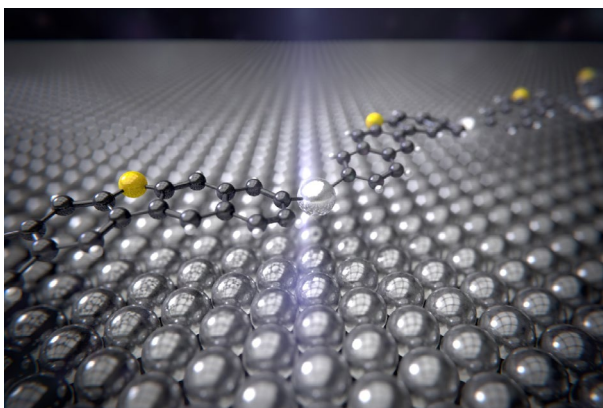
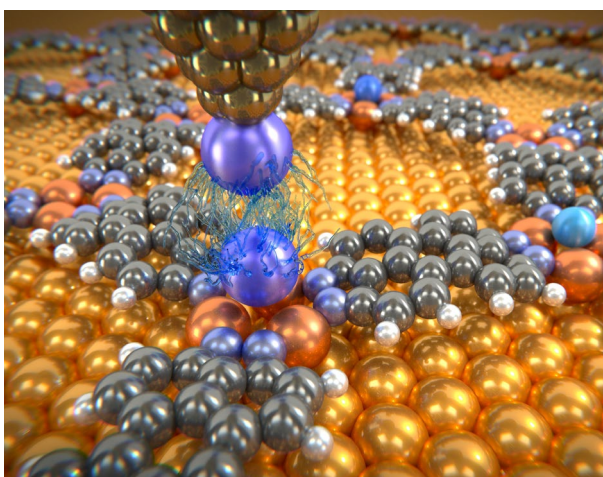


## 30 Jahre nach der Erfindung hochaktuell

Am 6. September dieses Jahres bekam Professor Christoph Gerber zusammen mit Professor Carl Quate und Dr. Gerd Binnig den Kavli-Preis in Nanowissenschaften überreicht. Die festliche Zeremonie fand in Anwesenheit des norwegischen Kronprinzen Haakon in Oslo statt und würdigte die Erfindung und Entwicklung des Rasterkraftmikroskops (AFM) vor 30 Jahren durch die Preisträger. Welche Bedeutung das AFM für die Nanoforschung inzwischen erlangt hat und wie vielseitig es eingesetzt werden kann, wird deutlich, wenn man sich einige der Publikationen von SNI-Mitgliedern anschaut, die in den letzten Wochen in renommierten Wissenschaftszeitschriften wie «Nature» erschienen sind.



Das Zwischenprodukt der Ullmann-Reaktion mit dem Silberkatalysator (silbern) zwischen den Kohlenstoffringen (schwarz) und Schwefelatomen (gelb) krümmt sich wie eine Brücke über der Silber-Oberfläche.



In einem Nanomessbecher aus Kupferatomen (kupferfarben) werden einzelne Xenonatome (blau) festgehalten werden. Ein Tieftemperatur-Rasterkraftmikroskop mit einem einzelnen Xenonatom an der Spitze wird darüber platziert. Zwischen den beiden Xenonatomen kommt es zu Van-der-Waals-Wechselwirkungen, welche die Forscher nun erstmals quantitativ messen konnten.

### Beobachtung chemischer Reaktionen

Die Wissenschaftler um Prof. Ernst Meyer und Dr. Shigeki Kawai haben in den letzten Wochen und Monaten in einigen Veröffentlichungen beschrieben, wie sie ein hochauflösendes Rasterkraftmikroskop mit Kohlenmonoxid-Spitze einsetzen, um chemische Reaktionen zu verfolgen und zu verstehen.

So konnten sie beispielsweise einem Silberkatalysator erstmals bei der Arbeit zusehen. Die Silberatome katalysieren während der sogenannten Ullmann-Reaktion die Bindung zwischen zwei Kohlenstoffatomen. Mit den Beobachtungen konnten die Forscher nicht nur den Ablauf der Reaktion entschlüsseln, sondern auch den Energieumsatz berechnen, was möglicherweise zur Optimierung dieser seit langem bekannten und oft eingesetzten Reaktion führen kann.

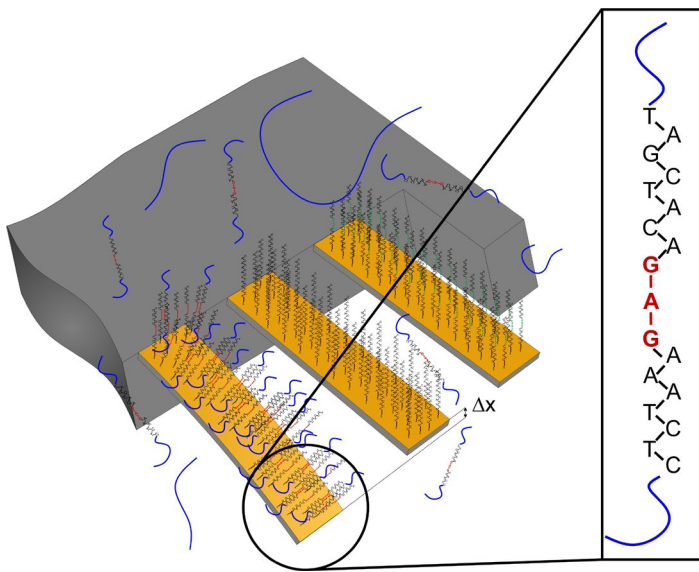
In einer weiteren Studie wirkte nicht Silber, sondern Kupfer als Katalysator. Ausgehend von einem Molekül, bei dem drei Benzolringe über Dreifachbindungen miteinander verbunden sind, führten chemische Reaktionen auf einer Kupferoberfläche in mehreren Schritten zu neuen aromatischen Kohlenwasserstoffverbindungen, die bisher in Lösung nicht synthetisiert worden waren. Die vergleichenden Computerberechnungen lieferten die genauen molekularen Strukturen der Verbindungen, die bestens mit den mikroskopischen Aufnahmen übereinstimmten.

### Messung von kleinsten Kräften

Den Wissenschaftlern aus der Gruppe von Ernst Meyer und Prof. Thomas Jung ist es mithilfe rasterkraftmikroskopischer Analysen auch erstmals gelungen, die sehr schwachen Van-der-Waals-Kräfte zwischen einzelnen Atomen zu messen. Dazu fixierten sie einzelne Edelgasatome in einem molekularen Netzwerk und ermittelten die Wechselwirkungen mit einem einzelnen Xenonatom, das sie an der Spitze eines Federbalkens im Rasterkraftmikroskop positioniert hatten. Die Kräfte waren wie erwartet abhängig vom Abstand der beiden Atome, jedoch teilweise deutlich grösser als theoretisch berechnet.

## Nachweis exotischer Teilchen

Die Wissenschaftler vom SNI und Departement Physik in Basel nutzen die Rasterkraftmikroskopie nicht nur, um chemische Vorgänge zu untersuchen und zu verstehen. Es lassen sich mit den verschiedenen vielfältig einsetzbaren Mikroskopen auch physikalische Phänomene genauestens beobachten. So arbeitet die Gruppe von Prof. Ernst Meyer eng mit den Theoretikern um Prof. Jelena Klinovaja und Prof. Daniel Loss zusammen, um mittels AFM die Existenz sogenannter Majorana-Fermionen, die gleich ihrer eigenen Antiteilchen sind, experimentell nachzuweisen. Diese exotischen Majorana-Teilchen wurden vor rund 75 Jahren von dem Physiker Ettore Majorana beschrieben. Das Interesse an ihnen ist seither enorm gestiegen, da sie bei der Realisierung eines Quantencomputers eine Rolle spielen könnten. Theoretisch sind die Majoranas, die immer als Paare vorkommen müssen, bereits recht gut beschrieben. Es braucht aber sehr ausgeklügelte Kombinationen und Anordnungen von verschiedenen Materialien, um zwei Majoranas zu erzeugen und auf Abstand zu halten. Ihr experimenteller Nachweis und ihre Untersuchung gestalten sich schwierig, weil die Signatur eines einzelnen Majoranas nicht leicht von einem Elektron zu unterscheiden ist.



Der Federbalken links trägt die Erkennungssequenz für die gesuchte Mutation. Ist diese in der untersuchten Probe vorhanden, bindet das entsprechende RNA-Stück an den Federbalken, was zu dessen Verbiegung führt. Diese ist messbar und damit ein eindeutiger Nachweis für das Vorhandensein der Erbgutveränderung.

## Diagnostik von Krebs

Der Erfinder des AFM, Christoph Gerber, nutzt die Federbalken (die beim AFM mit einer Spitze versehen die Probe abtasten) für diagnostische Zwecke. Gerbers Team beschichtet diese Federbalken (Cantilever) je nach Anforderung mit unterschiedlichen Molekülen. In einer jüngst in «Nano Letters» vorgestellten Studie nutzt er die Federbalken in ersten klinischen Tests, um die Therapie von schwarzem Hautkrebs zu unterstützen.

Gerbers Team beschichtet dazu die Federbalken mit einer Erkennungssequenz für eine Genmutation, die fünfzig Prozent aller Patienten mit schwarzem Hautkrebs aufweisen. Aus Gewebeproben von Patienten wird dann RNA isoliert und auf die Federbalken aufgebracht. Ist die Erbgutveränderung vorhanden, bindet die RNA an die Erkennungssequenz auf dem Cantilever. Dieser verbiegt sich aufgrund des entstehenden Oberflächen-stresses und die Wissenschaftler bekommen ein eindeutiges Signal als Beweis für das Vorhandensein der Mutation im Erbgut. Da für Patienten, die diese Erbgutveränderung aufweisen, eine mögliche Therapie zur Verfügung steht, ist eine derartige, schnelle und kostengünstige Analyse sehr wertvoll.

## Neue Anwendungen dank Weiterentwicklung

Christoph Gerber hat zusammen mit seinen Kollegen vor 30 Jahren den Grundstein für diese und viele andere Forschungsarbeiten gelegt. Das AFM von damals ist immer weiter entwickelt worden und kann heute enorm vielfältig eingesetzt werden. So platziert beispielsweise Prof. Patrick Maletinsky Diamanten mit Stickstoff-Vakanzzentren als Quantensensoren in Rasterkraftmikroskopen und ist damit in der Lage, Bilder von Magnetfeldern in Supraleitern in bisher unerreichter Auflösung zu generieren. Kürzlich hat das Maletinsky-Team in «Nature Nanotechnology» beschrieben, wie sie dieses neuartige AFM erstmals unter kryogenen Bedingungen bei Temperaturen von etwa 4 Kelvin (-269,15 °C) erfolgreich eingesetzt haben und damit magnetische Streufelder von Vortices in einem Hochtemperatur-Supraleiter mit einer bislang unerreichten Genauigkeit abbilden konnten.

Auch Argovia-Professor Martino Poggio arbeitet daran, einen neuen AFM-Typ zu entwickeln, wie er in «Nature Nanotechnology» beschreibt. Das Poggio-Team setzt dazu Nanodrähte als winzige Sensoren ein und kann damit – im Gegensatz zu herkömmlichen Geräten – sowohl Grösse als auch Richtung von Kräften messen. Die Forscher

machen sich hier die besonderen mechanischen Eigenschaften der Nanodrähte zunutze, die entlang zweier senkrecht zueinander stehender Achsen mit etwa derselben Frequenz vibrieren. Im AFM messen die Wissenschaftler diese senkrecht zueinander stehenden Vibrationsänderungen, die durch verschiedene Kräfte ausgelöst werden. Sie nutzen die Nanodrähte damit als winzige mechanische Kompassnadeln, die sowohl die Richtung als auch die Grösse der umgebenden Kräfte anzeigen.



Christoph Gerber nimmt den Kavli-Preis entgegen, den er zusammen mit Carl Quate und Gerd Binnig für die Erfindung und Entwicklung des AFM im September 2016 verliehen bekommen hat.

Dies waren nur einige Beispiele von Forschungsergebnissen rund um das AFM, die in den letzten Monaten von SNI-Mitgliedern veröffentlicht wurden. «Seit der Erfindung des AFM sind rund 350.000 Publikationen darüber erschienen», berichtet Christoph Gerber. «Und es bleibt spannend zu sehen, wie sich die Technologie noch weiter entwickeln wird.»