



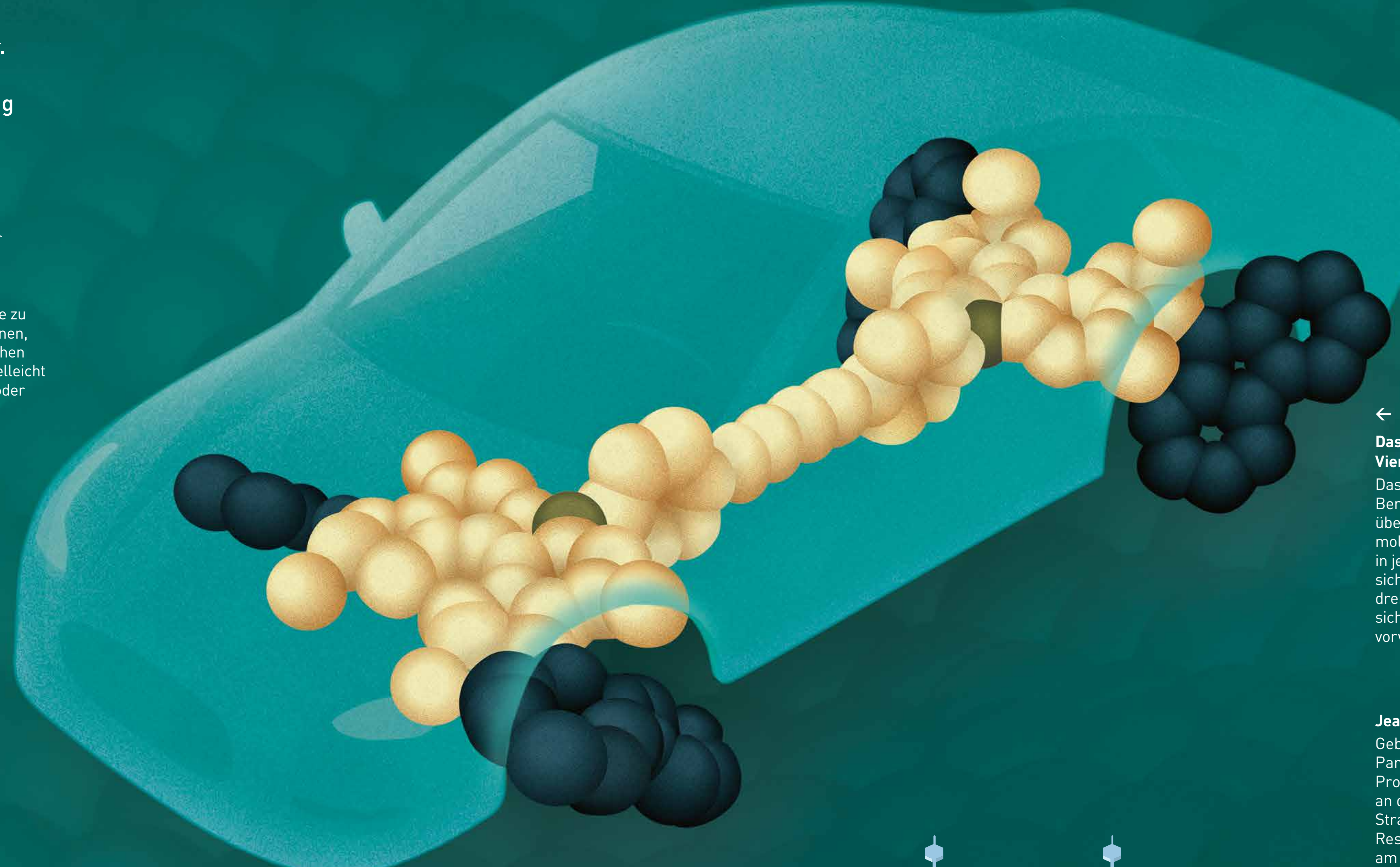
Der Nobelpreis und die Blumme. Illustration von Robert Stilling.

Sie haben die kleinsten Maschinen der Welt gebaut

Ein winziger Lift, künstliche Muskeln und ein klitzekleiner Motor. Der Nobelpreis für Chemie 2016 geht an Jean-Pierre Sauvage, Sir J. Fraser Stoddart und Bernard L. Feringa für die Entwicklung und den Bau molekularer Maschinen. Sie haben Moleküle mit steuerbaren Bewegungen entwickelt, die eine Aufgabe erfüllen können, wenn Energie zugeführt wird.

Die Entwicklung von Computern hat gezeigt, wie die Miniaturisierung von Technologie die Welt revolutionieren kann. Die Nobelpreisträger für Chemie 2016 haben Maschinen konstruiert, die tausend Mal dünner als ein einzelnes Haar sind. Normalerweise unterliegen alle Bewegungen in chemischen Systemen dem Zufall. In den molekularen Maschinen, die jetzt mit dem Nobelpreis ausgezeichnet werden, verläuft die Bewegung geordnet und hat eine Richtung. Nur so können die Maschinen eine bestimmte Aufgabe erfüllen.

Im Sinne der Entwicklung befindet sich der molekulare Motor auf derselben Stufe wie der Elektromotor in den 1830er-Jahren. Wissenschaftler präsentierten damals verschiedene Drehkurbeln und Räder, ohne zu wissen, dass daraus einmal Waschmaschinen, Ventilatoren und Küchenmaschinen entstehen würden. Molekulare Maschinen werden vielleicht zukünftig in neuen Materialien, Sensoren oder Energiespeichersystemen eingesetzt.



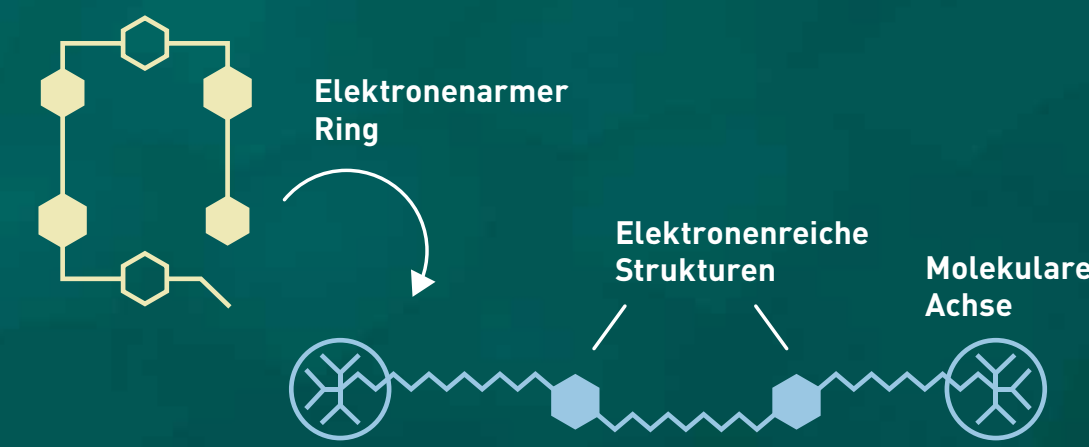
1. Moleküle, die eine Kette bilden, versammeln sich um ein Kupferion.
2. Ein drittes Molekül ist mit dem sichelförmigen Molekül verbunden.



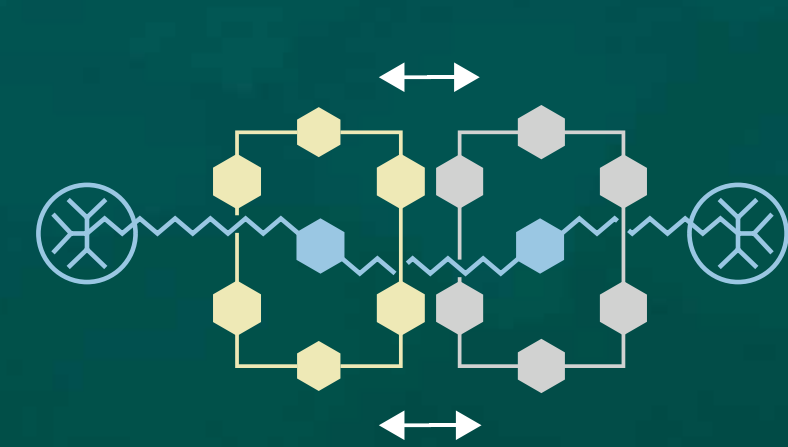
3. Die Moleküle sind über eine mechanische Verbindung verknüpft. Das Kupferion wird entfernt.
4. Ein Molekül kann dazu gebracht werden, sich kontrolliert um das andere zu bewegen.

Sauvage bewegt die Chemie vom Zufall weg
Soll eine Maschine eine Aufgabe erfüllen, muss sie aus Teilen bestehen, die sich relativ zueinander bewegen können. 1983 stellte Jean-Pierre Sauvage ein Molekül her, das diese Anforderung erfüllt. Dazu verkettete er zwei ringförmige Moleküle zu einem so genannten Catenan. Aufgrund der mechanischen Kettenverbindung können sich die Ringe frei bewegen. 1994 gelang es Sauvage, einen Ring zu einer kontrollierten Bewegung um den anderen zu veranlassen.

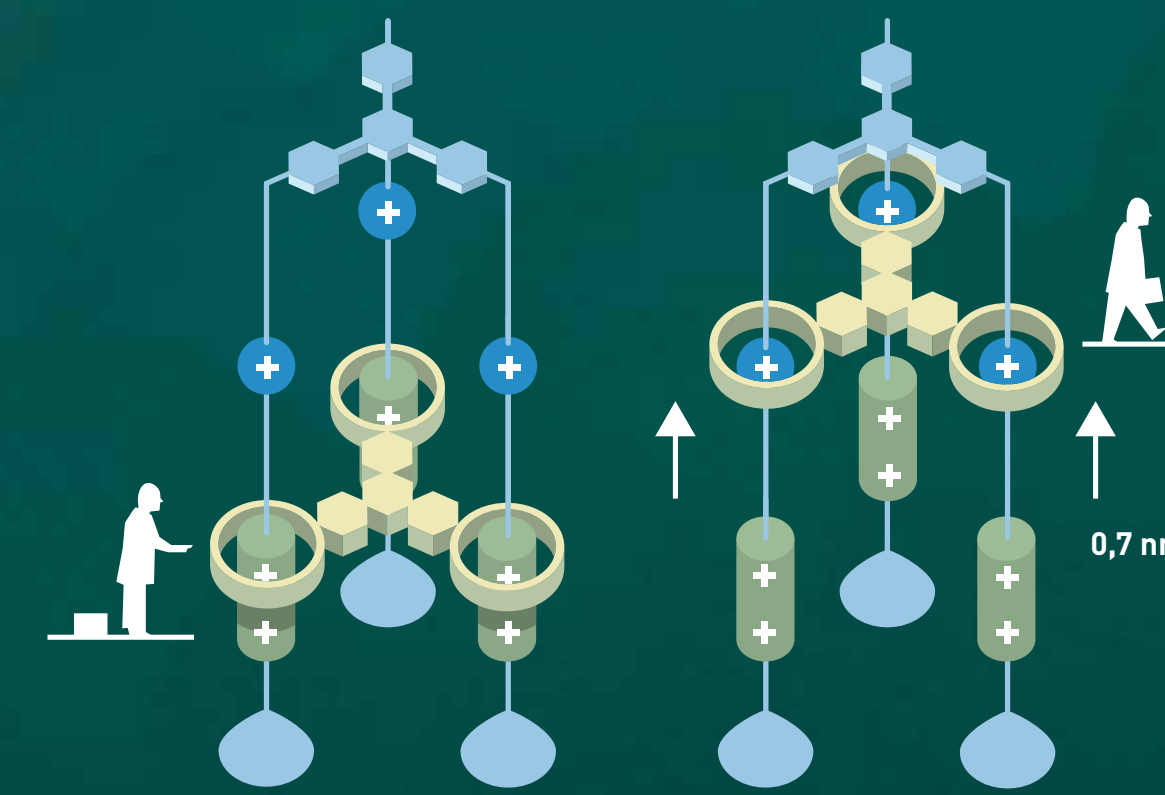
Stoddart entwickelt einen molekularen Lift
1991 brachte Fraser Stoddart einen molekularen Ring auf eine dünne molekulare Achse. 1994 war er dann in der Lage, die Ringbewegung entlang der Achse zu steuern. Er verwendete ähnliche Moleküle, so genannte *Rotaxane*, um eine Art molekularen Lift, einen molekularen Muskel und einen Computerchip auf Molekülbasis zu entwickeln.



1. Ein Ring wickelt sich auf eine molekulare Achse und umschließt sie.

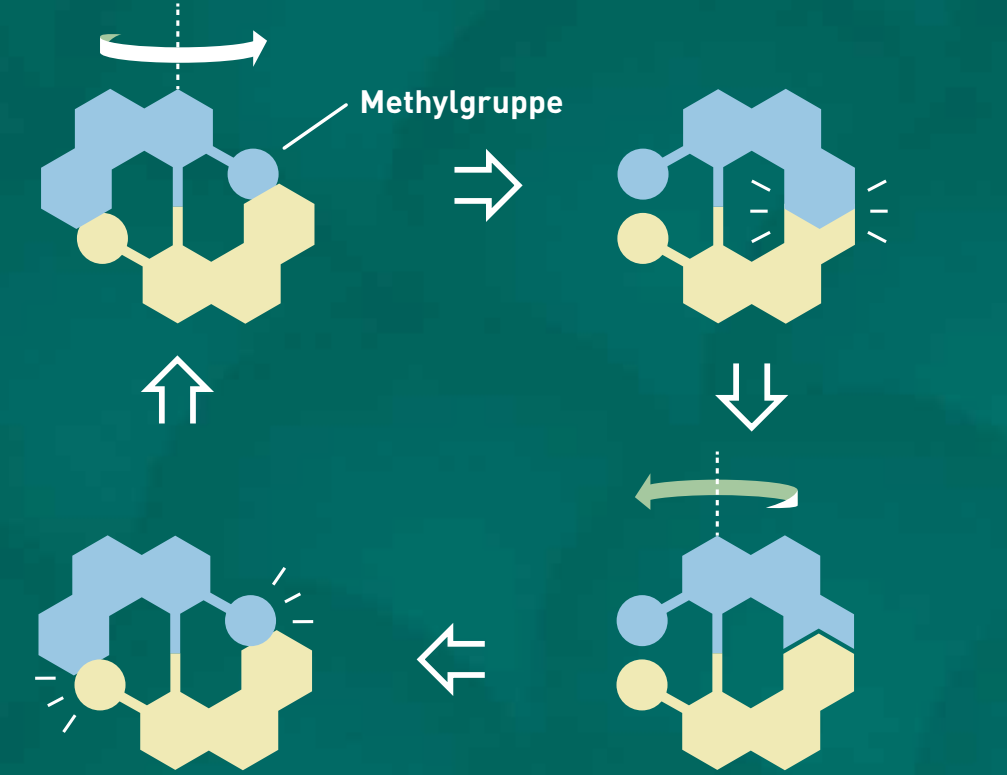


2. Der Ring bleibt auf der Achse. Bei Zufuhr von Wärme springt der Ring zwischen den beiden elektronenreichen Achsenbereichen hin und her.



3. Stoddarts molekularer Ring besteht aus drei verbundenen Rotaxanen. Er kann sich selbst um 0,7 Nanometer anheben.

1. UV-Licht sorgt dafür, dass sich ein Rotorblatt um 180 Grad dreht.
2. Dadurch wird Spannung im Molekül erzeugt.



3. Die Spannung wird freigesetzt, wenn ein Rotorblatt auf dem anderen einrastet. Eine Rückwärtsbewegung wird verhindert. UV-Licht löst eine neue Drehbewegung aus.
4. Die Temperatur wird angehoben. Die Methylgruppen rasten über den Rotorblättern ein. Eine Rückwärtsbewegung wird verhindert.

Das Nanocar mit Vierrad-Antrieb
Das Nanocar von Ben Feringa verfügt über jeweils einen molekularen Motor in jeder Ecke. Sobald sich diese gemeinsam drehen, bewegt sich das Nanocar vorwärts.

Feringa entwickelt den ersten molekularen Motor
1999 ist es Ben Feringa gelungen, eine molekulare Rotorblattdrehung in ein und dieselbe Richtung zu erzeugen. Er hat den Motor so optimiert, dass er sich mit 12 Millionen Umdrehungen pro Sekunde bewegen kann. Mit Hilfe molekularer Motoren hat Feringa beispielsweise ein Nanocar entwickelt und einen Glaszylinder zum Drehen gebracht, der 10.000 Mal größer als der tatsächliche Motor war.

Jean-Pierre Sauvage
Geboren 1944 in Paris, Frankreich. Professor Emeritus an der Universität Straßburg und Research Emeritus am Centre National de la Recherche Scientifique (CNRS), Frankreich.

Sir J. Fraser Stoddart
Geboren 1942 in Edinburgh, Großbritannien. Board of Trustees Professor of Chemistry der Northwestern University, Evanston, Illinois, USA.

Bernard L. Feringa
Geboren 1951 in Barger-Compascuum, Niederlande. Professor für Organische Chemie an der Universität Groningen, Niederlande.



Foto: Porträt von Jean-Pierre Sauvage: Institut de Science d'Ingénierie Supramoléculaire; Porträt von Sir J. Fraser Stoddart: © 2016 Evanston Photographische Studios/Gemini Lencina; Porträt von Bernard L. Feringa: Stijnje De Goeij, © Universiteit Groningen.