

Ganz kleines Möbiusband ganz groß

Polnische Chemiker haben ein Molekül entwickelt, das je nach Umgebungsbedingungen als Möbiusband oder als glatter Ring auftritt, einmal aromatisch, einmal nicht. Eine Sensation.

Von Christoph Mauerhofer

Wissen Sie, was ein Möbiusband ist? Vielleicht haben Sie als Kind schon einmal eines gebastelt – das ist übrigens ganz leicht: Nehmen Sie einfach einen Streifen Papier und kleben Sie ihn an den beiden Enden zu einem Ring zusammen, nachdem Sie eines der Enden einmal gedreht haben. Sie können dazu auch unsere Möbiusband-Vorlage ausschneiden und laut der darauf stehenden Anleitung zusammenkleben. Kinderkram? Schauen Sie genauer hin: Wie viele Flächen hat Ihr Möbiusband, wie viele Kanten? Jeweils nur eine, folgen Sie ihr mit dem Finger, werden Sie immer wieder an den Ausgangspunkt zurückkehren (natürlich nur, wenn Sie richtig gebastelt haben).

A **Möbiusband-Vorlage zum Selberbasteln:** Schneiden Sie diese Vorlage entlang der schwarzen Begrenzungslinie aus. Tragen Sie auf den gelben Flächen Klebstoff auf und kleben Sie diese beiden Klebeflächen (unter nur einmaliger Drehung des Papierstreifens!) so aufeinander, dass das eine A auf dem anderen A und das eine B auf dem anderen B zu liegen kommt. Von den Buchstaben soll nach dem Klebevorgang nichts mehr zu sehen sein.

B
A

Verblüfft? Da sind Sie nicht allein, das Möbiusband ist eine Struktur, über die sich schon viele Mathematiker den Kopf zerbrochen haben. Aber auch Chemiker beschäftigen sich seit einiger Zeit mit diesem interessanten Phänomen – und versuchen, es in Molekülform nachzubauen. Das ist allerdings keine Spielerei mehr: Die Konstruktion in molekularen Größenordnungen ist unverhältnismäßig komplizierter als das Basteln mit Papierstreifen. Jedoch liefern solche Experimente auch nützliche neue Erkenntnisse in den theoretischen Grundlagen der Chemie, in diesem Fall im Bereich der aromatischen Verbindungen.

Aromatische Moleküle bestehen aus einem oder mehreren Kohlenstoffringen mit einigen Doppelbindungen. Das Besondere an den Aromaten – wie sie kurz genannt werden – ist, dass die Elektronen der Doppelbindungen sich mehr oder weniger frei im gesamten Molekül bewegen können. Ihre gewöhnlichen Aufenthaltsbereiche, die Orbitale, sind in dem Fall zu einem Ring zusammengeschlossen, der einem normalen, nicht verdrehten Papierstreifenring entsprechen würde. Doch sollte es dann nicht auch möglich sein, die Elektronen in eine Bahn in Form eines Möbiusbandes zu bringen? Ja, es sollte möglich sein und das ist es auch.

2003 gelang es einer Gruppe von Chemikern um Rainer Herges an der Universität Kiel (einer Stadt im Norden Deutschlands) erstmals, ein solches molekulares Möbiusband herzustellen. Das Schwierige an der Konstruktion eines Möbius-Moleküls war und ist, dass es durch die Drehung des Bandes leicht zu einem Knick kommen kann, der die freie Bewegung der Elektronen verhindern würde. Die Herges-Gruppe löste das Problem, indem Sie einen flachen Atomring aufschneidete und durch einen Rundbogen verband (s. Abb. 1).



Abb. 1: Das erste molekulare Möbiusband aus dem Jahr 2003 (Schema): Um einen Knick zu vermeiden, wurde ein Rundbogen eingefügt.

Das war für den Anfang eine ganz annehmbare Lösung, jedoch bei weitem nicht so elegant wie das Ergebnis, das vor kurzem polnische Forscher präsentierten: Sie konstruierten ihr Möbiusband in Molekülgröße ohne einen extra eingesetzten Zwischenbogen, sodass es mit wesentlich mehr Recht verdient, ein "Ring" genannt zu werden.

Möbiusband

Ein ringförmig zusammengeschlossenes Band, das eine halbe Drehung enthält. Es besitzt dadurch nur eine Kante und eine Fläche. Folgen Sie den Anleitungen auf unserer Vorlage und sehen Sie selbst!

Aromaten

Moleküle mit mindestens einem Ring aus Kohlenstoffatomen, der Doppelbindungen enthält, deren Elektronen im gesamten Molekül frei beweglich sind. Diese delokalisierten Elektronen verleihen den Aromaten eine hohe Stabilität. Für die aromatischen Moleküle gilt die Hückel-Regel.

Hückel-Regel

Die Anzahl der frei beweglichen Elektronen muss in Aromaten immer der Formel $4n + 2$ folgen, wobei n eine natürliche Zahl (0, 1, 2, ...) ist, die zwar häufig aber nicht unbedingt der Anzahl der Kohlenstoffringe im Molekül entspricht. Bei Aromaten in Möbius-Form sind es jedoch nur $4n$ Elektronen.

Doch das eigentlich Bemerkenswerte an der Arbeit von Lechosław Latos-Grażyński und seinen Mitarbeitern an der Universität Wrocław (Breslau, Polen, Osteuropa) ist etwas anderes. Das von ihnen hergestellte molekulare Band lässt sich nämlich zwischen der glatten Ring- und der verdrehten Möbius-Form hin- und herschalten.

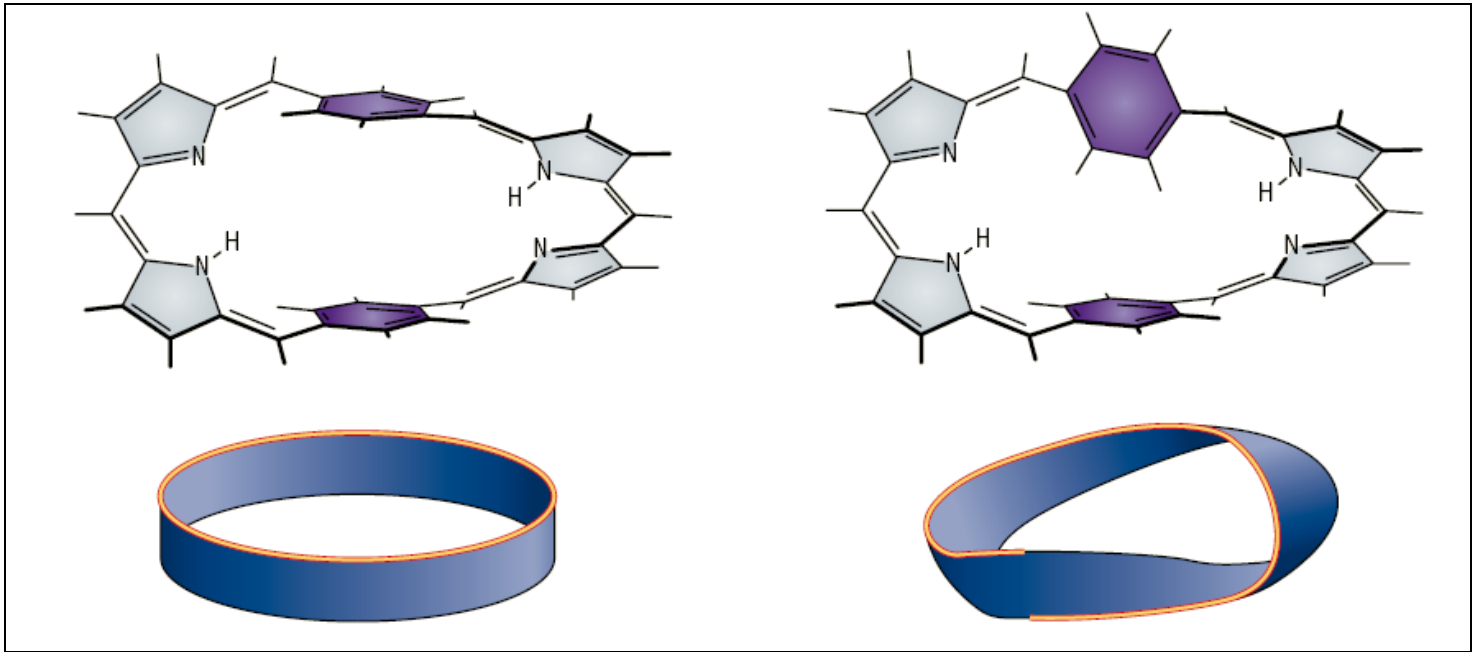


Abb. 2: Das Molekül von Latos-Grażyński et. al. wechselt je nach Umgebungsbedingung zwischen der glatten Ringform und der verdrehten Form eines Möbiusbandes hin und her. Dazu kippt einer der beiden Benzolringe (violett; hier der obere) von einer flachen Stellung in eine senkrechte.

Aufgebaut ist das Molekül aus dem ringförmigen Aromat Porphin, in das zwei Benzolringe (in Abb. 2 violett hervorgehoben) eingefügt wurden. Die Anzahl der beweglichen Elektronen im entstandenen Molekül ist 28. Damit widerspricht es im Normalzustand der sogenannten Hückel-Regel, die besagt, dass diese Anzahl in allen Aromaten ein Ergebnis der Formel $4n+2$ sein muss. n ist dabei eine natürliche Zahl und wenn man nachrechnet ($4 \cdot 6 + 2 = 26$ bzw. $4 \cdot 7 + 2 = 30$) erkennt man leicht, dass das Molekül nicht aromatisch ist. Für die Möbiusband-Form gilt als Formel jedoch $4n$ und damit ist der Ring in diesem Zustand doch ein Aromat ($4 \cdot 7 = 28$).

In Experimenten fanden die polnischen Wissenschaftler heraus, dass das Molekül in Kristallen und unter bestimmten anderen Umgebungsbedingungen automatisch die Möbiusband-Ausprägung annimmt. Einer der beiden frei drehbaren Benzolringe stellt sich dazu senkrecht zum anderen auf, was bewirkt, dass die beiden Flächen des Bandes vertauscht miteinander verbunden werden – genau so, wie Sie es mit dem Papierstreifen gemacht haben. Eine mögliche Erklärung für diesen Wechsel der Ringanordnung ist, dass der so erreichte aromatische Zustand das Molekül stabiler macht, was bei Aromaten allgemein der Fall ist.

Ob das Molekül nun als Möbiusband oder als normaler unverdrehter und unaromatischer Ring in Erscheinung tritt, hängt von Faktoren wie dem verwendeten Lösungsmittel, in dem es schwimmt, und der Umgebungstemperatur ab. Durch eine schlichte Änderung dieser Bedingungen kann zwischen den beiden Zuständen umgeschaltet werden.

Noch sind für das System viele Verbesserungen möglich und auch nötig, doch haben die Chemiker erst einmal gelernt, richtig und sinnvoll mit diesem chemischen Schalter umzugehen, wage ich nicht zu raten, was für eine enorme Bandbreite von neuen technologischen Errungenschaften uns das eröffnen wird. Eine Möbiusbandbreite.

Hier ist eine kleine Probe der neuen Möbiusband-Moleküle von Latos-Grażyńskis Forschungsgruppe für Sie angebracht. Sollte die Probe bei Ihnen schon fehlen, bitten wir Sie, eine neue anzufordern über: moebiusmolekuele@uni-wroclaw.pl