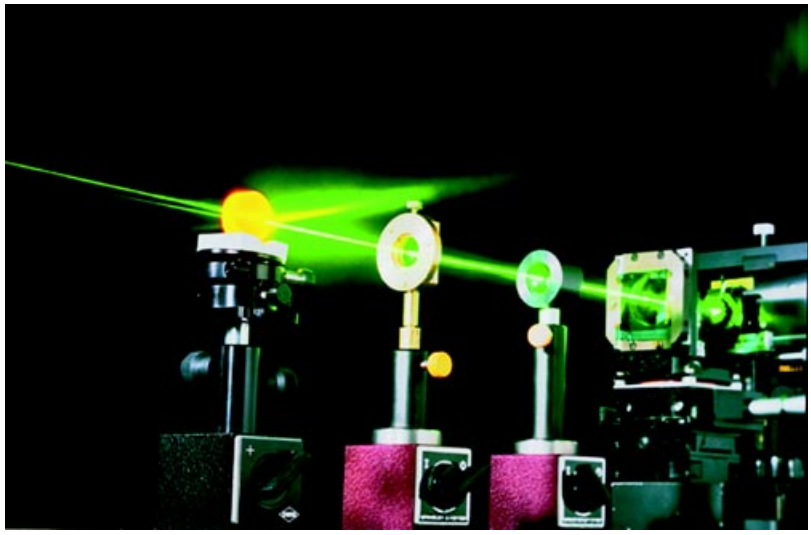
Fraunhofer Demonstrationszentrum Formen für die Kunststoffverarbeitung

# FoKus - Newsletter

Ausgabe 2/2002



# Inhalt


**Wir stellen uns vor**

Das Fraunhofer IAP im Profil 3

**Aktuelles im FoKus**

News, Veranstaltungen und Termine 4

**Berichte aus der Industrie**

Neue Kunststoffanwendungen – Herausforderung und Chance für den Spritzgießwerkzeugbau 7

**Projekte im FoKus**

Das Fraunhofer ICT eröffnet ein neues Pressentechnikum 10

Skalierte Strukturen – Anwendungen und Herausforderungen für die Präzisions- und Mikrobearbeitung 12

Ultrapräzisionsbearbeitung von Mikrostrukturen für die Abformung und den Spritzguß 16

**FoKus Service**

Reinigen von Werkzeugen und Formen 20

Impressum 22

Die Institute des FoKus 23

# Das Fraunhofer IAP im Profil

Das Fraunhofer-Institut für Angewandte Polymerforschung IAP in Golm bei Potsdam bearbeitet alle Fragen der Forschung und Entwicklung von Polymeranwendungen – sowohl von natürlichen als auch synthetischen Polymeren. Das Institut arbeitet auf dem Gebiet der Cellulose- und Stärkeforschung - von den Rohstoffen über die chemische und physikalische Modifizierung bis zur Entwicklung neuer Produkte und Verfahren.

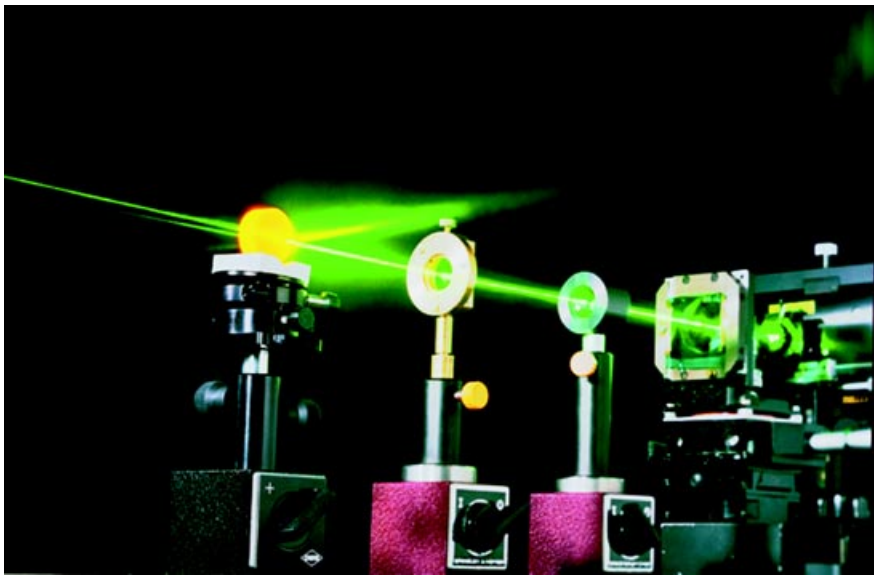
Das Carbacell- und Lyocellverfahren als Alternativtechnologien zum Viskoseverfahren bilden gegenwärtig einen Schwerpunkt. Eng verbunden mit den Materialentwicklungsvorhaben sind Struktur-Eigenschaftsuntersuchungen, für die spezialisierte Untersuchungsmethoden und ein akkreditiertes mechanisches Prüflabor zur Verfügung stehen. Funktionspolymere für Leuchtdisplays und farbstoffdotierte Polymer-Festkörperlaser werden entwickelt und die zugrundeliegenden physikalischen Prozesse aufgeklärt und optimiert. Das Fraunhofer IAP bietet Polymeroberflächenbehandlungen von der Aktivierung über die Funktionalisierung bis zum Abscheiden dünner organischer Funktionsschichten an.

Materialentwicklungen für Compoundierungen auf der Basis von Netzwerkpolymeren, Polyolefinen und Heterokettenpolymeren verbessern die physikalische Belastbarkeit von Verbundstoffen. Die Umhüllung von flüssigen oder festen Wirkstoffen mit polymeren Mikrokapseln eröffnet neue Anwendungen im Material- und Werkstoffsektor, um Zusatzstoffe direkt in Kunststoffe und Metalle einbauen zu können.

Im Bereich der wasserbasierenden Polymersysteme werden Polyelektrolyte, amphiphile Polymere und polymere Kolloide hergestellt, charakterisiert und Anwendungen entwickelt. Kolloide können als funktionalisierte Latices in der Biomedizin oder als optische Gitter eingesetzt werden. Polyelektrolyte können für Wasseraufbereitungs- und Abwasserreinigungsprozesse maßgeschneidert werden.

**Ihre Ansprechpartnerin:**

Dipl.-Phys. Susanne Langer
Telefon 03 31/56 81-1 51
E-Mail langer@iap.fhg.de

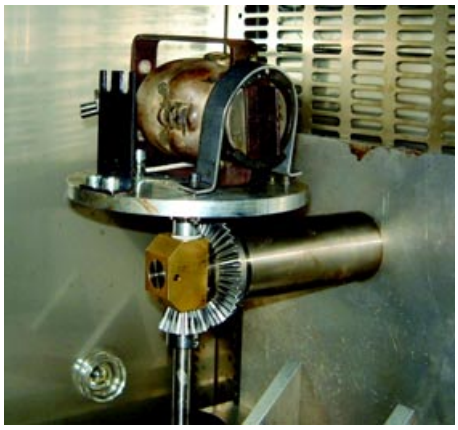


## 15. FAKUMA, Internationale Fachmesse für Kunststoffverarbeitung

Als Verkaufsplattform für die kunststoffver- und bearbeitende Industrie hat sich die Fakuma zu einer der wichtigsten Kunststoffmessen im deutschsprachigen Raum entwickelt. Zugleich kommen zahlreiche Aussteller wie Besucher aus dem Ausland, das zeigt auch die 15. Fakuma, die dieses Jahr vom 15. bis 19. Oktober auf dem neuen Messegelände in Friedrichshafen stattfinden wird. Angemeldet haben sich zur Zeit 836 Aussteller, hinzu kommen 63 zusätzlich vertretene Firmen aus insgesamt 19 Ländern. Erwartet werden in Friedrichshafen nach Meldung aller Mitaussteller insgesamt wieder um die 1 300 Unternehmen. In Sachen Auslandsbeteiligung besonders stark präsent sind die Schweiz mit derzeit 91 Ausstellern. Aus Italien kommen 59 Firmen, Österreich ist mit 22 und Frankreich mit 16 Unternehmen in Friedrichshafen anwesend.

Formteil

Die Bilanz der 2000er-Fakuma ließ sich sehen: Mit 35 113 Besuchern lockte die 14. Fakuma mehr Fachleute denn je nach Friedrichshafen. Aus gutem Grund: Präsentierten die Aussteller aus dem In- und Ausland doch umfassend Trends und Entwicklungen der kunststoffver- und bearbeitenden Industrie, und das insbesondere unter dem Aspekt der Praxisnähe, also problem- und lösungsorientiert.



Rotationsanlage

Generell zeichnet die Fakuma ein breitgefächertes Angebot an Verarbeitungsmaschinen und dazugehöriger Peripherie, an Rohmaterialien genauso wie Anwendungen, an Automatisierungslösungen, C-Techniken und vielem mehr aus. Sie bietet dem Fachbesucher mithin ausgiebige Informations- und Vergleichsmöglichkeiten, schafft neue Kontakte und pflegt alte, und das in einem immer noch überschaubaren Rahmen.

Stattfinden wird die 15. Fakuma erstmals auf dem neuen Messegelände in der Nähe des Flughafens. Auf der Großbaustelle läuft derzeit alles nach Plan, so dass das Projekt Ende Juli 2002 seiner Bestimmung übergeben werden soll – also rechtzeitig vor der 15. Fakuma. Konzipiert nach modernen Standards und verkehrsgünstig an Straßen-, Schienen- und Flugverkehr angebunden bietet das Messegelände in neun Hallen jetzt 58 300 m² Hallenfläche. Trotz konjunkturell schwierigeren Zeiten ist der Veranstalter überzeugt, dass die diesjährige Fakuma nicht nur quantitativ, sondern vor allem auch qualitativ an den Erfolg des Jahres 2000 anknüpft.

Das Fraunhofer-Demonstrationszentrum »Formen für die Kunststoffverarbeitung – FoKus« präsentiert auf der 15. Fakuma sein Leistungsangebot als Mitaussteller auf dem 50 m² großen Messestand des Fraunhofer-Instituts für Chemische Technologie ICT. Speziell für den Werkzeug- und Formenbau wird das Demonstrationszentrum FoKus die neuesten Technologien und die daraus resultierenden Produkte aus folgenden Bereichen zeigen:

- Bearbeitungstechnik (HSC-Fräsen, Funkenerosion),
- Oberflächentechnik (Laserstrahlhärten, Ionenimplantation, Sprengprägen),
- Verfahrenstechnik (Werkzeugkonzepte für die Flüssigholz- und EPP-Verarbeitung),
- Integrative Werkzeugtechnik (Rotationsformen, Sandwich-Direktformgebung),
- Rapid Tooling (Controlled Metal Build Up (CMB), Lasersintern, Gießharzwerkzeuge, Galvanoformen).

Wir laden Sie ein, uns vom 15.-19. Oktober 2002 in Friedrichshafen auf unserem Messestand Halle B, Stand 8035 zu besuchen, um gemeinsame Aufgaben und Themenstellungen zu diskutieren. Um Ihnen einen effizienten Messebesuch zu ermöglichen, reservieren wir Ihnen gerne bereits im Vorfeld der Messe einen persönlichen Gesprächstermin. Selbstverständlich sind Sie auch herzlich willkommen, um sich einen allgemeinen Überblick über unser Angebot und unsere Arbeit zu verschaffen.

Ich freue mich darauf, Sie auf unserem Messestand persönlich begrüßen zu dürfen.

**Ihr Ansprechpartner:**

Dr. Bernd Bader
Telefon 07 21/46 40-4 08
E-Mail bba@ict.fhg.de

**6. Aachener Qualitätsgepräche**

Unter dem Motto »Prozessqualität – bewerten, umsetzen, kommunizieren« fanden am 22. und 23. April 2002 die 6. Aachener Qualitätsgespräche des Fraunhofer IPT und des WZL der RWTH Aachen statt. Im Kasteel Vaalsbroek im niederländischen Vaals leitete Prof. Pfeifer die Gespräche über aktuelle Entwicklungen im Qualitätsmanagement mit den Schwerpunkten »Management interdisziplinärer Entwicklungsprojekte am Beispiel softwareintensiver Produkte« und »Prozessorientierung des heutigen Qualitätsmanagements«.

Im ersten Tagungsvortrag stellte Reinhard Schmidt (Fraunhofer IPT) Qualitätsmanagement-Methoden vor, um softwareintensive Entwicklungsprozesse verlässlich zu planen und sicher zu steuern. Durch eine systematische Kommunikation können Reibungsverluste im Projekt vermieden werden. Hintergrund hierfür sind die Probleme, die durch die fachübergreifende Zusammenarbeit bei der Einbindung verschiedener Systeme in komplexe technische Umgebungen unumgänglich entstehen. Der folgende Vortrag von Dr. Rainer Stetter (Geschäftsführer ITQ) zeigte auf, wie verfahrene Softwareprojekte durch gezielte Maßnahmen gerettet werden können und dass gerade aus solchen Krisenprojekten Chancen für nachhaltige Verbesserungen entstehen.

Im zweiten Vortragsblock stellte Lars Sommerhäuser vom WZL dar, wie Prozesse im Unternehmen verbessert werden können. Das prozessorientierte Qualitätsmanagement hat sich mit der ISO 9000:2000 neu ausgerichtet, von einer Funktionsorientierung hin zur Prozessorientierung. Unternehmen werden damit aufgefordert, sich konsequent an den eigenen wertschöpfenden Prozessen auszurichten. Mit dem Vortrag »Von der Vision zum Detail – Einführung durchgängiger Prozesse in der Papierindustrie« berichtete Matthias Simon (Geschäftsführer der Kanzan Spezialpapiere GmbH), wie bei einem Unternehmen aus der Papierindustrie Prozessstrukturen aufgebaut wurden. Das Ergebnis bei der Kanzan Spezialpapiere GmbH sind transparente Wertschöpfungsprozesse mit einem Minimum an Reibungsverlusten.
Auf die Forderungen der neuen DIN ISO 9000:2000 nach Messung und Überwachung von Prozessergebnissen ging im abschließenden Praxis-Workshop Sandra Scheermesser vom Fraunhofer IPT näher ein. Sie demonstrierte an einem Fallbeispiel wie ein Unternehmen systematisch zu den richtigen Prozesskennzahlen gelangen kann.

**Optatec**

Unter dem Motto »Optik im Brennpunkt« stellte das Fraunhofer IPT zusammen mit dem Fraunhofer IAP, dem Fraunhofer ISIT, der Fraunhofer PST und der ingeneric gmbh auf der führenden europäischen Optikmesse vom 18.-21. Juni aus. Das Fraunhofer IPT präsentierte seine neuesten Entwicklungen zu den Themen Optikfertigung, Optikprüfung, Optikmontage und Optikdesign.

Im Fokus der Optikfertigung stand, neben den klassischen Fertigungtechnologien wie Schleifen und Polieren, eine Anlage zum Präzisionsblankpressen der Firma Toshiba Machine. Mit der derzeit einzigen Anlage in Europa können wiedererwärmte Glasrohlinge zu komplex strukturierten optischen Bauteilen umgeformt werden. Anhand eines mikrostrukturierten Bauteils wurde die Funktionsweise der Anlage demonstriert. Weiterhin wurden dem Messebesucher ein Fast-Tool-System zur Erzeugung komplexer reflektiver Oberflächen sowie ein optisches Messsystem zur flexiblen und kostengünstigen Messung von Mikrostrukturen vorgeführt.

aachener werkzeug- und formenbau

## Kolloquium Werkzeugbau mit Zukunft

Konkurrenzfähige Kosten, ein hoher Qualitätsstandard, schnelle Reaktionszeiten und niedrige Marktpreise fordern den deutschen Werkzeug- und Formenbauer unvermindert heraus. Die Erfolgreichen der Branche haben sich der Situation gestellt und Ideen entwickelt, den Anforderungen gerecht zu werden. Sie setzen auf Kooperation, effiziente Organisationsstrukturen und -abläufe, durchgängige CAx-Unterstützung, leistungsstarke Maschinentechnik und Hochleistungszerspanung.

Die Branchenführer haben ihre vormals traditionellen Betriebe zu Hochtechnologieunternehmen gewandelt. Sie haben strukturelle und organisatorische Veränderungen vorgenommen und die neuen Technologien in ihre Entwicklungs- und Fertigungsabläufe eingebunden. Doch damit ist der Veränderungsprozess noch nicht abgeschlossen: Wichtig ist die Erkenntnis, dass sich die einzelnen Maßnahmen nicht voneinander trennen lassen. Technologische Veränderungen bedingen unmittelbar angepasste Organisationsstrukturen. Voraussetzung für eine erfolgreiche Veränderung im Werkzeugbau ist daher das Denken in Prozessketten und in Gesamtzusammenhängen statt in Einzelprozessen und singulären Maßnahmen.Diese ganzheitliche Betrachtung der Wirkzusammenhänge zwischen Organisation und Technologie ist auch in diesem Jahr wieder Mittelpunkt eines Kolloquiums zum Werkzeug- und Formenbau.

Anknüpfend an den großen Erfolg der letzten Tagung 2000 mit über 250 internationalen Teilnehmern lädt der »aachener werkzeug- und formenbau«, ein gemeinsamer Geschäftsbereich des Fraunhofer-Instituts für Produktionstechnologie IPT und des Labors für Werkzeugmaschinen und Betriebslehre WZL der RWTH Aachen, wieder herzlich zum Kolloquium »Werkzeugbau mit Zukunft« ein, das am 1. und 2. Oktober 2002 in Aachen stattfindet. Internationale Experten aus Industrie und Forschung berichten über ihre Erfahrungen und erfolgreich realisierte Projekte. Es werden Ihnen aktuelle Ergebnisse aus Forschung und Entwicklung präsentiert und der Einsatz innovativer Methoden, Systeme und Technologien im Werkzeug- und Formenbau demonstriert. Unter anderem hören Sie folgende Vorträge:

- **Die aktuelle Situation im europäischen Werkzeug- und Formenbau**
  Herr Javier Antonana
  President Europe of the International Special Tooling and Machining Association (ISTMA), Managing Director of IRUMOLD, Spanien

- **Orientierung für den Werkzeug- und Formenbau – Mit Benchmarking von den Besten lernen**
  Herr Prof. Dr. Günther Schuh
  Mitglied des Institutsdirektoriums Fraunhofer IPT, WZL der RWTH Aachen, Deutschland

- **Vergleich von nordamerikanischen und japanischen Werkzeugherstellern für die Automobilindustrie**
  Herr Richard J. Gerth, Ph.D.
  Assistant Director, Manufacturing Systems Group, Altarum-Center for Automotive Research, USA

- **Technologische Neuorientierung im Werkzeug- und Formenbau**
  Herr Prof. Dr. Fritz Klocke
  Mitglied des Institutsdirektoriums Fraunhofer IPT, WZL der RWTH Aachen, Deutschland

Informationen zu den Teilnahmebedingungen erhalten Sie unter:
http://www.werkzeugbau-aachen.de.

### Ihr Ansprechpartner:

Dipl.-Ing. (FH) Jörgen von Bodenhausen
Telefon 02 41/89 04-2 33
E-Mail j.bodenhausen@ipt.fraunhofer.de

### Termine

- Materialica
  30. September bis 3. Oktober 2002
  München
  http://www.materialica.de

- Aachener Werkzeug- und Formenbau »Werkzeugbau mit Zukunft«
  1. Oktober bis 2. Oktober 2002
  Aachen
  http://www.werkzeugbau-aachen.de

- glasstec
  28. Oktober bis 1. November 2002
  Düsseldorf
  http://www.glastec-online.com

- uRapid
  2. Dezember bis 3. Dezember 2002
  Frankfurt a.M.
  http://www.uRapid.de

- VDI-Seminar »Faserverbundkunststoffe«
  3. Dezember bis 4. Dezember 2002
  Aachen
  http://www.vdi-wissensforum.de

- Euromold
  4. Dezember bis 7. Dezember 2002
  Frankfurt a.M.
  http://www.euromold.com

# Neue Kunststoffanwendungen – Herausforderung und Chance für den Spritzgießwerkzeugbau

**Blaupunkt ist als Hersteller von Komponenten für die mobile Kommunikation in Kraftfahrzeugen bekannt. Dabei wird sowohl der Erstausrüstermarkt als auch das Handelsgeschäft bedient. Die Liste der Innovationen auf dem Gebiet der mobilen Kommunikation umfasst zum Beispiel das erste Autoradio mit Radio-Daten-System (RDS) im Jahr 1988, das weltweit erste serienreife Navigationssystem für den Straßenverkehr aus dem Jahr 1989 und das Radiophone, das weltweit erste Autoradio-/ Mobiltelefon-Kombinationsgerät aus dem Jahr 1997. Der Produktbereich Plastic Modules der Blaupunkt GmbH ist verantwortlich für die Versorgung der Montagewerke mit den benötigten Kunststoffteilen, sowohl in Form von vormontierten Bedienmodulen, als auch in Form von veredelten Einzelteilen. Der Produktbereich besitzt einen eigenen Werkzeugbau zur Herstellung und Wartung der eingesetzten Spritzgießwerkzeuge. Dabei tritt der Werkzeugbau ständig in Konkurrenz zum internationalem Wettbewerb. Neben der Erreichung der allgemeingültigen Ziele hinsichtlich geforderter Qualität, zunehmend kürzerer Time-to-Market und günstiger Werkzeugkosten muss die Frage beantwortet werden, wie sich ein Werkzeugbau in einem Hochlohnland wie Deutschland profilieren kann. Ein Ansatz liegt im Aufbau einer »Kernkompetenz Werkzeugbau«, so dass die sich wandelnden und zunehmend höheren Kundenanforderungen erfüllt werden können.**

Kunststoffe begegnen uns im täglichen Leben in den verschiedensten Bereichen. Rund die Hälfte der in Deutschland verarbeiteten Kunststoffe wird in den Anwendungen Verpackung und Bau benötigt. Hier kommen vor allem preisgünstige Massenkunststoffe zum Einsatz. Im Fahrzeugbau und in der Elektroindustrie werden nur je rund acht Prozent der Kunststoffe verarbeitet, hier handelt es sich aber häufig um höherwertige Materialien und komplexere Produkte. Der Rest der Kunststoffe wird in den Bereichen Möbel, Haushaltswaren, Landwirtschaft und sonstigen Anwendungen, wie zum Beispiel Spielzeug, eingesetzt.

Der Einsatz von Kunststoffprodukten nimmt dabei immer mehr zu. Die wachsende Bedeutung der Kunststoffprodukte wird dadurch begründet, dass bei vielen Anwendungen die mechanischen und thermischen Eigenschaften metallischer Werkstoffe gar nicht benötigt werden. Die Eigenschaften der Kunststoffe sind an die jeweilige Anwendung anpassbar: so sind harte oder weiche, transparente oder eingefärbte Kunststoffe verfügbar. Gerade gegenüber Stahl ist eine Gewichtsreduzierung der Bauteile möglich. Die Korrosionsbeständigkeit, die hohe Gestaltungsfreiheit sowie die Wartungsfreiheit der Formteile runden das Profil ab.

Von den zahlreichen Verarbeitungsmöglichkeiten für Kunststoffe besitzt das Spritzgießen die größte Bedeutung, da dieses Urformverfahren einen direkten Weg vom Rohstoff zum Fertigteil darstellt, wobei gar keine oder nur eine geringe Nachbearbeitung des Formteils notwendig ist. Das Verfahren ist voll automatisierbar und bietet eine hohe Reproduzierbarkeit sowie kurze Zykluszeiten. Es sind geometrisch sehr komplexe Formteile mit Gewichten von unter einem Gramm bis hin zu mehreren hundert Kilogramm herstellbar, so dass das Spritzgießen insbesodere zur Herstellung von Massenartikeln prädestiniert ist.

Ein wichtiger Technologietreiber der Spritzgießtechnik liegt darin, dass das

Bild 1: Impulse durch Kundenanforderungen

Kaufverhalten der Abnehmerindustrie bzw. der Endverbraucher zu einer steigenden Produktkomplexität führt (Bild 1). Dabei bestimmen die Haptik und das Design zunehmend die Nachfrage. Beispielsweise muss ein Navigationssystem ein gut ablesbares Display aufweisen, leicht bedienbar sein und ein angenehmes Griffgefühl bieten. Dabei ist generell ein Trend zu verkürzten Produktentstehungsprozessen und kürzeren Produktlebensdauern festzustellen.

Für den Formteilhersteller bedeutet dies, dass die technischen Anforderungen an die Kunststoffformteile stark zunehmen. Damit gewinnt die Herstellung von technisch anspruchsvollen und qualitativ hochwertigen Formteilen durch Spritzgießsonderverfahren wie z.B. Dünnwand- oder Mikrospritzgießen an Bedeutung. Der Spritzgießwerkzeugbau kann hier die Chance ergreifen, seine Kunden durch den Aufbau einer Kernkompetenz zur Herstellung der für die Spritzgießsonderverfahren notwendigen Werkzeuge zu unterstützen.

Bei dem so genannten Dünnwandspritzgießen erfolgt die Formteilherstellung analog zu dem konventionellen Spritzgießen, allerdings sind die mit diesem Sonderverfahren hergestellten Formteile durch Wanddicken kleiner 1 mm und Fließweg- zu Wanddickenverhältnisse größer 100 charakterisiert. Daraus ergibt sich einerseits eine Materialeinsparung, andererseits eine kürzere Kühlzeit bzw. Zykluszeit. Es können auch komplexe Formteilgeometrien hergestellt werden, beispielsweise Gerätekappen für Navigationssysteme oder Autoradios (Bild 2). Die Problematik liegt vor allem in der minimalen Wanddicke in Verbindung mit der Fließweglänge. Aus der notwendigen Füllbarkeit der Kavität ergibt sich ein erhöhter Einspritzdruckbedarf.

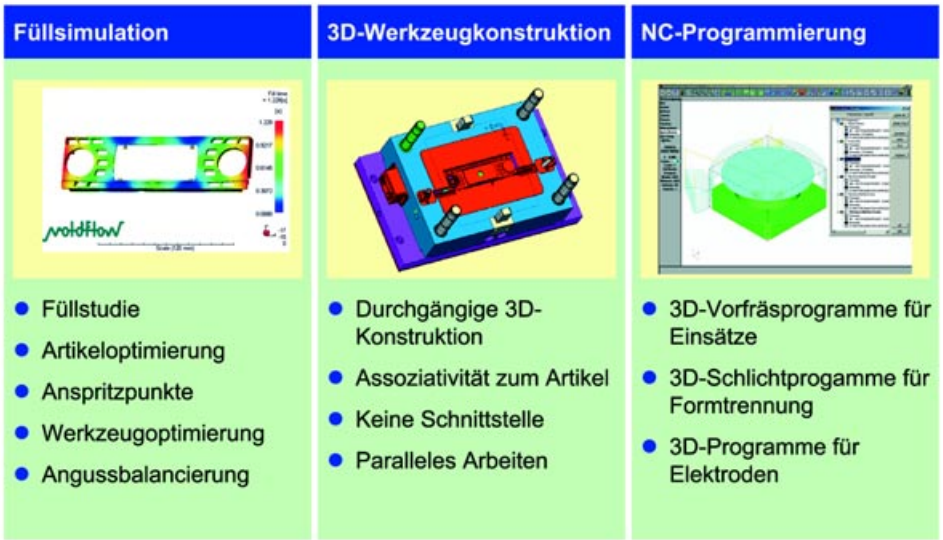



Bild 2: Dünnwandspritzgießen am Beispiel Gerätekappe Navigationsgerät

Aus diesen Zusammenhängen ergeben sich spezifische Anforderungen an das Spritzgießwerkzeug. Eine hohe Steifigkeit der Werkzeughälften ist notwendig, da eine Deformation zu einem Kernversatz führen würde. Aufgrund der hohen Einspritzdrücke sind hohe Schließkräfte aufzubringen. Außerdem ist teilweise die Einbringung von Nuten mit hohem Aspektverhältnis und geringer Breite notwendig.

In einer frühen Konstruktionsphase werden bereits Füllstudien zur Prozesssimulation inklusive Nachdruckphase, Kühlung und Verzug durchgeführt. Aus den Ergebnissen resultieren Vorschläge zur Artikeloptimierung, zur Lage und Anzahl der Anspritzpunkte, zur Werkzeugoptimierung und Angussbalancierung. Die Werkzeugkonstruktion sollte als durchgängige 3D-Konstruktion mit Assoziativität zum Artikel ausgeführt werden. So werden Schnittstellen mit eventuellen Datenverlusten vermieden und paralleles Arbeiten im Team wird möglich, so dass eine frühzeitige Übergabe von 3D-Daten für die nachfolgende NC-Programmierung möglich wird. Bei der NC-Programmierung werden 3D-Vorfräsprogramme für die Einsätze, 3D-Schlichtprogamme für die Formtrennung und 3D-Programme für die Elektroden erstellt. Dabei sollte eine Simulation zur Prozessoptimierung nachgeschaltet werden. Des Weiteren ist eine Übernahme von 3D-Daten in das CAM-Modul zur Erstellung von 2- und 4-Achsprogrammen für das Drahtschneiden möglich.

Ein weiteres Spritzgießsonderverfahren stellt das Mikrospritzgießen dar. Die Vorteile mikrostrukturierter Produkte liegen in höheren Funktionsdichten und geringeren Bauteilgewichten und erlauben eine Leistungssteigerung der Produkte. Hierbei werden extrem kleine Formteile mit Formteilgewichten von wenigen Milligramm oder makroskopi-

sche Formteile mit Strukturbreiten von wenigen Mikrometern hergestellt. Die Maßtoleranzen der Formteile liegen im Allgemeinen zwischen 1 und 5 Mikrometer, das Aspektverhältnis kann bis zu 8 betragen. Ein Beispiel für mikrostrukturierte Makrobauteile sind Lichtleiter, die zur Ausleuchtung von Autoradiodisplays eingesetzt werden (Bild 3).

Für eine gleichmäßige Ausleuchtung des Displays sind zunächst die Strahlengänge in den Lichtleitern zu simulieren und entsprechend zu optimieren. Die Formteilgeometrie muss dann einerseits im Werkzeug abgebildet werden, andererseits muss ein sicherer Abformungsprozess gewährleistet sein. Die für die Mikroabformung eingesetzten Kunststoffe müssen hinsichtlich Abbildungsgenauigkeit, Füllverhalten und Entformverhalten
geeignet sein.

In Zukunft werden verstärkt neue Produkte durch innovative Kunststoffspritzgießverahren hergestellt, die Anzahl und Bedeutung der Spritzgießsonderverfahren wird weiter steigen. Bei der Herstellung der Spritzgießwerkzeuge für diese Sonderverfahren unterliegt die Technologieauswahl den gleichen Kriterien wie bei Standardwerkzeugen. Vielmehr sind die Artikelentwicklung und die Werkzeugkonstruktion prägend, die im Rahmen von Simultaneous Engineering abgestimmt werden müssen. Hier muss der Werkzeugbau als Dienstleister seinen Kunden mit seiner Kernkompetenz beratend zur Seite stehen. So können bei kurzen Durchlaufzeiten Spritzgießwerkzeuge für funktionssichere, fertigungs- und montagegerechte Formteile hergestellt werden.

Ihr Ansprechpartner:

Dr. Arnd Karden
Fa. Blaupunkt GmbH
CM/PPM2 Werkzeugbau
Telefon 0 51 21/49-31 94
E-Mail arnd.karden@de.bosch.com

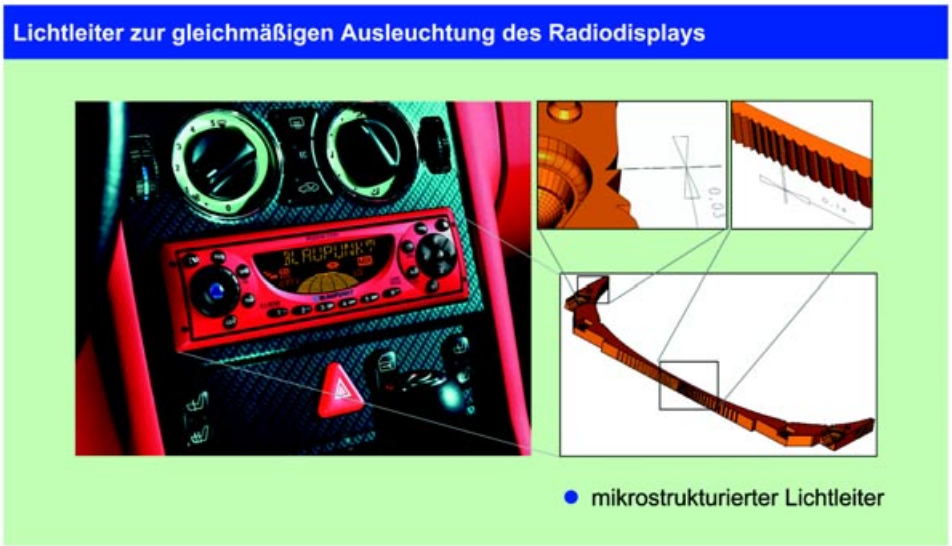



Bild 3: Mikrospritzgießen am Beispiel Lichtleiter Autoradiogerät

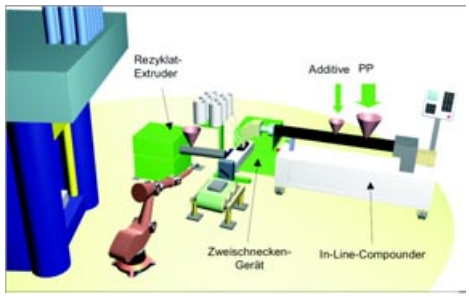
# Das Fraunhofer ICT eröffnet ein neues Pressentechnikum

**Das Fraunhofer ICT eröffnet ein neues Pressentechnikum zur Verarbeitung von faserverstärkten Duromeren und langfaserverstärkten Thermoplasten im LFT-D-ILC Verfahren.**

Faserverstärkte Thermoplastverbundwerkstoffe erobern zunehmend Marktanteile im Bereich tragender und teiltragender Strukturen. Sie zeichnen sich durch ein hohes Leistungspotential aus und bieten gute Möglichkeiten zum stofflichen Recycling. Der steigende Anteil von Bauteilen aus GMT und LFT-D im Automobil (z.B. Frontends, Unterböden, Sitzstrukturen, etc.) belegt diesen Trend.

Bisher werden Bauteile aus Langfaserthermoplast meist aus vorgefertigten Halbzeugen oder Stäbchen-Granulaten mit bereits vorher eingearbeiteten Fasern in einer Presse geformt. Weitaus wirtschaftlicher ist es jedoch, die Verstärkungsfasern erst in der Verarbeitungsanlage unmittelbar vor dem Pressen in die Kunststoffschmelze einzuarbeiten. Dadurch entfällt der Zwischenschritt der Halbzeug- oder Granulatherstellung.

Das Fraunhofer ICT hat zusammen mit dem Anlagenbauer Dieffenbacher (Eppingen) und weiteren Unternehmen den sogenannten Langfaserthermoplast-Direktprozeß (LFT-D) erweitert und für neue Werkstoffe und Anwendungen zugänglich gemacht: In dem von Dieffenbacher entwickelten Verfahren wird der Kunststoff direkt in der Anlage gemischt (»In-line Compounding ILC«) und mit den jeweilig notwendigen Additiven versetzt. Die Verstärkungsfasern werden dann direkt in die Kunststoffschmelze eingearbeitet und das Bauteil geformt. Dabei werden erstmals auch technische Thermoplaste eingesetzt (»Advanced LFT«).




Verfahrensprinzip der LFT-D-ILC Technologie zur Direkteinarbeitung von Verstärkungsfasern in eine thermoplastische Schmelze

Das LFT-D-ILC Verfahren wurde mit dem AVK-TV Innovationspreis 2001 und dem europäischen JEC Award 2002 ausgezeichnet.

Mit dem In-line Compounding (ILC) lässt sich das Material einfach und schnell auf die jeweiligen Bauteilanforderungen einstellen. Dem Material können in einem einstufigen Fertigungsverfahren textilverstärkte Thermoplaste zugeführt werden, die das hergestellte Bauteil zusätzlich lokal verstärken. Es steht damit im Wettbewerb zu Hybridstrukturen aus Metall und Kunststoff und ermöglicht einen maßgeschneiderten und kostengünstigen sowie zudem sortenreinen und damit leicht wiederverwertbaren Leichtbau.

Der bauteilspezifische Einsatz von unidirektionalen Fasern in Form von Profilen, Geweben und gewickelten Strukturen ermöglicht signifikante Steigerungen von Steifigkeit und Zugfestigkeit eines Bauteils im Vergleich zum reinen LFT-Bauteil. Anwendungen für solche Verstärkungen sind Bauteile, bei denen lokal hohe Beanspruchungen auftreten, wie z.B. Obergurtbereich eines Frontendmontageträgers. Die formschlüssige Einbettung von Endlos-

Neues Pressentechnikum am Fraunhofer ICT

fasern im Bauteil kann schon bei geringem Materialeinsatz zu erheblichen Festigkeitsverbesserungen führen.

In einem Verbundprojekt mit den Partnern Dieffenbacher, DOW Automotive, Fraunhofer ICT, Leistritz, BMW, Menzolit-Fibron sowie Werkzeug und Formenbau Schmidt GmbH wurde der Prototyp einer lang- und endlosfaserverstärkten Vorderwand für die BMW 3er-Reihe entwickelt und in einer voll automatisierten Fertigungsanlage hergestellt.

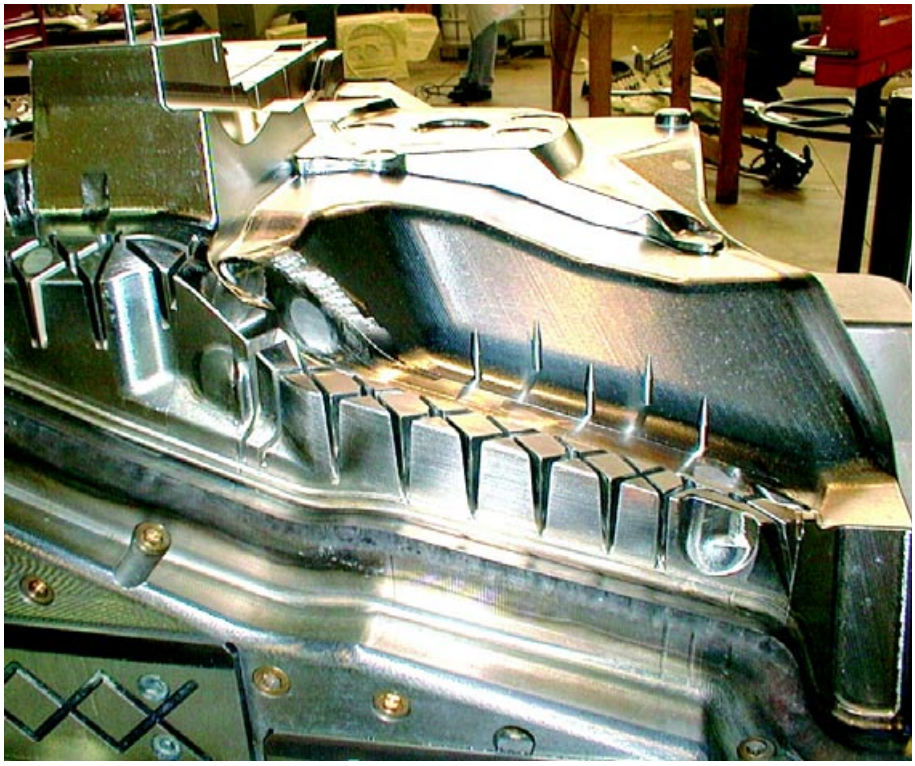
Die Positionierung der Verstärkungsgewebe im Presswerkzeug erfolgt gleichzeitig mit dem In-line hergestellten langfaserverstärkten Plastifikat. Durch Positioniernadeln und eine optimierte Einlegeposition von Plastifikat und Gewebe wird ein Verrutschen der Gewebe vermieden.

Im neuen Pressentechnikum am Fraunhofer ICT können ab sofort kundenspezifische Material- und Verfahrensmodifikationen aus den Technologiebereichen GMT/ LFT, SMC sowie Thermoformen von Organoblechen durchgeführt werden.

Ihr Ansprechpartner:

Dipl.-Ing. Wenzel Krause
Telefon 07 21/46 40-4 29
E-Mail wekr@ict.fhg.de

Prototyp eines BMW 3er Frontendmontageträgers aus LFT-D PP/GF30 mit lokaler Gewebeverstärkung im Obergurtbereich



LFT-Presswerkzeug mit Positioniernadeln zur Fixierung der Gewebeeinlage während des Fliesspressens

# Skalierte Strukturen – Anwendungen und Herausforderungen für die Präzisions- und Mikrobearbeitung

**In der Mikrotechnik werden die Gestaltungsmöglichkeiten der Bauteile unmittelbar durch die Leistungsfähigkeit der Fertigungstechnologien begrenzt. Die Möglichkeiten und Restriktionen der Verfahren in der Präzisions- und Mikrobearbeitung werden allerdings nicht immer bereits bei der Produktentwicklung berücksichtigt. Dabei ermöglicht gerade der anwendungsspezifische Einsatz halbleiterbasierter oder konventioneller Verfahren die Herstellung von skalierten Schlüsselkomponenten für Hochtechnologieprodukte. Je höher der Komplexitätsgrad der zu erzeugenden Geometrien oder je anspruchsvoller die Zerspanbarkeit des Werkstoffs wird, desto größer wird das Potenzial für die konventionellen Verfahren in der Präzisions- und Mikrobearbeitung (Bild 1). Aus vielen Anwendungen lassen sich Randbedingungen an die Fertigungstechnologie herleiten, die nur durch die konventionellen Verfahren erfüllt werden können (Tabelle 1).**

## Neue Möglichkeiten in der Lichttechnik durch mikrostrukturierte Reflektoren

Der Einsatz mikrostrukturierter Komponenten eröffnet in der Leuchtentechnologie neue Designmöglichkeiten und die Schaffung neuer Leistungsmerkmale. So ist für Chirurgen die richtige Ausleuchtung des Operationsbereichs von großer Bedeutung. Durch das computeroptimierte Zusammenwirken von mikrostrukturierten Reflektoren der Lampe wurde ein neues Beleuchtungskonzept entwickelt (Bild 2).

Durch eine Anordnung von 33.000 mikrostrukturierten Reflektoren auf den Ringreflektoren der Lampe strahlt das Licht sowohl von der Mitte als auch vom äußeren Rand des Leuchtenkörpers. Wichtige Leistungsmerkmale wie eine ideale Farbtemperatur von 4.200 Kelvin und die geringe Leistungsaufnahme von nur 85 Watt statt herkömmlicher 250 bis 350 Watt werden mit dieser OP-Leuchte erreicht. Zudem kann die Lichtausbeute von konventionellen 90.000 Lux auf 160.000 Lux gesteigert werden. Dabei beträgt die Wärmeentwicklung an Leuchtenunter- und -oberseite nur 35°C – statt wie bisher bis zu 75°C.

Die mechanische Bearbeitung des Spritzgießwerkzeuges gestaltet sich in mehrfacher Hinsicht problematisch. Die Genauigkeitsanforderungen der einzelnen Strukturelemente machen die Bearbeitung auf Präzisionsmaschinen mit monokristallinen Diamantbohrern notwendig. Durch das hohe Gewicht eines Abformwerkzeugs von ca. 20 kg ist jedoch nur eine Bearbeitung auf speziell stabilisierten Werkzeugmaschinen möglich. Auch die komplexe Gesamtform lässt die Justierung des Formeinsatzes sowie die Ausrichtung des Zerspanwerkzeugs nur sehr schwer zu. Eine komplette Bearbeitung in einem Durchgang dauert ca. 50 Stunden, so dass über den extrem langen Schnittweg der Werkzeugverschleiß einen erheblichen Einfluss auf die Form- und Oberflächengenauigkeit hat.

## Mikrozahnradpumpen für die Medizin- und Energietechnik

Mit Dilatationskathetern werden Gefäßverengungen im Bereich der Herzkranzgefäße behandelt. Ein neuartiger Herzkatheter ermöglicht mit einer integrierten Mikropumpe nun die Versorgung der Herzkranzgefäße während einer Ballondilatation. Dadurch kann der Behandlungserfolg bei der Erweiterung verengter Gefäße entscheidend verbessert werden und die Behandlungsdauer wesentlich verlängert werden (Bild 3).

Die Mikrozahnringsysteme der Mikropumpen besitzen einen außenverzahnten Innenrotor sowie einen innenverzahnten Außenrotor, die leicht exzentrisch zueinander gelagert sind. Beide Rotoren befinden sich mit ihrer

| | Funktionsprinzip | Vorteile | Nachteile |
|---|---|---|---|
| **Zerspanung** | Mechanischer Abtrag durch ein Werkzeug mit definierter Schneide | Möglichkeit der Herstellung von dreidimensionalen Bauteilen, hohe geometrische Flexibilität | Bearbeitungsspuren bleiben auf der Oberfläche, kleine Bohrungen und Innenstrukturen nur schwer herstellbar |
| **Schleifen** | Mechanischer Abtrag durch gebundene Körner mit undefinierter Schneide | Hohe Oberflächengüte und Formtreue | Innenbearbeitung nur schwer zu verwirklichen, keine kleinen Bohrungen |
| **Polieren** | Mechanischer Abtrag durch abrasive Partikel, dispergiert in einer Flüssigkeit | Sehr hohe Oberflächengüte | Verlust der Formtreue möglich |
| **Erodieren** | Abtrag durch elektrische Entladungen | Bearbeitung von sehr harten Materialien | Rauhe Oberfläche, geringe Abtragraten |
| **Laserbearbeitung** | Schmelzen, Sublimieren oder Zersetzen des Materials durch einen Laserstrahl | Bearbeitung von sehr harten Materialien | Grat- und Spritzerbildung auf der Oberfläche des Bauteils, reduzierte Oberflächenqualität |
| | **Nachfolgende Prozesse** | | |
| **Replikation** | Um- oder Abformung von Metall oder Kunststoff mit Hilfe eines Werkzeugs oder einer Form | Kostengünstige Herstellung großer Stückzahlen, hohe Materialvielfalt insbesondere bei Polymeren | Herstellung von Werkzeugen und Formen, Verfügbarkeit von Werkzeugen und Maschinen |

Tabelle 1: Funktionsprinzipien, Vor- und Nachteile konventioneller Verfahren

zykloidenförmigen Verzahnung in kämmendem Eingriff und bilden während der Rotation zu jedem Zeitpunkt ein System von mehreren abgedichteten Förderkammern. Die hohe Fertigungsgenauigkeit stellt die Dosiergenauigkeit von kleiner 0,5 Prozent sicher und erlaubt das Erzielen von Spitzendrücken bis 30 bar.

Die in Bild 3 gezeigte Mikropumpe illustriert die Potenziale, welche die funkenerosive Bearbeitung für die Herstellung von Mikrobauteilen eröffnet. Das Verfahren bietet die Möglichkeit, eine hochpräzise Geometrie in einen hochharten Werkstoff einzubringen. Die Toleranzen von Innen- und Außenrotor müssen im Mikrometerbereich eingehalten werden, da eine Vergrößerung der Spaltweite zwischen diesen beiden aufeinander ablaufenden Komponenten zu einem exponentiell zunehmenden Verlust des Wirkungsgrades der Pumpe führt. Als Werkstoff wurde Hartmetall gewählt, um den abrasiven Verschleiß der ineinander kämmenden Bauteile zu vermindern.

Die Kombination aus hoher Werkstoffhärte und hoher einzuhaltender Präzision sowie Bauteilgeometrie führt zwingend zur Anwendung der Mikro-Schneiderosion. Mikrozahnringpumpen werden derzeit ebenfalls in mehreren Pilotanwendungen zur Förderung von Wasser und Methanol für Brennstoffzellen erfolgreich eingesetzt. Aufgrund ihres kleinen Bauraums, der Pulsationsfreiheit und ihrer Eignung für nichtschmierende Medien können Mikropumpen aus Hartmetall dort zum Einsatz kommen.

## Skalierungseffekte bei den Fertigungsverfahren

In den Grenzbereichen der konventionellen Verfahren nehmen die Anforderungen an die Werkzeugmaschinen und die Prozessauslegung exponentiell zu. Einflussgrößen, die bei der traditionellen Bearbeitung vernachlässigt werden können, haben hier entscheidende Auswirkungen auf die Präzision und die Qualität der gefertigten Komponenten. In Tabelle 2 sind die Charakteristika der einzelnen Verfahren aufgeführt. Nachfolgend sollen Skalierungseffekte aufgrund der verkleinerten Bauteildimensionen beispielhaft für die Zerspanung mit definierter Schneide und die Funkenerosion dargestellt werden.

Bereits für Spanungsdicken kleiner als h = 0,1 mm ist ein steigender Einfluss der mikroskopischen Werkstoffeigenschaften wie Korngrenzen, Mikrorisse

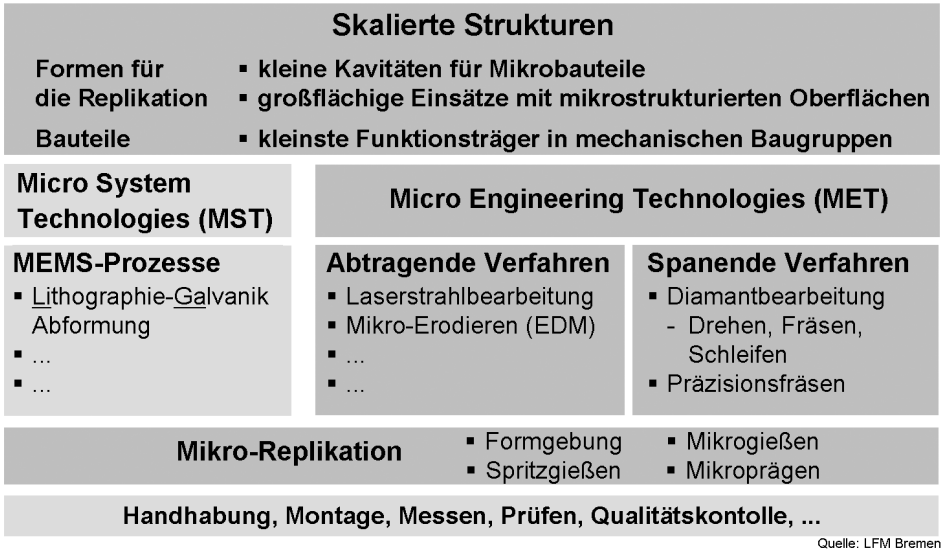



Bild 1: Prozesse zur Herstellung skalierter Strukturen

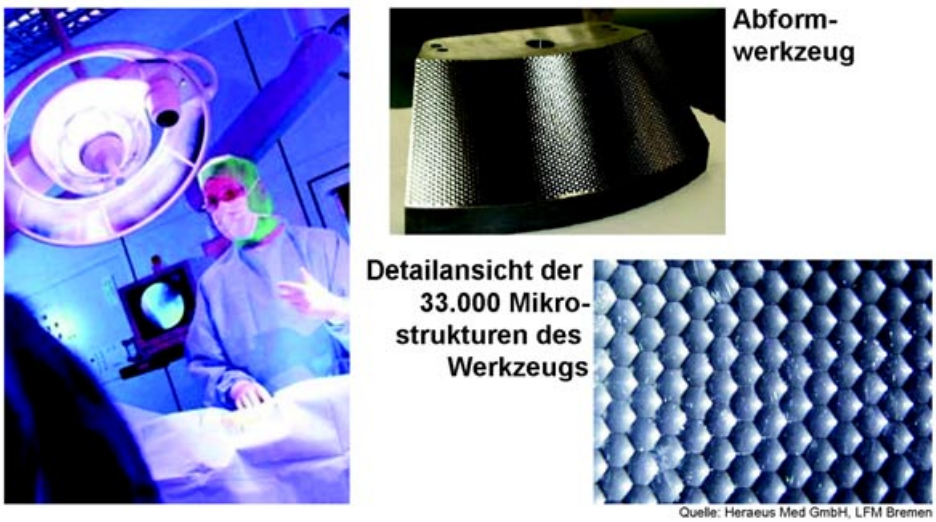



Bild 2: Neue Möglichkeiten der Lampentechnologie mit mikrostrukturierten Reflektoren

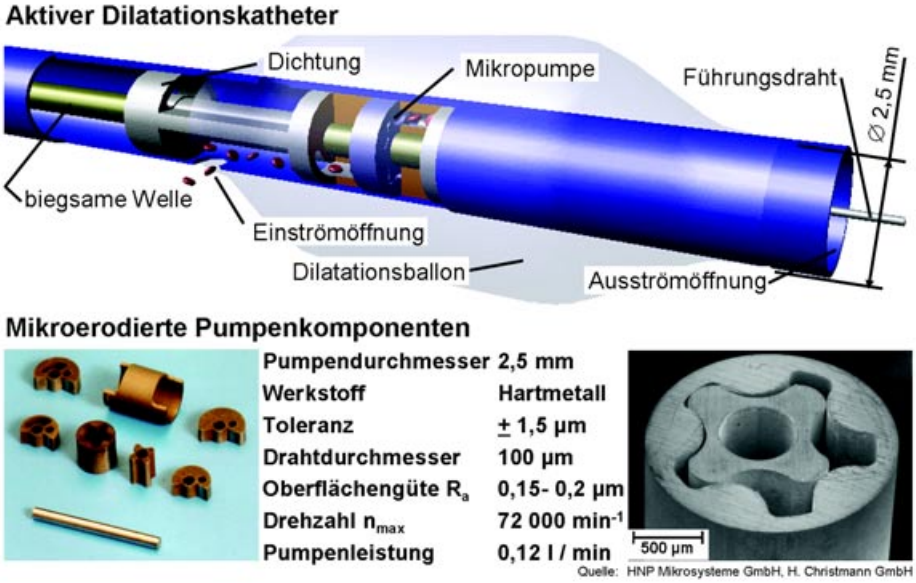



Bild 3: Mikrozahnringpumpen aus Hartmetall für die Medizin- und Energietechnik

und Einschlüsse festzustellen. Sinkt die Spanungsdicke unter h = 1 µm, übt darüber hinaus abhängig von der Korngröße die Kristallorientierung einen Einfluss auf den Zerspanprozess aus. Für die Zerspanung mit geringsten Spanungsdicken bekommt der Radius der Schneidkante eine entscheidende Bedeutung, da der Zerspanprozess vorwiegend im Bereich der Kantenverrundung abläuft. Ein wesentlicher Faktor bei der Zerspanung sind die Geometrie des Werkzeugs und der Schneidstoff, welche durch den Prozess verändert bzw. beeinflusst werden. Insbesondere bei der Zerspanung von Stahlwerkstoffen macht sich diese Beeinflussung durch einen erhöhten Verschleiß sowie bei Diamantschneiden durch zusätzliche Diffusionsvorgänge bemerkbar. Durch eine ultraschallunterstützte Anregung der Schneide können die Temperaturen und damit die Diffusionsvorgänge deutlich reduziert werden.

Aus der Makrobearbeitung stammt die Annahme, dass die funkenerosive Bearbeitung im Gegensatz zur Zerspanung ein kräftefreier Prozess mit einem rein thermischen Materialabtrag ist. Diese Behauptung kann jedoch in der Mikrobearbeitung nicht mehr ohne Einschränkung aufrecht erhalten werden. Der Druck im Plasmakanal übt nämlich Kräfte auf das zu bearbeitende Werkstück und die Elektrode aus, die in der Mikrobearbeitung nicht mehr vernachlässigt werden dürfen. Durch die erforderliche Spülung können bei einem zu hohen Druck des Dielektrikums dünne Mikrostege deformiert oder gar gebrochen werden. Obwohl diese Kräfte deutlich geringer als die Zerspankräfte sind, müssen die Spül- und Plasmakräfte beim Übergang zu immer kleineren Geometrien bei der Prozessauslegung berücksichtigt werden.

Das Drahterodieren unterliegt zudem geometrischen Einschränkungen. Auf Grund des Prozessprinzips lassen sich nur Durchbrüche fertigen. Weiterhin sind die minimalen Innenradien durch den Radius des verwendeten Drahtes und die auftretende Spaltweite festgelegt. Hierdurch bedingt ist es derzeit bei der Verwendung von Mikro-Drähten mit einem kleinsten Durchmesser von 20 µm lediglich möglich, minimale Innenradien von 12 - 15 µm herzustellen. Die geringere thermische und mechanische Belastbarkeit der dünnen Drähte sowie die hohen Anforderungen an die Oberflächengüte in der Mikrobearbeitung erfordern den Einsatz sehr geringer Entladeenergien sowie geringer Vorspannkräfte. Um die Maßgenauigkeit innerhalb des geforderten Toleranzfeldes zu gewährleisten, ist die permanente Einhaltung eines konstanten Funkenspaltes von besonderer Wichtigkeit. Geht man bei der Funkenerosion zur Herstellung von immer kleineren und exakteren Geometrien über, spielt auch die Homogenität des verwendeten Werkstoffes eine immer größere Rolle. Nichtmetallische Einschlüsse haben einen Einfluss auf den Prozess, da sie elektrisch nicht leitend sind und zu Drahtablenkung bzw. Drahtriss führen. Bei Mikrobauteilen können die Abmaße dieser nichtmetallischen Einschlüsse die Größenordnung der einzuhaltenden Konturtoleranz überschreiten.

## Vermeidung von mechanischen und thermischen Störgrößen

Erfahrungen bei Anwendern zeigen, dass gerade der Temperierung von Maschinen eine entscheidende Bedeutung zukommt. Die Kühlaggregate der Maschinen führen die Wärme jedoch an die sie umgebende Halle ab und beeinflussen damit das Temperaturverhalten der Anlagenkomponenten.Dies lässt sich nur durch Einsatz einer zentralen Kühlung vermeiden, die außerhalb der Maschinenhalle aufgestellt ist und alle vorhandenen Maschinen temperiert.

Die Mikrosystemtechnik stellt hier neue Anforderungen an die Messtechnik, die bisher noch nicht vollständig erfüllt werden können. Mit einer Miniaturisierung der Messobjekte und zunehmendem Auflösungsvermögen der Messgeräte erhalten Störfaktoren eine entscheidende Bedeutung bei der Durchführung der Messung.

Derzeit stellt die Entwicklung angepasster fertigungsnaher Messsysteme für die Mikrotechnik eine große Herausforderung dar.

Die Qualifikation der Mitarbeiter ist in der Mikrotechnik ein zentraler Erfolgsfaktor. Das Bewusstsein für die Zusammenhänge ist insbesondere bei den Anwendern vorhanden, die bereits länger im Bereich der Präzisions- und Ultrapräzisionsbearbeitung tätig sind. Bei neuen Anwendern muss dieses Bewusstsein erst geweckt werden.

| | Zerspanung | | Erodieren | | Replikation | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | Diamant | Hartmetall | Draht-E. | Senk-E. | Umformen | Abformen |
| **Werkstoff** | Nickel-Ph. Messing Aluminium Kunststoff Glas | Stahl Keramik Graphit | Metalle (Keramik) | Metalle (Keramik) | Metalle | Polymere Metallpulver |
| **Laterale Strukturen** | 10 - 1000 µm | 10 - 1000 µm | 20 - 50 µm | 20 - 40 µm | 0,2 - 50 µm | 0,2 - 115 µm |
| **Aspektverhältnis** | 10 - 50 | 2 - 10 | 25 - 80 | 10 - 25 | k. A. | 2 - 100 |
| **Geometriefreiheit** | ++ | ++ | + | + | ++ | ++ |
| **Oberflächengüte $R_a$** | 10 nm | 0,3 µm | 0,04 - 0,06 µm | 0,2 - 0,3 µm | k. A. | < 50 nm |
| **Verfügbarkeit** | ++ | + | ++ | + | + | + |
| **Anwendung** | Formen und Bauteile | Formen und Bauteile | Formen und Bauteile | Formen und Bauteile | Klein- und Großserie | Klein- und Großserie |
| | **Legende:** | ++ gut | + ausreichend | - schlecht | k.A. keine Angaben | |

Tabelle 2: Charakteristika von konventionellen Verfahren in der Mikrotechnologie

## Zusammenfassung und Ausblick

Innovative Produkte zeichnen sich in zunehmenden Maße durch hochpräzise Strukturen und kleinste Abmessungen aus. Dieser Trend erhöht den Bedarf an Formen für die wirtschaftliche Herstellung größerer Stückzahlen. Ein hohes Potenzial für die flexible Fertigung der hierzu benötigten Strukturen bieten die klassischen Verfahren wie z.B. das Fräsen oder Erodieren. Die hohe Werkstoffvielfalt sowie die dreidimensionale Gestaltungsfreiheit sind deutliche Vorteile gegenüber den aus der Halbleitertechnik weiterentwickelten Fertigungsverfahren der Silizium-Mikromechanik. In diesen Grenzbereichen der Technologien nehmen die Anforderungen an die Werkzeugmaschinen und die Prozessauslegung exponentiell zu.

Trotz bereits erzielter Erfolge sind in allen Bereichen der Prozesskette noch Forschungs- und Entwicklungsarbeiten zu leisten: von der Konstruktion über die Fertigung bis hin zur Mess- und Prüftechnik.

## Ihr Ansprechpartner:

Dipl.-Ing. Steffen Knodt
Telefon 02 41/89 04-1 24
E-Mail s.knodt@ipt.fraunhofer.de

# Ultrapräzisionsbearbeitung von Mikrostrukturen für die Abformung und den Spritzguss

**Der noch junge Markt mikrotechnischer Erzeugnisse bringt ständig neue und innovative Produktideen hervor. Dabei kann ein Produkt am Markt nur erfolgreich sein, wenn es sich durch besondere Leistungsmerkmale, hohe Zuverlässigkeit bzw. einen günstigen Preis auszeichnet. Schlüssel zur erfolgreichen Zusammenführung dieser Zielgrößen ist die Verfügbarkeit der geeigneten Fertigungstechnologie. Ihr Potenzial und Reifegrad entscheidet maßgeblich über die Umsetzbarkeit, die Kosten und letztendlich über den Erfolg eines Produktes.**

Heutzutage bietet die Mikrozerspanung die Möglichkeit zur reproduzierbaren Fertigung mikrostrukturierter Oberflächen, kleinster Kavitäten sowie filigraner Funktionselemente. Bei entsprechender Berücksichtigung von Umgebungseinflüssen, wie etwa durch Raumtemperierung oder Schwingungsentkopplung der Maschine, sind auf Ultrapräzisionsmaschinen Oberflächen-rauheiten von wenigen Nanometern und Formtoleranzen im Submikrometerbereich erzielbar.

Die Mikrozerspanung eignet sich dabei nicht nur für die flexible Fertigung von Prototypen und Kleinserien sondern kann ebenfalls zur Herstellung hochgenauer Abformwerkzeuge genutzt werden. Durch die Ergänzung der Prozesskette in Form von Replikations-verfahren, z.B. durch Spritzgießen und Prägen, ist somit auch die kostengünstige Fertigung von Massenartikeln mit Oberflächen in optischer Qualität realisierbar.

## Prozesstechnologische Einflussfaktoren

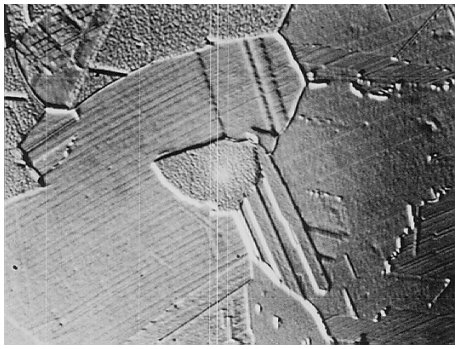
Die Auswahl der Bearbeitungsverfahren erfolgt in Abhängigkeit des zu bearbeitenden Werkstoffes. Während bei Glas und Keramik zumeist die bekannten Verfahren des Schleifens oder Polierens zum Einsatz gelangen, erfolgt die Bearbeitung von Nichteisenmetallen, Kunststoffen sowie sprödharten, nichtmetallischen Kristallwerkstoffen wie Silizium oder Germanium häufig unter Verwendung monokristalliner Diamantschneiden. Derartige Diamantwerkzeuge zeichnen sich durch eine extrem scharfe und quasi schartenfreie Schneide mit einer Kantenverrundung im Nanometerbereich aus und ermöglichen somit auch die Spanabnahme bei geringsten Spanungsdicken.

Allerdings limitiert der Schneidstoff Diamant auch das herstellbare Werkstoffspektrum. So kann z.B. Stahl aufgrund der Kohlenstoffaffinität (Diamant = reiner Kohlenstoff) mit monokristallinen Diamantwerkzeugen nicht zerspant werden. Auch Glas führt grundsätzlich zu einem extrem hohen Werkzeugverschleiß und ist somit der Bearbeitung mit nicht definierter Schneide vorbehalten.

Im Gegensatz zu konventionellen Bearbeitungsverfahren wirken sich bei der Ultrapräzisionsbearbeitung viele Einflussfaktoren, wie z.B. thermische Verlagerungen sowie mechanische Spannungen durch die Werkstückaufnahme oder vorhergehende Prozessschritte, unmittelbar mindernd auf die erreichbare Rauheit und Formgenauigkeit aus. Gleiches gilt auch für den bearbeiteten Werkstoff respektive das vorliegende Werkstoffgefüge, das entscheidend die erzielbare Oberflächengüte determiniert.

Dies ist beispielhaft an der Bearbeitung von polykristallinem Kupfer gezeigt (Bild 1). Die Zerspanung dieses Werkstoffs bei geringsten Spanungsquerschnitten führt zum Zerteilen einzelner Körner unterschiedlicher kristallographischer Orientierung, die in der Matrix des umgebenden Werkstoffes eingelagert sind. Da das mechanische Verhalten eines Einkristalls stark von der Kristallorientierung abhängt, werden die einzelnen Körner durch die Zerspankräfte unterschiedlich stark in die umgebende Matrix gedrückt. Durch das Zurückfedern der Kristallite nach der Schnittbelastung bildet sich eine kornorientierte Topographie aus.

Nur durch eine sorgfältige Auswahl und Vorbereitung des zu bearbeitenden Werkstoffs sowie durch die geeignete Anpassung der Prozessstellgrößen sind derartige Einflüsse auf das Bearbeitungsergebnis zu minimieren.



| | |
|---|---|
| Werkstoff: | OF-Cu |
| Werkzeug: | monokristalliner Diamant |
| Schneideckenradius: | 2 mm |
| Vorschub f: | 4 $\mu$m |
| Schnittiefe ap: | 2 $\mu$m |
| Anwendung: | Laserspiegel |

Bild 1: Einfluss des Werkstoffs auf die Oberfläche

## Fertigungssysteme zur mechanischen Mikrobearbeitung

Neben der Kenntnis der zerspanungsrelevanten Einflussfaktoren ist die Verwendung hochgenauer Werkzeugmaschinen eine zwingende Voraussetzung der Ultrapräzisionsbearbeitung.

Klassische Ultrapräzisionsmaschinen sind als zweiachsige Drehmaschinen ausgeführt. Aufgrund der begrenzten kinematischen Fähigkeiten dieses Maschinentyps ist die hochgenaue Bearbeitung von komplexen Bauteilgeometrien, wie sie bei der Herstellung von Kavitäten oft auftreten, nur eingeschränkt möglich. Hier ist eine Bearbeitung nicht oder nur durch Umspannen des Werkstückes möglich. Dies reduziert in der Regel die Arbeitsgenauigkeit und erhöht die Fertigungszeiten.

Im Gegensatz zur Drehbearbeitung erlaubt die Fräsbearbeitung aufgrund der erweiterten Maschinenkinematik die Fertigung von komplexen Strukturen bis hin zur Freiformfläche. Erste mehrachsige Ultrapräzisions-Fräsmaschinen, die auch für die Herstellung von Mikrokomponenten mit komplexeren Geometrien eingesetzt werden können, sind erst seit einigen Jahren als Prototypen auf dem Markt verfügbar.

Bild 2 zeigt den Aufbau der dreiachsigen Ultrapräzisionsmaschine UPM, die am Fraunhofer IPT in Aachen entwickelt und aufgebaut wurde. Die Maschine ist mit luftgelagerten Komponenten sowie einem laserinterferometrischen Wegmesssystem ausgerüstet.

In die Maschine sind spezielle Ausrüstungskomponenten für die Mikrobearbeitung, wie etwa ein optisches Werkzeugvermessungssystem, integriert. Das Maschinenbett ist aus Naturgranit hergestellt, die Aufstellung erfolgt auf pneumatischen Schwingungsdämpfern in einem klimatisierten Hallenbereich.

## Einsatzmöglichkeiten

Anwendungsbereiche für spanende Verfahren zur Herstellung von Mikrokomponenten liegen unter anderem dort, wo extrem hohe Oberflächengüten sowie komplexe dreidimensionale Geometrien gefordert werden. Sie sind daher prädestiniert für Anwendungen im Bereich der Optik sowie im Werkzeug- und Formenbau. Aufgrund der hohen Flexibilität spanender Verfahren sind auch Prototypenwerkstücke oder Kleinserien wirtschaftlich herstellbar. Bei einer Massenfertigung bietet sich die Kombination spanender Verfahren in Verbindung mit Replikationstechniken an. Im Folgenden werden einige typische Anwendungsbeispiele der Mikrozerspanung dargestellt. Das Endprodukt ist hierbei ein Polymerwerkstück, welches durch Präge- bzw. Spritzgussverfahren hergestellt wurde.

Bild 2: Mikrobearbeitungsmaschine UPM des Fraunhofer IPT

Die abgebildeten Werkzeuge und Formen wurden durch spanende Verfahren gefertigt. Bild 4 zeigt ein Prägewerkzeug für Reflexionsfolien, wie sie im Bereich der Verkehrssicherheit einge setzt werden. Die Geometrie ist so gewählt, dass ein sogenannter Katzenaugeneffekt erreicht wird. Einfallendes Licht wird aus verschiedenen Winkeln stets direkt zur Lichtquelle zurückreflektiert und erhöht damit die Sicht-

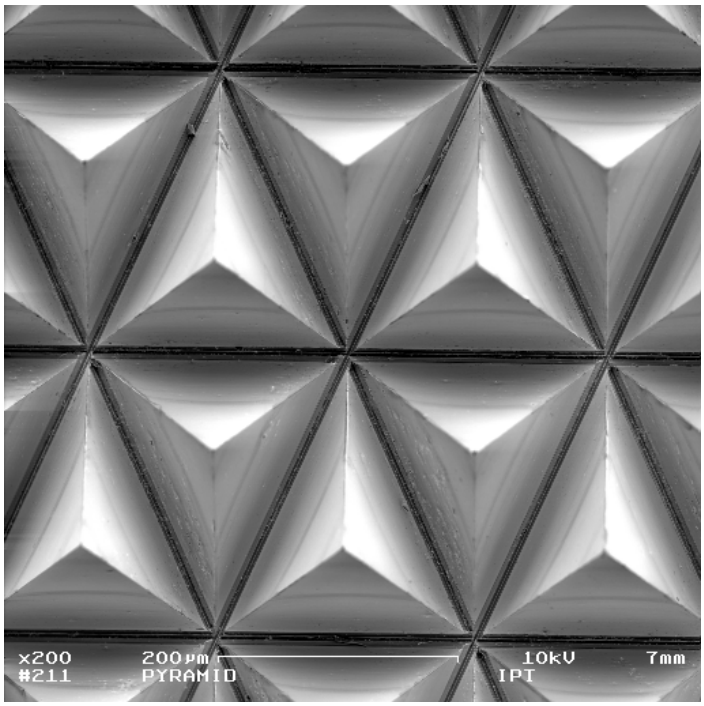



Bild 3: Abformwerkzeug für Reflexionsfolien im Bereich der Verkehrstechnik

barkeit von Verkehrszeichen in der Dunkelheit signifikant.

Neben den optischen werden jedoch auch die mechanischen, thermischen oder strömungstechnischen Eigenschaften von mikrostrukturierten Oberflächen für Produktanwendungen genutzt. Lichtwellenleiter etwa, die derzeit mit minimalen Durchmessern von etwa 5 µm verfügbar sind, benötigen mikrostrukturierte Führungselemente, Koppelelemente sowie Steckverbinder (Bild 4). Hier werden Positioniergenauigkeiten im Mikrometerbereich gefordert. Häufig werden mechanische Führungsaufgaben mit optischen Funktionsflächen, etwa Auskoppelfenstern oder Strahlteilern, kombiniert. Bei industriell eingesetzten Fasersteckern beispielsweise kann durch die Integration diffraktiver Elemente die Kopplungseffizienz verdoppelt werden.

Ein weiterer Anwendungsbereich für mikrostrukturierte Funktionsflächen sind Produkte der Mikrofluidik. Im Bereich der Verfahrens- und der Diagnosetechnik werden zunehmend Komponenten mit feinsten Kanal- und Kapillarstrukturen eingesetzt. In Mikroanalysesystemen werden kleinste Flüssigkeitsmengen auf definierte Inhaltsstoffe hin überprüft. Sie enthalten zusätzlich zu den Mikrokanälen Funktionsbereiche, wie etwa chemische Reaktions- oder Detektionszonen, sowie Filtrations- und Vermischungseinheiten. Bild 5 zeigt ein Abformwerkzeug für einen solchen Mikroreaktor.

## Erfolgversprechender Ansatz

Die spanenden Bearbeitungsverfahren der Ultrapräzisionstechnik mit monokristallinen Diamantwerkzeugen ermöglichen die Fertigung von komplexen Oberflächengeometrien mit optischer Oberflächengüte und unter Einhaltung von engsten Formtoleranzen. Allerdings ist beim Einsatz von Diamantwerkzeugen das bearbeitbare Werkstoffspektrum zunächst auf nichteisenhaltige Werkstoffe beschränkt.

Besonders im Werkzeug- und Formenbau werden jedoch Werkstoffe mit hoher Verschleiß- und Warmfestigkeit, wie etwa Stahl, gefordert. Hier besteht ein hoher Entwicklungsbedarf, die Technologie der Diamantzerspanung für die Stahlbearbeitung zu qualifizieren. Einen erfolgversprechenden Ansatz bietet an dieser Stelle die ultra-schallunterstützte Zerspanung. Bei dieser Technologie wird das Werkzeug während des Zerspanvorgangs zu Ultraschallschwingungen in Schnittrichtung angeregt und somit eine hochfrequente Schnittunterbrechung realisiert. Die Öffnung der Kontaktzone bewirkt hierbei nicht nur eine geringere tatsächliche Eingriffsdauer des Werkzeugs, sondern verbessert auch nachhaltig die Zufuhr von Kühlschmierstoff und führt somit zu einer signifikanten Reduktion des Diamantverschleißes. Eine ultrapräzise Bearbeitung von Stahl und Glas mit monokristallinen Diamantwerkzeugen wird hierdurch möglich (Bild 6).

Ein weiterer Entwicklungstrend ergibt sich aus dem zunehmenden Bedarf an großflächigen Oberflächenstrukturierungen. Beim Prägen von Folien beispielsweise bestimmt die Größe der Prägematrize wesentlich die Wirtschaftlichkeit des Verfahrens, im Bereich

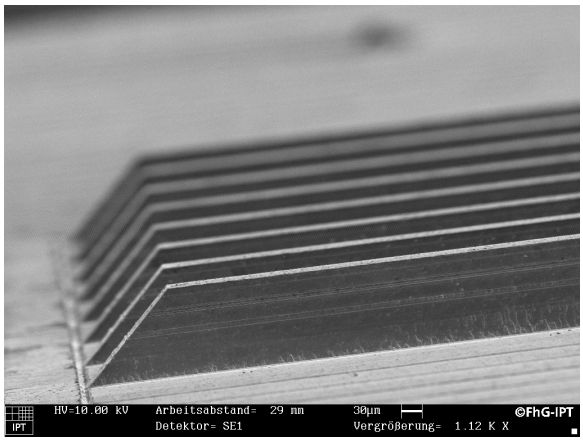



Bild 4: Abformwerkzeug für Lichtwellenleiter-Komponenten

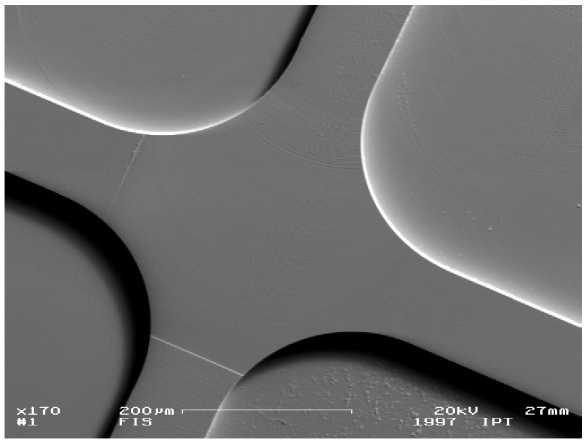



Bild 5: Abformwerkzeuge für mikrofluidische Systeme (Fraunhofer IPT/ jenoptik)

der Displaytechnik wird eine Mindestgröße durch die Bildschirmabmessungen bestimmt. Der Aufbau von großflächigen Werkzeugen aus mehreren Einzelkomponenten ist aufgrund der geringen Montagetoleranzen kritisch, die Stoßstellen dürfen bei optischen Anwendungen nicht sichtbar sein. Es besteht daher Bedarf an der Entwicklung von Ultrapräzisionsmaschinen mit einem großen Bearbeitungsraum (Bild 7). Die flächige Mikrostrukturierung von Werkstücken im Quadratmeterbereich ist hierbei anzustreben. Bei der großflächigen Mikrostrukturierung werden aufgrund der Vielzahl von Strukturelementen häufig Hauptzeiten von mehreren Tagen oder Wochen benötigt. Über den gesamten Zeitraum muss jedoch eine Fertigungsgenauigkeit im Submikrometerbereich beibehalten werden – kleinste Fehler im Fertigungsprozess können nach der langen und kostenintensiven Bearbeitung zum Ausschuss führen. Hier werden nicht nur extreme Anforderungen an die Langzeitstabilität der Bearbeitungsmaschine gestellt, auch der Werkzeugverschleiß wird zur kritischen Größe.

Ein Wechsel des Werkzeuges ist während der Bearbeitung äußerst problematisch, da die Reproduzierbarkeit der Werkstückspannung in der Regel nicht ausreicht. Bearbeitungsmaschinen mit integrierten Läppeinrichtungen, die eine Bearbeitung der Diamantschneide im eingespannten Zustand ermöglichen, wurden bisher nicht realisiert. Die Weiterentwicklung von Ausrüstungskomponenten zur hochgenauen, automatisierten Werkzeugeinrichtung ist daher ein weiteres wichtiges Forschungsgebiet der Mikrostrukturtechnik.

Die spanende Mikrostrukturierung von Oberflächen ist ein relativ junges Forschungsgebiet. Eine Standardisierung und Normung, etwa von Werkzeugaufnahmen oder im Bereich der CAD/CAM-Kopplung wurde bisher weitestgehend vernachlässigt. Die meisten Anwender arbeiten in diesem Bereich mit teuren Einzellösungen, eine Kompatibilität der Komponenten ist in der Regel nicht gegeben. Eine deutlich effizientere Fertigung kann durch eine entsprechende Vereinheitlichung der Schnittstellen auf diesem Gebiet erzielt werden, auch die Einbettung der Mikrobearbeitungsmaschinen in eine Fertigungsumgebung wird erleichtert.

Bild 6: Stahl- und Glasbearbeitung mit monokristallinen Diamantwerkzeugen

Ihr Ansprechpartner:

Dipl.-Ing. Michael Heselhaus
Telefon 02 41/89 04-1 22
E-Mail m.heselhaus@ipt.fraunhofer.de

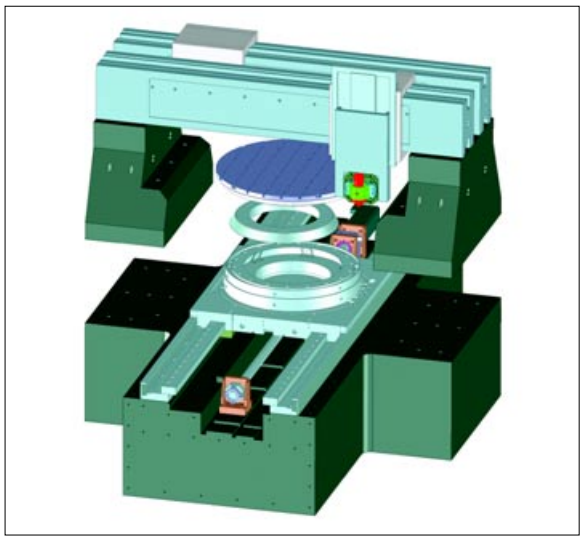


Bild 7: UP-Maschine zur Bearbeitung großflächiger Mikrostrukturen

# Reinigen von Werkzeugen und Formen

Im Rahmen der Produktion und Instandhaltung ist eine regelmäßige Reinigung von Werkzeugen und Formen unumgänglich. Besonders in der kunststoff- und gummiverarbeitenden Industrie stellt die Formenreinigung einen immensen Kostenfaktor dar, wobei unterschiedliche Reinigungsverfahren angewendet werden. Die Verfahren reichen vom manuellen Reinigen durch Bürsten und Wischen über das nass-chemische Reinigen bis hin zu komplexen Reinigungstechnologien mit Laser und Ultraschall. Ein neues für die Formenreinigung nahezu ideales Verfahren ist das Trockeneisstrahlen (Bild 1). Aufgrund der Umweltfreundlichkeit des Verfahrens bei gleichzeitig hoher Wirtschaftlichkeit findet das Trockeneisstrahlen in jüngster Zeit vermehrt Anwendung in der Industrie.

Trockeneisstrahlen ist ein Druckluftstrahlverfahren, bei dem Trockeneis als festes Einwegstrahlmittel verwendet wird. Das Verfahren ist vergleichbar mit dem Sandstrahlen. Mit Trockeneis wird jedoch ein innovatives Strahlmittel verwendet, das eine Vielzahl von Vorteilen bietet. Als Trockeneis wird die feste Zustandsform von Kohlendioxid bezeichnet. Der Name »trocken« rührt in diesem Zusammenhang daher, dass Kohlendioxid bei Umgebungsdruck keine flüssige Phase ausbildet, d. h. abhängig von der Umgebungstemperatur entweder als Feststoff oder als Gas vorliegt. In Bild 2 sind die thermodynamischen Verhältnisse verdeutlicht. Bei Umgebungsdruck hat Trockeneis eine Temperatur von etwa -78 °C.

Zum Strahlen werden Trockeneispellets, etwa reiskorngroße Partikel verwendet, die in thermisch isolierten Behältern von Gaslieferanten bezogen oder mit Hilfe eines Pelletierers selber hergestellt werden können. In den isolierten Behältern sind Trockeneispellets etwa 5 Tage haltbar. Hierbei ist nicht nur der Verlust durch Sublimation des Trockeneises entscheidend, sondern auch die hygroskopische Eigenschaft von Trockeneis. Umgebungsfeuchte, die mit Trockeneis in Berührung kommt, gefriert aufgrund der niedrigen Temperatur sofort. Das entstehende Wassereis lässt die Trockeneispellets verklumpen, die anschleißend nicht mehr gestrahlt werden können.

Trockeneispellets haben eine Härte von etwa 2-3 Mohs, was der Härte von Gips entspricht. Die Einteilung nach F. Mohs ordnet Mineralien derart, dass das Mineral mit einer niedrigen Mohs-Härte mit dem Mineral der nächst höheren Mohs-Härte geritzt werden kann. Korund hat beispielsweise eine Mohs-Härte von 9, Diamant von 10. Das Strahlmittel Trockeneis ist also eher weich. Dass trotz des weichen Strahlmittels feste, adhäsive Verunreinigungen entfernt und Oberflächen gereinigt werden können, liegt daran, dass das Reinigen mit Trockeneisstrahlen auf einer Kombination von drei Effekten beruht. Abhängig von der verwendeten Strahldüse können Düsenaustritts-geschwindigkeiten der Trockeneispartikel oberhalb von 300 m/s erreicht werden. Die hohe Geschwindigkeit der Trockeneispartikel resultiert in einem mechanischen Effekt beim Auftreffen auf die zu reinigenden Oberflächen. Aufgrund der geringen Härte des Strahlmittels Trockeneis ist dieser mechanische Effekt und die damit verbundene abrasive Wirkung auf das Grundmaterial jedoch gering.

Der zweite Effekt beim Reinigen mit Trockeneisstrahlen wird durch die niedrige Temperatur von Trockeneis erreicht. Verunreinigung und Grund-material kühlen lokal stark ab. Durch unterschiedliche Wärmeleitung,

Bild 1: Reinigen einer Form mittels Trockeneisstrahlen

Materialmassen und Wärmeausdehnungskoeffizienten der Verunreinigung und des Grundmaterials kommt es zu Spannungen, die Haftung wird vermindert und die Verunreinigung versprödet und löst sich ab. Der dritte Effekt resultiert aus dem Phasenwechsel des Trockeneises. Beim Übergang von der festen in die gasförmige Phase nimmt das Volumen von Kohlendioxid um etwa das 600fache zu. Diese schnelle Volumenzunahme hat einen Druckstoß zur Folge, durch den Verunreinigungen entfernt werden.

Das Reinigen mit Trockeneisstrahlen hat eine Vielzahl von Vorteilen. Das Strahlmittel Trockeneis sublimert beim Auftreffen auf die zu reinigenden Oberflächen, daher muss kein Reinigungsmedium aufwendig aufbereitet oder entsorgt werden. Nach dem Reinigungsprozess fällt lediglich die entfernte Verunreinigung an. Formen können einfach und schnell zwischen Produktionszyklen ohne Demontage und Maschinenstillstandszeiten gereinigt werden. Durch die niedrige Härte von Trockeneis und die kalte, trockene Bearbeitung ist die abrasive sowie korrosive Beeinflussung auf das Grundmaterial gering. Das Verfahren ist selektiv und flexibel hinsichtlich der Verunreinigungsart und der Verunreinigungsdicke.

Die wesentlichen Anlagenkomponenten zum Trockeneisstrahlen sind Druckluftversorgung und -aufbe-reitung, die Trockeneisstrahlanlage zum Dosieren der Trockeneispellets, kältebeständige Schläuche sowie die Strahldüse. Die Strahldüse lässt sich sowohl manuell als auch robotergesteuert führen. Nachteile des Verfahrens sind die zur Zeit noch hohen Strahlmittelkosten sowie der hohe Schalldruckpegel aufgrund der Düsenaustrittsgeschwindigkeit.

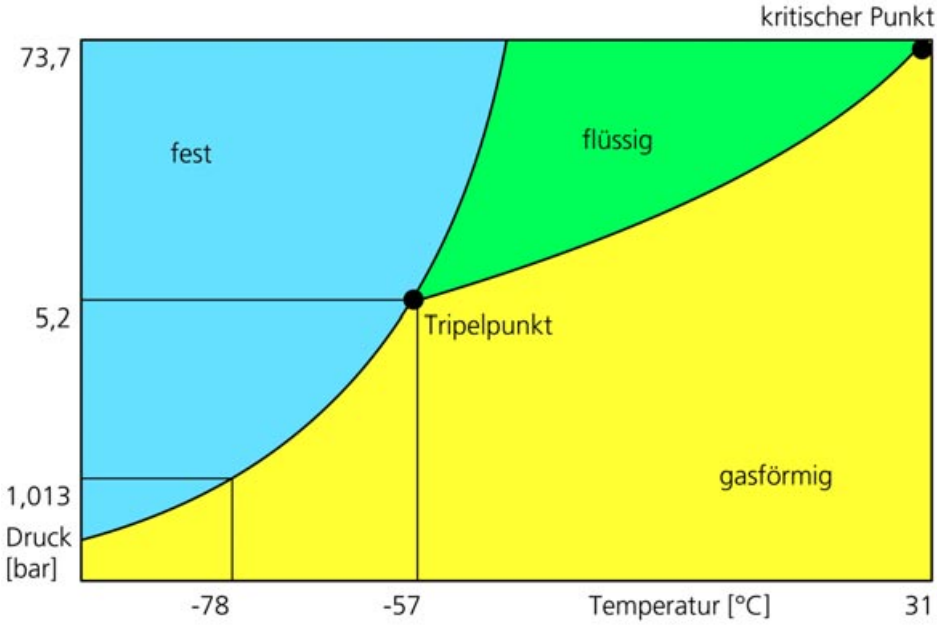



Bild 2: Phasendiagramm für Kohlendioxid

Bisher wird das Verfahren unter anderem zum Entlacken und Entschichten metallischer Bauteile, zum Reinigen von Maschinen und Anlagen sowie in der Gebäude- und Fassadensanierung eingesetzt. Durch die genannten Vorteile ist das Trockeneisstrahlen für die Werkzeug- und Formenreinigung ein ideales und universell einsetzbares Verfahren.

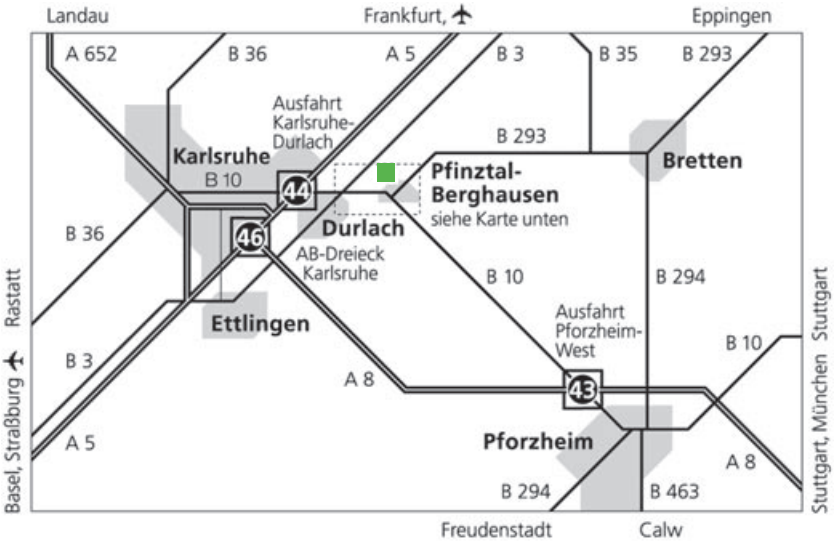
Ihr Ansprechpartner:

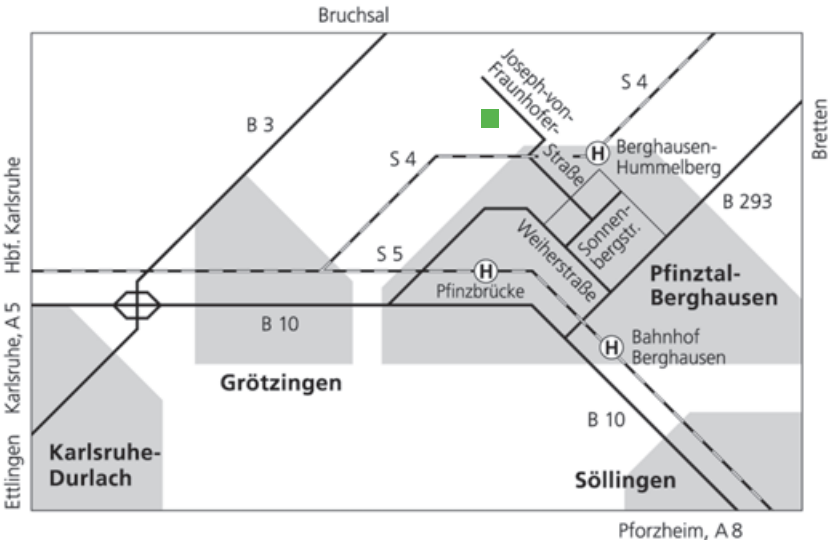
Dipl.-Ing. Mark Krieg
Telefon 0 30/39 00 6-1 59
E-Mail Mark.Krieg@ipk.fhg.de

# Impressum

## Wie Sie uns finden

Fraunhofer-Demonstrationszentrum
Formen für die Kunststoffverarbeitung
Geschäftsstelle
Dr.-Ing. Peter Elsner
Joseph-von-Fraunhofer-Str. 7
76327 Pfinztal (Berghausen)
http://dz-fokus.fraunhofer.de




## Im nächsten FoKus - Newsletter

### Wir stellen uns vor

Das Fraunhofer ISC im Profil

### Aktuelles im FoKus

Berichte über FoKus-Veranstaltungen

Termine

### Bericht aus der Industrie

Dilas, Lasereinsatz im Werkzeugbau

### Projekte im FoKus

Selektives Lasersintern

Multiassistentensystem

### FoKus Service

SFB Transregio

# Die Institute des FoKus

## Ihre Ansprechpartner

Fraunhofer-Institut für
Chemische Technologie ICT
Dr.-Ing. Bernd Bader
Telefon 07 21/46 40-4 08
E-Mail bba@ict.fhg.de

Fraunhofer-Institut für
Produktionstechnologie IPT
Dipl.-Ing. Carsten Freyer
Telefon 02 41/89 04-1 24
E-Mail c.freyer@ipt.fraunhofer.de

## Beteiligte Institute

Fraunhofer-Institut für
Angewandte Polymerforschung IAP,
Golm

Fraunhofer-Institut für
Produktionsanlagen und Konstruktionstechnik IPK,
Berlin

Fraunhofer-Institut für
Schicht- und Oberflächentechnik IST,
Braunschweig

Fraunhofer-Institut für
Silicatforschung ISC,
Würzburg

Fraunhofer-Institut für
Werkzeugmaschinen und Umformtechnik IWU,
Chemnitz

Institut für
Kunststoffverarbeitung IKV,
Aachen

## Impressum

FoKus - Newsletter
Ausgabe 2/2002
August 2002

**Herausgeber**
Fraunhofer-Demonstrationszentrum
Formen für die Kunststoffverarbeitung
FoKus

**Redaktionsanschrift**
Fraunhofer-Institut für
Produktionstechnologie IPT
Steinbachstraße 17
D-52074 Aachen
Telefon 02 41/89 04-1 80
Telefax 02 41/89 04-1 98

**Redaktion**
Dipl.-Ing. Carsten Freyer
(verantwortlich)
Ricarda Krause

**Graphik, Layout**
Ricarda Krause

**Photos**
Fraunhofer IAP,
Fraunhofer IPT, Heidi Peters,
Fraunhofer ICT,
Fraunhofer IPK,
Fa. Blaupunkt GmbH

**Druck**
RHIEM Druck GmbH, Voerde

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