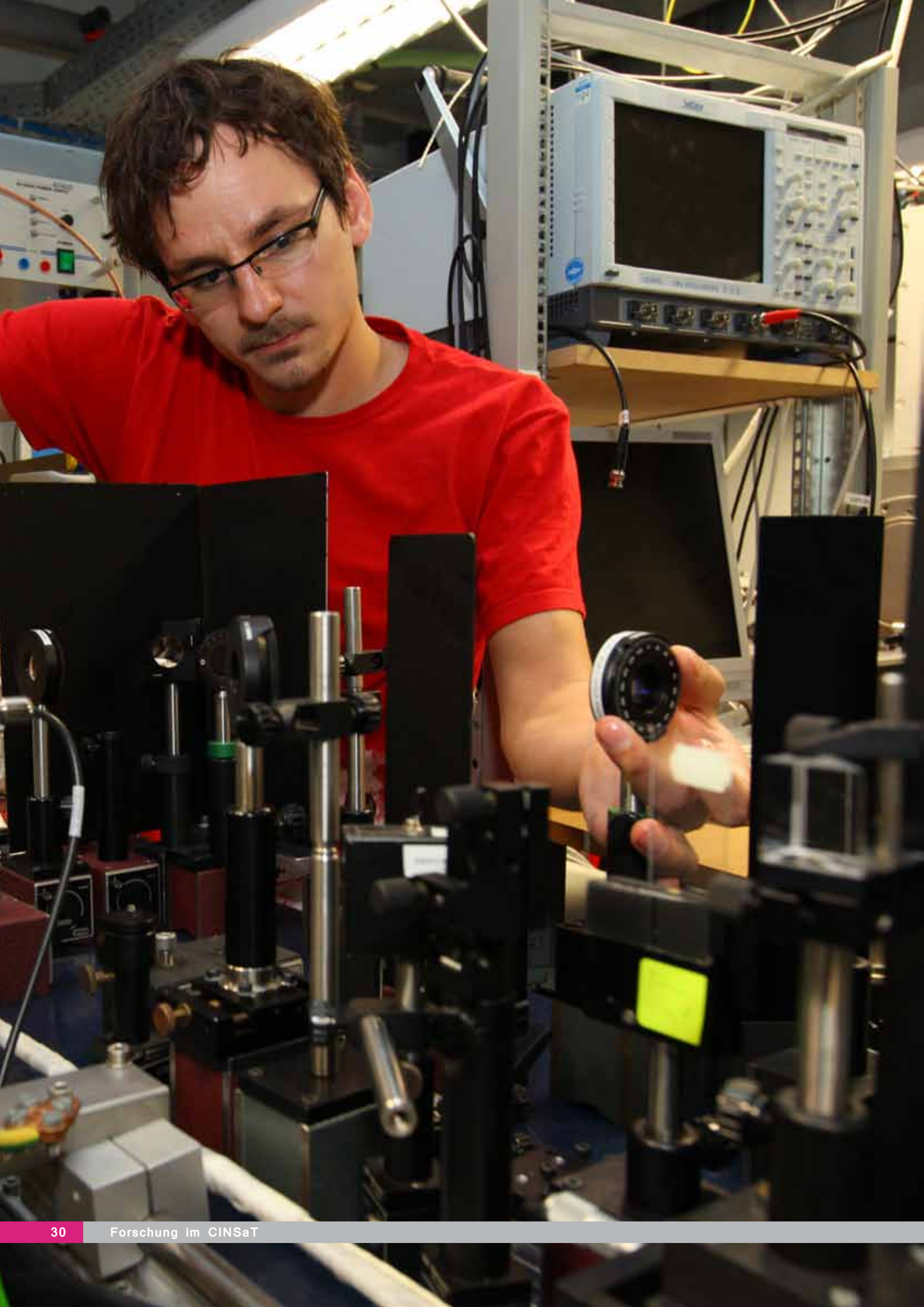




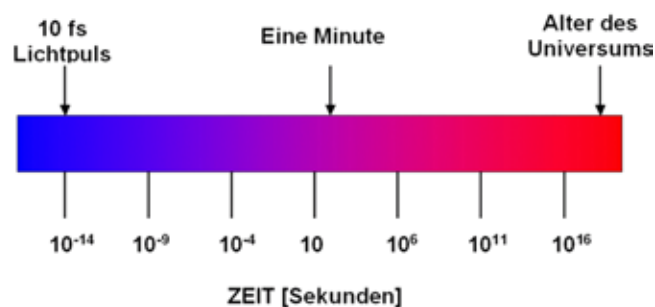
Femtosekundenspektroskopie und ultraschnelle Laserkontrolle

Laserblitze knacken Moleküle ultraschnell

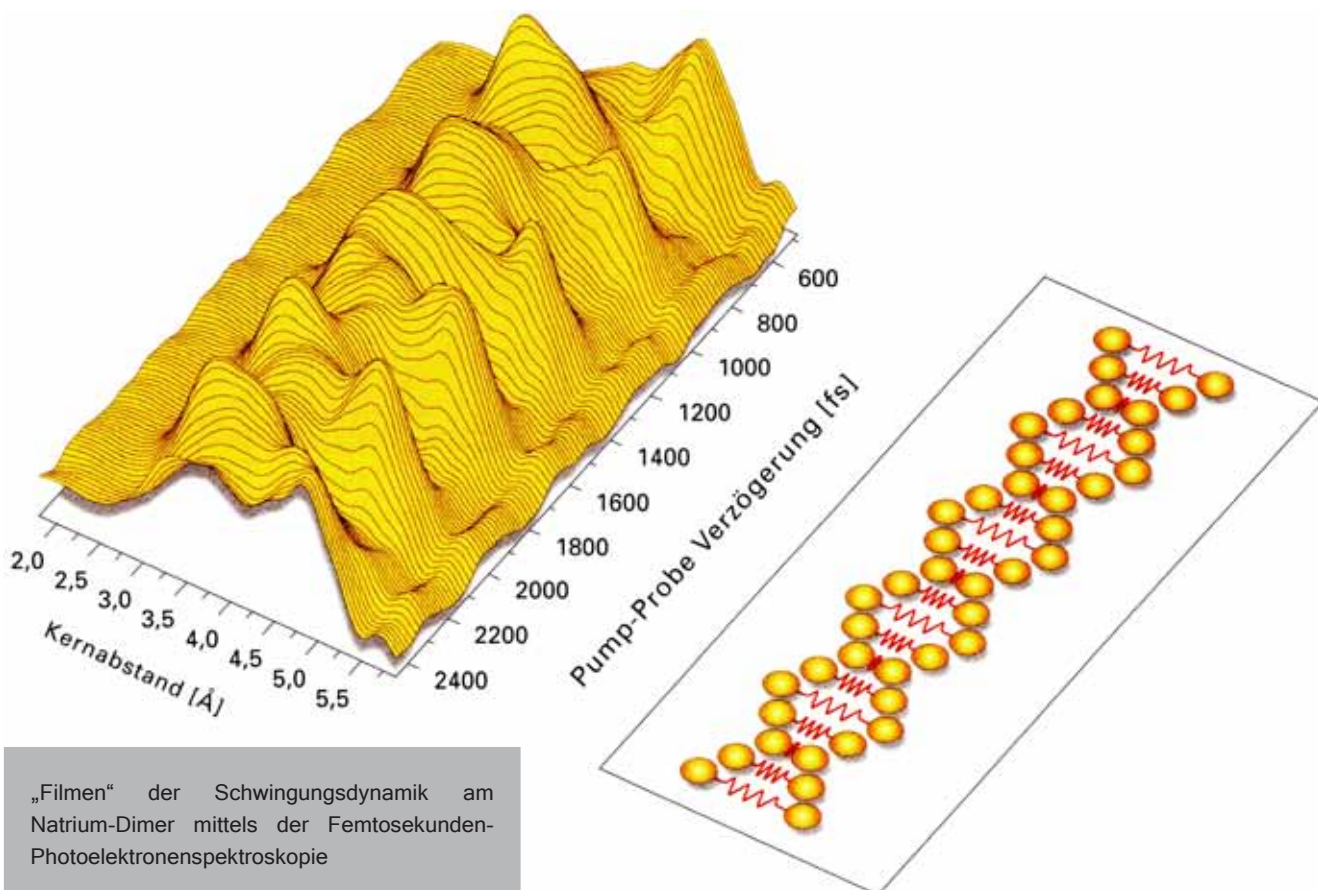
Kassels Kurzfilmer sind berühmt. Einer von ihnen, Thomas Stellmach, wurde mit dem Oscar geehrt. Kassels Femtosekunden-Kurzfilmer aber ist Thomas Baumert, Professor für Physik und Nanowissenschaftler.

Er forscht und filmt - wie sich unter Lichtpulsen mit der Dauer eines millionstel Teils einer milliardstel Sekunde Materie verändert oder Aufschluss über ihre Beschaffenheit gibt. Für seine grundlegenden Arbeiten, die Steuerung chemischer Reaktionen mit ultarkurzen Lichtpulsen, wurde Baumert - zusammen mit Professor Gustav Gerber und Dr. Volker Seyfried von der Universität Würzburg - mit dem Philip-Morris Forschungspreis 2000 ausgezeichnet. Am California

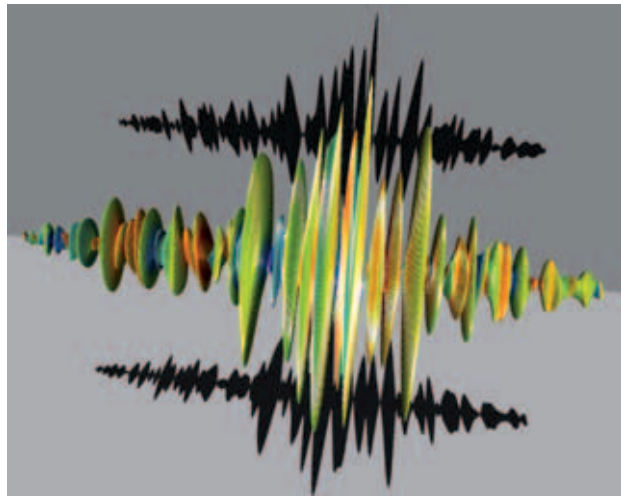
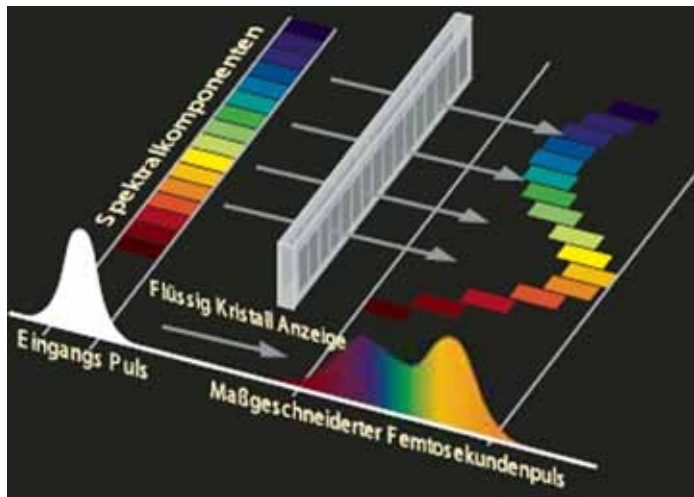
Ein Laserpuls von 5 Femtosekunden Dauer verhält sich zu einer Minute gerade so wie eine Minute zum Alter des Universums.



Institute of Technology in Pasadena hatte er zuvor in der Gruppe des Chemikers Ahmed Zewail gearbeitet, der 1999 den Nobelpreis für Chemie erhielt. Baumert widmet sich der Femtosekundenspektroskopie. Die Spektroskopie erschließt über die Wechselwirkung zwischen Licht und Materie die Dynamik und Struktur derselben.



„Filmen“ der Schwingungsdynamik am Natrium-Dimer mittels der Femtosekunden-Photoelektronenspektroskopie



Links: Maßgeschneiderte Femtosekundenlaserpulse durch Verzögerung einzelner Spektralkomponenten
 Rechts: Ein über Evolution optimierter polarisationsgeformter Laserpuls von ca. 3 Picosekunden Zeitdauer

Beleuchtung im Femtosekunden-Takt

Die Femtosekunde ist die Zeiteinheit, in der die Kasseler Wissenschaftler um Baumert messen. Ausgedrückt in einer Dezimalzahl ist eine Femtosekunde 0,000000000000001 Sekunden lang: 14 Nullen nach dem Komma, dann endlich eine eins. Das sind 10 hoch minus 15 Sekunden. Um sich der Kürze der Zeit in der Vorstellung anzunähern, zieht Baumert den Vergleich auf der Zeitskala. Ein Laserpuls von 5 Femtosekunden Dauer verhält sich zu einer Minute gerade so, wie eine Minute zum Alter des Universums von rund 15 Milliarden Jahren. In einer Sekunde legt das Licht die Entfernung zwischen Mond und Erde zurück. Mechanische Kamerasverschlüsse öffnen sich für Millisekunden. In der Blitzlichtfotografie erstarrt das Objekt für Mikrosekunden (10^6) in Helligkeit. In Nanosekunden (10^9) wird die Taktrate in Rechnern gemessen. Picosekunden (10^{12}) geben die Zeit an, in der Moleküle rotieren. In Femtosekunden wird die Zeit gemessen, in der Moleküle schwingen und molekulare Bindungen gebrochen werden. Es ist die Zeitskala, auf der Chemie stattfindet. In dieser Zeiteinheit müssen jene Wissenschaftler rechnen, die Nanostrukturen, Teilchen von 10^9 Metern, erforschen oder mit ihnen arbeiten wollen. Um diese kaum vorstellbar schnellen Bewegungsabläufe sichtbar zu machen, „takten“ sie die Wissenschaftler stroboskopisch „herunter“, ähnlich wie in der Discothek rasche Tanzbewegungen wie in Zeitlupe erscheinen.

Licht steuert chemische Reaktionen

Baumert nutzt das Licht auch als Werkzeug. Seine Laserpulse sind für ihn ein winziger Lichthammer. Wer bisher ein Molekül, die Verbindung von mindestens zwei Atomen, knacken will, führt meist Wärmeenergie zu. Das Gefüge wird instabiler, beginnt zu wabern, wie eine zuvor geleeartige Suppe, die langsam zum Köcheln gebracht wird. So, wie aus der Suppe irgendwann winzige Tropfen nach oben ausgeworfen werden, fliegt irgendwann ein Bruchstück aus dem wabernden Atomverbund. Damit aber nicht irgendeines, sondern ein ganz bestimmtes Teil, herausgebrochen wird, greift Baumert zu seinem Femto-Laser-Puls. Der chemische Prozess soll nicht zufällig, sondern gesteuert ablaufen. Baumert beschießt den Atomverbund mit einem ersten Lichtblitz und bringt ihn auf diese Weise in Schwingung. Ein zweiter Lichtblitz bricht femtosekundengenau im richtigen Moment den entscheidenden Teil heraus.

Revolution durch Evolution

Um den richtigen Moment zu finden, bedienen sich die Wissenschaftler eines selbstlernenden Verfahrens, das sich die Regeln der biologischen Evolution zu Nutze macht. So, wie die Natur durch Mutation, Kreuzung oder Clonen ständig versucht, sich zu optimieren, lernt die Laseranlage selbst, ihre Wirkung ständig zu verbessern. Im Lernprozess wird das Licht umgeformt oder zerlegt, so als würde ein Musiker alle Töne, die in einem Knall vereinigt sind, einzeln ausfiltern, um aus ihnen eine Symphonie zu komponieren. Das

Ein Doktorand beim Justieren einer Laseranlage mit einer Lichtleistung von 40 Gigawatt pro Lichtpuls

gezielte Zerlegen und Neuformen von Molekülen, sagt Baumert, könnte zum Beispiel eines Tages helfen, neue, reinere Medikamente herzustellen.

Von der Grundlagenforschung in die Anwendung

Mit den ultrakurzen, durch Umformung optimierten Laserpulsen lässt sich Material besser bearbeiten. Mit Hilfe des optimierten Pulses schießen Wissenschaftler noch feinere, präziser geformte Strukturen in vielfältigste Materialien. Weder Metalle, Glas oder Diamant halten intensiven Femtosekunden-Laserpulsen stand. Aber auch Zähne lassen sich mit bisher ungeahnter Präzision behandeln, ohne Schäden am gesunden Zahn zu verursachen. Ärzte schneiden mit ultrakurzen Laserpulsen die oberste Augenschicht an, denn sie arbeiten präziser und sauberer als das bislang verwendete Skalpell. Bislang wird in der elektronischen Datenverarbeitung der Speicherplatz nur flächenhaft genutzt. Setzt sich statt der Elektronik die Photonik durch, lassen sich mit Hilfe der Laser die Informationen dreidimensional in Glas schreiben. In einem Stecknadelkopf wird eine 24-bändige Enzyklopädie Platz finden.

Die Forscher schauen in lebende Zellen

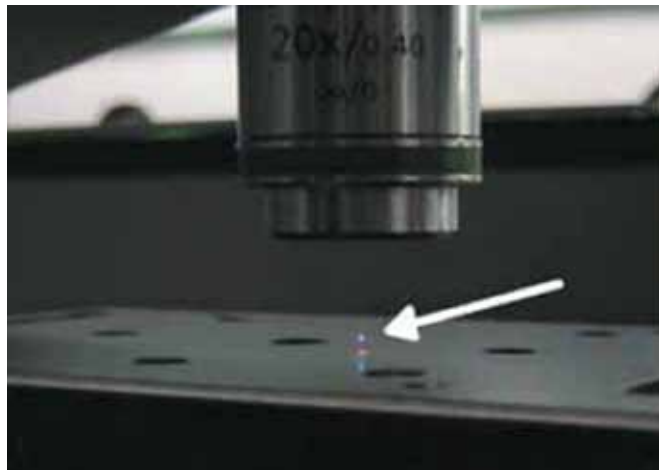
Baumerts Forschergruppe verhilft den Biologen oder Pathologen zu neuen Erkenntnissen. Heute liefert die Mikroskopie dreidimensionale Bilder von lebenden Zellen. Aber die Biologen oder Ärzte würden gerne noch tiefer in die lebende Zelle schauen. Sie wollen zum Beispiel wissen, ob sich bestimmte Elemente innerhalb einer Zelle lokal konzentrieren und dadurch bestimmte Effekte auslösen. Um hier zu helfen, betreiben die Kasseler Wissenschaftler „ultrasensitive in vivo Spektrochemie“. Sie nehmen Probevolumina aus Attolitern. Ein Attoliter sind 10

Ein energiearmer aber hochintensiver Femtosekundenlaser erzeugt im Fokus eines Mikroskopobjektives einen Luftdurchbruch.



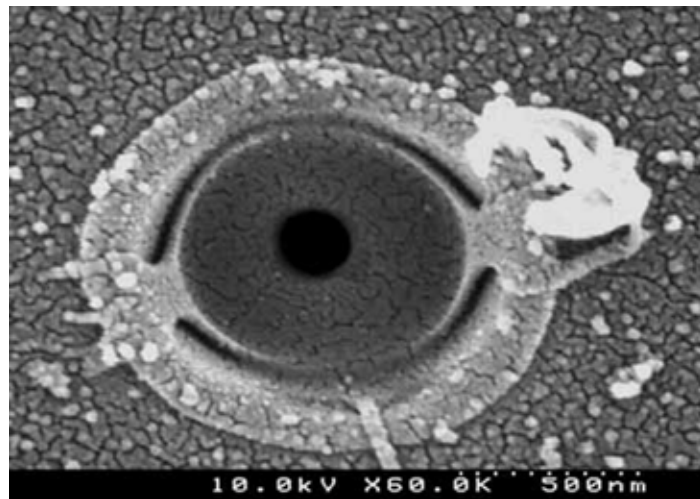
hoch minus 18 Liter. Der Laser versetzt Materie in den Plasmazustand und schält 100 Nanometer tief Material ab. Das Plasma leuchtet für die Forscher wie ein Fingerabdruck der abgetragenen Materie. Zum Beispiel wird das Nanokorsett von Calcium in der äußeren Zellwand eines Sonnenblumenkeimlings während der Wachstumsphase erkennbar. Wer mit heute üblichen Lasern auf die Zellwände von Pflanzen schießt, der zerfetzt sie gleichsam, sagt Baumert.

Die Interdisziplinarität, die er im CINSaT, dem Center of Interdisciplinary Nanostructure Science and Technology, in Kassel vorfindet, und die Profilierung, welche die Phase der Neuerungen an der Hochschule gut 30 Jahre nach ihrer Gründung ermöglicht, geben Baumert die Gewissheit, in einer der bestimmenden



Wissenschaften dieses Jahrhunderts weiter in die Tiefe der Materie eindringen zu können.

Nanomaterialbearbeitung von Quarzglas mit Femtosekundenlaserpulsen. Die „Pupille“ des „Nanoauges“ ist etwa 300 mal kleiner als die mittlere Haardicke eines Europäers.



Prof. Dr. Thomas Baumert



Prof. Dr. Thomas Baumert studierte Physik an der Universität Freiburg. Nach seiner Promotion 1992 hat er im Rahmen eines DFG-Forschungsstipendiums von 1992-1993 als Post-Doc am California Institute of Technology in der Arbeitsgruppe des Nobel-Preisträgers Prof. Dr. Ahmed Zewail gearbeitet und anschließend an der Universität Würzburg in der Arbeitsgruppe von Prof. Dr. Gustav Gerber mit Hilfe eines DFG Habilitationsstipendiums 1997 habilitiert. Danach wurde er in das Heisenbergprogramm der DFG aufgenommen und leitete für ein Jahr die LIDAR-Gruppe beim Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt in Oberpfaffenhofen. Seit April 1999 ist er Professor für Experimentalphysik an der Universität Kassel. Im Jahr 2000 ist Baumert zusammen mit Prof. Dr. Gustav Gerber und Dr. Volker Seyfried mit dem Philip Morris Forschungspreis für die Arbeit „Steuerung chemischer Reaktionen durch Femtosekunden-Pulse“ ausgezeichnet worden. Im Jahr 2002 wurden er und seine Mitarbeiter Dr. Andreas Assion und Prof. Dr. Matthias Wollenhaupt mit dem GINo Innovationspreis der Gesellschaft für Innovation Nordhessen für „adaptive rückkopplungsgesteuerte Materialbearbeitung mit ultrakurzen Laserpulsen“ ausgezeichnet.

Prof. Dr. Matthias Wollenhaupt

Prof. Dr. Matthias Wollenhaupt hat an der Universität Göttingen Physik studiert und 1992 mit einer Diplomarbeit zur Laserspektroskopie amorpher Festkörper bei Prof. Bärner abgeschlossen. Mit laserspektroskopischen Experimenten zur Charakterisierung der Strömung beim Wiedereintritt eines Raumgleiters in die Atmosphäre hat er 1997 mit der Arbeit „Einzelpuls Zwei-Linien-Thermometrie mit planarer laser-induzierter Fluoreszenz an NO-Molekülen in Hochenthalpieströmungen“ in Bielefeld bei Prof. Andresen promoviert. Während seines zweijährigen Post-Doc Aufenthalts am Max-Planck-Institut für Chemie in Mainz hat er Radikalreaktionen der Atmosphärenchemie mittels Laserphotolyse und laserinduzierter Fluoreszenz untersucht. Mit dem Thema „Beobachtung und Kontrolle atomarer und molekularer Dynamik“ hat er sich 2004 in Kassel habilitiert und wurde zusammen mit PD Dr. Andreas Assion und Prof. Dr. Baumert mit dem GINo Innovationspreis 2002 der Gesellschaft für Innovation Nordhessen für „adaptive rückkopplungsgesteuerte Materialbearbeitung mit ultrakurzen Laserpulsen“ ausgezeichnet. Seit 2011 ist Herr Wollenhaupt apl. Prof. an der Universität Kassel, wo er Grundlagen und Anwendungen der Femtosekundenspektroskopie mit geformten Laserpulsen untersucht. In der Grundlagenforschung interessiert er sich für die Kontrolle ultraschneller Wechselwirkungen intensiver Laserpulse mit Materie (z.B. Atome, kleine Moleküle und chirale Moleküle in der Gasphase sowie Farbstoffe und Quantenpunkte in Lösung). Anwendungen der experimentellen Techniken der Ultrakurzzeitspektroskopie im Bereich der nichtlinearen Optik für die Mikroskopie und der Plasmonik für die Materialbearbeitung sind ein weiterer Schwerpunkt seiner Forschungsinteressen. Als Vorstandsvorsitzender des Regionalverbandes Hessen-Mittelrhein-Saar der DPG engagiert er sich für die Förderung des wissenschaftlichen Nachwuchses.

