

# Zauberhafter Hühnerzaun

*Graphen, ein ultradünnes Netz aus Kohlenstoffatomen, läuft den Nanoröhrchen den Rang ab*

VON KENNETH CHANG UND  
JOACHIM LAUKENMANN

Vor rund 20 Jahren bescherten uns Materialforscher «Buckyballs», Kohlenstoffmoleküle in der Form eines Fussballs. Vor 15 Jahren wurden Kohlenstoff-Nanoröhrchen entdeckt und als vielseitiger Wunderstoff gepriesen. Die jüngste Entwicklung aus der Kohlenstoff-Ecke ist Graphen (auf der letzten Silbe betont): ein Netz aus Kohlenstoffatomen, das aussieht wie ein Hühnerzaun. Nur ist das Graphen-Geflecht eine Milliarde Mal dünner als der Metalldraht.

Graphen besitzt viele der exzellenten Eigenschaften von Kohlenstoff-Nanoröhrchen. Insbesondere leitet es elektrischen Strom nahezu verlustfrei und das schon bei relativ hoher Temperatur. Verblüffend ist auch, dass sich die Elektronen darin nicht wie massive Partikel verhalten, die sie eigentlich sind, sondern eher wie masselose Lichtteilchen. «Zudem ist Graphen leicht erhältlich, billig, und die Proben sind meist einfach herzustellen», sagt der Physiker Daniel Loss von der Universität Basel. Bereits wird Graphen als der Stoff gehandelt, der Silizium als Rohstoff für die Halbleiterindustrie ablösen könnte.

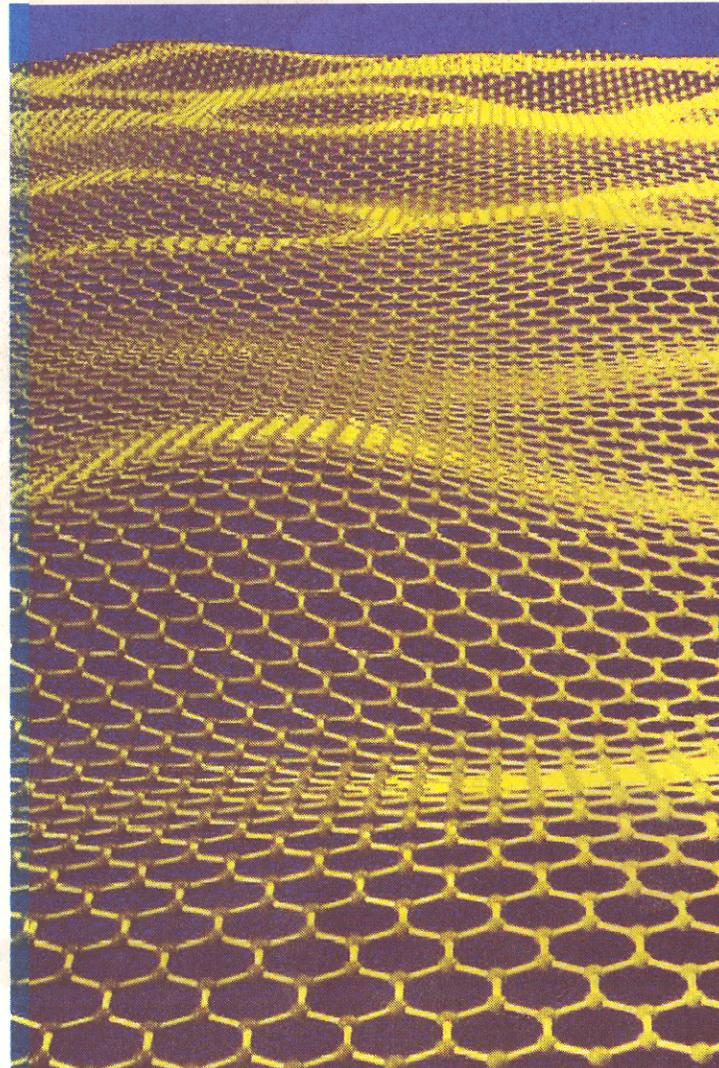
Denn in den letzten Monaten ist es Physikern gelungen, winzi-

ge Prototyp-Transistoren aus Graphen zu bauen. Forschern um Loss und seinen Kollegen Guido Burkard gelang kürzlich gar der Nachweis, dass sich mit Graphen im Prinzip der Prozessor eines Quantencomputers bauen liesse. Vieles deutet darauf hin, dass Graphen die hoch gelobten Kohlenstoff-Nanoröhrchen in mancher Hinsicht sogar übertrumpft. «Der Rummel um Graphen ist grösser», sagt Carlo Beenakker, Physiker der Universität Leiden in Holland, «denn ihre Physik ist reichhaltiger.»

## Graphen lässt sich mit Bleistift und Klebeband leicht gewinnen

Bis vor wenigen Jahren kümmerte sich nur eine Hand voll Forschergruppen auf der Welt um Graphen. Letztes Jahr wurden bereits rund 180 Arbeiten dazu veröffentlicht. Und vergangenen Monat wurden am Meeting der Amerikanischen Physikalischen Gesellschaft in Denver fast 100 Publikationen zu dieser Kohlenstoff-Variation vorgestellt.

Dabei ist Graphen in einer Hinsicht gar nicht so neu: Graphit, woraus die Mine in einem Bleistift besteht, ist aus zahlreichen, übereinander gestapelten Graphenschichten aufgebaut. Und eine Kohlenstoff-Nanoröhre ist gewissermassen ein Stück aufgerolltes



Graphen-Geflecht: Eine Milliarde Mal dünner als Hühnerdraht FOTO: NYT

Graphen. Schon vor gut 30 Jahren gelang es Wissenschaftlern sogar, winzige Graphen-Flocken im Labor herzustellen.

Diese Flocken galten aber nur als eine Kuriosität – für Anwendungen waren sie viel zu klein. Erst 2004 gelang einer Forschergruppe von der Universität Manchester die Herstellung grösserer Flocken. Kurios war hier die Art, wie das gelang. Die Forscher setzten ein Graphit-Partikel, wie es etwa beim Schreiben mit einem Bleistift auf dem Papier hängen bleibt, auf ein Klebeband, falteten dieses zusammen und zogen es wieder auseinander. Dabei wurde das Graphit-Partikelchen in zwei Schichten gespalten. Durch wiederholtes Falten und Entfalten des Klebebands bildeten sich immer dünnere Graphitflocken.

Schliesslich klebten sie das Band auf eine Halbleiterscheibe, wo einige Flocken kleben blieben. Manche davon waren dünn wie ein Kohlenstoff-Atom – die Forscher hatten nur wenige Nanometer dicke Graphen-Zäune hergestellt. Mit Hilfe eines Lichtmikroskops lässt sich auf Grund der Regenbogenfarben unterschiedlich dicker Flocken leicht erkennen, welche Zäune aus nur einer einzigen Graphenschicht bestehen.

Wegen dieser simplen Klebeband-Methode konnte praktisch

jede interessierte Forschergruppe sofort mit der Untersuchung von Graphen beginnen. Von der Silizium-Chip-Technologie bewährte und weithin verfügbare Methoden wurden nun angewandt, um den winzigen Hühnerdraht in spezifische Formen zu schneiden, etwa für Transistoren und andere elektronische Bauteile.

Die Basler Physiker Loss und Burkard studieren insbesondere die Eignung von Graphen für künftige Quantencomputer. Demnach könnten künstliche Atome aus Graphen, so genannte Quantenpunkte, zur Kodierung und Bearbeitung von Quanteninformation benutzt werden. «Dazu braucht es allerdings ein Graphen-Band mit ganz speziellen Rändern», sagt Loss. Die Ränder, die an einen Polstersessel erinnern, existieren bei Graphen bislang nur in der Theorie. Die Praxis muss in den kommenden Jahren zeigen, ob solche Quantenpunkte in der Anwendung halten, was sie theoretisch versprechen.

Diese laut Loss «leider sehr komplexe» Forschungsrichtung steht eben noch ganz am Anfang. Wann Graphen den Sprung vom Labor in die Anwendung schafft, ist daher schwer zu sagen. «Für seriöse Prognosen ist es noch zu früh», sagt Loss. «Es könnte in fünf Jahren so weit sein, oder nie.»