

# TOOLS

Informationen der Aachener Produktionstechniker



*Tauschmotor:  
Betrachtungsobjekt  
im Verbundprojekt  
Präventum*

Alternative Fertigungsverfahren für die Brennstoffzelle

Effizientere Energiegewinnung aus Sonnenlicht

Unternehmensübergreifende Werkzeuge des präventiven Umweltmanagements

Nachhaltiges Kostenrechnungssystem für neue Geschäftsmodelle

Executive MBA für Technologiemanager

Laboratorium für Werkzeugmaschinen und Betriebslehre WZL der RWTH Aachen  
Steinbachstraße 53  
52074 Aachen

Fraunhofer-Institut für Produktionstechnologie IPT  
Steinbachstraße 17  
52074 Aachen

4  
2003



Fraunhofer  
Institut  
Produktionstechnologie

Seite 4

► Themen

**Fertigungsverfahren**

Prozesse bestimmen Produkte  
Alternative Fertigungsverfahren  
für die Brennstoffzelle

Seite 6

**Werkzeugmaschinen**

Strukturierung von Solarzellen  
Effizientere Energiegewinnung  
aus Sonnenlicht

Seite 8

**Qualitätsmanagement**

Präventum – Umwelt und Unter-  
nehmen profitieren  
Unternehmensübergreifende Werk-  
zeuge des präventiven Umwelt-  
managements

Seite 10

**Produktionssystematik**

Ressourcenorientierte Prozess-  
kostenrechnung  
Nachhaltiges Kostenrechnungssystem  
für neue Geschäftsmodelle

► Forum

Seite 12

**Ingenieure ins Management!**  
Executive MBA für Technologie-  
manager

► News

Seite 14

Publikationen  
Personen  
Ereignisse  
Termine

Seite 23

► Kolumne

► Liebe Leserinnen  
und Leser,

nicht alle Rohstoffe, die heute zur Gewinnung von Energie und zur Herstellung von Produkten eingesetzt werden, stehen auch in Zukunft noch in ausreichender Menge zur Verfügung. Ressourcen zu schonen heißt daher, mit vorhandenen Mitteln die Bedürfnisse der Gegenwart zu decken, ohne zu riskieren, dass künftige Generationen ihre Bedürfnisse nicht mehr befriedigen können. Alternative Energien und Rohstoffe sowie ressourcenschonende Fertigungsverfahren und Konzepte tragen dazu bei, dass Wirtschaft und Umwelt gleichermaßen profitieren.

Tragbare elektronische Kleingeräte wie Laptops, Handys oder Videokameras sind heute in fast jedem Haushalt anzutreffen. Der Einsatz von Brennstoffzellen weist einen Weg, um dem steigenden Energieverbrauch zu begegnen. Das Fraunhofer IPT arbeitet daher nicht nur an der Miniaturisierung geeigneter Brennstoffzellen und ihrer Komponenten, sondern untersucht auch die Produktionsprozesse, mit denen sich solche Systeme in Zukunft profitabel und sicher in Serie fertigen lassen.

Während Brennstoffzellen langsam das Stadium der Marktreife erreichen, verzeichnet der Absatz von Solaranlagen bereits hohe Zuwachsraten. Im Gegensatz zu älteren Anlagen, die viel Sonnenlicht ungenutzt reflektierten, lässt sich die Energieabsorption der Wafer heute dank moderner Produktionsmaschinen immer weiter verbessern. Die Waferstrukturiermaschine des Fraunhofer IPT

fertigt preiswerte Wafer mit hoher Energieausbeute, die sowohl den Herstellern und Kunden als auch der Umwelt zugute kommen.

Doch selbst bei der Produktion umweltverträglicher Produkte fallen Kosten für Energie und Entsorgung an. Ein vorausschauendes Umweltmanagement, das alle Abläufe zur Fertigung von Produkten einbezieht, hat sich das WZL im Projekt »Präventum« auf die Fahnen geschrieben. Ökologische und gesetzliche Forderungen werden dazu für sämtliche Partner der Prozesskette abgewogen und systematisch in Relation zu entstehenden Kosten gesetzt. Auf diese Weise gelingt eine optimale Balance zwischen umweltschonenden und preislich vertretbaren Entscheidungen.

Neue Investitionen in nachhaltige Produktionstechnologien schlagen sich häufig in höheren Fix- und Gemeinkosten nieder, die in herkömmlichen Kostenrechnungssystemen nur selten exakt einzelnen Kostenträgern zugeordnet werden. Die ressourcenorientierte Prozesskostenrechnung bietet hier einen Ausweg: Zu jedem Zeitpunkt im Produktlebenszyklus lässt sich damit nicht nur die Herkunft der tatsächlichen Kosten klären, sondern auch Zusatznutzen und -aufwand für jede Ressource miteinander vergleichen.

Eine ressourcenschonende Produktion wird heute und in Zukunft immer stärker in den Vordergrund rücken. Das Fraunhofer IPT das WZL forcieren deshalb mit innovativen Technologien in zahlreichen Projekten nachhaltige wirtschaftliche Entwicklungen. Wir wünschen Ihnen viel Vergnügen mit unserer kleinen Auswahl in diesem Heft. ◀



Fritz Klocke



Tilo Pfeifer



Günther Schuh



Manfred Weck

# Prozesse bestimmen Produkte

## Alternative Fertigungsverfahren für die Brennstoffzelle

Sowohl Produkte selbst, als auch die Produktionsprozesse zu ihrer Herstellung bieten Ansatzpunkte, um die verfügbaren Ressourcen mit Bedacht einzusetzen. Umweltfreundliche Produkte wie die Brennstoffzelle wirken als neue, alternative Energiequellen einer bevorstehenden Energie- und Ressourcenknappheit entgegen. Aber auch der Produktionsprozess hält entsprechende Potenziale bereit: Schon während der Entwicklung lassen sich ressourcenschonende Produktionstechnologien berücksichtigen, die Funktion und Komponenten des Produkts verbessern.

### Ihr Ansprechpartner

Dipl.-Ing. Reiner Borsdorf ist seit Juni 1999 wissenschaftlicher Mitarbeiter der Abteilung Prozesstechnologie am Fraunhofer IPT.

Telefon 0241/8904-132

Der Energieverbrauch portabler, elektronischer Geräte wächst heute überproportional gegenüber der Energiedichte moderner Batteriesysteme. Die Betriebszeiten solcher Geräte werden dadurch immer kürzer. Hier eröffnet sich ein attraktives Marktsegment für ressourcenschonende Energiequellen wie die Brennstoffzelle, denn der Markt für elektronische Kleingeräte wird auch weiterhin stark expandieren.

Obwohl weltweit bereits zahlreiche Anwendungen für Prototypen existieren, ist bis heute noch keine breite Markteinführung der Brennstoffzelle gelungen. Die Gründe hierfür sind vielfältig: Nicht nur hohe infrastrukturelle Anforderungen sind zu bewältigen. Ein wesentliches Hindernis, das es zu überwinden gilt, sind immer noch die zu hohen Herstellungskosten. Denn geeignete Produktionstechnologien für die Einzelkomponenten von Brennstoffzellensystemen sind rar und nur schwer verfügbar. Wichtig für einen zukünftigen Markterfolg solcher Systeme sind daher Fertigungstechnologien, mit denen eine profitable, produktionstechnisch sichere und serientaugliche Herstellung von Komponenten für Brennstoffzellen in greifbare Nähe rückt.

### Werkstoff und Gestalt beeinflussen die Fertigung

Das eingesetzte Material, die Gestalt sowie die Funktionen und Qualitätsmerkmale der Komponenten bestimmen

maßgeblich die Anforderungen an die eingesetzte Fertigungstechnologie. Da sich diese Faktoren häufig gegenseitig beeinflussen, müssen Fertigungstechnologien, die in die engere Wahl kommen, so früh wie möglich in den Prozess der Produktentwicklung einfließen. Intensive Technologierecherchen decken Potenziale, aber auch Grenzen der Technologien auf. Bereits in der Planungsphase der Entwicklung ist es wichtig, auf einen möglichst ressourcenschonenden oder Funktion der Stromableitung zu erfüllen, muss der Werkstoff eine ausreichende elektrische Leitfähigkeit besitzen. Er muss zudem gasdicht, aber leicht sein und eine gute chemische Stabilität aufweisen. Damit sich die Brennstoffzelle als preiswertes Konsumentenprodukt am Markt etablieren kann, müssen auch die Materialkosten

Die Bipolarplatte einer Brennstoffzelle liefert für diese Vorgehensweise ein gutes Beispiel: Das Bauteil weist beidseitig Kanalstrukturen auf, die für den Transport und die Verteilung von Sauerstoff und Wasserstoff benötigt werden. Sie dient dazu, Strom abzuleiten, einzelne Zellen zu trennen, Sauerstoff und Wasserstoff zuzuführen sowie Wasser und Wärme, die bei der Reaktion entstehen, abzuführen. Diese Funktionen bestimmen

nicht nur die Anforderungen an den Werkstoff, sondern auch an die Gestalt der Bipolarplatte.

### Leicht und leitfähig

Um die Funktion der Stromableitung zu erfüllen, muss der Werkstoff eine ausreichende elektrische Leitfähigkeit besitzen. Er muss zudem gasdicht, aber leicht sein und eine gute chemische Stabilität aufweisen. Damit sich die Brennstoffzelle als preiswertes Konsumentenprodukt am Markt etablieren kann, müssen auch die Materialkosten

möglichst niedrig sein. Geeignete Werkstoffe für die Bipolarplatte wären dementsprechend Titan, Edelstahl, Graphit oder Compoundmaterialien.

### Miniaturisierte Kanalstrukturen

Die Gestalt der Bipolarplatten muss so beschaffen sein, dass die Gase getrennt antransportiert werden. Nur so lässt sich eine verfrühte Reaktion vermeiden. Ein mäanderförmiges Kanaldesign gewährleistet die gleichmäßige Verteilung der Gase an der Membran.

Wichtig ist es aber auch, dass das Wasser, welches auf der Luftseite durch die Reaktion entsteht, schnell und leicht abtransportiert wird. Die Kanalstrukturen sollten dazu Abmaße im Millimeter- bzw. Mikrometer-Bereich aufweisen.

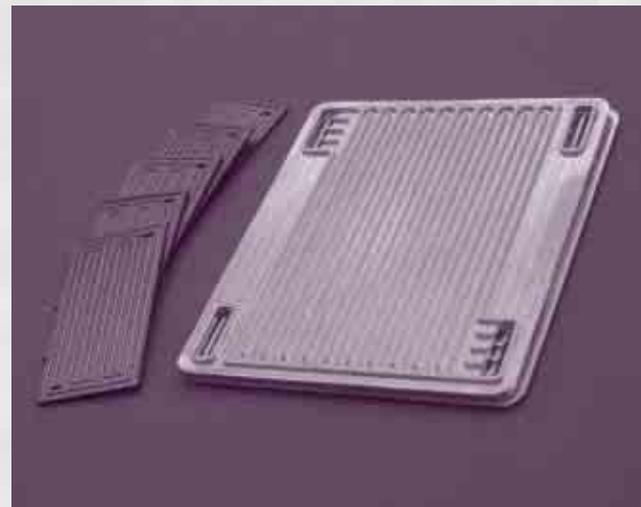
### Metallische Bipolarplatten reduzieren Gewicht

Für die Strukturierung der Bipolarplatten können unter anderem umformende und trennende Fertigungsverfahren eingesetzt werden. Bei trennenden Fertigungsverfahren wie Fräsen oder Ätzen erfolgt die Strukturierung durch

einen Abtrag von Material an Stellen, an denen die Kanalstrukturen in die Bipolarplatte eingebracht werden sollen. Das bedeutet nicht nur, dass Werkzeuge oder Wirkmedien eingesetzt werden müssen, die einen reproduzierbaren Materialabtrag sicher stellen. Es führt auch dazu, dass abgetragenes Material entweder entsorgt oder wiederaufbereitet werden muss. Erneut entstehen Kosten für das produzierende Unternehmen.

Ressourcenschonender arbeiten umformende Fertigungsverfahren. Voraussetzung ist, dass das Plattenmaterial durch Umformen strukturiert werden kann. Die Umformung sehr dünnwandiger Bleche (z.B. 100 µm dicke Edelstahl-Bleche) gewährleistet eine Strukturierung ohne Materialabtrag. Für unterschiedliche Kanalstrukturen der Luft- und Wasserstoffseite werden getrennte Bleche umgeformt, die in einem anschließenden Fügeprozess miteinander zu einer Bipolarplatte verbunden werden. Der Bedarf an Werkstoff und das Gewicht der Bipolarplatte sinkt dadurch drastisch.

Am Beispiel der Brennstoffzelle zeigt sich, wie die frühzeitige Auswahl der Produktionstechnologie bereits während der Produktentwicklung nicht nur Werkstoffe, Gestalt und Funktion von Bauteilen beeinflusst. Auch die Effizienz des Entwicklungsprozesses wächst, indem Produkt und Produktion ressourcenschonender ausgelegt werden.



Bipolarplatten für miniaturisierte Brennstoffzellensysteme

fahren eingesetzt werden. Bei trennenden Fertigungsverfahren wie Fräsen oder Ätzen erfolgt die Strukturierung durch

# Strukturierung von Solarzellen

## Effizientere Energiegewinnung aus Sonnenlicht

Der Markt für photovoltaische Anlagen verzeichnet steigende Zuwachsraten von jährlich rund 20 Prozent. Gleichzeitig hat sich jedoch der Kostendruck auf die Produzenten von Solarzellen deutlich verstärkt. Ganzflächig mit V-Nuten strukturierte Solarzellen absorbieren das Licht besser als ihre Vorgänger und wandeln Sonnenlicht wesentlich effizienter in nutzbare elektrische Energie um. Mit einer neu entwickelten Maschine des Fraunhofer IPT lassen sich solche Waferoberflächen für Solarzellen preiswert strukturieren.

### Ihr Ansprechpartner

Dipl.-Ing. Ralf Schug ist seit Mai 2002 wissenschaftlicher Mitarbeiter der Abteilung Produktionsmaschinen am Fraunhofer IPT.

Telefon 0241/8904-147

Solarzellen dienen schon heute in zahlreichen Anwendungen zur Energiegewinnung. Indem Sonneneinstrahlung in den einzelnen Modulen von Solaranlagen in Elektrizität umgewandelt wird, lässt sich die regenerative Energie nutzen. Ein Solarmodul absorbiert dazu in einem ersten Schritt einen Teil des einfallenden Lichts. Bereits Alexandre Edmont Bequerel entdeckte im Jahr 1839 den Vorgang auf atomarer Ebene, der aus der einfallenden Lichtstrahlung im Inneren eines Grundkörpers aus Silizium ein elektrisches Feld erzeugt. Das Licht gibt dabei die Energie seiner Photonen an Elektronen des Siliziums ab und versetzt sie in einen höheren Energiezustand. Ein auf diese Weise angeregtes Elektron kann sich im Silizium frei bewegen. In einem Wafer mit einer dünnen, gezielt mit Fremdatomen versehenen Schicht bildet sich ein konstantes elektrisches Feld. Sobald daran ein Stromverbraucher angeschlossen wird, schließt sich der Stromkreis. Licht, das von der Solarzelle reflektiert wird, steht der Erzeugung elektrischer Spannung durch den beschriebenen inneren photovoltaischen Effekt jedoch nicht zur Verfügung.

### Feine Strukturen für mehr Energie

Grundlagenuntersuchungen haben gezeigt, dass Strukturen auf Waferoberflächen, welche die Reflexionswinkel verändern, eine relative Effizienzsteigerung von bis zu 5 Prozent bei der Umwandlung der einstrahlenden Energiemenge bewirken. Gelingt es, die Rich-

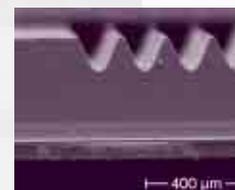
tung der reflektierten Sonnenstrahlen so zu beeinflussen, dass sie ein zweites Mal auf die Oberfläche des Wafers treffen, erhöht sich die Wahrscheinlichkeit der Lichtabsorption. Strukturen, die dies leisten, lassen sich in Abhängigkeit des Wafermaterials auf unterschiedliche Weise erzeugen. Die Oberfläche kostenintensiver monokristalliner Wafer wird wirksam durch einen Ätzprozess strukturiert. Bei polykristallinem Silizium hingegen ist das Ergebnis des Ätzens abhängig von der Kristallausrichtung. Unterschiedliche Ergebnisse an einzelnen Körnern sind oft die Folge. Zur gleichmäßigen Strukturierung bietet es sich daher an, polykristallines Silizium mechanisch zu bearbeiten.

### Strukturieren mit profilierter Schleifwalze

Zusammen mit der RWE Solar GmbH als Hersteller von Solarmodulen und der Universität Konstanz entwickelte das Fraunhofer IPT eine Maschine, die Siliziumwafer für Solarzellen mit hohem Durchsatz präzise mit V-Nuten strukturiert. Innerhalb der Fertigungsfolge vom Siliziumrohwerkstoff bis zum nutzbaren Solarmodul übernimmt die Maschine den Wafer unmittelbar nach dem Drahtsägen aus einem Siliziumblock. Das Maschinenkonzept sieht die Bearbeitung des Siliziums mit einer profilierten Schleifwalze vor, die in einem Bearbeitungsschritt gleich vier Solarwafer ganzflächig strukturieren kann. Die Anlage lässt sich auch durch Waferhandlungssysteme für den vollautomatischen industriellen Einsatz ergänzen.

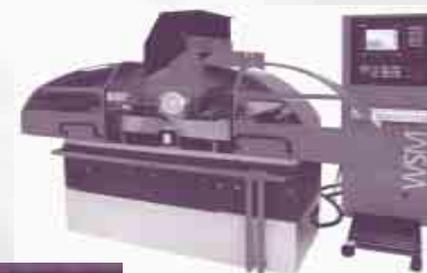
### Feine Strukturen durch drei Achsen

Die Maschine nutzt drei voneinander unabhängige Achsen: Während die X-Achse die Wafer unter der rotierenden Schleifwalze hindurchführt, steuert die Y-Achse die Zustellung der Schleifwalze zum Wafer und bestimmt damit die Tiefe der eingebrachten Struktur. An der Y-Achse arbeitet ein System aus Rollengewindetrieb und pneumatischem Gewichtsausgleich, das auch dem großen Gewicht der Werkzeugspindel standhält. Eine weitere Z-Achse mit Linearmotor ist für den axialen Versatz der Wafer nach dem ersten Bearbeitungsschritt vorgesehen. In zwei Bearbeitungsschritten stellt die Maschine dadurch versetzte Nuten her, die eine doppelt so feine Oberflächenstrukturierung des Wafers bewirken, wie sie sich in einer Einschnittbearbeitung erzielen ließen. Die V-Nuten aus einem einstufigen Verfahren weisen eine Breite von ca. 160 µm und eine Höhe von ca. 100 µm auf.



### Schleifwalzen aus faserverstärkten Kunststoffen

Das Schleifwalzenprofil, das beim Strukturieren zum Einsatz kommt, kann durch einen Drehprozess vor der Beschichtung der Walze mit einer Diamant-



links:  
Waferstrukturierungsmaschine (WSM)

links unten:  
Profil eines mit V-Nuten strukturierten Wafers

kornbindung erzeugt werden. Alternativ dazu lässt sich das Profil auch nach der Beschichtung durch Funkenerosion auf der sonst ebenen

Walzenoberfläche einarbeiten. Die strukturierte Schleifwalze wird in der Waferstrukturierungsmaschine (WSM) über einen Hydrodehnspanndorn kraftschlüssig mit der Spindel verbunden. Die Spindel arbeitet dabei abhängig vom Schleifwalzendurchmesser mit einer Schnittgeschwindigkeit von bis zu 120 m/s. Die geforderten Drehzahlen betragen bis zu 10 000 U/min. Um diese zu erreichen, entwickelte das Fraunhofer IPT eigens einen Schleifwalzenrundkörper auf Basis faserverstärkter Kunststoffe. Von Vorteil ist dabei die hohe Festigkeit bei gleichzeitig geringem Gewicht. Das geringere spezifische Gewicht des Grundkörpers reduziert so die Fliehkräftbelastungen innerhalb des Werkzeugs.

### Mehrfach effizient

Über die Abbildung der reinen Kinematik hinaus erlaubt die WSM auch Funktionen, mit denen automatisierte Prozesse überwacht werden können. Ein maschinenintegriertes Acoustic-Emission-System (AE-System) zur Auswertung von Schallwellen dient zum Beispiel der Kontrolle des Bearbeitungsprozesses. Es lassen sich sowohl Werkzeugschädigungen und Kollisionen rechtzeitig erfassen, als auch ca. 330 µm dicke Siliziumwafer automatisch ankratzen.

Die CE-zertifizierte Waferstrukturierungsmaschine des Fraunhofer IPT eignet sich nicht nur dazu, Solarwafer zu strukturieren. Sie kann ebenso bei der Strukturierung sprödharter Materialien zum Einsatz kommen. Darüber hinaus lassen sich mit der WSM selbst wellige Wafer mittels einer nichtstrukturierten Schleifscheibe planarisieren – eine zukunftsweisende Aussicht, ausgesonderte Wafer der Wertschöpfungskette zur Fertigung von Solarmodulen erneut zuzuführen.

# Präventum – Umwelt und Unternehmen profitieren

## Unternehmensübergreifende Werkzeuge des präventiven Umweltmanagements

Umweltgesetze und -verordnungen fordern heute von Unternehmen eine immer größere Verantwortung für die Auswirkungen ihrer Produkte und Prozesse. Steigende Energiepreise und die Kosten der Entsorgung produktionsbegleitender Abfälle, der Betriebsmittel und des Produktes werden zu einem ernst zu nehmenden finanziellen Faktor im Unternehmen. Die Bedeutung eines präventiven Umweltmanagements, das diese Faktoren auch jenseits des eigenen Unternehmens steuert, gewinnt damit zunehmend an Bedeutung.

### Ihr Ansprechpartner

Dipl.-Ing. Thilo Greshake ist seit November 2000 wissenschaftlicher Mitarbeiter am Lehrstuhl für Fertigungsmesstechnik und Qualitätsmanagement des WZL.

Telefon 0241/80-26992

Bei der Einführung eines vorausschauenden Umweltmanagements können Ansätze des präventiven Qualitätsmanagements von großem Nutzen sein. Durch den gezielten Einsatz lassen sich die geforderten Schritte zum Schutz der Umwelt optimieren und in bestehende Abläufe integrieren. Das Werkzeugmaschinenlabor der RWTH Aachen (WZL) hat dazu gemeinsam mit Partnern aus der Industrie (ACTech, DaimlerChrysler, Stuart, bvse) und mit Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF) das Projekt »Präventum« initiiert. Ziel ist eine praxiserprobte Vorgehensweise, die alle Partner im Lebenszyklus dazu anhält, ihre Produkte und Prozesse nicht nur unternehmensübergreifend aufeinander abzustimmen sondern auch so zu gestalten, dass negative Auswirkungen auf die Umwelt minimiert werden. Im Projekt »Präventum« haben als Lebenszykluspartner Gießereien, Automobilproduzenten, Schmierstoffhersteller und Entsorger zusammengefunden.

### ► Horizontale und vertikale Kreisläufe schließen

In einem ersten Schritt von »Präventum« analysieren die Partner sowohl ihre eigenen umweltbezogenen Forderungen als auch die Ansprüche weiterer relevanter Gruppen wie Kunden und Gesetzgeber. Die Anwendung eines neu entwickelten Umwelt Quality Function Deployment (UQFD) bindet die Forderungen dieser Anspruchsgruppen so-

wohl in die Produktplanung des horizontalen Kreislaufs ein, als auch in die Prozess- und Produktionsplanung der vertikalen Kreisläufe. Ergebnis sind Produkt- und Prozessmerkmale, die negative Einwirkungen auf die Umwelt nicht bloß verlagern, sondern insgesamt reduzieren. Die QFD-typische Bewertung der einzelnen Merkmale unterscheidet hier zwischen Muss- und Kann-Forderungen, also beispielweise zwischen einer gesetzlich vorgeschriebenen Recyclingquote und einer gussoptimierten Konstruktion von Kurbelgehäusen.

### ► Risiken minimieren

Auch die Betrachtung möglicher Risiken für die Umwelt, die sowohl aus den Produkten als auch aus den Prozessen entstehen können, erfordert eine unternehmensübergreifende Zusammenarbeit. Um die Gefahren nicht einfach nur in andere Produktbereiche zu verschieben, entwickeln die Projektpartner gemeinsame Strategien, mit denen sie Fehler vermeiden oder zumindest frühzeitig identifizieren können. Die Umwelt-Fehler-Möglichkeiten- und -Einfluss-Analyse (UFMEA) arbeitet dazu mit einer neuen Kennzahl, die dem »Kooperationsfaktor«, also den Anforderungen einer unternehmensübergreifenden Zusammenarbeit, gerecht wird. Die große Bedeutung des Faktors Kooperation resultiert sowohl aus den möglichen Fehlern, die im Zusammenspiel mehrerer Partner entstehen können, als auch aus den Maßnahmen zur Fehlervermeidung und -entdeckung, welche die verschiedenen Lebenszykluspartner treffen müssen.



### ► Gewinnpotenziale aufdecken

Ergebnis des Umwelt Quality Function Deployment und der Umwelt-Fehler-Möglichkeiten- und -Einfluss-Analyse sind Optionen, mit denen sich die umweltbezogenen Auswirkungen von Produkten und Prozessen verbessern lassen. Die Ausrichtungen dieser Optionen können sich jedoch teilweise widersprechen. So stehen beispielsweise in der Automobilindustrie dem Wunsch nach einem geringerem Kraftstoffverbrauch durch Reduktion des Bauteilgewichtes erhöhte Aufwendungen für Guss und Bearbeitung neuer Werkstoffe entgegen. Umweltmanagement wird hier nicht als ideeller Selbstzweck verstanden, sondern muss ökonomisch zumutbar sein.

*Tauschmotor: Betrachtungsobjekt im Verbundprojekt Präventum*

Zur Konkretisierung ist es deshalb unabdingbar, die Kosten systematisch zu betrachten: Dazu werden in Anlehnung an das traditionelle Target Costing zunächst die Kosten oder Einsparungen berechnet, die sich aus dem betrachteten Szenario innerhalb der gesamten Wertschöpfungskette ergeben. Zusätzlich wird die Höhe der Preise ermittelt, die einzelne Lösungen und Maßnahmen in der jeweiligen Marktsituation erzielen. Sie werden mit den Kosten abgeglichen, die entstehen, wenn Lösungen verworfen werden.

Auch hier ist die unternehmensübergreifende Zusammenarbeit wesentlicher Erfolgsfaktor. Während sich betriebinterne Kosten noch relativ gut bestimmen lassen, fehlt vielen Unternehmen das Wissen um externe Kosten zuverlässig

abzuschätzen. Das Umwelt Target Costing schafft hier Transparenz über monetäre Auswirkungen von Produkt- und Prozessalternativen. Es bildet die Basis der quantifizierbaren Vorschläge für ein funktionierendes Umweltmanagement. Hohe Kostentransparenz ist gerade in Beziehungsketten unerlässlich, in denen bewusst höhere Kosten in einem Bereich akzeptiert werden, um gleichzeitig in anderen Bereichen einzusparen. Ein anschauliches Beispiel dafür bietet wiederum das Kurbelgehäuse: Höheren Kosten durch eine aufwändigere Herstellung stehen Einsparungen durch einen geringeren Bearbeitungsaufwand und eine einfachere Wiederaufarbeitung gegenüber.

### ► Public Available Specification

Das WZL möchte die hier dargestellte Vorgehensweise möglichst früh auch anderen Unternehmen zugänglich machen und die Übertragbarkeit auf andere Produkte und ihre Wertschöpfungsketten gewährleisten. Aus diesem Grund werden die Projektergebnisse projektbegleitend in einer Public Available Specification (PAS) dokumentiert und beim Deutschen Institut für Normung e.V. (DIN) publiziert. Diese detaillierte produkt- und prozessneutrale Vorgehensbeschreibung versetzt Unternehmen unterschiedlichster Branchen in die Lage, an den Ergebnissen teilzuhaben und so ihre umweltbezogenen Kosten im gesamten Produktlebenszyklus Schritt für Schritt zu verringern.

# Ressourcenorientierte Prozesskostenrechnung

## Nachhaltiges Kostenrechnungssystem für neue Geschäftsmodelle

Unternehmen, die immer stärker auf Kunden fokussieren, bestehende Produkte an deren Wünsche anpassen und ihre Produktprogramme verbreitern, stehen schnell vor einer explodierenden Variantenvielfalt. Doch jede zusätzliche Produktvariante verursacht auch weitere Fix- und Gemeinkosten. Klassische Kostenrechnungssysteme sind oft nicht aussagekräftig genug, um dies zu verdeutlichen. Das Forschungsprojekt NaNuMA setzt deshalb auf die Ressourcenorientierte Prozesskostenrechnung, um Varianten korrekt zu beurteilen, die durch neue Geschäftsmodelle entstehen.

### Ihre Ansprechpartner

Dipl.-Wi.-Ing. Lutz Frick ist seit Juni 2002 wissenschaftlicher Mitarbeiter am Lehrstuhl für Produktions-systematik des WZL.

Telefon 0241/80-28195

Dipl.-Ing. Martin Schönong ist seit September 2002 wissenschaftlicher Mitarbeiter am Lehrstuhl für Produktionssystematik des WZL.

Telefon 0241/80-28196

Es fällt vielen Unternehmen zunehmend schwer, sich durch alleinige Ausrichtung auf den niedrigsten Preis oder die technologische Differenzierung in attraktiven Marktsegmenten zu etablieren. Erfolgversprechender sind hier meist Mischstrategien, die nicht nur auf preisgünstige Produkte, sondern auch auf einen hohen technischen Standard setzen. Die größte Herausforderung ist es dabei, die Balance zu halten zwischen den individuellen Wünschen der Kunden und einem effizienten Produkt- und Dienstleistungsportfolio, welches vor einer ausufernden Variantenvielfalt schützt.

### ► Schwächen bestehender Kostenrechnungssysteme

Bei klassischen Kostenrechnungssystemen liegt der Schwerpunkt auf einer exakten Verrechnung der direkten Kosten. Bei steigenden Gemeinkosten vermindert sich jedoch die Aussagefähigkeit dieser Systeme, denn sie differenzieren nur wenig bei der Umlage von Gemeinkosten auf die Kostenträger. Einen Ausweg bietet ein nachhaltiges Kostenrechnungssystem, das diese Unterscheidung treffen kann: Zu jedem Zeitpunkt des Produktlebenszyklus ist solch ein System in der Lage, Informationen über die Herkunft einzelner Kosten auszugeben und innerbetriebliche Abläufe zu bewerten. Auf diese Weise lassen sich nicht nur die tatsächlichen

Kosten verursachungsgerecht einzelnen Kostenstellen zuordnen, sondern auch Zusatznutzen und -aufwand miteinander vergleichen.

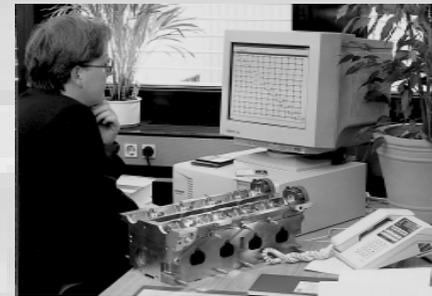
Zu diesem Zweck wurde die Ressourcenorientierte Prozesskostenrechnung entwickelt, die Elemente aus mehreren bekannten und verbreiteten Methoden der Kostenrechnung zu einem detaillierten und aussagekräftigen Verfahren verbindet, dessen kleinste Einheit die Ressource je Teilprozess ist. Veränderungen sowohl an Produkten, als auch an Prozessen lassen sich dadurch bewerten, dass die veränderten Ausprägungen der Kostentreiber den veränderten Ressourcenverzehr in den entsprechenden Teilprozessen beschreiben.

### ► Separate Analyse von Produkten, Prozessen und Kosten

Für jede Ressource und jeden Teilprozess wird dazu der Ressourcenverbrauch in einem sogenannten Nomogramm grafisch abgebildet. Die rechte Seite der Abbildung beschreibt die Verbrauchsfunktion. Sie stellt für jeden Teilprozess den funktionalen Zusammenhang zwischen dem Verursacher der Kosten und dem Ressourcenbedarf her und ermittelt so den jeweiligen Ressourcenverzehr. Im linken Teil der Abbildung, der die Kostenfunktion aufzeigt, wird der Ressourcenverzehr mit den dazugehörigen Standardkosten der Ressource multipliziert. Das Ergebnis zeigt die Kosten für den einzelnen Teilprozess. Die Daten der Nomogramme werden

abteilungsweise in Datenblättern dokumentiert und in einem relationalen Kosten(daten)modell abgelegt.

Im ersten Analyseschritt müssen nun die einzelnen Geschäftsprozesse ermittelt werden, die zur Herstellung der gewünschten Leistung dienen. Anschließend werden die dazugehörigen Ressourcen den Wertschöpfungsstufen des untersuchten Unternehmens zugeord-



Ein nachhaltiges Kostenrechnungssystem analysiert Produkte, Prozesse und Kosten

net. Der dritte Schritt legt dann im Nomogramm eine Verbrauchsfunktion für jeden Teilprozess fest, bevor die dazugehörige Kostenfunktion schließlich die tatsächlichen Kosten für den Geschäftsprozess anzeigt.

Indem das Modell systematisch zwischen der Verbrauchs- und Kostenfunktion unterscheidet, lassen sich beide Funktionen einzeln an reale Veränderungen anpassen. Verändert sich nur die Kostenfunktion, passt sich die Ver-

brauchsfunktion den neuen Prozessen automatisch ohne erneute Analyse an. Der Vorteil dabei: Veränderungen an Produkten, Prozessen und Kosten lassen sich getrennt analysieren und ausweisen.

### ► Besondere Merkmale

#### Flexible Kombination von Teilprozessen für unterschiedliche Bewertungszwecke

Je nach Bewertungsfall können unterschiedliche Teilprozesse zur Ermittlung entstehender Ressourcenverbräuche ausgewählt werden. Die Konfiguration eines konkreten Bewertungsfalls erfolgt dabei durch entsprechende Auswahl der Kostentreiber.

#### Trennung zwischen Ressourcenverbrauch und Ressourcenwert

Der Zusammenhang zwischen Kostentreibern und ihrer Ausprägung sowie Ressourcenverbrauch und den entstehenden Kosten wird mit Hilfe von Nomogrammen grafisch abgebildet.

#### Dynamisierung durch nicht-lineare Funktionen

In der Praxis zeigt sich regelmäßig, dass der Ressourcenverbrauch sich zur Prozessmenge nicht proportional verhält. Solche nicht-linearen Zusammenhänge lassen sich mit Hilfe der Nomogramme

sehr einfach darstellen und bei der Ermittlung des Ressourcenverbrauchs berücksichtigen.

#### Verwendung von Standardkostensätzen

Das Modell beruht auf Standardkosten und Schätzungen und nicht auf tatsächlichen Kosten. Standardkosten basieren auf der praktisch erreichbaren Ressourcenkapazität im Unternehmen, aber nicht auf deren tatsächlicher Auslastung zum Zeitpunkt der Aktivität.

Die Ressourcenorientierte Prozesskostenrechnung verdeutlicht die zentralen Elemente, die bei der Herstellung von Produkten und Dienstleistungen zu dauerhafter Rentabilität führen. Das Modell legt die strategischen Kosten von Produkten, Dienstleistungen und Kunden offen, indem es sehr präzise Kosten bzw. Ressourcen (Menschen, Maschinen, Anlagen) verfolgt, die zur Herstellung eines Produktes, einer Dienstleistung oder zur Bedienung eines Kunden verwendet werden.

In einem erweitertem Simultaneous-Engineering-Konzept, das Product und Business Design zur Entwicklung effizienter Leistungssysteme integriert, wird die Ressourcenorientierte Prozesskostenrechnung bereits im Projekt »NaNuMA – Nachhaltige Nutzungskonzepte im Maschinen- und Anlagenbau« eingesetzt. Hier werden Methoden für Unternehmen aus der Maschinenbau-Branche entwickelt, die neue Geschäftsmodelle, wie etwa Betreibermodelle, nachhaltig implementieren.

# Ingenieure ins Management!

## Executive MBA für Technologiemanager

Innovative Technologien als Resourcensource volkswirtschaftlichen Wachstums – das ist die Formel für die Zukunft. Das Management solcher Technologien wird zum entscheidenden Erfolgsfaktor. Doch wer stößt in Krisenzeiten Innovationsprozesse an und nimmt aktiv am Change-Management für Deutschland teil? Die Antwort: Gut ausgebildete Köpfe, die Technologien in ihrer Tiefe verstehen und beurteilen können, welche davon die Zukunft sichern. In den Vorstandsetagen der Dax100-Unternehmen sitzen indes lediglich fünf Prozent Ingenieure.

### Ihr Ansprechpartner

Dipl.-Ing. Dagmar Dirzus ist Kursleiterin des Executive MBA für Technologiemanager und seit August 2002 Projektingenieurin und Marketingleiterin bei der WZLforum gGmbH.

Telefon 0241/80-20010

Technische Kompetenz in Entscheidungspositionen ist eine notwendige Voraussetzung dafür, die Spitzenplätze im internationalen Wettbewerb dauerhaft zu besetzen. Gerade frühere Schlüsselbranchen wie etwa die Unterhaltungselektronik oder die Fototechnik zeigen deutlich, welche großen Defizite Deutschland inzwischen aufweist: Als einstiger Vorreiter dieser Technologien ist die Bundesrepublik längst von den Spitzenplätzen zurückgefallen und in vielen Teilbereichen sogar in der Bedeutungslosigkeit versunken.

### ► Ingenieure ins Top-Management?

Interessant ist vor diesem Hintergrund die Frage, ob Ingenieure tatsächlich die Fähigkeiten besitzen, die eine (Volks-)Wirtschaft voran bringen. Und falls ja, was hat sie bisher davon abgehalten, Entscheidungspositionen in größerem Umfang zu besetzen? Betrachtet man prominente Vertreter wie Dr. Wendelin Wiedeking, den Vorstandsvorsitzenden der Porsche AG, oder Professor Joachim Milberg, sein früheres Pendant bei BMW, so muss die erste Frage mit »Ja!« beantwortet werden. Solange sich Wettbewerbsfähigkeit daran misst, Produkte schnell und effizient auf dem Markt zu platzieren, müssen Know-how und Entscheidungsträger in Personalunion auftreten. Nur so können Innovationen forciert werden – von der Bewertung der neuen Technologie über ihre Implementierung und Umsetzung bis

hin zur Positionierung des daraus entwickelten Produkts. Diese Argumentationskette scheint logisch. Doch woran liegt es nun, dass trotz guter Voraussetzungen für höhere Managementpositionen so wenige Ingenieure den Sprung ins Topmanagement schaffen? Ist es gar ihr eigener Fehler? Haben Ingenieure heute immer noch den ihnen nachgesagten »Tunnelblick« und fehlt den meisten der weite Horizont?

### ► Blick über den Tellerrand

Fest steht, dass Fortschritt in der Forschung zweifellos durch Spezialisierung erreicht werden kann, dass aber von Entscheidungsträgern in Unternehmen anderes verlangt wird. Top-Manager müssen drei grundlegende Eigenschaften miteinander vereinen: Sie müssen neue Technologien in Bezug auf ihre Anwendbarkeit und Umsetzbarkeit beurteilen können. Gleichzeitig müssen sie den Blick über den Tellerrand des eigenen Fachwissens hinaus wagen und grundlegende Kenntnisse der Betriebswirtschaft besitzen, um Unternehmen und Märkte beurteilen zu können. Zu guter Letzt brauchen sie die Fähigkeit, Unternehmen zu lenken, vom Management der Human Resources über die Strategieentwicklung bis hin zum Komplexitätsmanagement.

### ► Interesse fürs Management wecken

Damit wird die (Weiter-)Qualifizierung von Ingenieuren zur Grundvoraussetzung für nachhaltiges Wachstum. Nur

so wird das einstige Wirtschaftswunderland Deutschland mit neu einsetzendem Wachstum im globalen Wettbewerb wieder mithalten können. Diese Erkenntnis setzt sich mehr und mehr durch, und es finden sich zunehmend Initiativen, Ingenieure für Managementpositionen zu gewinnen. Dazu zählt unter anderem die von Professor Joachim Milberg neu gegründete Akademie der Technikwissenschaften Acatech. Ihre Aufgabe ist es unter anderem, junge Studierende der Ingenieurwissenschaften für die Aufgaben des Managements zu begeistern. Sie wird als unabhängige Institution auf nationaler wie internationaler Ebene Technikwissenschaftler und Persönlichkeiten aus Politik und Wirtschaft zusammenführen. An der RWTH Aachen motiviert Dr. Wendelin Wiedeking junge Ingenieure mit der Vorlesung Innovationsmanagement. In ihr stellt der Porsche-

diesem Zweck eine Allianz mit der Universität St. Gallen eingegangen, der renommiertesten Institution für deutschsprachige Managementaus- und -weiterbildung. Gemeinsam bieten die beiden Hochschulen ein Weiterbildungspaket an, das exakt auf Ingenieure mit dem Potenzial für das Top-Management zugeschnitten ist: den »Executive MBA für Technologiemanager«. Ein anderthalbjähriges, berufsbegleitendes Programm, das mit herausragender Qualität in Bezug auf Curriculum, Dozenten sowie den Auswahlkriterien seiner Teilnehmer überzeugt.

### ► Technologiemanagement in Theorie und Praxis

Die 100-tägige Weiterbildung zielt auf die Anforderungen und Bedürfnisse der berufs- und erfahrungserfahrenen In-



### ► Engagement für die Besten

Doch über die Motivation hinaus müssen Ingenieure auch gezielt auf umfassende Managementaufgaben vorbereitet werden. Aus ihrer Position als Nummer Eins in puncto Ingenieurausbildung ist die RWTH Aachen zu

Weiterbildungszentrum (WBZ) der Universität St. Gallen (HSG)

genieure mit akademischer Erstausbildung gleichermaßen ab, wie auf die von Unternehmen, die ihre Managementpositionen mit hoch qualifizierten Führungskräften besetzen wollen. Das Programm setzt dazu auf den Basisbausteinen der Unternehmensführung und des Wandels auf. Es behandelt in 19 thematisch und organisatorisch abgeschlossenen Modulen ein sorgfältig ausgewähltes Spektrum an Themen: von den Grundlagen finanzieller Führung bis hin zum Technologie- und Informationsmanagement. Darüber hinaus werden Kenntnisse zur Bewertung von Innovationen und Märkten vermittelt. Die Teilnehmer lernen die Bedingungen des Managements auf internationalen Märkten unter anderem bei einer Studienreise nach Asien kennen und können optional ein Modul am Massachusetts Institute of Technology (MIT) in Boston buchen. Abgerundet wird das Programm durch Unternehmengespräche und so genannte »Technologie-Trend-Sessions«, in denen die Teilnehmer sowohl praxisbezogene als auch wissenschaftliche Einsichten in relevante Themen des Technologiemanagements gewinnen.

Um die zahlreichen Ressourcen der deutschen Wirtschaft wieder in vollem Umfang zu nutzen, muss Technologiemanagement zu einer Kerndisziplin des Managements werden. Und wer könnte das besser in die Hand nehmen als gut ausgebildete Ingenieure?

Weitere Informationen  
www.emba.rwth-aachen.de  
www.acatech.de

## ► Publikationen

- Vorsprung durch Virtual Reality
- Produktionsstudie 2003

## ► Personen

- Personalia
- WZL-Hiwis am MIT

## ► Ereignisse

- ›Excellence in Production‹
- Karriere mit Fraunhofer
- Seminar ›VisionOnline‹
- Haus Overbach-Ferienakademie 2003 im WZL

## ► Termine

- Product-Lifecycle-Management
- Anwendungsorientierte Informationstechnologie zum Service von Werkzeugmaschinen
- Innovationen rund ums Kegelrad
- Rapid Technologies – Erfolgreiche Produkte durch effiziente Produktentwicklung
- Berechnung von Spindel-Lager-Systemen
- Aachener SCM Tag 2004
- Technologie-Rating
- 8. Aachener Qualitätsgespräche
- International Symposium on Photonics in Measurement
- Hannover Messe Industrie 2004
- Optatec

## Publikationen

### ► Vorsprung durch Virtual Reality

Mit der Studie ›Vorsprung durch Virtual Reality‹ untersuchte das Fraunhofer IPT Anfang 2003 den aktuellen Stand des Einsatzes von Systemen für Virtual-Reality (VR) in der Industrie. Die Studie zeigt die Potenziale, den Nutzen sowie die Hindernisse für den Einsatz der Technologie in den Unternehmen auf.

Dazu befragte das Fraunhofer IPT rund 80 Anwender und potenzielle Nutzer solcher Systeme. Der Trend zeigt, dass die Nutzer schon bald nicht mehr nur in der Großindustrie anzutreffen sein werden, sondern dass VR-Systeme zunehmend auch in kleinen und mittleren Unternehmen zum Einsatz kommen. Bedeutendster Vorteil war für die Befragten die große Zeitersparnis durch Vermeidung von Iterationsschleifen bei der Entwicklung.

Die Studie gibt den derzeitigen Stand der VR-Technologie im industriellen Einsatz wieder und bietet damit künftigen Nutzern eine umfassende Informationsquelle zur richtigen Auswahl und Implementierung von VR-Systemen. Darüber hinaus bildet sie die Zufriedenheit der Nutzer mit VR-Hardware und -Software, sowie ihre geplanten Investitionen ab. Die Untersuchung ermittelt außerdem,

aufbauend auf den Erfahrungen aus der Industrie, die Wirtschaftlichkeit von VR-Systemen. In einem abschließenden Ausblick skizziert die Studie die zu erwartenden Entwicklungen rund um Virtual Reality.

Interessenten können die Studie als Management-Summary (37 Seiten, 32 Grafiken) oder als Gesamtstudie (101 Seiten, 71 Grafiken, 12 Tabellen) über das Fraunhofer IPT beziehen.

#### Ihr Ansprechpartner

Dipl.-Ing. Andreas Straube  
Telefon 0241/8904-243  
andreas.straube@ipt.fraunhofer.de ◀

### ► Produktionsstudie 2003

In der ›Produktionsstudie 2003‹ ermittelten die Unternehmensberatung Droege & Comp. und das Fraunhofer IPT die zentralen absatzsteigernden Erfolgsfaktoren für produzierende Unternehmen: Hohe Kundenorientierung, günstige Preise und ein guter Service sind heute auch in der Industrie die entscheidenden Kriterien.

Mit ihrer Studie untersuchten die Beteiligten Faktoren für den bleibenden Markterfolg, deren absatzsteigernde Wirkungen und Umsetzungsgrad sowie den Einfluss dieser Faktoren auf die befragten Unternehmen. Hierzu wurden in Deutschland, Österreich und der Schweiz 800 Top-Manager aus Schlüsselbranchen der Produktion befragt. Auto-

## Publikationen/Personen

mobilmobilbau und -zulieferer, Maschinen- und Anlagenbau, Stahl, Chemie und Fasern, Elektrotechnik und Elektronik, Möbel, Nahrungsmittel und Getränke sowie Pharma zählten zu den untersuchten Branchen.

Die vorliegende Studie zeigt die wichtigsten Stellhebel des Markterfolges auf, die zu deutlichen Absatzsteigerungen führen, und beschreibt, wie diese durch Verbesserungen in der Produktion gestärkt werden können. Enormes Handlungspotenzial zeigt sich gerade in den teilweise großen Diskrepanzen zwischen erkannter Bedeutung und tatsächlicher Umsetzung der identifizierten Erfolgsfaktoren.

Interessenten können die Studie direkt über das Fraunhofer IPT beziehen.

#### Ihr Ansprechpartner

Dipl.-Ing. Dipl.-Kfm. Sebastian Schöning  
Telefon 0241/8904-274  
sebastian.schoening@ipt.fraunhofer.de ◀

### ► Personalia

Seit dem 1. September ist Dipl.-Ing. Achim Kampker neuer Oberingenieur für den Bereich Produktionsmanagement am Lehrstuhl für Produktionssystematik. Kampker ist Nachfolger des in die Industrie überwechselnden Dipl.-Ing. Hendrik Riedel. ◀

## Personen

### ► WZL-Hiwis am MIT

Im Rahmen eines sechsmonatigen Studienaufenthaltes am Massachusetts Institute of Technology (MIT) in Cam-



*Sie schreiben ihre Diplomarbeit am MIT: die WZL-Hiwis Michael Franzkowiak, Mirco Vitr und Tilman Buchner*

bridge (Boston), schreiben zur Zeit Tilman Buchner, Michael Franzkowiak und Mirco Vitr ihre Diplomarbeiten. Alle drei waren studentische Hilfskräfte am Lehrstuhl für Werkzeugmaschinen bei Professor Manfred Weck und streben im Anschluss an ihre Diplomarbeit eine Assistentenstelle am WZL an.

Tilman Buchner beschäftigt sich im Rahmen seiner Arbeit am Lehrstuhl für Optical Engineering bei Professor George Barbastathis mit der Entwicklung einer Modellierungs- und Visualisierungssoftware zur Simulation von 3D-Faltvorgängen. Er verfolgt die Idee, niedrig

dimensionierte Strukturen (2D), wie sie beispielsweise bei der Herstellung von Siliziumchips entstehen, durch Falten in 3D-Strukturen zu überführen. In Anlehnung an die japanische Faltechnik Origami soll die Software das Erstellen beliebiger Faltstrukturen (creases) ermöglichen sowie die Durchführbarkeit des Faltvorganges (self collision detection) auf Basis der Inversen Kinematik visualisieren. Neben der Kinematik soll auch die Dynamik des Faltvorganges in die Modellbetrachtung mit einbe-

zogen werden.

Mirco Vitr ist ebenfalls am Lehrstuhl für Optical Engineering beschäftigt und arbeitet an der Entwicklung eines holographischen 3D-Kamera-Systems. Hier wird neben den herkömmlichen optischen Elementen (Linsen) ein Volumenhologramm in den Strahlengang eingebracht. Durch die Tiefenselektivität des Volumenhologramms liefert das System Informationen über die dritte Dimension. Das System bietet eine Alternative zu den gängigen 3D-Sensoren, die die dritte Dimension zumeist über Triangulation ermitteln. Die anvisierte Auflösung liegt bei kleinen Messbereichen in der Größenordnung von 10 Mikrometern.

## Ereignisse

Bei geringerer Auflösung können auch Objekte in großen Entfernungen (>100 m) vermessen werden, was die gängigen Stereosystemen in der Regel nicht leisten.

Michael Franzkowiak schreibt seine Diplomarbeit bei Professor Alexander H. Slocum in der Precision Engineering Research Group, die einen mikromechanischen Apparat zur Erzeugung von Fasern aus Kohlenstoff-Nanotubes entwickelt. Die Nanotubes werden dabei in Mikrokanälen erzeugt, durch die ein heißer Gasstrom fließt. Die Arbeit umfasst die analytische und numerische Simulation dieses Gasstroms mit dem Ziel, einen optimalen Wirkungsgrad des Systems zu erreichen und Strömungskräfte zu bestimmen, die den Entstehungsprozess einer Nanotube-Faser begünstigen. Das hierfür verwendete fluidtechnische Modell muss Größenordnungen von wenigen Nanometern bis zu mehreren Mikrometern berücksichtigen, bei denen die Kontinuums Gesetze nur noch teilweise oder auch gar nicht mehr gültig sind.

Unter dem Titel »Excellence in Production« startet der *aachener werkzeug- und formenbau* gemeinsam mit den VDI-Nachrichten, der VDI-Z. Integrierte Produktion und dem Verband deutscher Maschinen- und Anlagenbau e.V. (VDMA) einen exklusiven Wettbewerb für produzierende Unternehmen des Werkzeug- und Formenbaus. Der Wettbewerb stellt höchste Anforderungen an die Teilnehmer. Als Preis winkt der »German-Tooling Award«, der nach einem objektiven und umfassenden Vergleich an den besten Betrieb der Branche vergeben wird.

Engagierte Unternehmen können hier nicht nur ihre Leistungsfähigkeit unter Beweis stellen, sondern auch den Erfahrungsaustausch mit den Besten ihrer Branche pflegen. Ziel ist es, die interna-

tionale Wettbewerbsfähigkeit des deutschen Werkzeug- und Formenbaus weiter zu auszubauen.

Der Startschuss für »Excellence in Production« fällt im Januar 2004. Einseedeschluss für die Teilnehmerunterlagen ist der 31. Mai 2004. Die Preisverleihung und die Präsentation der erfolgreichen Unternehmen findet am 28. September 2004 während des Kolloquiums »Werkzeugbau mit Zukunft« statt, das alle zwei Jahre vom *aachener werkzeug- und formenbau* ausgerichtet wird. Weitere Informationen finden Sie unter [www.excellence-in-production.de](http://www.excellence-in-production.de).

**Ihr Ansprechpartner**  
Dipl.-Wi.-Ing. Lutz Frick  
Telefon 0241/80-28195  
[l.frick@wzl.rwth-aachen.de](mailto:l.frick@wzl.rwth-aachen.de)

## Karriere mit Fraunhofer

Unter dem Titel »Karriere mit Fraunhofer« veranstalteten Fraunhofer IPT, Fraunhofer IME und Fraunhofer ILT am 20. Oktober 2003 einen Informationsabend für Studierende und Absolventen sowie interessierte Schülerinnen und Schüler. Die angehenden Ingenieure und Naturwissenschaftler erhielten in der bis auf den letzten Platz besetzten Aula der RWTH Aachen eine Fülle an Informationen über die Karrierechancen in der Fraunhofer-Gesellschaft.

## Ereignisse

Als Moderator führte der bekannte Wissenschaftsjournalist und RWTH-Absolvent Ranga Yogeshwar (Quarks&Co) durch die Veranstaltung. Während der knapp zweistündigen Vorstellung rief er nicht nur Mitarbeiter und Institutsleiter der Aachener Institute auf die Bühne, sondern auch bekannte Gesichter aus Industrie und Wirtschaft. Personalberater Heiko Mell, Ex-DaimlerChrysler-Vorstand Prof. Dr. Klaus-Dieter Vöhlinger und Cerobear-Geschäftsführer Matthias Popp schilderten ihre Erfahrungen mit Fraunhofer-Mitarbeitern und gaben den Stu-

Anschluss an die Vorträge und Interviews, als der Abend bei Musik, Getränken und Fingerfood im Foyer der RWTH-Aula locker ausklang.

Die Veranstaltung, mit der die drei Aachener Institute und die Fraunhofer-Zentrale aus München sich bekannt machen und die Studierenden für sich gewinnen wollten, war für alle Beteiligten schon jetzt ein voller Erfolg. Wieviele der weit über 600 Besucher sich nun auch für den Einstieg bei einem der gastgebenden Institute entscheiden werden, wird die Zukunft zeigen.



dierenden zahlreiche Tipps für Studium und Karriere. Weitere Beiträge leisteten Prof. Dr. Hans-Jörg Bullinger, Präsident der Fraunhofer-Gesellschaft, sowie Prof. Dr. Burkhard Rauhut, Rektor der RWTH Aachen. Zeit für persönlichere Fragen an die Gäste erhielten die Besucher im

*Karriere mit Fraunhofer:  
Die Aachener Fraunhofer Institute  
präsentierten sich interessierten  
Studenten*

## Ereignisse

## Seminar »VisionOnline«

Am 8. und 9. September 2003 führte das Fraunhofer IPT das Seminar »Metrology Methods for Ultraprecision- and Microtechnology« in den Räumlichkeiten der DR. JOHANNES HEIDENHAIN GmbH in Traunreut durch. Das zweitägige Seminar wurde im Rahmen des EU-Projektes »VisionOnline« vom Fraunhofer IPT organisiert und in der Durchführung tatkräftig durch die DR. JOHANNES HEIDENHAIN GmbH unterstützt. Die hohe Relevanz der behandelten Themen bestätigte sich durch die Teilnahme von nahezu 80 Vertretern internationaler Unternehmen und Forschungseinrichtungen.

An den beiden Seminartagen präsentierten die Veranstalter Herausforderungen und Lösungen aus der Messtechnologie und Messtechnik in der Ultrapräzisions- und Mikrobearbeitung. Vertreter namhafter internationaler Unternehmen und Forschungseinrichtungen referierten zu den Themen »Messsysteme in Werkzeugmaschinen zur Ultrapräzisions- und Mikrobearbeitung«, »Messmethoden zur Charakterisierung von Ultrapräzisions- und Mikrobearbeitungsmaschinen«, »Messmittel zur Analyse von ultrapräzisen Oberflächenstrukturen und Formgenauigkeiten« sowie »Messunsicherheit, Kalibrierung und Messfehlerfortpflanzung«. Zusätzlich bot eine »Poster Session« die Chance zur Präsentation weiterer Fachbeiträge und neuer Produkte. Die Seminarteilnehmer konnten hier ihre intensiven fachlichen Diskussionen weiter vertiefen. Abschie-

## Ereignisse

End stand eine Besichtigung der Fertigungshallen der DR. JOHANNES HEIDENHAIN GmbH auf dem Programm.

Die Bewertung des Seminars durch die Teilnehmer fiel durchweg positiv aus. Besonders hoben viele von ihnen den starken Anwendungsbezug, der dank des hohen Anteils von Rednern aus der Industrie gegeben war, sowie die spannenden Beiträge der anwendungsnahen Forschung hervor. Im Rahmen des EU Projektes ›VisionOnline‹ ist eine weitere Veranstaltung am Fraunhofer IPT im Oktober des nächsten Jahres geplant. ◀

▶ Haus Overbach-Ferienakademie 2003 im WZL



*Im Rahmen der Prüfstandsbesichtigungen konnten die Seminarteilnehmer auch einmal selbst einen Roboter steuern.*

Ferienzeit ist für viele Schüler gleichbedeutend mit Urlaub, Sonne und Strand. Nicht so am Jülicher Gymnasium ›Haus Overbach‹. Fast schon traditionell bietet die Schulleitung ihren Schülerinnen und Schülern in den Sommerferien im Rah-

men einer Ferienakademie ein einwöchiges Seminar an. Thema diesmal: ›Künstliche Intelligenz‹. Auf dem Programm standen neben Arbeitsbesuchen im Forschungszentrum Jülich auch Besuche bei Instituten der RWTH Aachen, darunter zum wiederholten Male im Werkzeugmaschinenlabor.

Unter der Leitung von Schulleiter Heinz Lingen und Seminarleiter Witold Franke kamen nahezu 30 hochmotivierte Wissenschaftler in spe ins WZL. Thema dieses Tages waren Robotik und der Einsatz künstlicher Intelligenz im Maschinenbau. Neben einem ausführlichen Vortrag stand eine Besichtigung themenbezogener Prüfstände und Diskussionen auf dem Programm. ◀

## Termine

## ▶ Tagungen/Seminare

15. Januar 2004

**Product-Lifecycle-Management**  
Ziel des Seminars ist es, den Einsatz, die Entwicklung und die Gestaltung innovativer PLM-Systeme aufzuzeigen und Themen wie optimales Workflow-Management, e-Collaboration und flexibles Änderungsmanagement zu erläutern. Angesprochen werden Entscheidungsträger und Fachleute aus der Unternehmensleitung sowie der Produktentwicklung.

Veranstalter  
WZLforum gGmbH  
Veranstaltungsort  
ADITEC-Gebäude, Aachen  
Ihr Ansprechpartner  
Kirstin Marso M.A.  
Telefon 0241/80-27618  
k.marso@wzl.rwth-aachen.de

10. bis 11. Februar 2004

**Anwendungsorientierte Informationstechnologie zum Service von Werkzeugmaschinen**  
Das Seminar beleuchtet den aktuellen Stand der Technik im Bereich des Service an Werkzeugmaschinen. Auf dem Programm stehen Themen wie Diagnose und Teleservice und die Diskussion aktueller Entwicklungstrends aus den Bereichen Augmented Reality, Sprachinteraktion, Online-Service sowie Informations- und Wissensmanagement. Das Seminar wendet

## Termine

sich an Fach- und Führungskräfte aus den Bereichen Service, Instandhaltung und Industrial-IT von Produktionsunternehmen, Unternehmensberatungen und Softwareanbietern.

Veranstalter  
WZLforum gGmbH  
Veranstaltungsort  
ADITEC-Gebäude, Aachen  
Ihr Ansprechpartner  
Kirstin Marso M.A.  
Telefon 0241/80-27618  
k.marso@wzl.rwth-aachen.de

02. bis 03. März 2004

**Innovationen rund ums Kegelrad**  
Dieses Seminar gibt einen Einblick in den Stand der Technik, behandelt aktuelle Fragen zu sich abzeichnenden Entwicklungstendenzen rund um das Kegelrad sowie alternativen Verzahnungen. Im Mittelpunkt stehen anwendungsorientierte Beiträge zur Auslegung und Berechnung, Fertigung, Qualitätssicherung und Betriebsverhalten von Kegelrädern. Angesprochen werden Mitarbeiter der Bereiche Konstruktion, Planung, Fertigung und Qualitätswesen, die mit der Kegelradauslegung und -herstellung befasst sind.

Veranstalter  
WZLforum gGmbH

Veranstaltungsort  
ADITEC-Gebäude, Aachen  
Ihr Ansprechpartner  
Kirstin Marso M.A.  
Telefon 0241/80-27618  
k.marso@wzl.rwth-aachen.de

09. bis 10. März 2004

**Rapid Technologies – Erfolgreiche Produkte durch effiziente Produktentwicklung**  
Stetig sinkende Produktlebenszyklen fordern von Unternehmen immer stärker reduzierte Entwicklungszeiten für neue Produkte. Die Weiterentwicklung des 3D-CAD und die Kommerzialisierung generativer Fertigungsverfahren haben dazu geführt, dass alle Phasen der Produktentwicklung sowohl von virtuellen als auch physischen Prototypen profitieren können. Wesentliche Voraussetzung für einen effektiven Einsatz generativer Fertigungsverfahren ist die genaue Kenntnis der Chancen, aber auch der Grenzen solcher Technologien und ihrer Folgetechniken. Ziel des Seminars ist es daher, den Teilnehmern neben den Grundlagen unterschiedlichster Technologien auch einen umfassenden Überblick über Einsatzpotenziale des Rapid Prototyping und Rapid Tooling zu vermitteln. Der Schwerpunkt liegt dabei auf derzeit kommerziell verfügbaren und etablierten Rapid-Verfahren, deren Arbeitsprinzipien sowie verfahrensspezifischen Vor- und

Nachteilen. Erfahrungsberichte zu den einzelnen Technologien aus der Industrie und Demonstrationen an verschiedenen Anlagen in der Halle des Fraunhofer IPT bieten eine praxisnahe Vertiefung der Seminarinhalte.

Veranstalter  
VDI-Wissensforum, Fraunhofer IPT  
Veranstaltungsort  
Fraunhofer IPT, Aachen  
Ihr Ansprechpartner  
Dipl.-Ing. Christoph Ader  
Tel.: 02 41/89 04-4 03  
christoph.ader@ipt.fraunhofer.de

17. bis 18. März 2004

**Berechnung von Spindel-Lagersystemen**  
Das Seminar gibt einen Überblick über fertigungstechnologische und konstruktive Aspekte bei der Entwicklung und dem Einsatz von Hochgeschwindigkeits-Spindel-Lagersystemen. Es wendet sich dabei vor allem an Fach- und Führungskräfte aus den Bereichen Versuch, Konstruktion, Vertrieb und Produktion der Anwender und Herstellerindustrie von Werkzeugmaschinen und Spindeln.

Veranstalter  
WZLforum gGmbH  
Veranstaltungsort  
ADITEC-Gebäude, Aachen  
Ihr Ansprechpartner  
Kirstin Marso M.A.  
Telefon 0241/80-27618  
k.marso@wzl.rwth-aachen.de

## Termine

24. März 2004

**Aachener SCM Tag 2004**

Welche erfolgversprechenden Konzepte stehen hinter dem Schlagwort »SCM«, wie muss die Wertschöpfungskette gestaltet sein und wie müssen Unternehmen ihre Prozesse anpassen, um die versprochenen Potenziale auch wirklich zu nutzen? Antworten auf diese Fragen gibt das Seminar anhand von Erfahrungsberichten aus der Praxis, in denen erfolgreiche Strategien und Werkzeuge vorgestellt werden. Das Seminar wendet sich an Fach- und Führungskräfte aus Produktion, Logistik und Industrial-IT von Produktionsunternehmen, Unternehmensberatungen und Softwareanbietern in der Logistik und im Supply Chain Management.

Veranstalter

WZLforum gGmbH

Veranstaltungsort

ADITEC-Gebäude, Aachen

Ihr Ansprechpartner

Kirstin Marso M.A.

Telefon 0241/80-27618

k.marso@wzl.rwth-aachen.de

25. März 2004

**Technologie-Rating**

Ziel des Seminars ist es, Möglichkeiten zur Bewertung von Produkt- und Prozesstechnologien sowie ihren Potenzialen aufzuzeigen und Hilfestellung zu geben, wie die

eigene unternehmerische Leistungsfähigkeit und Kompetenz Rating-gerecht dargestellt werden können. Das Seminar adressiert sowohl Unternehmer, strategische Technologieinvestoren als auch Finanzinvestoren und Kreditgeber.

Veranstalter

WZLforum gGmbH

Veranstaltungsort

ADITEC-Gebäude, Aachen

Ihr Ansprechpartner

Kirstin Marso M.A.

Telefon 0241/80-27618

k.marso@wzl.rwth-aachen.de

31. März bis 01. April 2004

**Fertigungsintegrierte Koordinatenmesstechnik**

Ziel dieses Seminars ist es, auf die messtechnischen Anforderungen seitens der Industrie einzugehen und ihnen aktuelle Trends und Möglichkeiten der fertigungsintegrierten Koordinatenmesstechnik gegenüber zu stellen. Das zweitägige Seminar wird aus Fachbeiträgen sowie Vorführungen der am Lehrstuhl für Fertigungsmesstechnik und Qualitätsmanagement vorhandenen Koordinatenmessgeräte bestehen. Es wird ein Forum bieten, das sowohl Messtechnik-Herstellern als auch deren Kunden gleichermaßen von Nutzen ist.

Veranstalter

WZLforum gGmbH

Veranstaltungsort

ADITEC-Gebäude, Aachen

Ihr Ansprechpartner

Kirstin Marso M.A.

Telefon 0241/80-27618

k.marso@wzl.rwth-aachen.de

03. bis 04. Mai 2004

**8. Aachener Qualitätsgespräche**

»Perspektiven des Qualitätsmanagements – Globalisierung beherrschen, mit Dienstleistungen zum Erfolg. Dies ist das Motto der 8. Aachener Qualitätsgespräche. Sie führen die erfolgreiche Reihe der jährlich vom WZL und Fraunhofer IPT ausgerichteten Tagung für Führungskräfte und Fachleute aus dem Qualitätsmanagement unter der Leitung von Professor Tilo Pfeifer fort.

Mit den beiden Themen »Quality of Services« und »Globalisierung mit Qualität« werden in einer Kombination von Vorträgen aus Forschung und Industrie die aktuellen Herausforderungen des Qualitätsmanagements in Unternehmen betrachtet und Lösungsansätze aufgezeigt. Im Mittelpunkt von »Quality of Services« stehen die Dienstleistungen, welche heute ein unverzichtbares Bindeglied zwischen produzierenden Unternehmen und ihren Kunden bilden. Sie schaffen Kundenbindung und sichern produktbegleitende Erträge. Um

## Termine

der zunehmenden Bedeutung von Dienstleistungsangeboten gerecht zu werden, muss sich auch das Qualitätsmanagement neuen Herausforderungen stellen.

Ausgangspunkt von »Globalisierung mit Qualität« ist das Bestreben von Unternehmen nach globaler Präsenz – ob mit eigenen Produktionsstandorten oder als Bestandteil einer globalen Supply Chain. Unternehmen stehen mehr denn je vor der Aufgabe, eine einheitliche Qualität mit uneinheitlichen Rahmenbedingungen wie z.B. kulturellen Divergenzen zu vereinen. Dies geht hinaus über eine formelle Vereinheitlichung zum Aufbau eines Qualitätsmanagement-Systems, wie sie z.B. durch die ISO 9000ff. unterstützt wird. Dazu wird ein Konzept vorgestellt, das den Ursachen auf den Grund gehen wird.

Unter dem Motto »Roadmap QM« werden die in den Vorträgen thematisierten Trends in einem Workshop gemeinsam mit den Teilnehmern inhaltlich und organisatorisch weiter ausgebaut und zukünftige Entwicklungen aufgezeigt.

Darüber hinaus bietet das Programm ausreichend Zeit für intensive Gespräche und Diskussionen im angenehmen Ambiente des Kasteel Valsbroek.

Veranstalter

WZL, Fraunhofer IPT

Veranstaltungsort

Kasteel Vaalsbroek, Vaals (NL)

Ihr Ansprechpartner

Dipl.-Ing. Klaus Hense

Telefon 0241/80-27125

k.hense@wzl.rwth-aachen.de

23. bis 24. Juni 2004

**International Symposium on Photonics in Measurement**

Der VDI-GMA und das Fraunhofer IPT veranstalten in Kooperation mit der internationalen Messe Optatec in Frankfurt das zweite internationale Symposium »Photonics in Measurement«. Im Rahmen dieser »IMEKO TC2«-Veranstaltung werden nationale und internationale Wissenschaftler, Entwickler und Anwender aus Industrie und Forschung erwartet. Themen des Symposiums sind technologische Trends, innovative Anwendungen und neue Entwicklungen optischer Messsysteme in den Bereichen Life Science, Produktionstechnologie, Fahrzeugbau und Informationstechnologie.

Veranstalter

Fraunhofer IPT

Veranstaltungsort

Messe Frankfurt

Ihr Ansprechpartner

Dipl.-Ing. Stephan Bichmann

Telefon 0241/8904-245

stephan.bichmann@ipt.fraunhofer.de

## Termine

Messen

19. bis 24. April 2004

**Hannover Messe Industrie 2004**  
Wie in den vergangenen Jahren wird das Fraunhofer IPT auch 2004 wieder als Aussteller an der Hannover Messe teilnehmen. Auf dem Gemeinschaftsstand des IVAM NRW e.V. in der Halle MicroTechnology stellt das Geschäftsfeld »Zentrum für Präzisions- und Mikrotechnik (ZPM)« die aktuellen Highlights seiner Forschungs- und Entwicklungstätigkeit vor. Zusätzlich nimmt das Fraunhofer IPT zusammen mit dem Fraunhofer ISE an der Gemeinschaftsausstellung »Hydrogen & Fuel Cells« in Halle 13, Stand G72, teil. Die beiden Institute präsentieren dort neuste Forschungsergebnisse und Entwicklungen rund um die Mikrobrennstoffzelle.

Veranstalter

IVAM NRW e.V.

Arno A. Evers FAIR-PR

Veranstaltungsort

Hannover Messegelände  
IVAM-Gemeinschaftsstand, Halle 7  
Halle 13, Stand G72 (Initiative Mikrobrennstoffzelle)

Ihr Ansprechpartner

Susanne Krause M.A.

Telefon 0241/8904-180

susanne.krause@ipt.fraunhofer.de

## Termine

22. bis 25. Juni 2004

## Optatec

Auf der internationalen Fachmesse optischer Technologien, Komponenten und Systeme wird das Fraunhofer IPT gemeinsam mit vier weiteren Fraunhofer-Instituten vertreten sein. Das Geschäftsfeld »Optik und optische Systeme« präsentiert dort neben seiner Anlage zum Präzisionsblankpressen einschließlich Präzisionsformen und blankgepresster Optiken eine flexible Polierspindel mit V-Kinematik in Kombination mit interferometrischer Formmessung, die automatische Messung strukturierter Bauteile sowie verschiedene strukturierte und geschliffene Bauteile und Optiken.

## Veranstalter

Fraunhofer IPT, Fraunhofer IOF,  
Fraunhofer ISC, Fraunhofer ISE,  
Fraunhofer ISIT

## Veranstaltungsort

Messe Frankfurt,  
Halle 3, Stand D65

## Ihr Ansprechpartner

Susanne Krause M.A.  
Telefon 0241/8904-180  
susanne.krause@ipt.fraunhofer.de

## Kolumne

## Ranzonenanalyse durch Röntgenbeugung

Steigende Qualitätsanforderungen an die Gebrauchseigenschaften von Produkten fordern bei der Einführung neuer Fertigungsprozesse, Werkzeuge und Kühlstrategien genaue Analysen der Bauteileigenschaften. Die Ranzonenbeschaffenheit der Funktionsflächen von Wirkpartnern spielt hier eine große Rolle, da diese häufig besonderen Belastungen, wie abrasivem oder chemischem Verschleiß, Hertz'scher Pressung oder Relativbewegungen, ausgesetzt sind.

Eigenstressungen verraten in vielen Anwendungsfällen die Ursachen für Bauteilversagen. Als zentrale Werkstoffkennwerte beeinflussen sie in starkem Maße das Betriebsverhalten von Bauteilen. Die Eigenstressungen von Bauteilen zu kennen, ist von großem Nutzen, um Fertigungsprozesse zu verbessern und neue Strategien für die Weiterentwicklung von Produkten zu erschließen. Diese Spannungen sind selbst ohne Einwirkung äußerer Kräfte und damit ohne Lastspannungen in einem Bauteil wirksam. Infolge thermischer und mechanischer Einwirkungen entstehen sie und verändern sich, beispielsweise durch Wärmebehandlung, verfahrensbedingte Bearbeitung wie Schleifen, Fräsen, Kugelstrahlen oder Beschichtung von Bauteiloberflächen sowie durch die Beanspruchung im Betrieb.

Mit der Röntgenfeinstrukturanalyse lassen sich die Eigenstressungen kristalliner Werkstoffe über die Messung der Gitterdehnungen quantitativ beschreiben. Sowohl 3-achsige Spannungs-

zustände als auch Phasen-, Makro- und Mikroeigenstressungen, wie sie bei mehrphasigen Werkstoffen auftreten, werden dadurch erfasst.

Ein weiteres Anwendungsgebiet dieses Verfahrens ist die Phasenanalyse, die aus den Lagen der Beugungslinien die im Werkstoff vorliegenden kristallinen Phasen ermittelt und aus den Intensitäten die Volumenanteile bestimmt. Zum Einsatz kommt es, wenn etwa der Restauslenkung zur Beurteilung der Werkstoffzustände bestimmt werden muss, der sich durch Wärmebehandlungen und auch plastische Verformungen ändern kann. Thermische und mechanische Einwirkungen können die Kristallorientierungen der einzelnen Phasen, die Textur, verändern. Diese Einflüsse auf das Mikrogefüge lassen sich in sogenannten Intensitätspolfiguren darstellen.

Am WZL befasst sich eine lehrstuhlübergreifende Forschergruppe mit der Getriebe- und Antriebstechnik und bietet die Ranzonenanalyse als Dienstleistung an. Die Getriebeabteilung des WZL steht ihren Projektpartnern als kompetenter Ansprechpartner für diese und ähnliche Aufgaben zur Verfügung. Das Leistungsspektrum der röntgenografischen Analysen umfasst sowohl die Untersuchungen im eigenen Labor als auch Messungen vor Ort.

## Ihr Ansprechpartner

Dipl.-Ing Heiko Schlattmeier ist Leiter der Getriebeabteilung und Oberingenieur des Lehrstuhls für Werkzeugmaschinen und Technologie der Fertigungsverfahren am WZL, Telefon 0241/80-27416

Tools 4/2003  
10. Jahrgang  
ISSN 0947-8647

Ein Magazin über die Forschung der Aachener Produktionstechniker des WZL und Fraunhofer IPT. Zur Information der Medien, Wirtschaft und Wissenschaft; für Kunden, Partner und Mitarbeiter.

Erscheinungsweise: viermal jährlich

## Herausgeber

Professor Fritz Klocke  
Professor Tilo Pfeifer  
Professor Günther Schuh  
Professor Manfred Weck

Fraunhofer-Institut für  
Produktionstechnologie IPT  
Steinbachstraße 17  
52074 Aachen  
Telefon 0241/8904-180  
Telefax 0241/8904-6180  
www.ipt.fraunhofer.de

Laboratorium für Werkzeugmaschinen  
und Betriebslehre WZL der RWTH Aachen  
Steinbachstraße 53  
52074 Aachen  
Telefon 0241/80-27968  
Telefax 0241/80-22293  
www.wzl.rwth-aachen.de

WZLforum gGmbH  
Steinbachstraße 25  
52074 Aachen  
Telefon 0241/80-23614  
Telefax 0241/80-22575  
www.wzlforum.rwth-aachen.de

## Redaktionsanschrift

Laboratorium für Werkzeugmaschinen  
und Betriebslehre WZL der RWTH Aachen  
Steinbachstraße 53  
52074 Aachen

## Redaktion

Susanne Krause M.A. (verantwortlich)  
Kurt Rütten

## Grafik, Layout

Dipl.-Des. Heike I. Plath AGD  
www.plath-design.de

## Fotos

Reiner Borsdorf (S. 4); Universität Konstanz (S. 7 oben); Heidi Peters (Titel, S. 7 unten, 10); Ochla, DaimlerChrysler AG (S. 9); Torsten Kurr (S. 13); Privat (S. 15); Rainer Neumeyer (S. 17); Kurt Rütten (S. 18)

## Druck

Rhiem Druck GmbH, Voerde

Nachdruck, auch auszugsweise, nur mit vollständiger Quellenangabe und nach Rücksprache mit der Redaktion. Belegexemplare werden erbeten.