt

14.-17. Mai 2013

## **Control**

Stuttgart

27. Juni 2013

## **vdi nachrichten Recruiting Tag**

Aachen

16.-21. September 2013

## **EMO**

Hannover

17.-19. September 2013

## **Composites Europe**

Stuttgart

8.-10. Oktober 2013

## **Biotechnica**

Hannover

15.-17. Oktober 2013

## **Optifab**

Rochester (USA)

16.-23. Oktober 2013

## **Kunststoffmesse – K**

Düsseldorf

5.-8. November 2013

## **Blechexpo**

Stuttgart

6. November 2013

## **Nacht der Unternehmen**

Aachen

12.-15. November 2013

## **Productronica**

München

14. November 2013

## **konaktiva**

Dortmund

27.-28. November 2013

## **Absolventenkongress**

Köln

3.-4. Dezember 2013

## **Precision Fair**

Veldhoven (NL)

4. Dezember 2013

## **bonding Firmenkontaktmesse**

Aachen

3.-6. Dezember 2013

## **EuroMold**

Frankfurt/Main

# VERÖFFENTLICHUNGEN 2013

## PUBLICATIONS 2013

Anacker, H.; Dumitrescu, R.; Gausemeier, J.: Solution Patterns for the integrated Design of Mechatronic Products and related Production Systems. In: Proceedings of the 14<sup>th</sup> International Workshop on Research and Education in Mechatronics (REM2013), June 6 -7, Vienna, Austria, 2013

Anacker, H.; Dumitrescu, R.; Gausemeier, J.; Low, C.-Y.: Identification of reusable Controller Strategies for the System Design of Advanced Mechatronic Systems: In: Applied Mechanics and Materials Vol. 393 (2013), pp. 579-585, 2013

Anacker, H.; Schierbaum, T.; Dumitrescu, R.; Gausemeier, J.: Solution Patterns to support the knowledge intensive design process of intelligent technical systems. In: Proceedings of International Conference on Engineering Design (ICED 2013), August 19-22, Seoul, Korea, 2013

Bergs, T.; Busch, M.; Ottersbach, M.: Innovative Approach for a fast and knowledge-based Milling Process Design of advanced Materials. In: Proceedings of Coma Conference, South Africa, 6 pages

Behrens, B.; Dambon, O.; Klocke, F.: Analyse der Defektmechanismen und Einflussgrößen beim manuellen Polieren von Werkzeugstahl. In: Jahrbuch Schleifen, Honen, Läppen und Polieren: Verfahren und Maschinen November 2013, Hrsg.: Hoffmeister, H.-W.; Denkena, B., 66. Auflage, Vulkan Verlag

Bernhardt, F.: Faster mold coating tests make glass processing more efficient. In: Photonics Spectra 2013 (2013), August, S. 36-39

Bernhardt, F.: Präzisionsblankpressen im Zeitraffer. Neuer Versuchsstand verkürzt Entwicklungszeiten bei der hochpräzisen Optikfertigung. In: Laser und Photonik (2013), 5, S. 42-45

Bernhardt, F.; Georgiadis, K.; Dolle, L.; Dambon, O.; Klocke, F.: Development of a ta-C diamond-like carbon (DLC) coating by magnetron sputtering for use in precision glass molding. Entwicklung einer ta-C Beschichtung mittels Magnetron-Sputtern zur Verwendung im Präzisionsblankpressen. In: Materialwissenschaft und Werkstofftechnik 44 (2013), 8, S. 661-666

Bernhardt, F.; Georgiadis, K.; Dolle, L.; Dambon, O.; Klocke, F.: Development of a ta-C DLC Coating by Magnetron Sputtering for Use in Precision Glass Molding. In: Proceedings of the 10<sup>th</sup> International Conference THE »A« Coatings, Hrsg.: Bouzakis, K.; Bobzin, K.; Denkena, B.; Merklein, M. Schriftenreihe Oberflächentechnik 27, Shaker Verlag Aachen 2013, S. 77-88

Bletek, T.; Klocke, F.; Hüntten, M.; Dambon, O.: Dressing of fine grained diamond grinding wheels for ultra precision grinding of structured molds in brittle hard materials. In: »Optifab 2013«. Rochester, USA, 14.10.2013, o.a.S.

Bletek, T.; Klocke, F.; Hüntten, M.; Dambon, O.: Dressing of Grinding Wheels for Ultra Precision Grinding of Diffractive Structures in Tungsten Carbide Molds. In: »Asian Society for Precision Engineering and Nanotechnology«. Taipeh, Taiwan, 12.-15.11.2013, o.a.S.

Borzykh, M.; Damerow, U.; Henke, C.; Trächtler, A.; Homberg, W.: Modell-Based Approach for Self-correcting Strategy Design for Manufacturing of Small Metal Parts. In: New Prolamat 2013, Digital Product and Process Development Systems, International Federation for Information Processing, 2013

Brecher, C.; Emonts, M.; Dubratz, M.; Kermer-Meyer, A.: Automated Manufacturing of Fiber-Reinforced Thermoplastic 3D-Lightweight Components. In: Future Trends in Production Engineering - Proceedings of the First Conference of the German Academic Society for Production Engineering (WGP), Berlin, Germany, 8-9 June 2011, Hrsg.: Schuh, G.; Neugebauer, R.; Uhlmann, E., Springer Aachen 2013, S. 153-160

Brecher, C.; Emonts, M.; Kermer-Meyer, A.; Janssen, H.; Werner, D.: Herstellung von belastungsoptimierten thermoplastischen Faserverbundbauteilen. Wirtschaftliche Prozesskette. In: *Lightweightdesign* 6 (2013), 3, S. 38-43

Brecher, C.; Emonts, M.; Ozolin, B.; Schares, R.: Handling of preforms and prepregs for mass production of composites. In: *19<sup>th</sup> International Conference on Composite Materials (ICCM19)*, Montreal, Canada, 2013, CD e-proceedings, Hrsg.: Hoa, S.; Hubert, P. eProceedings, Electronic Publishing BytePress.com Montréal, Canada 2013, S. 4085-4093

Brecher, C.; Emonts, M.; Schares, R.; Stimpfl, J.: CO<sub>2</sub>-laser-assisted processing of glass fiber-reinforced thermoplastic composites. In: *High-Power Laser Materials Processing: Lasers, Beam Delivery, Diagnostics, and Applications II*, Proceedings of SPIE, Hrsg.: Dorsch, F.: Proceedings of SPIE 8603, 1. Aufl., SPIE – Society of Photo-Optical Instrumentation Engineers Washington, USA 2013, S. 86030H-1 - 86030H-11

Brecher, C.; Emonts, M.; Schütte, A.; Brack, A.: Fiber-Reinforced Plastics Enable New Prospects for Minimal Invasive Devices and Interventions. In: *Future Trends in Production Engineering – Proceedings of the First Conference of the German Academic Society for Production Engineering (WGP)*, Berlin, Germany, 8-9 June 2011, Hrsg.: Schuh, G.; Neugebauer, R.; Uhlmann, E., Springer Verlag Berlin 2013, S. 297-305

Brecher, C.; Emonts, M.; Stimpfl, J.: CO<sub>2</sub>-laser-assisted production of hybrid fiber-reinforced thermoplastic composites. In: *19<sup>th</sup> International Conference on Composite Materials ICCM 19 – Composite Materials: The Great Advance*, Hrsg.: Hoa, S.; Hubert, P., eProceedings, Electronic Publishing BytePress.com Montréal, Canada 2013, S. 4113-4121

Brecher, C.; Emonts, M.; Stimpfl, J.; Kermer-Meyer, A.: Laser-assisted tape placement of customized hybrid fiber-reinforced thermoplastic components. In: *Proceedings in New Production Technologies in Aerospace Industry*, Hrsg.: Denkena, B., Berichte aus dem IFW, PZH Verlag Garbsen 2013, S. 409

Brecher, C.; Emonts, M.; Stimpfl, J.; Kermer-Meyer, A.: Production of Customized Hybrid Fiber-Reinforced Thermoplastic Composite Components Using Laser-Assisted Tape Placement. In: *New Production Technologies in Aerospace Industry- Proceedings of the 4<sup>th</sup> Machining Innovations Conference*, Hannover, September 2013, Lecture Notes in Production Engineering, Shaker Verlag Aachen 2013, S. 123-129

Brecher, C.; Emonts, M.; Werner, D.: Ein Tapelegekopf für mehrere FVK-Halbzeuge. Neues hybrides Tapelegesystem am Fraunhofer IPT verarbeitet thermoplastische und duroplastische FVK-Halbzeuge sowie bebinderte Dry-Fiber-Rovings. In: *K-Zeitung: Kunststoff und Kautschuk* (2013), 22, S. 31-32

Brecher, C.; Kermer-Meyer, A.; Janssen, H.; Werner, D.; Emonts, M.: Economic production of load-optimized thermoplastic composites. In: *JEC Composites Magazine* (2013), 83, S. 64-67

Brecher, C.; Klocke, F.; Schindler, F.; Janssen, A.; Hermani, J.; Fischer, B.: Finishing of polycrystalline diamond tools by combining laser ablation with grinding. In: *Production Engineering – Research and Development* (2013), 7, S. 361-371

Brunner, C.: Licht hilft beim Formen anspruchsvoller Materialien. In: *Industrie Anzeiger* 135 (2013), 9, S. 40-41

Bulla, B.; Klocke, F.; Dambon O.: Influence of ultrasonic assisted processing on the ductility of binderless tungsten carbide. In: *5<sup>th</sup> International Conference of Asian Society for Precision Engineering and Nanotechnology (ASPEN 2013)*, November 2013

Bulla, B.; Klocke, F.; Dambon O.; Doetz, M.: Influence on the ductile behaviour of binderless tungsten carbide applying ultrasonic assisted diamond turning. In: Proceedings of the 13<sup>th</sup> International Conference of the European Society for Precision Engineering and Nanotechnology, Mai 2013

Che Zakaria, N. A.; Komeda, T.; Low, C. Y.; Makoto, M.; Kobayashi, M.; Ismail, A.Y.; Dumitrescu, R.: Development of foolproof catheter guide system based on mechatronic design. In: Journal of Production Engineering Research & Development (PERE), Springer, Volume 7, Page 81-90, Issue 1 (2013)

Daun, M.; Fockel, M.; Holtmann, J.; Tenbergen, B.: Goal-Scenario-Oriented Requirements Engineering for Functional Decomposition with Bidirectional Transformation to Controlled Natural Language – Case Study »Body Control Module«. Universität Duisburg-Essen (ICB-Research Report, 55), 2013.

Dumitrescu, R.: Systems Engineering für die intelligenten Systeme von morgen. Impulsvortrag, Sendler Circle, Mai 2013

Dumitrescu, R.: Systems Engineering in der industriellen Praxis. Key Note, 9. Paderborner Workshop Entwurf mechatronischer Systeme, Paderborn, April 2013

Dumitrescu, R.: Systems engineering in industrial practice. Open Lecture Innovation Leap in Mechatronics. Universiti Teknologi MARA Shah Alam, Malaysia, August 2013

Dumitrescu, R.: Systems Engineering in industrial practise. Heinz Nixdorf Institut Forum, Paderborn, April 2013

Dumitrescu, R.: Wie die Intelligenz in die Maschine kommt – Intelligente Technische Systeme aus OstWestfalenLippe. Key Note IFF-Wissenschaftstage, Magdeburg, Juni 2013

Dumitrescu, R.; Kühn, A.: Intelligenz in der Produktion – Spitzencluster it's OWL als Wegbereiter für Industrie 4.0. Markt&Technik Summit Industrie 4.0, 16.-17. Oktober, München 2013

Dumitrescu, R.; Anacker, H.; Gausemeier, J.: Design Framework for the Integration of Cognitive Functions into Intelligent Technical Systems. In: Journal of Production Engineering Research & Development (PERE), Springer, Volume 7, Page 111-121, Issue 1 (2013)

Fast, V.; Gehrmann, T.; Schweers, C.; Kruse, D.; Trächtler, A.: Methoden zur Einbindung von Fehlersimulationen in die XiL-Techniken. In: Virtuelle Instrumente in der Praxis; VIP 2013 Begleitband zum 18. VIP-Kongress; VDE-Verlag 2013

Fockel, M.; Horn, W.; Krause, S.; Meyer, M.: Konsistente Anforderungsspezifikationen durch werkzeuggestützte Anwendung von Anforderungsmustern. Requirements Engineering Conference (REConf 2013), München, 11.-14. März 2013

Frank, S.: Flussmittelfreies Laserstrahlhartlöten von Stahl-Aluminium-Verbindungen. In: DVS Congress 2013, DVS-Berichte 296, DVS Media GmbH Düsseldorf 2013, S. 372-377

Frank, S.: Surface deposits in laser brazing. In: Journal: Science and Technology of Welding and Joining 18/2013

Frank, U.; Anacker, H.; Bielawny, D.: Scientific Automation rises the productivity of production facilities. In: Proceedings of NEW PROLAMAT 2013, 10.-11. October, Dresden, Germany

Friebe, J.; Heutger, H.; Meyer, M.; Becker, S.: Modulare Leistungsprognose von Kompaktsteuerungen. In: Gausemeier, J.; Dumitrescu, R.; Rammig, F.-J.; Schäfer, W.; Trächtler, A. (Hrsg.): 9. Paderborner Workshop Entwurf mechatronischer Systeme, HNI Verlagsschriftenreihe Band 310, 18.-19. April 2013, Paderborn

- Gausemeier, J., Gaukster, T., Jürgehake, C., Dumitrescu, R.: Eine Methodik für den wissensbasierten Entwurf von dreidimensionalen spritzgegossenen Schaltungsträgern (MID). In: Gausemeier, J.; Dumitrescu, R.; Rammig, F.; Schäfer, W.; Trächtler, W. (Hrsg.): 9. Paderborner Workshop Entwurf mechatronischer Systeme. HNI-Verlagsschriftenreihe Band 310, 18.-19. April, Paderborn 2013
- Gausemeier, J.; Anacker, H.; Czaja, A., Wassmann, H.; Dumitrescu, R.: Auf dem Weg zu intelligenten technischen Systemen. In: Gausemeier, J.; Dumitrescu, R.; Rammig, F.; Schäfer, W.; Trächtler, W. (Hrsg.): 9. Paderborner Workshop Entwurf mechatronischer Systeme, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 310, 18.-19. April, Paderborn 2013
- Gausemeier, J.; Czaja, A.; Dumitrescu, R.; Steffen, D.; Wiederkehr, O.; Tschirner, C.: Systems Engineering in der industriellen Praxis. Eine Studie herausgegeben vom Heinz Nixdorf Institut, Fraunhofer-Institut für Produktionstechnologie IPT Projektgruppe Entwurfstechnik Mechatronik und der Unity AG. Paderborn, 2013
- Gausemeier, J.; Czaja, A.; Wiederkehr, O.; Dumitrescu, R.; Tschirner, C.; Steffen, D.: Systems Engineering in der industriellen Praxis. In: Gausemeier, J.; Dumitrescu, R.; Rammig, F.; Schäfer, W.; Trächtler, W. (Hrsg.): 9. Paderborn Workshop Entwurf mechatronischer Systeme. HNI-Verlagsschriftenreihe Band 310, 18.-19. April, Paderborn 2013
- Gausemeier, J.; Dumitrescu, R.; Rammig, F.; Schäfer, W.; Trächtler, W. (Hrsg.): 9. Paderborner Workshop Entwurf mechatronischer Systeme. HNI-Verlagsschriftenreihe Band 310, 18.-19. April, Paderborn 2013
- Gausemeier, J.; Tschirner, C.; Dumitrescu, R.: Der Weg zu Intelligenten Technischen Systemen. In: Industriemanagement 29 (1/2013), GITO-Verlag, 2013
- Geismann, J.: Quelltextgenerierung für LEGO Mindstorms-Roboter. In: Beitragsband der Informatiktage 2013: Smarte Sichten, smarte Schichten, Gesellschaft für Informatik, Bonn, Seiten 71-74, Köllen Druck+Verlag GmbH, 2013
- Gräfe, S.; Brummer, C.; Arntz K.: Wirkungsvolle Kombination: Laserlicht und Drehmaschine, In Technische Rundschau 105 (2013), 9, S. 54-56
- Gräfe, S.; Brummer, C.; Bausch, S.; Arntz, K.: Formflexible Fertigung keramischer Produkte durch laserunterstütztes Drehen, Technische Keramische Werkstoffe, HvB-Verlag, Ellerau, 132. Erg.-Lfg. S. 3.7.3.4, Seite 1-21
- Gräfe, S.; Wegener, M.; Arntz, K.: Perfekte Integration. In: Fertigung 41 (2013), 9, S. 38-40
- Günther, S.; Schmitt, R.; Schwarz, J.: Die neue Sparsamkeit. Aufbau eines zertifizierbaren Energiemanagementsystems. In: Qualität und Zuverlässigkeit 58 (2013), 5, S. 26-31
- Heeschen, D.: Anforderungsgerechte Werkzeuge. In: Werkzeugbau Akademie – Forschungsbericht 2012/2013, Hrsg.: Schuh, G.; Boos, W., Apprimus Verlag Aachen 2013, S. 95-104
- Heeschen, D.: Automatisierung der Fertigung. In: Werkzeugbau Akademie – Forschungsbericht 2012/2013, Hrsg.: Schuh, G.; Boos, W., Apprimus Verlag Aachen 2013, S. 111-117
- Heeschen, D.: Process Mapping zur Optimierung der Auftragsabwicklung. In: Werkzeugbau Akademie – Forschungsbericht 2012/2013, Hrsg.: Schuh, G.; Boos, W., Apprimus Verlag Aachen 2013, S. 55-64
- Heinen, D.: Pilotprojekt: Standzeitverlängerung reparierter Formeinsätze. In: Werkzeugbau Akademie – Forschungsbericht 2012/2013, Hrsg.: Schuh, G.; Boos, W., Aachen 2013, S. 105-110

Henke, C.; Trächtler, A.: Autonomously Driven Railway Cabin Convoys - Communication, Control Design and Experimentation. In: International Conference on Connected Vehicles & Expo (ICCVE), 2013

Holtmann, J.; Meyer, M.: Play-out for Hierarchical Component Architectures. In: Matthias Horbach (Hrsg.): Informatik angepasst an Mensch, Organisation und Umwelt. Informatik 2013. Koblenz, 16.-20. September 2013. Gesellschaft für Informatik e.V. (GI). Bonn: Bonner Köllen Verlag (GI-Edition – Lecture Notes in Informatics (LNI), P-220), S. 2458–2472.

Iwanek, P.; Kaiser, L.; Dumitrescu, R.; Nyßen, A.: Fachdisziplinübergreifende Systemmodellierung mechatronischer Systeme mit SysML und CONSENS. In: Maurer, M.; Schulze, S.-O. (Hrsg.): Tag des Systems Engineering, Carl Hanser Verlag, München, 2013

Jürgenhake, C., Schierbaum, T., Fischer, C., Dumitrescu, R.: Integrative Entwicklung von MID-Bauteilen. In: Franke, J. (Hrsg.): Räumliche elektronische Baugruppen (3D-MID) – Werkstoffe, Herstellung, Montage und Anwendungen für spritzgegossene Schaltungsträger, Forschungsvereinigung Räumliche Elektronische Baugruppen 3D-MID e.V., Nürnberg, Carl Hanser Verlag, München, 2013

Kaiser, L.: Methoden, Modellierungssprachen und Werkzeuge für das Model-Based Systems Engineering. Vortrag auf dem 3DEXPERIENCE Customer Forum, Mannheim, Juni 2013

Kaiser, L.: Rahmenwerk zur Modellierung einer plausiblen Systemstruktur mechatronischer Systeme. Dissertation, Fakultät für Maschinenbau, Universität Paderborn, Paderborn, 2013

Kaiser, L.: Systemmodell als Basis für ein gemeinsames Systemverständnis – Modellierungssprachen als Grundlage der Kommunikation. 3. SIG Meeting – Model Based Systems Engineering (MBSE), Viernheim, November 2013

Kaiser, L.: Systems Engineering in der industriellen Praxis. Systems Engineering Day 2013, München, Dezember 2013

Kaiser, L.; Dumitrescu, R.; Bremer, C.; Gausemeier, J.: Sichten der Systemstruktur im Model-Based Systems Engineering für mechatronische Systeme. In: Stuttgarter Symposium für Produktentwicklung, Stuttgart, 2013

Kaiser, L.; Dumitrescu, R.; Holtmann, J.; Meyer, M.: Automatic Verification of Modeling Rules in Systems Engineering for Mechatronic Systems. In: Proceedings of the ASME 2013 International Design Engineering Technical Conferences & Computers and Information in Engineering Conference, 4.-7. August, Portland, Oregon, 2013

Kermer-Meyer, A.; Graw, M.: Integrated Process Chain for Automated and Flexible Production of Fibre-Reinforced Plastic Products. In: Proceedings of JEC, Innovative Composite Summit (ICS), Hrsg.: Mutél, F. Innovative Composite Summit, JEC Group Paris 2013, o. A. S.

Klocke, F.; Andrecht, D.; Heinen, D.; Arntz, K.; Dambon, O.; Schongen, F.: Innovative surface technologies for optimized tooling. In: 7<sup>th</sup> International Conference And Exhibition on Design and Production of Machines and Dies/Molds, 20.-23. June 2013, Antalya, Turkey, Hrsg.: Akkök, M.; Budak, E.; Firat, M.; Kaftanoglu, B., Department of Manufacturing Engineering Faculty of Engineering, Atılım University Ankara/ Turkey 2013, S. 255-261

Klocke, F.; Bergs, T.; Degen, F.; Ganser, P.: Presentation of a novel cutting technology for precision machining of hardened, rotationally symmetric parts. In: Prod. Eng. Res. Devel. (2013), 7, S. 177-184

Klocke, F.; Bergs, T.; Kalocsay R.: Impact of clamping technology on horizontal and vertical process chain performance, Machining Innovations Conference, Springer, 2013

- Klocke, F.; Brecher, C.; Brinksmeier, E.; Behrens, B.; Dambon, O.; Riemer, O.; Schulte, H.; Tuecks, R.; Wächter, D.; Wenzel, C.; Zunke, R.: Deterministic Polishing of Smooth and Structured Molds. In: Fabrication of complex optical components, Hrsg.: Brinksmeier, E.; Riemer, O.; Gläbe, R., 1. Aufl. Springer Berlin; Heidelberg 2013 2012, S. 99-117
- Klocke, F.; Dambon O.; Doetz, M.; Schulz K.: Next Generation Optics - Asphero-Diffractive glass lenses. In: Proceedings of the EOSMOC & EOSOF Conference 2013, Mai 2013
- Klocke, F.; Dambon, O.; Wächter, D.: Analysis and modeling of tribology effects in conventional glass polishing. In: Proceedings of SPIE (2013), Vol. 8838, S. 8838 0V p.1-8
- Klocke, F.; Frank, S.: Surface deposits in laser brazing. In: Science and Technology of Welding and Joining 18 (2013), 1, S. 62-69
- Klocke, F.; Hüntten, M.; Bletek, T.; Wächter, D.: Development of a process chain for silicon carbide mirrors. In: Proceedings of the 13<sup>th</sup> euspen International Conference, Hrsg.: Leach, R.; Shore, P., 1. Aufl. , euspen Bedford 2013, S. 154V2-157V2
- König, N.; Brill, N.: Dreidimensional unter die Oberfläche. Kohärenztomographie. In: Kunststoffe 103 (2013), 5, S. 46-48
- König, N.; Brill, N.: Three-Dimensional Under the Surface. Coherence Tomography. In: Kunststoffe International 7 (2013), 5, S. 21-23
- König, N.; Depiereux, F.: Schnelle Toleranzprüfung mit optischen Sensoren. Sensorik für die 100-Prozent-Prüfung in der automatisierten Produktion. In: Quality Engineering 32 (2013), Control Express, S. 24
- Kreilkamp, H.; Dambon, O.: Heißformgebungsverfahren zur kosteneffizienten Replikation nicht-abbildender Glasoptiken. In: Photonik 45 (2013), 4, S. 46-48
- Kretschmer, A.: Pilotprojekt: Integrierte Feinbearbeitung. In: Werkzeugbau Akademie – Forschungsbericht 2012/2013 , Hrsg.: Schuh, G.; Boos, W., 2013, S. 118-125
- Kruse, D.; Trächtler, A.: Modellbasierte Entwicklung eines neuartigen Heizverfahrens für Waschautomaten. Paderborner Workshop Entwurf Mechatronischer Systeme (EMS), April 2013
- Löffler, A.; Michael, J.; Timmermann, J.; Krüger, M.; Trächtler, A.: Modellbasierte Parameteridentifikation des Durchströmungswiderstandes der Wäsche im Waschprozess. In: 9. Paderborner Workshop Entwurf mechatronischer Systeme, HNI Verlagsschriftreihe Band 310, 18.-19. April, Paderborn, 2013
- Low, C. Y.; Aldemir, M.; Aziz, N.; Dumitrescu, R.; Anacker, H.: Strategy Planning of Collaborative Humanoid Soccer Robots based on Principle Solution. In: Journal of Production Engineering Research & Development (PERE), Springer, Volume 7, Page 23-34, Issue 1 (2013)
- Marx, U.; Pickert, D.; Heymer, A.; Schmitt, R.: Non-invasive Quality Control for Production Processes of Artificial Skin Equivalents by Optical Coherence Tomography. In: First CIRP Conference on BioManufacturing , Hrsg.: Mitsuishi, M.; Bartolo, P., Procedia CIRP 5, ELSEVIER Amsterdam 2013, S. 128-132
- Marx, U.; Schenk, F.; Behrens, J.; Meyr, U.; Wanek, P.; Zang, W.; Schmitt, R.; Brüstle, O.; Zenke, M.; Klocke, F.: Automatic Production of Induced Pluripotent Stem Cells. In: First CIRP Conference on BioManufacturing, Hrsg.: Mitsuishi, M.; Bartolo, P., Procedia CIRP 5, ELSEVIER Amsterdam 2013, S. 2-6

Meyer, M.: Produzierst Du schon oder programmierst Du noch? – Fortgeschrittene Methoden für den integrierten Regelungs- und Softwareentwurf. OWL Maschinenbau – Arbeitskreis Mechatronik, Verl, Dezember 2013

Meyer, M.; Heutger H.; Friebe, J.: Leistungsprognose für Kompaktsteuerungen in der Smart-Factory. IuK-Tag NRW, Paderborn, November 2013

Poddubny, V.I.; Traechtler, A.; Jaeker, K.-P.; Harchenko, E.; Warkentin, A.: Modeling of an Active Suspension for the All-Terrain Vehicle and an Estimation of Possibility of its Use to Reduce the Load on a Wheel with the Damaged. In: Mechatronik, Automatisierung, Regelung, 2013

Pohlmann, U.: Safe Deployment for Reconfigurable Cyber-Physical Systems. In: Proceedings of the 18<sup>th</sup> International Doctoral Symposium on Components and Architecture (WCOP'13) June 17, ACM Vancouver, BC, Canada, 2013

Schenk, F.: High-Speed-Mikroskopie. Screening von Mikrotiterplatten. In: LABO – Analytik, Labortechnik, Life Sciences (2013), 9, S. 24-26

Schenk, F.: Mikrotiterplatten in Minuten mikroskopieren. In: DeviceMed (2013), 10, S. 32-33

Schmitt, N.; Kaiser, L.; Dumitrescu, R.; Hofmann, M.: Von der Anforderungserfassung bis zur Funktionsstruktur – Ein System Engineering-Vorgehen für die industrielle Praxis. In: Maurer, M.; Schulze, S.-O. (Hrsg.): Tag des Systems Engineering, Carl Hanser Verlag, München, 2013

Schmitt, R.: XXVI. Messtechnisches Symposium 2012 des AHMT e.V. in Aachen. In: tm – Technisches Messen 80 (2013), 4, S. 109

Schmitt, R.; Brill, N.; König, N.: Das lässt tief blicken! Tomographische Messung von transparenten und semi-transparenten Materialien. In: Inspect (2013), 6, S. 46-47

Schmitt, R.; Mallmann, G.: High-precision inline measuring technology for laser structuring systems. Final report of the Mnt-Era.net Research Project »Scan4Surf«, Apprimus Verlag Aachen 2013

Schmitt, R.; Mallmann, G.: Process monitoring in laser micro machining. In: Photonik International (2013), 1, S. 57-59

Schmitt, R.; Mallmann, G.: Prozessüberwachung in der Lasermikrobearbeitung. In: Photonik - Fachzeitschrift für optische Technologien 2013 (2013), 3, S. 50-52

Schmitt, R.; Mallmann, G.; Winands, K.; Pothen, M.: Automated process initialization of laser surface structuring processes by inline process metrology. In: Physics Procedia (2013), 41, S. 880-888

Schmitt, R.; Mallmann, G.; Winands, K.; Pothen, M.; Stautner, M.; Hofmann, S.; Petschik, N.; Zecherle, M.; Peterka, P.; Todorov, F.; Šašek, L.; Drasnar, J.: High-precision inline measuring technology for laser structuring systems. Final report of the BMBF joint research project ERANET-MNT-scan4surf, Apprimus Verlag Aachen 2013

Schmitt, R.; Permin, E.: Characterization of Future Key Performance Indicators and Constraints for Self-Optimizing Assembly Systems. In: 11<sup>th</sup> International Symposium on Measurement Technology and Intelligent Instruments ISMTII 2013, 1-5 July, 2013 Aachen, Germany, Hrsg.: Schmitt, R.; Bosse, H., RWTH Aachen; WZL – Department Production Metrology and Quality Management; Precision Engineering Division of the Physikalisch-Technische Bundesanstalt (PTB) Aachen, Braunschweig 2013, S. 23-8

Schmitt, R.; Pfeifer, T.; Mallmann, G.: Machine integrated telecentric surface metrology in laser structuring systems. In: Proceedings to the XX IMEKO World Congress - XX IMEKO World Congress Metrology for Green Growth; September 9-14, 2012, Busan, Republic of Korea, Hrsg.: Woo, S., KRIS (Korea Research Institute of Standards and Science) Busan/ Republic of Korea 2013, S. TC2-O-2 (1-5)

Schmitt, R.; Pickshaus, T.: Engineer-to-Reliability. Produkte wertorientiert absichern. In: Produktqualität ganzheitlich gestalten und absichern. Tagungsband zum 17. Business Forum Qualität; 25-26. September 2013 Aachen, Hrsg.: Schmitt, R., 1. Aufl., Apprimus Verlag Aachen 2013, S. 141-176

Schmitt, R.; Schumacher, S.; Zentis, T.: Quality-oriented Risk-Management-Approach for Service Innovations. In: Product-Service Integration for Sustainable Solutions - Proceedings of the 5<sup>th</sup> CIRP International Conference on Industrial Product-Service Systems, Hrsg.: Meier, H., Springer-Verlag Berlin 2013, S. 359-370

Schmitt, R.; Stürwald, S.: EOS Conference on Manufacturing of Optical Components. In: Proceedings of the EOSMOC & EOSOF Conference 2013 – EOS Conference on Manufacturing of Optical Components (EOSMOC 2013), Hrsg.: Nowitzki, K., European optical society Hannover 2013, S. 78-79

Schmitt, R.; Witte, A.; Janßen, M.: Komplexität beherrschen dank Selbstoptimierung. Ein Weg zur effizienten Automatisierung in der Großbauteilmontage. In: wt Werkstattstechnik online 103 (2013), 9, S. 668-671

Schuh, G. (Hrsg): Einkaufsmanagement, Handbuch Produktion und Management; 2. Auflage, Springer Vieweg

Schuh, G.: Future Trends in Production, Innovation and Technology Management – 2012, 1. Aufl., Apprimus Verlag Aachen 2013

Schuh, G.: Grußwort von Prof. Dr.-Ing. Dipl.-Wirt. Ing Günther Schuh. In: 10. Aachener Management Tage - Navigation für Führungskräfte – 10. AMT, 12.-14. November 2013, Aachen, Hrsg.: Schuh, G.; Kampker, A.; Stich, V., Apprimus Verlag Aachen 2013, S. I

Schuh, G.: Lean Innovation. VDI-Buch, Springer Vieweg Berlin 2013

Schuh, G.: Produktion. In: Die ZEIT erklärt die Wirtschaft – Was man wirklich wissen muss, Hrsg.: Heuser, U.; Priddat, B.; Spoun, S., Murmann Verlag Deiningen 2013, S. 165-171

Schuh, G.: RWTH Aachen Campus – Chancen für den regionalen Mittelstand. In: Innovation durch Kooperation – Wie der Mittelstand durch Zusammenarbeit mit den Hochschulen seine Wettbewerbsfähigkeit steigert, Hrsg.: Gartzten, T.; Gartzten, U., 1. Aufl., Apprimus Verlag Aachen 2013, S. 23-29

Schuh, G.; Aghassi, S.: Supporting Technology Transfer with Communities and Social Software Solutions. In: Proceedings of the International Conference on Engineering and Technology Management ICETM 2013; Hrsg.: WASET. pp. 553-561

Schuh, G.; Aghassi, S.: Technology Transfer Portals: A Design Model for Supporting Technology Transfer via Social Software Solutions. In: 2013 Proceedings of the IEEE International Conference on Engineering and Engineering Management IEEM'13, December 10-13, 2013

Schuh, G.; Aghassi, S.; Bremer, D.; Graw, M.: Technologie-management gezielt fördern. Ergebnisse des Konsortial-Benchmarkings im Technologiemanagement 2012/2013. In: io management 2013 (2013), 3, S. 51-54

Schuh, G.; Aghassi, S.; Valdez, A.: Supporting technology transfer via web-based platforms. In: 2013 Proceedings of PICMET ,13, Hrsg.: Kocaoglu, D., Portland International Center for Management of Engineering and Technology Portland/ USA 2013, S. 858-866

Schuh, G.; Bohle, K.; Bremer, D.; Aghassi, S.: Ausgezeichnetes Technologiemanagement. Mitarbeiter gezielt fördern. In: VDI-Z (2013), 11/12, S. 70-71

Schuh, G.; Bremer, D.; Drescher, T.; Wellensiek, M.: Method towards a scenario-based planning of technology exploitation. In: Technology Management in the IT-Driven Services (PICMET), 2013 Proceedings of PICMET, Hrsg.: Kocaoglu, D., Portland International Center for Management of Engineering and Technology Portland/ USA 2013, S. 826-836

Schuh, G.; Drescher, T.; Apfel, K.: Wissensexplosion im technologischen Umfeld beherrschen und nutzen. In: 10. Aachener Management Tage – Navigation für Führungskräfte, Hrsg.: Schuh, G.; Kampker, A.; Stich, V., Apprimus Verlag Aachen 2013, S. 201-205

Schuh, G.; Drescher, T.; Konsortialstudie »Electrification 2030 – Electrifying the Industrial Value Chain«. In: Neue Mobilität, 13. Ausgabe, Oktober 2013, S. 34-35

Schuh, G.; Engel, M.: Labor im Westentaschenformat. Lab-on-Chip-Systeme: Mikro-Hightech massentauglich herstellen. In: Industrie Anzeiger 135 (2013), 32, S. 34-35

Schuh, G.; Graw, M.: Systematische Diversifikation. Erfolgreiche Ansätze für eine strukturierte Investition in die Zukunft. In: ZWF - Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb 108 (2013), 10, S. 720-723

Schuh, G.; Graw, M.: Verwertungsoptimale Technologieentwicklung. Erschließung des branchenübergreifenden Verwertungspotenzials von Fertigungstechnologien. In: Vorausschau und Technologieplanung. 9. Symposium für Vorausschau und Technologieplanung; 5.-6. Dezember 2013, Berlin, Paderborn, Hrsg.: Gausemeier, J., HNI-Verlagsschriftenreihe 318, 2013, S. 199-218

Schuh, G.; Graw, M.; Hacker, P.: Exploitation-optimized Technology development. Accessing the Cross-Industrial Potential of Technologies. In: Challenges for sustainable operations. 22<sup>nd</sup> International Conference on Production Research, ICPR 2013. CD-ROM: July 28 - August 1, 2013, Iguassu Falls, Brazil, 2013, Hrsg.: Lima, E.; Costa, S., International Foundation for Production Research; Brazilian Association of Production Engineering – ABEPRO: Sao Paulo 2013, o. A.S.

Schuh, G.; Guo, D.; Wellensiek, M.: Approach for the Measurement of Technology Management Performance and Value. In: Technology Management in the IT-Driven Services (PICMET), 2013 Proceedings of PICMET, Hrsg.: Kocaoglu, D., Portland International Center for Management of Engineering and Technology Portland/USA 2013, S. 1-8

Schuh, G.; Guo, D.; Wellensiek, M.: Vorsprung durch strategische Technologieplanung. In: 10. Aachener Management Tage – Navigation für Führungskräfte, Hrsg.: Schuh, G.; Kampker, A., Apprimus Verlag Aachen 2013, S. 13-17

Schuh, G.; Hacker, P.: A Method for Managing the 'Requirement Space'. In: Challenges for sustainable operations. 22<sup>nd</sup> International Conference on Production Research, ICPR 2013. CD-ROM: July 28 - August 1, 2013, Iguassu Falls, Brazil Iguassu Falls, 2013, Hrsg.: Lima, E.; Costa, S. CPR 22, International Foundation for Production Research; Brazilian Association of Production Engineering -ABEPRO-: Sao Paulo 2013, o.a.S.

- Schuh, G.; Schönig, S.; Untiedt, D.; Schulte-Gehrmann, A.: Commercial-technological Due Diligence. In: Due Diligence bei Unternehmensakquisitionen, Hrsg.: Berens, W.; Brauner, H.; Strauch, J.; Knauer, T. Schriftenreihe Der Betrieb , 7. Aufl. , Schäffer-Poeschel Verlag Stuttgart 2013, S. 643-671
- Schuh, G.; Ünlü, V.: A Review of Methods Supporting Cost Reductions in Purchasing. In: Purchasing & Supply Management in a changing World - IPSESA 2012 Conference Proceedings, Naples 02.04.2012, Hrsg.: Esposito, E.; Evangelista, P.; Pastore, G.; Raffa, M., Edizioni Scientifiche Italiane Naples 2013, ISBN 978-88-495-2346-1, S. WP74/1-13
- Schuh, G.; Ünlü, V.: Framework for selection cost reduction methods. In: Proceedings of the 22<sup>nd</sup> Annual IPSESA Conference, 24-27 March 2013 Nantes, Hrsg.: Giannakis, M.; Johnsen, T.; Miemczyk, J.; Kamann, D.; Bernardin, E., Purchasing & Supply Management for a Sustainable World 22, Audencia Nantes Nantes/ France 2013, S. 1195-1206
- Schuh, G.; Ünlü, V.; Engel, M.: Development of a Decision Model for the Selection of Cost Reduction Methods in Supply Chains. In: Sustainability and Collaboration in Supply Chain Management, Hrsg.: Blecker, T.; Kersten, W.; Ringle, C. Supply Chain, Logistics and Operations Management 16, 1. Aufl., EUL Verlag Lohmar 2013, S. 355-373
- Schuh, G.; Wellensiek, M.; Mangoldt, J.: Competence-based Diversification – A Conceptual Approach for Evaluating the Attractiveness of new Market Opportunities. In: PICMET'13 Portland International Center for Management of Engineering Proceedings – Technology Management in the IT-driven Services, Hrsg.: Kocaoglu, D., PICMET Proceedings, PICMET Portland International Center for Management of Engineering and Technology Portland/USA 2013, S. 2344-2352
- Schuh, G.; Wemhöner, H.: Entwicklung konsistenter Technologiestrategien. Nutzen, Inhalt und Erfolgsfaktoren bei der Technologiestrategieformulierung. In: ZWF – Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb 108 (2013), 5, S. 287-290
- Schuh, G.; Wemhöner, H.: Framework for the evaluation of the internal and external fit of technology strategy. In: Science, Technology and Innovation in the Emerging Markets Economy - Proceedings of the 22. IAMOT Conference, Hrsg.: Hosni, Y., International Association for Management of Technology (IAMOT) Porto Allegre/Brasil 2013
- Schuh, G.; Wemhöner, H.; Orilski, S.: Technological Overall Concepts for Future-Oriented Roadmapping. In: Technology Roadmapping for Strategy and Innovation – Charting the Route to Success, Hrsg.: Moehrle, M.; Isenmann, R.; Phaal, R., Springer Berlin, Heidelberg 2013, S. 107-121
- Schumacher, S.; Schmitt, R.; Rossbruch, O.: Risikominimierte Entwicklung industrieller Dienstleistungen. Für erfolgreiche Serviceinnovationen. In: Qualität und Zuverlässigkeit 58 (2013), 8, S. 24-28
- Schweers, C.; Kruse, D.; Trächtler, A.: Automated Design of an Unscented Kalman Filter for State- and Parameter Estimation on unknown Models. In: IEEE Conference on Control, Automation, Robotics & Embedded Systems, Jabalpur, India, 2013
- Schweers, C.; Kruse, D.; Fast, V.; Trächtler, A.: Online-Zustands- und Parameterschätzung an Dymola-Modellen auf NI-Echtzeithardware. In: Virtuelle Instrumente in der Praxis 2013, Fürstenfeldbruck-München 2013
- Schweers, C.; Kruse, D.; Trächtler, A.: Entwurf eines Unscented-Kalman Filters zur Zustands- und Parameterschätzung an Dymola-Modellen. In: VDI Mechatronik Tagungsband Mechatronik 2013

Spöcker, G.; Bobek, T.; Glasmacher, L.; Klocke, F.: Towards a Cax-Framework for Adaptive Programming Using Generic Process Blocks for Manufacturing. In: Proceedings of the 4<sup>th</sup> Machining Innovations Conference, Hannover, September 2013, New Production Technologies in Aerospace Industry, Hrsg.: Denkena, B., 1. Aufl., Springer Aachen 2013, S. 153-162

Stürwald, S.; Schmitt, R.: Optimization of simultaneous digital holographic imaging and trapping techniques in a multi mode microscopy setup. In: Frontiers in Optics 2012 Frontiers in Optics Conference, OSA Technical Digest, Hrsg.: America, O. 2013, S. paper FTu3A.35

Tschirner, C.: Systems Engineering in der industriellen Praxis. Impulsvortrag, Sender Circle, September 2013

Vollmer, T.: Zuverlässigkeit versus Gewinn. 17. Business Forum Qualität. In: Qualität und Zuverlässigkeit 58 (2013), 11, S. 16-18

Wächter, D.; Dambon, O.; Klocke, F.: Optimization of grinding and polishing to gain efficiency in manufacturing silicon carbide mirrors. in: Proceedings of the EOSMOC & EOSOF Conference 2013, European Optical Society München 2013

Wegener, M. Integrative Produktionstechnik für Hochlohnländer, Teilprojekt: C-2: Multi-technology production systems, Werkzeugbau Akademie Forschungsbericht 2012/2013, S. 146

Wegener, M.: Integrated Simulation System for Laser Surface Treatment of Complex Parts Werkzeugbau Akademie Forschungsbericht 2012/2013, S.145

Wiegand, H.; Strasser, J.; Schuh, G.; Mangoldt, J.: Einkaufswissen mit Durchschlagskraft. Konsortial-Benchmarking Einkauf Teil 7. In: Beschaffung Aktuell 60 (2013), 1-2, S. 24-26

Wilbert, A.; Behrens, B.; C, Zymła; Dambon, O.; Klocke, F.: Automated Finishing Process - an Extrusion Die Case Study. 7<sup>th</sup> International Conference and Exhibition on Design and Production of Machines and Dies/Molds, Antalya, Turkey, June 20-23, 2013, proceedings. Atilim University; Ankara 2013, p. 229-236

Wilbert, A.; Behrens, B.; Dambon, O.; Klocke, F.: Robot Assisted Manufacturing System for High Gloss Finishing of Steel Molds. 5<sup>th</sup> International Conference, ICIRA 2012, Montreal, QC, Canada, October 3-5, 2012, proceedings. In: Intelligent robotics and applications, Hrsg.: Chun-Yi, S.; Subhash, R.; Honghai, L., 1. Aufl. , Springer Verlag Heidelberg; New York 2013, S. 673-685

Zentis, T.; Schmitt, R.: Risk Minimized Procurement in Low Wage Countries. In: Proceedings of the 22<sup>nd</sup> CIRP Design Conference CIRP Design 2012 – Sustainable Product Development, Hrsg.: Chakrabarti, A., Springer Verlag Aachen 2013, S. 217-226

Zentis, T.; Schmitt, R.: Technisches Risikomanagement bei Produktinnovationen. In: ZWF – Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb 108 (2013), 5, S. 336-340

# DISSERTATIONEN 2013

## DISSERTATIONS 2013

Arntz, K.: Technologie des Mehrachsfräsens von vergütetem Schnellarbeitsstahl. Diss. RWTH Aachen, 2013

Bulla, B.: Ultrapräzisionszerspanung von Nanokorn-Hartmetall mit monokristallinen Diamantwerkzeugen. Diss. RWTH Aachen, 2013

Busch, M.: Methodische Fräsprozessauslegung für die Bearbeitung hochwarmfester Werkstoffe. Diss. RWTH Aachen, 2013

Helbig, J.: Kombinierte Bearbeitung von Wälzlagerstahl 100Cr6 durch Hochpräzisionsharddrehen und Außenrundhonen. Diss. RWTH Aachen, 2013

Henke, C.: Betriebs- und Regelstrategien für den autonomen Fahrbetrieb von Schienenfahrzeugen mit Linearmotor. Diss. Universität Paderborn, 2013

Isermann, M.: Kognitive Regelung komplexer Produktionsprozesse. Diss. RWTH Aachen, 2013

Kreysa, J.: Einkaufsstrategiebildung für technologisch anspruchsvolle Güter auf der Grundlage der Beschaffungsmarktattraktivität. Diss. RWTH Aachen, 2013

Ottong, A.: Erfolgsfaktoren für den kulturgerechten Methodeneinsatz in organisatorischen Veränderungsprojekten. Diss. RWTH Aachen, 2013

Priesterjahn, C.: Analyzing Self-healing Operations in Mechatronic Systems Paderborn. Diss. Universität Paderborn, 2013

Pyschny, N.: Auslegung und Optimierung von festkörpergelenkbasierten Parallelkinematik für die Montage von optischen Komponenten. Diss. RWTH Aachen, 2013

Quito, F.: Hochleistungsmikrofräsen – Fertigung von Strukturen durch Mikrofräsen. Diss. RWTH Aachen, 2013

Schäfer, C.: Signaltechnische Voraussetzungen und Analyseverfahren zur Überwachung von Präzisions- und Ultrapräzisionsbearbeitungsverfahren. Diss. RWTH Aachen, 2013

Schubert, J.: Modell zur Bestimmung des Wertbeitrages von Produktionstechnologien zum Produktionssystem. Diss. RWTH Aachen, 2013

Schulte-Gehrmann, A.-L.: Gestaltung des strategischen Technologiemanagements für mittelständische Unternehmen. Diss. RWTH Aachen, 2013

Wang, F.: Process Simulation of Precision Glass Molding. Diss. RWTH Aachen, 2013

Zentis, T.: Modell zur Bewertung und Kontrolle technischer Risiken. Diss. RWTH Aachen, 2013

# 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.  
Carola Dellmann M.A.  
Joachim Riegel M.A.

### **Übersetzung/Translation**

European Translation Centre Ltd., Capestang, F  
Julia Glock, Aachen

### **Layout/Layout**

Heidi Peters

### **Fotos/Photos**

Fraunhofer IPT  
außer/except  
Seiten: 21, 23, 25, 27, 68, 71, 73, 109, 111, 113, 115, 117,  
119, 120 Panther Media GmbH  
Seite 35: MAN Diesel & Turbo SE  
Seite 75: Thilo Vogel

### **Druck/Print Shop**

Weiss-Druck GmbH & Co. KG, Monschau

© Fraunhofer-Institut für Produktionstechnologie IPT  
Aachen, 2014

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 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/Postcode \_\_\_\_\_

Stadt/Town \_\_\_\_\_

Telefon/Phone \_\_\_\_\_

Fax \_\_\_\_\_

E-Mail \_\_\_\_\_

### Periodica/Periodicals

- Tools – Informationen der Aachener Produktionstechniker (nur auf deutsch/german only)
- 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

© 2014

**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

www.ipt.fraunhofer.de