



## Der Ionenstrahl als Nano-Schrotflinte

**Der Ionenstrahl als Nano-Schrotflinte**  
Wenn man Gewehrkugeln durch eine Holzplatte schießt, werden sie abgebremst. Ähnlich ergeht es Ionen, die man auf dünne Folien feuert. Doch wenn man extrem dünne Folien verwendet, die nur aus wenigen Atomlagen bestehen, sieht die Sache anders aus. Das Verhalten der Ionen hängt dann davon ab, ob sie mit einem Atomkern der Folie heftig zusammenstoßen oder ob es ihnen gelingt, sich sanft zwischen den Kernen hindurch zu schummeln.  
Durch die Verwendung hochgeladener Ionen wird es möglich, Nano-Folien gezielt zu bearbeiten - etwa indem man sie mit vielen kleinen Löchern versieht, sodass ein "molekulares Sieb" entsteht. Durch die bloße Wucht des Ionen-Einschlags lässt sich das nicht erreichen, der Trick liegt in der elektrischen Ladung der Ionen. Sie sorgt dafür, dass viel Energie auf einem winzigen Punkt der Folie deponiert werden kann und ein Loch entsteht. Die Forschungsergebnisse wurden nun im Fachjournal "Physical Review Letters" publiziert. Das Team der TU Wien wurde bei dem Projekt vom Helmholtz-Zentrum Dresden-Rossendorf und der TU Dresden unterstützt.  
Xenon-Atome und Kohlenstoff-Folien  
Als Projektile werden im Experiment an der TU Wien Xenon-Ionen verwendet. Zehn bis dreißig Elektronen nimmt man jedem Xenon-Atom weg, es ist dann also stark elektrisch geladen und wird auf eine Probe geschossen, zum Beispiel eine Kohlenstoff-Folie. Normalerweise verliert das Projektil auf jedem Wegstück, den es in der Folie zurücklegt, einen bestimmten Anteil seiner Energie, weil es immer wieder heftig mit den Atomen der Folie kollidiert. Dieses einfache Modell macht allerdings keinen Sinn mehr, wenn man Folien verwendet, die nur einige wenige Atomlagen dick sind - in der Größenordnung von wenigen Nanometern.  
"Beim Beschuss solcher Nanomembranen stellen wir fest, dass wir dann auf der anderen Seite der Folie plötzlich zwei unterschiedliche Sorten von Ionen mit unterschiedlichen Energie- und Ladungsverteilungen detektieren", sagt Prof. Friedrich Aumayr vom Institut für Angewandte Physik der TU Wien. Einerseits gibt es Ionen, die beim Durchdringen der Folie ihre elektrische Ladung ganz drastisch verändern. Sie holen sich eine große Zahl von Elektronen aus der Folie und verlieren gleichzeitig Energie. Andererseits gibt es Ionen, die von der Folie kaum beeinflusst werden: Sie sind nach dem Durchdringen der Membran noch immer hoch geladen, haben auf ihrem Weg praktisch keinen Energieverlust erlitten und die meisten der aufgenommenen Elektronen wieder abgegeben.  
Der Grund dafür liegt in der geometrischen Anordnung der Atome in der Nano-Membran: "Manche Ionen treffen frontal auf einen Atomkern in der Folie", erklärt Friedrich Aumayr. "Bei solchen heftigen Kollisionen verlieren sie Energie und können eine ganze Reihe von Elektronen mitnehmen." Allerdings lassen sich durch die ultradünne Membran auch Wege finden, die zwischen allen Atomkernen hindurchführen, sodass es nur eine verhältnismäßig schwache Wechselwirkung mit den Atomkernen der Membran gibt. Das führt dann zu einer Durchdringung der Folie mit Ionen, die auch danach noch erstaunlich stark elektrisch geladen sind.  
Die Ladung bestimmt den Energieaustausch  
Normalerweise erleben Ionen in festem Material so viele Stöße mit anderen Teilchen, dass ihre elektrische Ladung am Ende gar nichts mehr mit der ursprünglichen Ladung zu tun hat. Ionen können einerseits Elektronen aus der Folie einfangen - das gelingt ihnen am besten, wenn sie relativ langsam sind, oder sie können unterwegs Elektronen verlieren und sich damit wieder stärker positiv aufladen - dieser Effekt überwiegt bei schnellen Ionen. So stellt sich schließlich je nach Geschwindigkeit ein Gleichgewichtszustand zwischen Elektronenverlust und Elektroneneinfang her, ganz unabhängig davon, wie viele Elektronen das Ion am Anfang hatte. Doch die Wegstrecke durch die extrem dünnen Nanomembranen ist so kurz, dass das Ion gar keine Zeit hat, diesen Gleichgewichtszustand zu erreichen. Das Experiment an der TU Wien zeigt, dass der Energieverlust der Ionen von ihrem Ladungszustand abhängt und deshalb gezielt gesteuert werden kann.  
Mit Ionenbeschuss zum Nano-Sieb  
Dass man nun verstanden hat, wie Ionen mit extrem dünnen Membranen wechselwirken, eröffnet aufregende neue Möglichkeiten in der Nanotechnologie: "Mit unseren hochgeladenen Ionen können wir nun in vier Sekunden eine Million Löcher in einen Quadratzentimeter Folie schießen", erklärt Friedrich Aumayr. Die hochgeladenen Ionen fangen Elektronen ein, die sich zunächst in einem Zustand mit sehr hoher Energie befinden. Beim Einschlag wird diese Energie dann freigesetzt und auf die Folie übertragen. Darum können hochgeladene Ionen Löcher erzeugen, auch wenn das mit einem neutralen Atom derselben Geschwindigkeit niemals möglich wäre.  
Der Strahl hochgeladener Ionen wird zur Nano-Schrotflinte, damit lassen sich Oberflächen oder Folien nanostrukturieren. Man kann beispielsweise ein Nano-Sieb herstellen, dessen Löcher bestimmte Moleküle gezielt durchlassen und andere nicht. Demnächst sollen die Experimente sogar mit den dünnsten aller möglichen Kohlenstoffmembranen durchgeführt werden: Mit Graphen, das aus bloß einer Atomlage besteht.  
Rückfragehinweis:  
Univ. Prof. Friedrich Aumayr  
Technische Universität Wien  
Institut für Angewandte Physik  
Wiedner Hauptstraße 8-10, 1040 Wien  
T: +43-1-58801-134 30  
friedrich.aumayr@tuwien.ac.at  
Aussender:  
Technische Universität Wien  
Büro für Öffentlichkeitsarbeit  
Operngasse 11/5, Stock, 1040 Wien  
Dipl.-Ing. Florian Aigner  
T: +43-1-58801-41027  
florian.aigner@tuwien.ac.at

## Pressekontakt

Technische Universität Wien

1040 Wien

## Firmenkontakt

Technische Universität Wien

1040 Wien

Weitere Informationen finden sich auf unserer Homepage