

Wenn sich Moleküle konzentrieren müssen: Optische Fallen sammeln selbst Nanopartikel in Flüssigkeiten

Moleküle in Flüssigkeiten sind ständig in Bewegung. Das wird zum Problem, wenn sie an einer Stelle konzentriert werden sollen, um etwa bestimmte Reaktionen auszulösen oder um zu untersuchen, ob sie eine Bindung eingegangen sind. Bisher wurden in solchen Fällen Polymere und andere Strukturen als sogenannte „molekulare Anker“ verwendet, an denen die untersuchten Moleküle anlagern können. Allerdings beeinflusst diese Methode die Moleküle und verfälscht unter Umständen die Versuchsergebnisse. Die LMU-Biophysiker Professor Dieter Braun und Franz Weinert haben nun eine „nichtinvasive“ optische Molekülfalle entwickelt. „Mit unserem optischen Förderband können wir sehr schnell hohe Konzentrationsunterschiede aufbauen und auch wenige Nanometer kleine Moleküle transportieren“ sagt Braun. „Das gibt uns unter anderem die Möglichkeit, biologische und andere Moleküle zu charakterisieren.“ (Nanoletters online, Oktober 2009)

Quelle: Fakultätsnachrichten, Aus der Forschung, www.physik.uni-muenchen.de, Pressemitteilung, München, 30.09.2009
Bei ihrem optischen Förderband nutzen Braun und Weigert thermische Effekte für den Transport von Molekülen. Zum einen sorgt die sogenannte Thermophorese dafür, dass Moleküle von warm nach

kalt wandern. Der Grund dafür ist die Brown'sche Bewegung. Jedes Molekül führt eine ungerichtete Bewegung aus, und zwar umso schneller, je wärmer es ist. Die schnelleren Moleküle in der warmen Region stoßen öfter zusammen und erfahren so einen Impuls hin zur kalten Seite. Zusätzlich aber nutzen die Wissenschaftler den Effekt der thermoviskose Pumpe: Erwärmt man Flüssigkeit an einer Stelle, verkleinert sich dort ihre Viskosität und die Moleküle ziehen sich weniger stark an. Deshalb zieht es sie von der Warmzone hin zur kälteren Region. In der optischen Molekülfalle erzeugt ein fokussierter, infraroter Laserstrahl warme Punkte am Boden des Molekülbehälters. Es entsteht ein Temperaturgradient zwischen Oberfläche und Boden, an dem entlang die Moleküle nach oben wandern. Bewegt sich der Laserpunkt zusätzlich hin zur Behältermitte, transportiert die thermoviskose Pumpe die Flüssigkeit am Boden entlang zum Behälterrand. Das Resultat ist ein optisch betriebenes Förderband, das am Behälterboden nach außen, an der Oberfläche zur Mitte hin läuft. Die an der Oberfläche sitzenden Moleküle werden zur Mitte transportiert und sammeln sich dort. Die Methode hat den Vorteil, dass sich die Moleküle ohne äußere Einflüsse in ihrem „natürlichen Umfeld“, der Flüssigkeit, konzentrieren.

Sogar sehr kleine Moleküle lassen sich auf diese Weise transportieren. Die Forscher konnten zum Beispiel DNA, das Erbmaterial, mit einer Länge von nur fünf Bausteinen innerhalb von drei Sekunden in über hundertfacher Konzentration akkumulieren. Zudem wirkt das Förderband selektiv, es lassen sich auch gezielt bestimmte Molekülbindungen aussortieren. In der Ausgründung NanoTemper GmbH nutzen die Doktoranden Stefan Duhr und Philipp Baaske bereits optisch-thermische Methoden, um die Bindung von Pharmazeutika an Biomoleküle, beispielsweise Proteine, nachzu-

weisen. Die optische Falle bietet ihnen nun zusätzliche Techniken, die Eigenschaften der Biomoleküle zu charakterisieren. (CR/suwe)

Publikation:

„An Optical Conveyor for Molecules“, Franz M. Weinert and Dieter Braun, *Nanoletters online*, Oktober 2009

Ansprechpartner:

Professor Dieter Braun

Systems Biophysics, Functional Nanosystems in der Fakultät für Physik der LMU

E-Mail: dieter.braun@lmu.de

www.biosystems.physik.lmu.de

4D-Filme aus dem Mikrokosmos

Visualisierung von ultraschnellen Kern- und Elektronenbewegungen in Materie

Mit ultrakurzen Blitzen aus einzelnen Elektronen will ein Team vom Labor für Attosekundenphysik der LMU und des MPQ Bewegungen im Mikrokosmos aufzeichnen. Das Projekt wird im Rahmen eines „ERC Advanced Investigator Grants“ an Prof. Ferenc Krausz von der Europäischen Union mit 2,5 Millionen Euro gefördert.

Wie bewegen sich eigentlich die Atome und Elektronen während des Ablaufs von chemischen Reaktionen, Phasentransformationen, oder photophysikalischen Prozessen? Veränderungen der atomaren Struktur sind grundlegend für das Verständnis der Dynamik solcher und vieler verwandter Vorgänge. Oft spielen sich die entscheidenden atomaren Umlagerungsprozesse auf aller kleinstem Raum und mit allerhöchster Geschwindigkeit ab: Bewegun-

gen von Atomkernen um Distanzen von nur Pikometern können die makroskopischen Eigenschaften von Materie innerhalb weniger Femtosekunden völlig verändern. Die direkte, vierdimensionale Abbildung von solchen Vorgängen im Inneren von Materialien, Molekülen und Nanostrukturen wäre daher ein entscheidender Schritt vorwärts auf dem Weg zum grundlegenden Verständnis von solchen Systemen. Mit Hilfe des ERC-Projekts werden sich Dr.

Peter Baum und Mitarbeiter an der LMU München und am Max-Planck-Institut für Quantenoptik in Garching dieser Aufgabe annehmen. Dazu sollen extrem kurze Elektronenimpulse verwendet werden, um mit Hilfe von zeitaufgelösten Beugungsbildern „Schnappschüsse“ von atomaren Strukturen mitten während dynamischer Prozesse zu messen. Elektronen haben eine sehr kurze de Broglie-Wellenlänge und erlauben daher – im Gegensatz zu Laserabtastungen – die direkte Betrachtung von atomaren Positionen in allen vier Dimensionen von Raum und Zeit. In einem typischen Experiment wird zunächst die zu untersuchende Dynamik im Festkörper oder Molekülstrahl mit einem Femtosekunden-Laser ausgelöst. Dann wird, mit einstellbarer Verzögerung, jeweils mit einem ultrakurzen Elektronenimpuls ein Beugungsbild aufgezeichnet, das die atomare Struktur zu diesem Zeitpunkt darstellt. Eine Folge solcher Beugungsbilder mit immer längeren Verzögerungen zwischen der Laseranregung und dem Moment der Elektronenbeugung liefert dann einen stroboskopartigen „Film“ vom ultraschnellen Geschehen.

Leider sind die bisher verfügbaren Elektronenimpulse noch deutlich zu lang, um die eigentlich erforderliche Zeitauflösung von wenigen Femtosekunden zu erreichen. Einer der Gründe dafür ist die gegenseitige Coulomb-Abstoßung von Elektronen, die einen zunächst kurzen Impuls im Laufe der Propagation von der Quelle zum Ort der Beugung zeitlich länger machen. Außerdem haben

die Impulse, die anfänglich durch den Photoeffekt mit einem Femtosekunden-Laser erzeugt werden, eine Energie-Unschärfe, die sich in Form einer Geschwindigkeitsverteilung bemerkbar macht. Im statistischen Mittel kommen einzelne Elektronen daher zu unterschiedlichen Zeiten am Ort des Beugungsexperiments an. Diese beiden Effekte machen es bisher unmöglich, eine Zeitauflösung von unter 300 Femtosekunden bei der Elektronenbeugung zu erreichen.

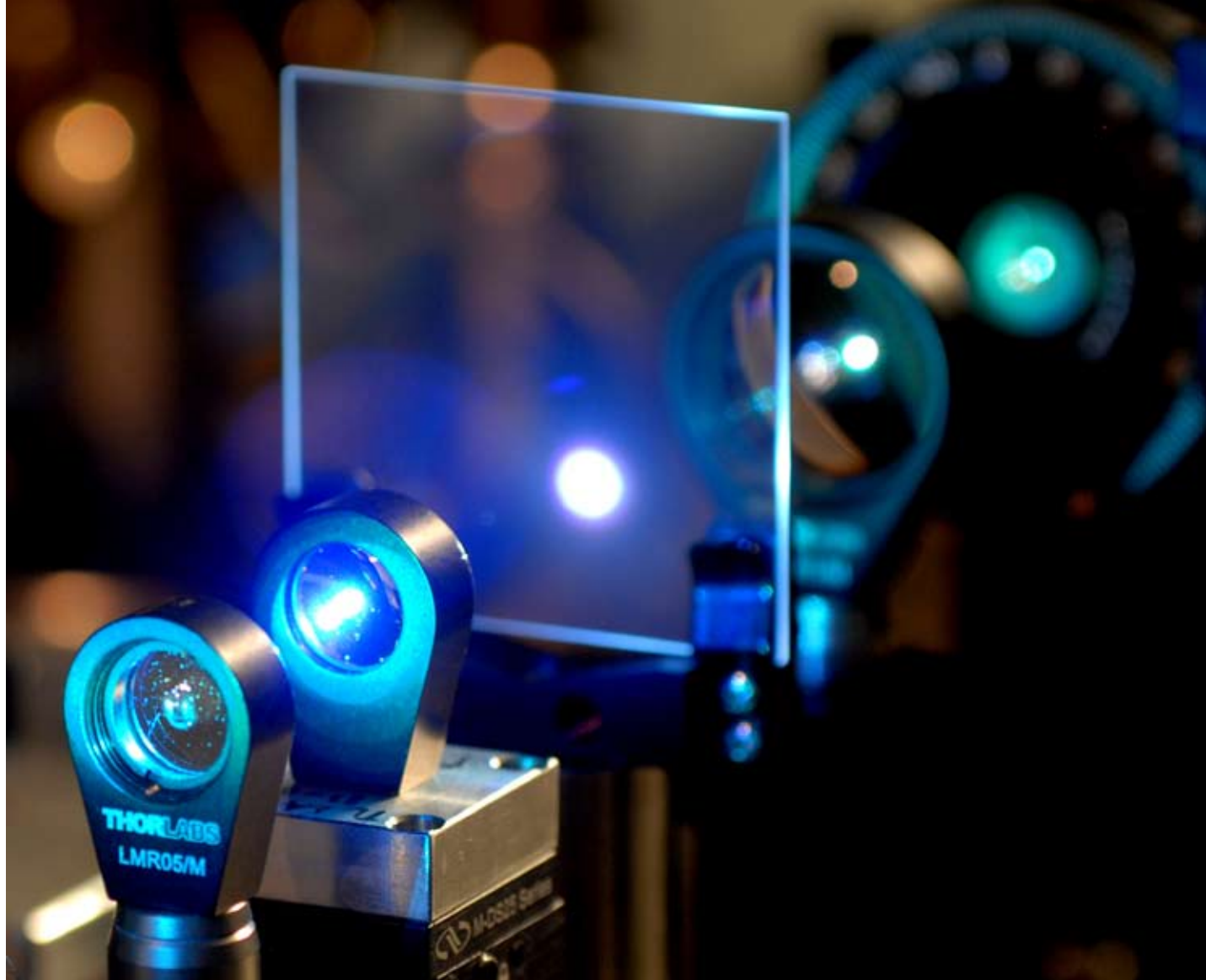
Wünschenswert wäre aber ein Vorstoß in den Bereich weniger Femtosekunden oder sogar Attosekunden, wo die elementaren und primären Prozesse – kohärente Schwingungen, Wellenpaketdynamik, Veränderungen der Elektronenstruktur – stattfinden.

Das ERC-Projekt „4D-Imaging“ hat die Überwindung solcher Einschränkungen zum

Ziel. Um die Verlängerung von Elektronenimpulsen durch Coulomb-Verbreiterung zu vermeiden, werden wir Impulse erzeugen, die nur aus einzelnen Elektronen bestehen und daher prinzipiell keinerlei interne Abstoßung zeigen können. Damit wir dennoch genügend intensive Beugungsbilder erhalten, werden wir eine hochsensitive Kamera einsetzen und das ganze Experi-

ment mit hoher Wiederholrate durchführen. Dazu werden MHz-Femtosekunden-Lasersysteme mit genügend Impulsenergie für die Anregung entwickelt.

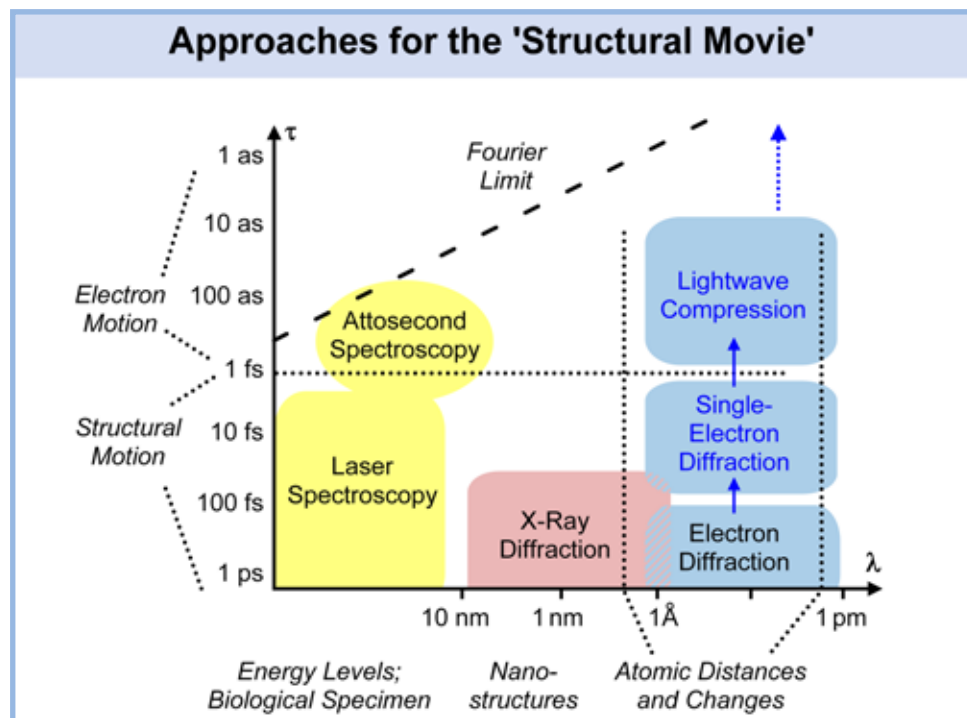
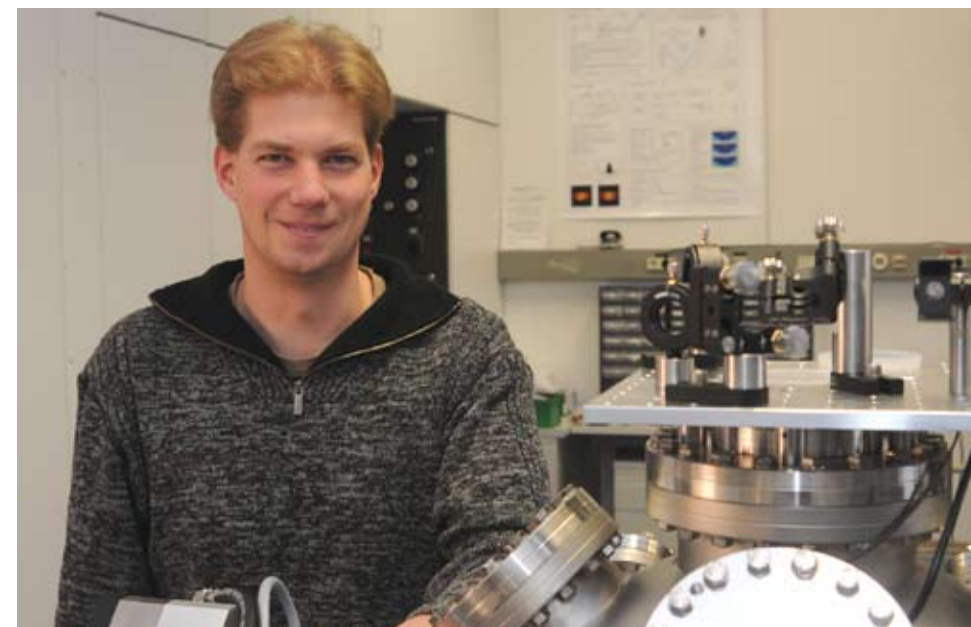
Dennoch kommen auch die einzelnen Elektronen aufgrund der anfänglichen Geschwindigkeitsunschärfe noch zu unterschiedlichen Zeitpunkten am zu untersuchenden System an und erzeugen daher



im statistischen Mittel einen verbreiterten Impuls. Deshalb werden wir die Elektronenimpulse zeitlich komprimieren, indem wir sie durch ein geeignet synchronisiertes Beschleunigungselement schicken, so dass die zuerst kommenden Elektronen leicht gebremst und die nachfolgend ankommenden Elektronen leicht beschleunigt werden. So kann erreicht werden, dass alle einzelnen Elektronen exakt zum selben Zeitpunkt und mit Impulsdauern von nur wenigen Femtosekunden am Ort der Beugung auftreffen. Für die Durchführung von Experimenten an Festkörpern und Molekülen

muss dann noch der Femtosekunden-Laser, der für die Anregung der zu untersuchenden Dynamik erforderlich ist, mit den komprimierten Elektronenimpulsen synchronisiert werden, damit über einen langen Zeitraum gemittelt werden kann. Die dazu erforderliche Elektronik wird zusammen mit Kollegen aus Novosibirsk in Russland entwickelt.

Eine Aufgabe bleibt noch: Damit möglichst viele interessante Materialien und Moleküle untersucht werden können, muss die Elektronenbeugung an extrem dünnen Schichten oder unter steifendem Einfall stattfinden.



den. Nur so kann die Bragg-Bedingung für atomare Auflösung erfüllt werden. Der anregende Laserstrahl und die Elektronenimpulse müssen unter einem passenden Winkel auf die zu untersuchende Substanz auftreffen, damit benachbarte Punkte auf der Oberfläche mit gleichen relativen Verzögerungszeiten erreicht werden. Damit werden wir auch komplexe Materialien, wie zum Beispiel Farbstoff-beschichtete Solarzellen, biomolekulare Oberflächen, nicht-lineare optische Kristalle, Nanostrukturen, oder Molekülkristalle untersuchen. Mit den von der Europäischen Union zur Verfügung gestellten Forschungsmitteln werden wir diese Konzepte realisieren die Messgenauigkeit und Auflösung der Elektronenbeugung über den Stand der Technik hinaus in den Bereich weniger Femtosekunden und Attosekunden voranbringen. Von der Visualisierung der oftmals komplizier-

ten Umwege, die die Atomkerne und Elektronen während ihres ultraschnellen Weges von den Anfangs- zu den Endpositionen nehmen, erhoffen wir uns grundlegende Einsichten in viele bisher unverstandene Prozesse aus der Festkörperphysik, der Chemie, und der Nanotechnologie.

Ansprechpartner:

Dr. Peter Baum

Ludwig-Maximilians-Universität München und Max-Planck-Institut für Quantenoptik

E-Mail: peter.baum@lmu.de

www.ultrafast-electron-imaging.de

Fotos:

Thorsten Naeser, MPQ

Quelle: Fakultätsnachrichten, Aus der Forschung,

www.physik.uni-muenchen.de,

Pressemitteilung, München, 16.11.2009