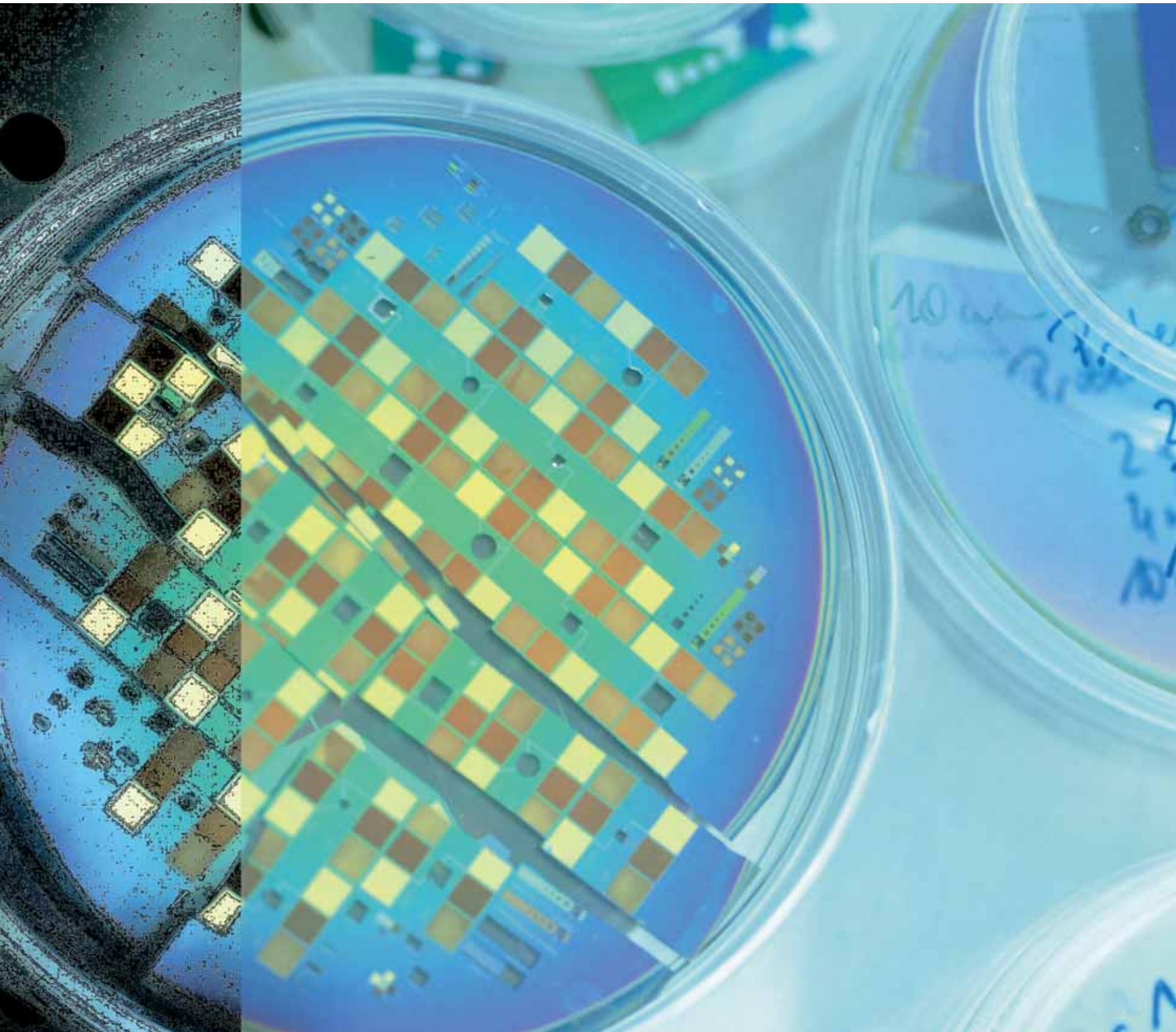


# Das Molekül im Gehäuse

Das Zentrum für Innovationskompetenz MacroNano  
der Technischen Universität Ilmenau verbindet  
die Biomedizin mit der Datenübertragung



## Immer mehr Funktionen auf immer kleinerer Fläche Immer mehr Funktionen auf immer kleinerer Fläche Immer mehr Funktionen auf immer kleinerer Fläche

Nanotechnologie kann ganz schön bunt sein: Grün, lila, braun, rosa, gold und schwarz schimmern die Schnipsel gedruckter Schaltungen in vielen Schälchen auf einem Labortisch in einem Reinraum des Zentrums für Mikro- und Nanotechnologien (ZMN). Das moderne Forschungszentrum der Technischen Universität Ilmenau liegt idyllisch in den weiten Hügeln des Ehrenbergs am Südwestende des Hochschulstädtchens am Rand des Thüringer Walds. „Hier erproben wir verschiedene Zusammensetzungen für Trägerplatinen, und was sich davon am besten für unsere Zwecke eignet“, erklärt Jens Müller. Der promovierte Elektrotechniker aus Halle forscht schon viele Jahre lang an der TU und ist seit zwei Jahren Leiter der Nachwuchsforschungsgruppe „Funktionalisierte Peripherik“ am „Zentrum für Innovationskompetenz“ (ZIK) MacroNano.

Was verbirgt sich hinter dieser etwas kryptischen Projektbezeichnung? „Die rasante Schrumpfung von Halbleiterstrukturen sowie Entwicklungen aus der Nanotechnik führen zu ständig verbesserten mikroelektronischen Systemen“, sagt Jens Müller: „Gleichzeitig haben die Bedienelemente der Geräte jedoch eine Mindestgröße, die der Mensch bestimmt.“ Das Gehäuse der jeweiligen Funktionseinheiten stelle also ein Bindeglied zwischen den Submikron-Strukturen und der Makrowelt dar, so Müller: „Hier können wir noch arbeiten. Wir wollen bisher ungenutzte Bauelemente wie Trägerplatinen oder Gehäuse mit neuen Funktionen ausstatten, etwa mit Antennen, Kühlkörpern, Lichtleitern, Aktoren oder Sensoren.“ Es existiere ein hoher Bedarf zur Miniaturisierung von elektronischen Einheiten und deren kostengünstiger Herstellung, sagt der Nachwuchsforschungsgruppenleiter: „Dazu müssen wir mehr Funktionen auf kleinerer Fläche unterbringen. Die Entwicklungen in dem Ilmenauer ZIK bilden die Grundlagen, mit denen beispielsweise ein Abstandsradar für Pkws, ein Personenscanner für Sicherheitskontrollen, Systeme zur kontinuierlichen medizinischen Überwachung von Patienten per Implantatsender oder neue Anwendungen in Mobil- und Satellitenkommunikation, etwa zur Erdfernerkundung, realisiert werden können“, erklärt Jens Müller.

Mehr nutzerfreundliche Funktionen auf kleinerer Fläche: Wie kompliziert das ist, und in welch winzigen Dimensionen man sich dabei bewegt, wird hinter der schicken Lamellenfassade des ZMN im neuen Feynman-Gebäude der TU Ilmenau klar: Ein modernes Forschungszentrum mit eigener „Nanoteria“ (ein Café) und fast 1.000 Quadratmetern Reinraum-Laborfläche. Dort werden beispielsweise Hochfrequenzfilter (HF-Filter) entwickelt und getestet, von denen zehn Stück auf eine Centmünze passen. „Und da ist alles drin“, verdeutlicht Projektleiter Müller: „Spulen, Kondensatoren, Widerstände, Leiterbahnen.“ Der Bauplan eines solchen Filters sieht fast aus wie der eines Parkhauses: Viele verschiedene Ebenen, die Kondensatoren und Widerstände darstellen, verbunden durch spiralförmige Wege, die Spulen und Leiterbahnen sind. „Durch die Integration der Bauelemente in die Schaltungsträger konnten wir HF-Filter um den Faktor zehn verkleinern“, so Müller.



Wir verbinden die Makro-Welt des Alltags mit der Nano-Welt der Wissenschaft  
Wir verbinden die Makro-Welt des Alltags mit der Nano-Welt der Wissenschaft  
Wir verbinden die Makro-Welt des Alltags mit der Nano-Welt der Wissenschaft

Das Hauptforschungsfeld von Müllers Nachwuchsforschungsgruppe „Funktionalisierte Peripherik“ am ZIK MacroNano ist derzeit die Entwicklung von Mikro- und Nano-Keramikträgern und -gehäusen für die Hochfrequenz- und Hochleistungs-Elektronik. „Der Bedarf entsteht durch ständig wachsende Ansprüche an die Materialeigenschaften wie beispielsweise Einsatztemperatur, Temperaturwechselbeständigkeit und Frequenzverhalten.“ Dabei müssen die verwendeten Materialien untereinander kompatibel sein, und sowohl serientauglich als auch hinsichtlich der Kosten realisierbar sein. Ein wichtiger Punkt am Anfang des Projekts war daher die Prüfung unterschiedlicher Materialien – etwa Glas, Keramik, Metall, Kunststoff oder Silizium. „Unsere Untersuchungen haben ergeben, dass aufgrund der stofflichen Eigenschaften und der guten 3-D-Integration die LTCC-Technologie, also bei niedrigen Temperaturen gebrannte Keramik, für solche Systeme prädestiniert ist“, erklärt Müller.

Wie kann man sich so ein integriertes Gehäuse vorstellen? Ein konkretes Beispiel: „Wir haben Heatpipes als Miniaturkanäle in Keramikgehäuse für Hochfrequenzverstärker eingebettet“, erläutert Müller. Eine Heatpipe, auch Thermosiphon oder Wärmehohr genannt, ist ein Wärmetauscher in Form einer Kühltülle, der durch natürliche Konvektion angetrieben wird. „Die Wärmeleitfähigkeit der Heatpipe ist hundert- bis tausendmal höher als bei den bisher üblichen Kühlkonzepten“, erklärt er. Weiter will er extrem robuste LTCC-Leiterbahnen bauen, aus bei niedrigen

Temperaturen gesinterter Keramik, die in der Satellitenkommunikation und der Hochfrequenztechnik zum Einsatz kommen könnten.

#### Die Brücke von der Nano- in die Makrowelt

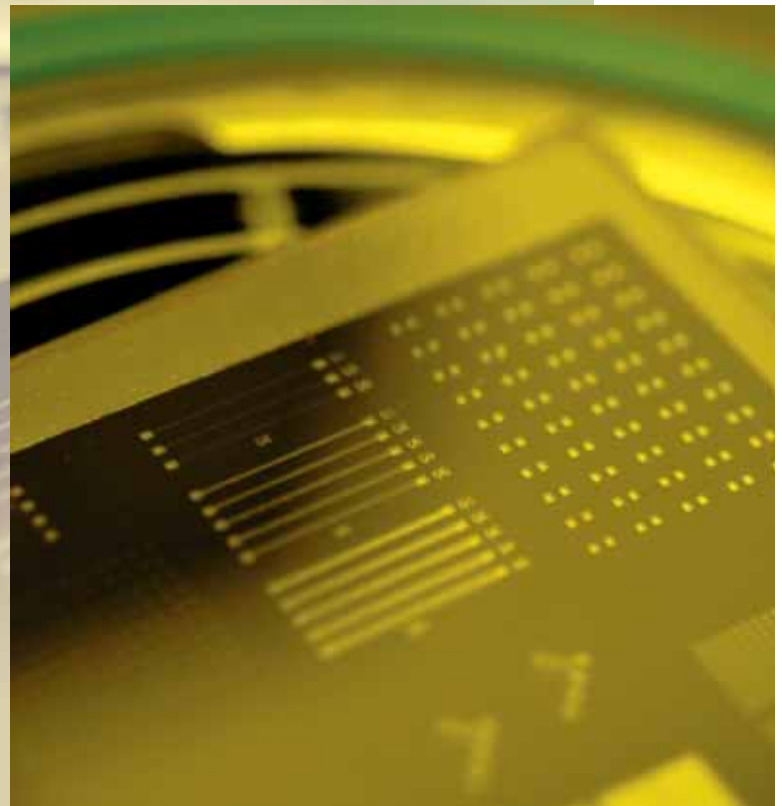
Aber es geht bei MacroNano nicht nur um Kommunikation. „Ziel der Forschungsaktivitäten unseres ZIK ist es, die wissenschaftlichen und technischen Grundlagen für verschiedene Anwendungen in Biosensorik und Hochleistungs-Elektronik auf einer gemeinsamen Technologieplattform zu entwickeln“, sagt Dr. Herwig Döllefeld, scheidender Koordinator des Ilmenauer Zentrums für Innovationskompetenz. MacroNano wird vom BMBF bis Mitte 2010 mit 4,5 Millionen Euro gefördert. In den beiden Nachwuchsforschungsgruppen arbeiten insgesamt elf Wissenschaftler und vier Laboranten.

So wie der Name MacroNano grundverschiedene Dimensionen zusammenspannt, so vereint das Projekt bislang getrennte Forschungsdisziplinen im Institut für Mikro- und Nanotechnologien (IMN), gewissermaßen die wissenschaftliche Heimat aller ZMN-Nutzer: Insgesamt 31 Fachgebiete und Forschergruppen aus vier Fakultäten betreiben mit den beiden Nachwuchsforschungsgruppen „interdisziplinäre Grundlagenforschung für industriell nutzbare Zwecke“, weiß Herwig Döllefeld, „und mit neun der Fachgebiete bestehen konkrete gemeinsame Forschungsprojekte.“ ▶



Bild S. 10:  
Plasmabrenner im ZMN-Labor

Bild rechts:  
Im Lithographielabor  
werden Keramikfolien direkt mit  
Schaltungen belichtet.



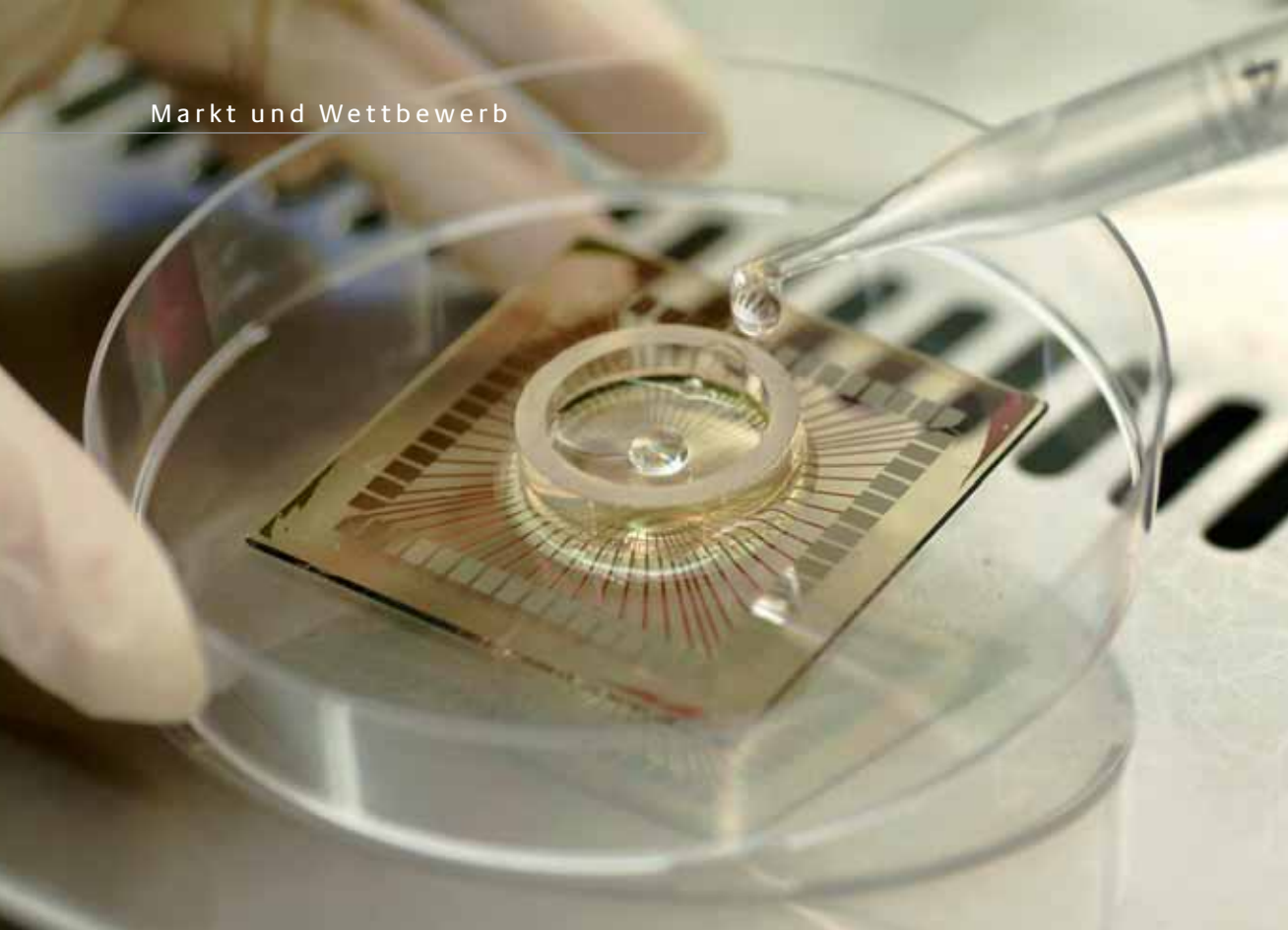


Bild links: In einen Mikro-Bioreaktor wird eine Testflüssigkeit eingebracht.

Seite 13 links: Mikro-Bioreaktor im Gehäuse

Seite 13 rechts: Ein neu entwickelter Versuchsaufbau, ein sogenanntes Sensor-Array, in dem direkt aufeinander folgend verschiedene biochemische Tests durchgeführt werden können.

Die beiden ZIK-Forschungsgruppen eint die Entwicklung modularer, integrierter Mikrosysteme auf Basis einer 3-D-Strukturierung keramischer Trägermaterialien, so Döllefeld weiter, „und zwar als Brücke zwischen Makro- und Nano-Welt.“ Im Fokus stehen dabei derzeit zum einen die Entwicklung eines Mikro-Bioreaktors, und zum anderen keramische Verbindungen für Hochfrequenzbauteile. „Wir wollen mit unseren Erfahrungen aus Mikro- und Nanotechnologie in Bereichen arbeiten, wo bisher kaum jemand in Nanodimensionen gedacht hat“, sagt Herwig Döllefeld – so etwa in der Kfz-Technik, oder in der Pharmaindustrie.

Die Biotechnologie ist also der zweite Erfolg versprechende Arbeitsbereich von MacroNano. Warum die Pharmabranche? „Der hohe Kostendruck in der medizinischen Forschung erfordert neue effiziente Test- und Diagnosesysteme“, erklärt Nachwuchsforschungsgruppenleiter Andreas Schober, ein promovierter Physiker: „Die Entwicklung eines Medikaments kostet rund 900 Millionen Dollar und dauert 7 bis 15 Jahre; die Elektronikindustrie benötigt für ein neues Produkt höchstens drei Jahre.“ Ein vielversprechendes Anwendungsgebiet der Mikrofluidik und Biosensorik sei daher der schnelle und kostengünstige Test neuer Medikamente ohne Tierversuche durch sogenannte Bioreaktoren. „Das sind innovative, parallele Testsysteme auf der Grundlage integrierter Biosensoren – im Mikrometerbereich“, so Schober.

#### Bis zu 80 Prozent weniger Tierversuche

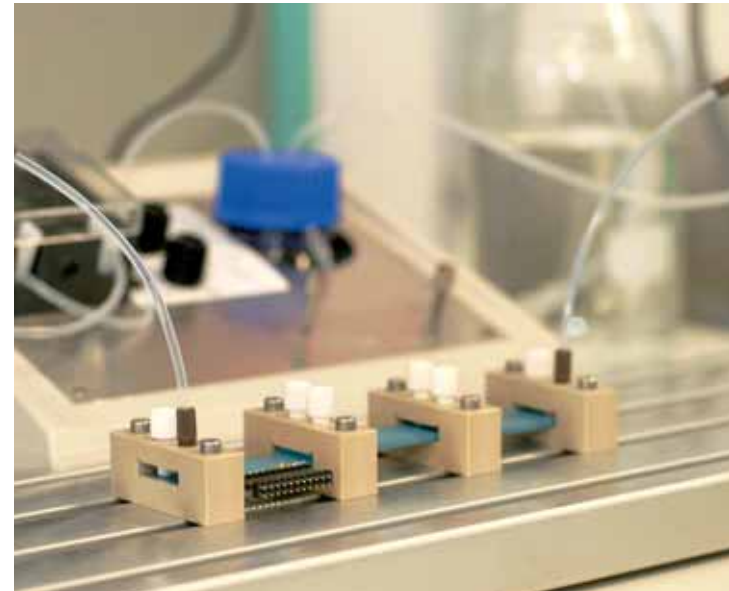
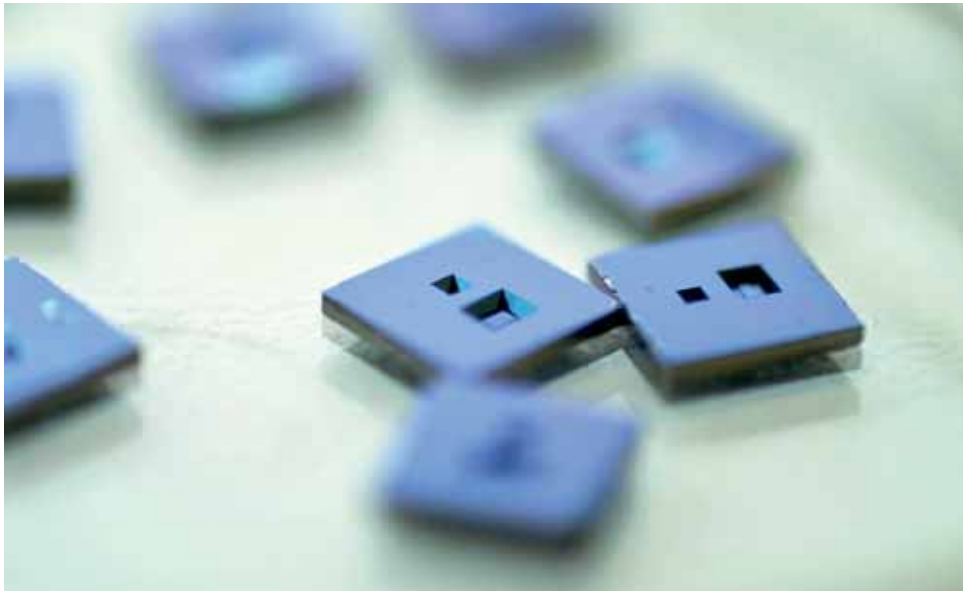
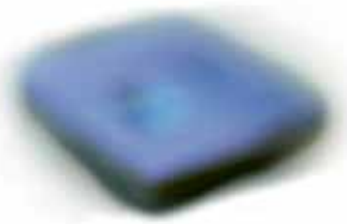
Einen der recht unscheinbaren grauen Würfel von gut 1,5 cm Kantenlänge hält Andreas Schober im ZMN-Labor in der Hand – ein Bioreaktor, der es in sich hat: Neben Mikropumpe und -ventil findet sich darin der sogenannte CellChip mit Dutzenden kleiner Kammern, in denen Zellkulturen auf zu testende Reagenzien warten. Die Reaktionen der Zellen, beispielsweise Herzmuskel- oder Leberzellen, auf die Testsubstanzen werden von einem inte-

grierten Sensor registriert und weitergeleitet. „Mit unserem 3-D-CellChip-System ist es möglich, Tierversuche in der Pharmaforschung signifikant zu reduzieren“, sagt Nachwuchsforschungsgruppenleiter Schober. In der Toxikologie etwa könne dies bis zu 80 Prozent weniger Tierversuche bedeuten. „Ein Beispiel: Der Einsatz des 3-D-CellChips würde theoretisch 99 von 100 Ratten den Tod im Versuchslabor ersparen“, glaubt Andreas Schober. Gleichzeitig sinken die Forschungskosten deutlich; daher ist der Einsatz des Bio-Chips auch in der Kosmetikindustrie geplant: „Kommen in Kosmetika neue Inhaltsstoffe zur Anwendung, oder wird die Sicherheit bestehender Inhaltsstoffe geprüft, so müssen auch hier toxikologische Grunduntersuchungen durchgeführt werden“, weiß der Nachwuchsforschungsgruppenleiter.

#### Vorteile der Mikroverfahrenstechnik

Schobers Forschungsgruppe realisiert dazu ein sogenanntes Assay, ein System zur Analyse von einzelnen organischen Molekülen oder Zellen in kleinsten Probenvolumina. Ziel ist ein Biosensor mit einer Analysemembran, der mit verschiedenen Anwendungs-Kits „zu geringen Kosten Verträglichkeitsstudien zu potenziellen Medikamenten so oft wiederholen kann, bis sie statistisch gesichert sind“, sagt Andreas Schober. Weiter wird am ZMN ein Biomembran-Sensor-Chip entwickelt, der die Analyse kleinster Flüssigkeitsmengen ermöglicht. In der Entwicklung befindet sich zurzeit außerdem eine auf dem Sensor-Chip beruhende Analytikplattform, die aus Zellen organähnlich wachsende, dreidimensionale Zellverbände generiert. „Diese Verbände können zur fortgeschrittenen Wirkstoffsuche eingesetzt werden, unter Vermeidung potenziell toxischer Nebenwirkungen“, so Schober. Eine weitere denkbare Anwendung wäre die Analyse von zellulären Markern, um in der Chirurgie vor einer Transplantation innerhalb weniger Sekunden die Spendergewebe-Verträglichkeit zu testen.





#### Kommerzieller Einsatz in Pharma- und Kosmetikbranche

Den Markt für Bio-Chips in Pharma- und Kosmetikindustrie hält ZIK-Manager Professor Martin Hoffmann für so vielversprechend, dass die Nachwuchsforschungsgruppe „Mikrofluidik und Biosensorik“ um Andreas Schober mit der Nanomics Technologies GmbH den Schritt in die Selbstständigkeit auf dem Life-Science-Markt plant. Die Uni-Ausgründung entwickelt für den künftigen Einsatz des 3-D-CellChips eine entsprechende Peripherie, wie das passende Gehäuse mit einer Mikropumpe, einen Mikro-Bioreaktor sowie die entsprechenden Verfahrenstechniken. „Ziel der Systementwicklung ist die Bereitstellung aussagekräftigerer und kostengünstigerer In-vitro-Zellkultursysteme für Pharmakologie, Toxikologie und Regenerative Medizin“, so Hoffmann. Bereits im Sommer 2009 soll die Entwicklung des 3-D-CellChip-Systems so weit fortgeschritten sein, dass der Weg zu einem kommerziellen Einsatz in der Pharma- und Kosmetik-Branche offensteht.

Generell gebe es in der chemischen und biotechnologischen Industrie zunehmend Bestrebungen, mikroverfahrenstechnische Komponenten einzuführen, sagt Biosensor-Gruppenleiter Schober: „Die Vorteile der Mikroverfahrenstechnik sind der Einsatz kleiner Stoffmengen, kleine Reaktionsräume, mögliche Verwendung auch gefährlicher oder explosiver Stoffe, gute Ausnutzung teurer Rohstoffe, kurze, definierte Verweilzeit, verbesserter Wärmetransport sowie gute Temperatursteuerung und Wärmeabführung.“ Zudem könnten auch stark exotherme Reaktionen isotherm, also ohne Temperaturerhöhung, durchgeführt werden. Ein weiterer großer Vorteil der Mikroverfahren sei, dass Tests weitgehend parallel durchgeführt werden können, so Schober: „In sogenannten Arrays können Dutzende unterschiedlicher Substanzen unter den gleichen Bedingungen und mit den gleichen Zellkulturen auf ihre Wirkung getestet werden.“ Damit könnten Pharmafirmen entscheidende Zeitvorteile erzielen, wenn bis zu 10.000 Substanzen zu erforschen sind, um schließlich ein Medikament zu entwickeln.

#### Molekulare Maschinen werden Arterienverkalkungen bekämpfen

Wie kam es zu der ungewöhnlichen Verbindung der Themen Mikrofluidik und Peripherik? „Die TU Ilmenau verfügt über langjährige wissenschaftliche Erfahrungen bei Mikro- und Nanotechnologien“, sagt ZIK-Koordinator Herwig Döllefeld. Insbesondere auf den Forschungsgebieten Nanomesstechnik, Nanopositionierung, Nanoelektronik und Nanofluidik habe sich die TU eine besondere Rolle in der wissenschaftlichen Welt erarbeitet, so Döllefeld, „die zugleich eine gewisse Alleinstellung impliziert.“ Mitverantwortlich für das Renommee der Technischen Universität Ilmenau sei das ZMN, betont MacroNano-Manager Martin Hoffmann, gleichzeitig Direktor des ZMN und Professor für Nanotechnologie an der TU: „Das ZMN bietet eine breite technologische Basis für unsere Forschungsaufgaben, und der fachgebietsübergreifende Ansatz eröffnet unkonventionelle Lösungsansätze.“ Das vorhandene Know-how sowie die Ausrüstungsbasis bildeten die Grundlage für eine effiziente Forschung nach Arbeitsplan, so Hoffmann. Zudem seien Nanotechnologien und die Mikro-Nano-Integration die Produktionstechniken des 21. Jahrhunderts: „Wir werden molekulare Maschinen, Werkzeuge, sogar molekulare Computer haben, die es uns ermöglichen, kontrolliert in Zellen einzugreifen, um etwa Krebs oder Arterienverkalkung zu bekämpfen.“

#### Unternehmen werden in die Nachwuchsförderung miteinbezogen

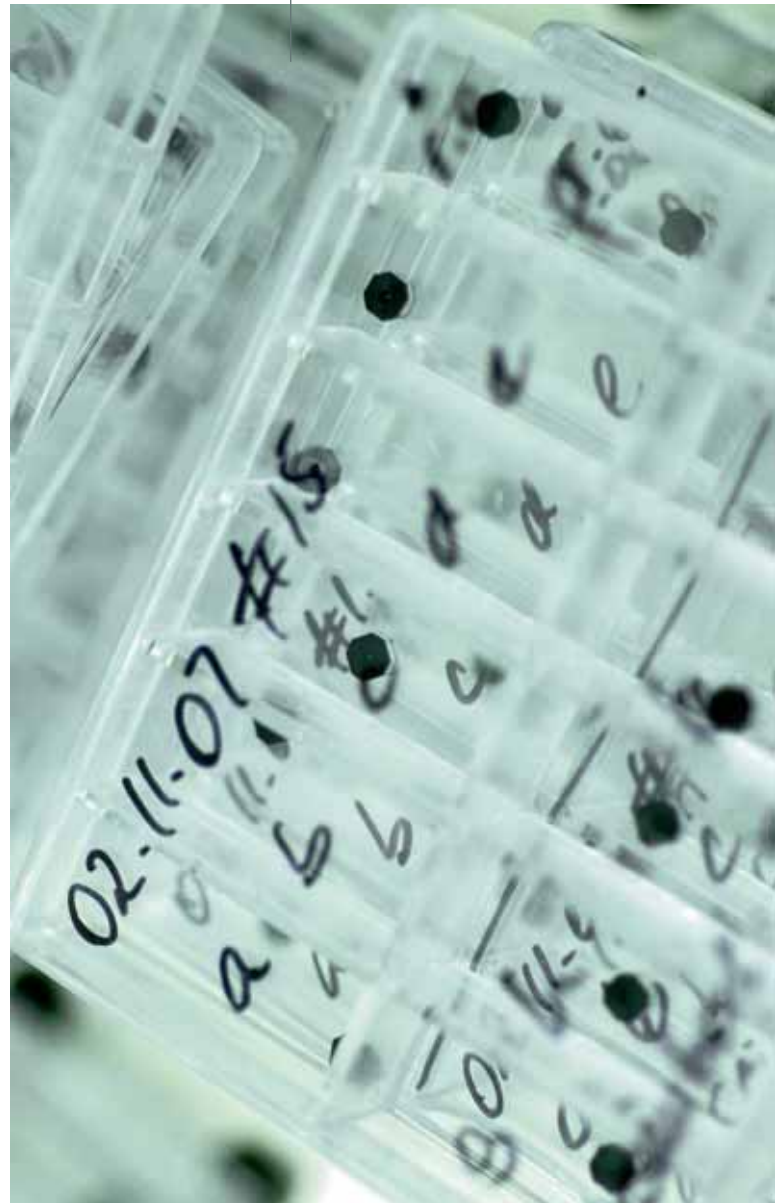
Zur Erweiterung des Kompetenzspektrums setzt man sowohl im ZMN als auch im ZIK MacroNano auf die langfristig angelegte Zusammenarbeit mit Forschungseinrichtungen und innovativen Unternehmen. „Durch die Verknüpfung der Einrichtungen in Forschung, Ausbildung und Lehre und gemeinsame Strategien zur Förderung des wissenschaftlichen Nachwuchses werden die >

einzelnen Wissensstandorte gestärkt“, sagt ZIK-Leiter und ZMN-Direktor Hoffmann: „Die Anbindung von wirtschaftsnahen Forschungseinrichtungen und Unternehmen an die TU beschleunigt den Transfer von Forschungsergebnissen in die Wirtschaft.“ So sind das Thüringische Institut für Textil- und Kunststoff-Forschung e. V. (TITK) in Rudolstadt und das Ilmenauer Institut für Mikroelektronik- und Mechatronik-Systeme GmbH als sogenannte An-Institute der TU Ilmenau und dem ZMN eng verbunden. Mit den Universitäten Jena und Erlangen sowie der Sios Messtechnik bestehen langfristige Kooperationsbeziehungen und -verträge.

### Konferenzen und Messen

Auch außerhalb Deutschlands hat das ZIK MacroNano mittlerweile einen Namen. Mitarbeiter der Forschungsgruppen erhielten mehrfach Einladungen zu internationalen Kongressen und Workshops – so etwa zum Nato-Workshop in Vichy im September 2007, und zur MikroTAS-Konferenz in Paris im Oktober 2007. In Ilmenau fand 2006 ein internationaler Workshop zum Thema Satellitenkommunikation und „LTCC RF- and Microsystem Interconnect“ statt, der eine Fortsetzung im kommenden Jahr finden soll. Auch in diesem Jahr standen und stehen mehrere Konferenzen an, auf denen die Ergebnisse der Forschergruppen vorgetragen werden: Beispielsweise die Nanotech in Boston, die CICMT in München, die ESTC in London und die IMAPS in Helsingör (Dänemark). Neben der Präsentation in einem wissenschaftlichen Umfeld wird auch verstärkt über die Teilnahme an Fachmessen Öffentlichkeitsarbeit betrieben – etwa auf der Analytica 2008 in München und auf der Biotechnica 2008 in Hannover. Dort werden sich die beiden ZIK-Nachwuchsforschungsgruppen sicher so bunt präsentieren wie die Siliziumscheiben auf Jens Müllers Schreibtisch.

Aluminium-Gallium-Nitrid-(AlGaN-)Sensoren in Proben-Kästchen nach einem Test. Die Sensoren können u. a. Ionen und polare Flüssigkeiten detektieren und werden in den Mikro-Bioreaktoren des Ilmenauer ZIKs verwendet.



ZIK-Nachwuchsforschungsgruppenleiter Jens Müller testet die neu entwickelte Belichtungseinheit für die mikrometeregenaue 3-D-Strukturierung von Keramikfolien.

### In Zukunft: Nanotechnologie

Nanotechnologie gilt als Zukunftstechnologie schlechthin. Statt „immer höher, immer weiter“ lautet ihr Motto „immer kleiner, immer schneller“. Die Nanotechnologie (von nano, griech. Zwerg) erschließt uns die Welt der allerkleinsten Dinge: Ein Nanometer ist der millionste Teil eines Millimeters; also etwa fünfzigtausend mal kleiner als ein menschliches Haar. Nanotechnologie beschäftigt sich mit der Forschung und Konstruktion in sehr kleinen Strukturen und umfasst Forschungsgebiete aus der belebten und unbelebten Natur. Anwendungen entstehen in der Energietechnik (Brennstoff- und Solarzellen), in der Umwelttechnik (Materialkreisläufe und Entsorgung) oder in der Informationstechnik (neue Speicher und Prozessoren), aber auch im Gesundheitsbereich.

Die Nanotechnologie nutzt die besonderen Eigenschaften, die für viele Nanostrukturen charakteristisch sind. Die mechanischen, optischen, magnetischen, elektri-

schon und chemischen Eigenschaften dieser kleinsten Strukturen hängen nicht allein vom Ausgangsmaterial ab, sondern in besonderer Weise von ihrer Größe und Gestalt. Voraussetzung für die Nanotechnologie ist die Entwicklung von Arbeitsmöglichkeiten mit einzelnen Bausteinen der Materie sowie das Verständnis der Selbstorganisation dieser Bausteine. Ein paar Beispiele aus der Praxis: Die Nanotechnologie erarbeitet die Grundlagen für immer kleinere Datenspeicher mit immer größerer Speicherkapazität für hochwirksame Filter zur Abwasseraufbereitung, für photovoltaische Fenster, für Werkstoffe, aus denen sich in der Automobilindustrie ultraleichte Motoren und Karosserieteile fertigen lassen, oder für künstliche Gelenke, die durch organische Nanooberflächen für den menschlichen Körper verträglicher sind.

Mehr dazu auf der Internetseite des Bundesforschungsministeriums: [www.bmbf.de/de/nanotechnologie.php](http://www.bmbf.de/de/nanotechnologie.php)