

**Zeitschrift:** Horizonte : Schweizer Forschungsmagazin  
**Herausgeber:** Schweizerischer Nationalfonds zur Förderung der Wissenschaftlichen  
Forschung  
**Band:** 25 (2013)  
**Heft:** 96

**Artikel:** Wovon Physiker träumen  
**Autor:** Vos, Anton  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-551067>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

### **Conditions d'utilisation**

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. [Voir Informations légales.](#)

### **Terms of use**

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. [See Legal notice.](#)

**Download PDF:** 29.03.2025

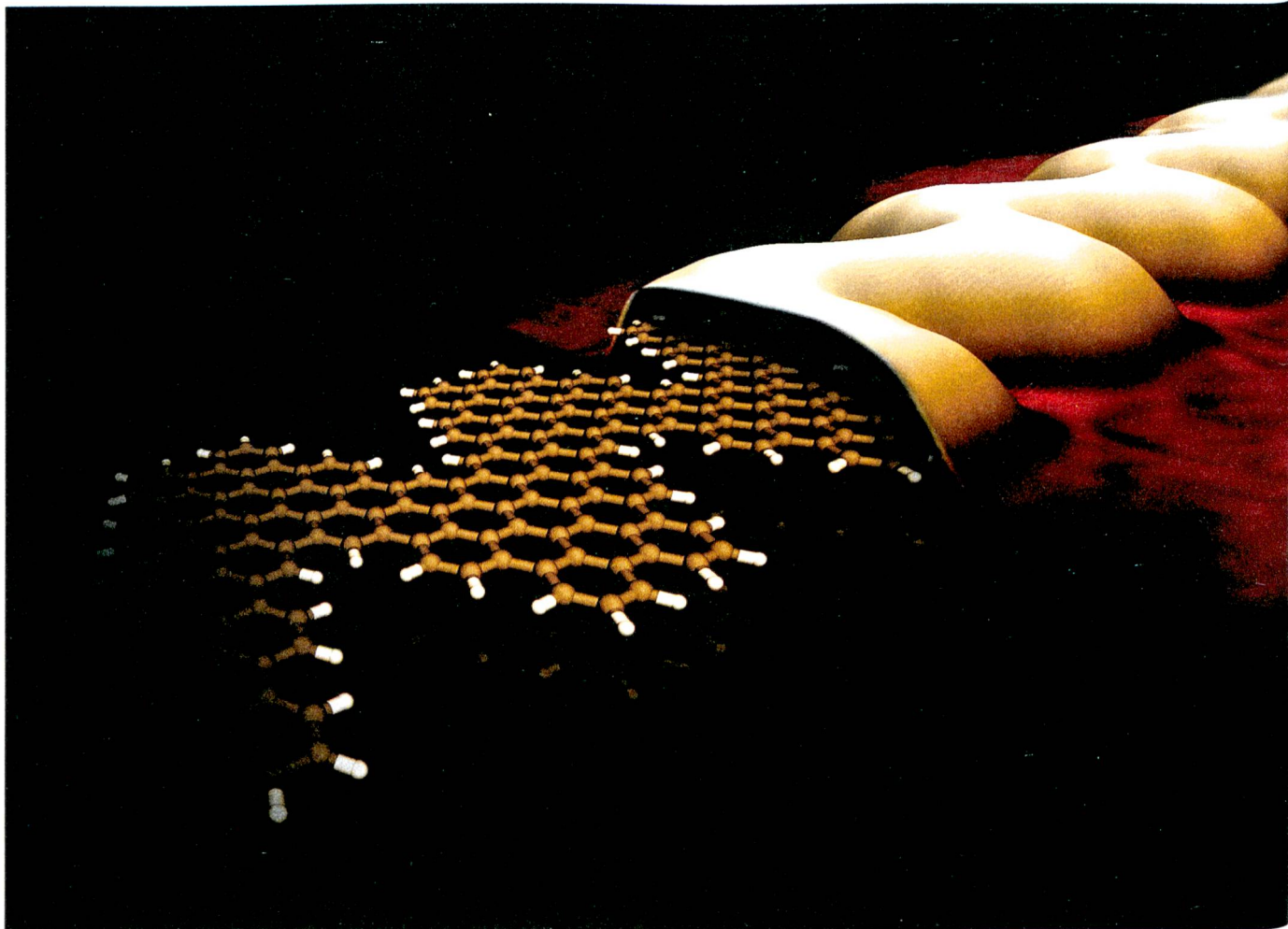
**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>**

# Wovon Physiker träumen

Auf dem Kristall Graphen ruhen grosse Hoffnungen. Seine elektronischen, mechanischen, optischen und thermischen Eigenschaften könnten die Tür zu vielen Anwendungen öffnen. Von Anton Vos

**N**ehmen Sie eine Bleistiftmine, heften Sie ein Stück Klebband daran und entfernen Sie es. Mit diesem Handgriff gelingt es meist, eine kleine Probe Graphen zu entnehmen. Selbst wenn es auf so rudimentäre Weise gewonnen wird und noch mit Leim bedeckt ist, besitzt das Material, das aus einer einzigen Schicht von Kohlenstoffatomen besteht, elektronische Eigenschaften, die sogar die besten, unter sauberen Bedingungen gewonnenen Siliziumhalbleiter in den Schatten stellen. Allein dafür verdient die Entdeckung eines solchen Materials den Nobelpreis für Physik.

Und genau so war es auch: 2010 erhielten Andre Geim und Konstantin Novoselov von der Universität Manchester die Auszeichnung aus Schweden dafür, dass sie - nur sechs Jahre zuvor - Graphen (aus Graphit mit Klebeband) isolieren, identifizieren und beschreiben konnten. Seither haben verschiedene Teams von Schweizer Forschungseinrichtungen (insbesondere die Universität Genf, die Eidgenössischen Technischen Hochschulen Lausanne und





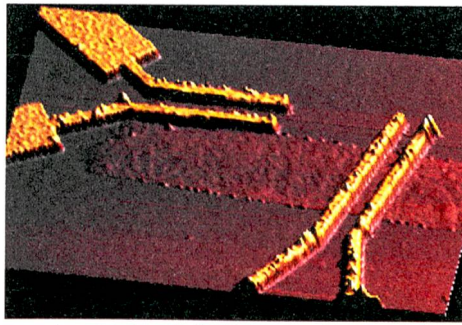
Zürich und die Empa) das neue Forschungsgebiet betreten. Sie sind auch in den europäischen Projekten präsent, darunter in der kürzlich bewilligten EU-Flagship-Initiative Graphen.

Kein Zweifel, Graphen ist der Stoff, aus dem Physikerträume sind. Nur schon deswegen: Es handelt sich um den ersten bekannten zweidimensionalen Kristall, der bei Raumtemperatur stabil ist. In der Physik galt dies lange als unmöglich. Man ging davon aus, dass eine einzelne Atomschicht immer instabil ist und dass sich diese bereits ab einer sehr kleinen Grösse faltet oder zusammenballt. Graphen hat die Fachwelt eines Besseren belehrt. Das Unternehmen Samsung produziert Graphen bereits seit einigen Jahren quadratmeterweise. Die Qualität ist noch nicht optimal, es werden aber laufend Fortschritte erzielt.

### Dünnere als ein millionstel Millimeter

Ausserdem profiliert sich der einschichtige Kohlenstoff als Material der Zukunft par excellence. In Sachen Feinheit ist es mit einer Dicke von deutlich weniger als einem millionstel Millimeter konkurrenzlos. Gleichzeitig besitzt Graphen eine hundertmal höhere Reissfestigkeit als Stahl, ist aber auch biegsam und ausserordentlich leicht. Eine Hängematte aus diesem Material könnte das Gewicht einer Katze mühelos tragen und würde dabei nur so viel wiegen wie eines ihrer Schnurrhaare. Das neue Material ist auch ein hervorragender elektrischer Leiter. Die Elektronen sind bis zu hundertmal mobiler als bei Silizium, was für die Betriebsgeschwindigkeit von Transistoren entscheidend ist. Die Aussicht auf Computer, die Dutzende Male schneller sind als heutige Modelle, ist verlockend.

«Eine einlagige Kohlenstoffschicht verhält sich nicht wie ein Halbleiter», relativiert allerdings Alberto Morpurgo, Professor an der Abteilung für Festkörperphysik (DPMC) der Universität Genf. «Es fehlt ihr das, was wir als Bandlücke bezeichnen: Eine Eigenschaft der elektronischen Struk-



Erst am Anfang:  
Ein Graphen-Transistor im  
Rasterkraftmikroskop. Bild: Courtesy of  
Alberto Morpurgo

tur, durch die sich das Material gezielt in einen Isolator verwandeln und der Stromfluss wie bei klassischen Transistoren kontrollieren lässt.» Der Genfer Forscher, der seit über sechs Jahren mit Graphen arbeitet, hat jedoch 2008 gezeigt, dass sich eine solche Bandlücke öffnet, wenn man zwei Schichten dieses Kristalls übereinanderlegt und ein senkrechtes elektrisches Feld anwendet. Diese Lücke reicht zwar für eine praktische Anwendung in der Elektronik noch nicht aus, ein erster Schritt ist aber getan.

«Auch wenn bereits kurz- und mittelfristig erste Anwendungen in Aussicht gestellt werden, steht die Graphenforschung noch ganz am Anfang», sagt Alberto Morpurgo. «Im Augenblick interessiert sich mein Labor zum Beispiel für das elektronische Verhalten des Materials, wenn das Substrat verändert wird, auf welches das Graphen aufgebracht ist. Wir führen auch Messungen an Monolagen durch, die sich ganz ohne Substrat in Lösung befinden.»

Die auf zwei Dimensionen beschränkten Elektronen verhalten sich übrigens überraschend. Die Gleichungen, die ihre Bewegungen beschreiben, sehen identisch aus wie bei Elektronen, die sich nahezu mit Lichtgeschwindigkeit bewegen. Somit ist es möglich, Eigenschaften dieser Elementarteilchen zu untersuchen, ohne dafür die grossen Cern-Beschleuniger in Anspruch nehmen zu müssen.

### Überraschende Optik

Schliesslich überrascht Graphen auch im optischen Bereich. «Es ist praktisch durchsichtig», sagt Alexey Kuzmenko, wissenschaftlicher Mitarbeiter am DPMC. «Es absorbiert lediglich 2,3 Prozent des Lichts. Dieser Anteil ist ausserdem unabhängig

von der Wellenlänge. Es ist deshalb denkbar, Graphen in einem breiten elektromagnetischen Spektrum einzusetzen, das vom sichtbaren Licht bis in den hohen Infrarotbereich hineinreicht.»

### Die Polarisation des Lichts ändern

Alexey Kuzmenko konnte zeigen, dass es möglich ist, die optischen und elektrischen Eigenschaften von Graphen mit elektrischen oder magnetischen Feldern zu verändern. Unter gewissen Bedingungen ändert sich nämlich der Absorptionskoeffizient des neuen Materials für kleine Wellenlängenbereiche. 2011 hat das Team des Genfer Forschers beobachtet, dass Graphen die Polarisation des Lichts ändern kann. Das Ausmass dieses Effekts, der mit anderen Materialien nur schwierig zu erzielen ist, ist beeindruckend. «Die einzigartigen optoelektronischen Eigenschaften öffnen die Türe zu Anwendungen in der drahtlosen Kommunikation, für Laser, Biosensoren und anderes», sagt Alexey Kuzmenko.

Eine erste konkrete Anwendung könnte Graphen jedoch in Bildschirmen finden. Die Schicht, welche die Pixel eines LCD-Bildschirms bedeckt, muss nämlich leiten und transparent sein. Bisher wurde dafür Indiumzinnoxid verwendet. Indium wird vorwiegend in China produziert, ist selten und wird immer teurer. Graphen bietet somit eine interessante Alternative, umso mehr, als es im Gegensatz zu Indiumzinnoxid biegsam ist.

Die Eigenschaften von Graphen sind so vielfältig, dass sich die technischen Wissenschaften Anwendungen in vielen Bereichen erhoffen, die von Photovoltaikzellen über Energiespeicherung, Farbanstriche und Bekleidung bis zur elektrisch leitfähigen Druckertinte reichen. Bisher gibt es allerdings erst ein potenziell vermarktbare Objekt, das Graphen enthält: ein heizbarer Autositz, der von der BASF-Gruppe entwickelt wurde und die hohe Wärmeleitfähigkeit von Graphen nutzt.

Material der Zukunft: Darstellung  
eines Graphen-Nanobandes; im  
rechten Bildteil Visualisierung einer  
Rastertunnelmikroskop-Aufnahme.

Bild: Empa