



Centre for Interdisciplinary  
Nanostructure Science  
and Technology

Arbeitsgruppe  
"Femtosekundenspektroskopie"

Laserblitze knacken Moleküle ultraschnell

U N I K A S S E L  
V E R S I T Ä T

nnh10-9  
NANONetzwerk-HESSEN

# Laserblitze knacken Moleküle ultraschnell

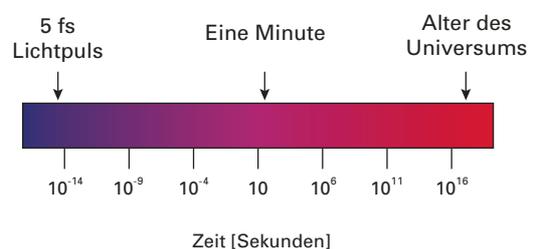
Das CINSaT an der Kasseler Universität entwickelt selbstlernende Laserverfahren für die Grundlagenforschung und die Anwendung.

## 1 Beleuchtung im Femtosekunden-Takt

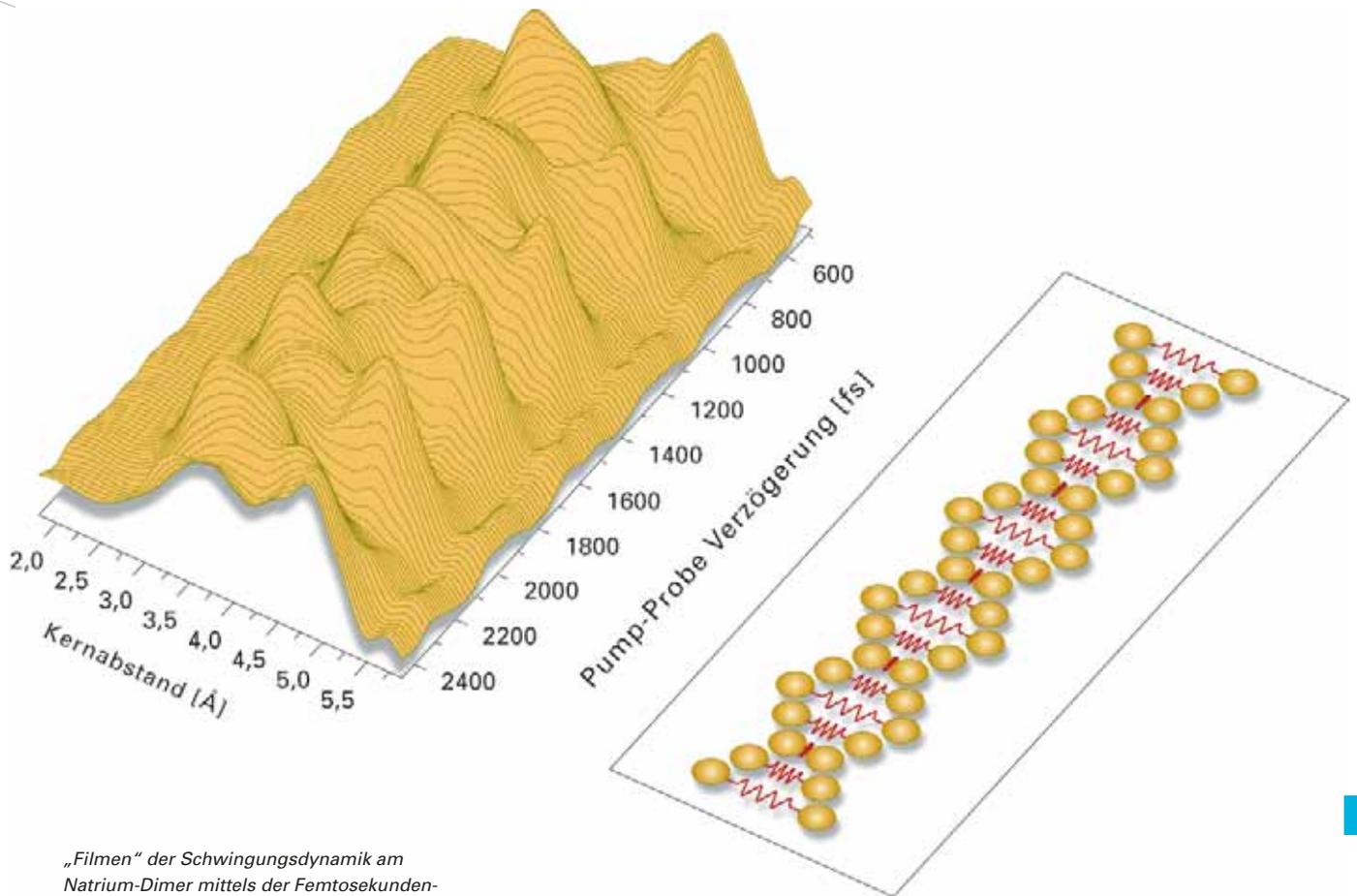
*Kassels Kurzfilmer sind berühmt. Einer von ihnen, Thomas Stellmach, wurde mit dem Oscar geehrt. Kassels Femtosekunden-Kurzfilmer aber ist Thomas Baumert, Professor für Physik und Nanowissenschaftler. Er forscht – und filmt – wie sich unter Lichtpulsen mit der Dauer eines millionstel Teils einer milliardstel Sekunde Materie verändert oder Aufschluß über ihre Beschaffenheit gibt. Für seine grundlegenden Arbeiten, die Steuerung chemischer Reaktionen mit ultrakurzen 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 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.*

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  $10^{-15}$  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.

### ZEITVERGLEICH



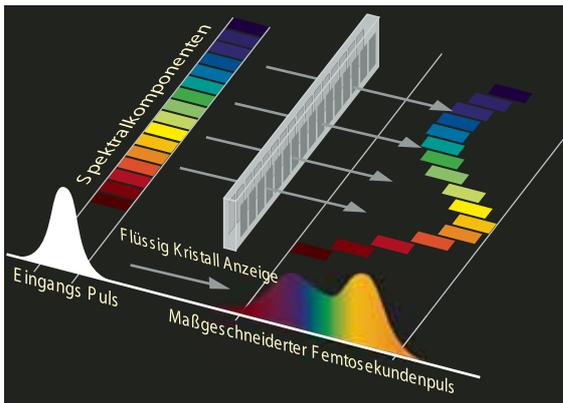
Ein Laserpuls von 5 Femtosekunden Dauer verhält sich zu einer Minute gerade so wie eine Minute zum Alter des Universums



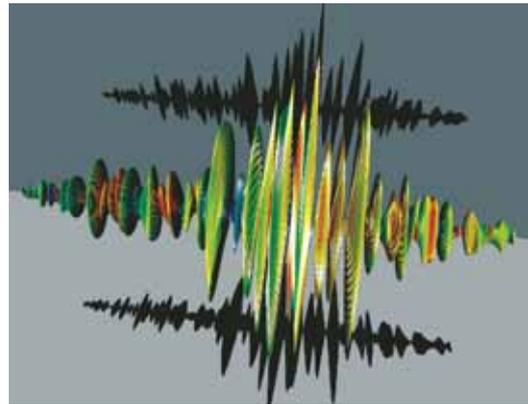
„Filmen“ der Schwingungsdynamik am Natrium-Dimer mittels der Femtosekunden-Photoelektronenspektroskopie

In einer Sekunde legt das Licht die Entfernung zwischen Mond und Erde zurück. Mechanische Kameraverschlüsse 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 rech-

nen, die Nanostrukturen, Teilchen von  $10^9$  hoch minus 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.



Maßgeschneiderte Femtosekundenpulse durch Verzögerung einzelner Spektralkomponenten



Ein über Evolution optimierter polarisationsgeformter Laserpuls von ca. 3 Picosekunden Zeitdauer

## 2 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 wabernen 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.

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

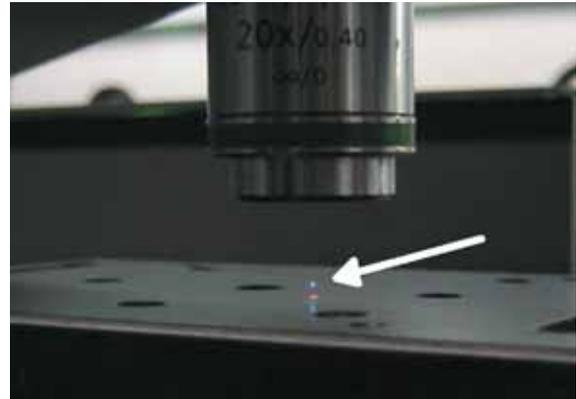
## 4 Von der Grundlagenforschung in die Anwendung

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.

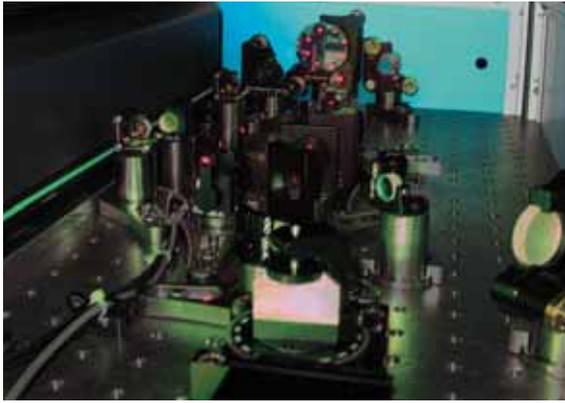
Bislang wird in der elektronischen Datenverarbeitung der Speicherplatz nur flächenhaft genutzt. Setzt sich statt der Elektronik die Photonik durch, lassen sich mit Hilfe der Laser die Informationen dreidimensional in Glas schreiben. In einem Stecknadelkopf wird eine 24-bändige Enzyklopädie Platz finden.



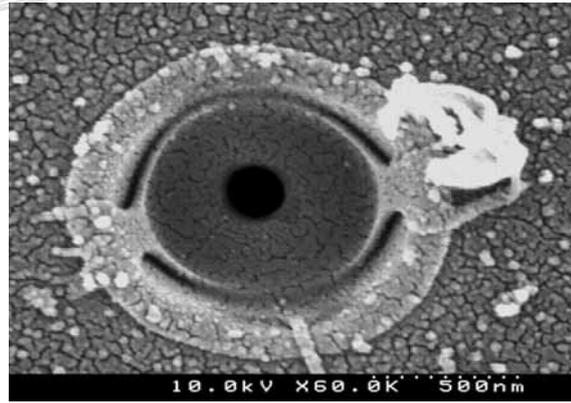
Ein Doktorand beim Justieren einer Laseranlage mit einer Lichtleistung von 40 Gigawatt pro Lichtpuls



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



Hochleistungslaser für die nichtlineare Mikroskopie und die Nanomaterialbearbeitung

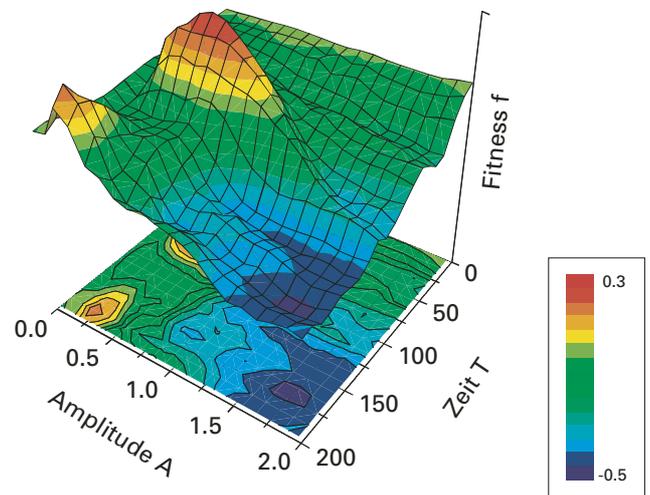


Nanomaterialbearbeitung von Quarzglas mit Femtosekundenpulsen. Die „Pupille“ des „Nanoauges“ ist etwa 300 mal kleiner als die mittlere Haardicke eines Europäers.

## 5 Die Forscher schauen in lebende Zellen

6

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  $10^{-18}$  Liter. Der Laser versetzt Materie in den Plasmazustand und schält 100 Nanometer tief Material ab. Das Plasmaleuchten ist 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 schieße, der zerfetzte sie gleichsam, sagt Baumert.



Experimentell bestimmte Landschaft eines Quantenkontrollproblems.

Die Interdisziplinarität, die er im CINSaT, dem Center of Interdisciplinary Nanostructure Science and Technology, in Kassel vorfindet, und die Profilierung, welche die Phase der Neuberufungen 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.

Claus-Peter Müller-von der Grün



## 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. Kürzlich wurden er und seine Mitarbeiter Dr. Andreas Assion und Dr. Matthias Wollenhaupt mit dem GINo Innovationspreis 2002 der Gesellschaft für Innovation Nordhessen für "adaptive rückkopplungsgesteuerte Materialbearbeitung mit ultrakurzen Laserpulsen" ausgezeichnet.

## Impressum

CINsaT  
Center for Interdisciplinary  
Nanostructure Science  
and Technology  
Universität Kassel  
Heinrich-Plett-Straße 40  
D-34132 Kassel  
Germany  
[www.cinsat.uni-kassel.de](http://www.cinsat.uni-kassel.de)

Sprecher  
Prof. Dr. Frank Träger  
Fon +49 (0) 5 61 / 8 04 - 45 00  
Mail [traeger@physik.uni-kassel.de](mailto:traeger@physik.uni-kassel.de)

Geschäftsführer  
Dr. Klaus Maßeli  
Fon +49 (0) 5 61 / 8 04 - 45 91  
Mail [masseli@physik.uni-kassel.de](mailto:masseli@physik.uni-kassel.de)

Kontakt  
Femtosekundenspektroskopie  
Prof. Dr. Thomas Baumert  
Fon +49 (0) 5 61 / 8 04 - 44 52  
Mail [tbaumert@physik.uni-kassel.de](mailto:tbaumert@physik.uni-kassel.de)  
[www.physik.uni-kassel.de](http://www.physik.uni-kassel.de)