



Die Fusion von Atomen zu Molekülen ist das tägliche Brot von Chemikerinnen und Chemikern, denn ohne die Synthese neuer Moleküle geht in der Chemie wenig bis gar nichts. Darüber hinaus kann die Fusion von Molekülen zu supramolekularen Aggregaten neue Materialien mit interessanten und spannenden Eigenschaften hervorbringen.

Von Gentransport und Gelen

Fusionen in der Chemie

Von Carsten Schmuck

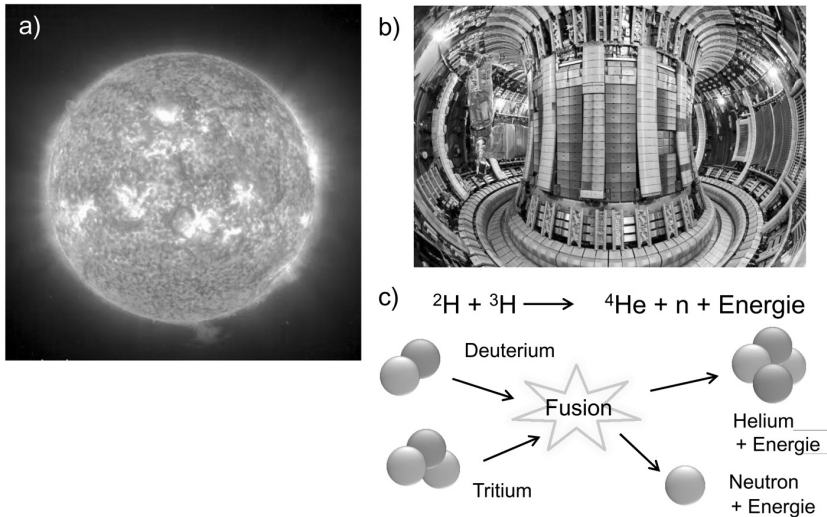
Die Universität Duisburg-Essen feiert ihr zehnjähriges Bestehen und damit zehn Jahre erfolgreiche Fusion. In der bundesweiten Universitätslandschaft war und ist diese Fusion bisher einzigartig. Anfangs wurde sie teilweise heftig bekämpft, zwischendurch skeptisch-distanziert betrachtet und mittlerweile wird sie als Erfolgsmodell gefeiert. Das Fusions-Experiment ist geglückt. In der Chemie sind Fusionen hingegen in allen Bereichen Alltag. Der eine oder andere mag sich noch an die Fusionswelle in den 1990er Jahren beziehungsweise Anfang des neuen Jahrtausends in der chemischen Industrie erinnern. Zum Beispiel fusionierte das deutsche Traditionsunternehmen Hoechst zuerst mit dem französischen Pharmakonzern Rhône-Poulenc zur Aventis, die kurz danach bereits wieder mit dem Wettbewerber Sanofi zu Sanofi-Aventis fusionierte, die heute wieder nur noch Sanofi heißt. Degussa fusionierte mit Hüls zur Degussa-Hüls, nur um kurz danach

mit SKW Trostberg zu einem weiteren Unternehmen fusionieren, das wieder den Namen Degussa führte. Einige Jahre später ging die neue Degussa dann im frisch gegründeten Konzern Evonik auf (der übrigens seinen Hauptsitz hier in Essen hat und mit unserer Fakultät pünktlich zum zehnjährigen Bestehen unserer Universität eine besondere strategische Partnerschaft vereinbart hat). Manchmal drängte sich bei all den Fusionen zwischenzeitlich auch der Eindruck der einen oder anderen Konfusion auf und nicht alle Unternehmensfusionen haben sich im Rückblick als sinnvoll herausgestellt, im Gegensatz zur Fusion der beiden Universitäten Duisburg und Essen, die zur Gründung unserer Universität führte. Denn die neue Universität Duisburg-Essen und speziell die Fakultät für Chemie sind eindeutig „Fusionsgewinner“. Die Zusammenlegung der beiden alten Fachbereiche für Chemie in Essen und Duisburg in teils neue, teils komplett kernsanierte Gebäude am

Campus Essen hat dazu geführt, dass die Fakultät für Chemie jetzt über eine hervorragende Forschungsinfrastruktur verfügt, die in Deutschland ihresgleichen sucht. Kaum denkbar, dass die Landesregierung NRW ohne die Fusion für etwa 22 Millionen Euro ein komplettes Laborgebäude am Campus Essen neu gebaut hätte. Somit können unsere 22 Professorinnen und Professoren mit ihren Arbeitsgruppen und unsere Studierenden in modernsten Laboren und hervorragend ausgerüsteten Praktikumsräumen forschen und lehren. Derzeit beginnen etwa bis zu 400 Erstsemester ihr Studium in einem der drei Studiengänge unserer Fakultät (Chemie, WaterScience und Lehramt). Die Fakultät für Chemie der Universität Duisburg-Essen gehört damit zu den größten Chemiefakultäten bundesweit.

Fusionen in der Chemie

Der Begriff „Fusion“ ist also in der Chemie an unserer Universität



(1) Fusion von Atomkernen: a) In der Sonne werden durch Fusion von zwei Wasserstoffatomkernen zu Helium gewaltige Mengen Energie erzeugt. b) Die gleiche Reaktion soll auf der Erde in sogenannten Fusionsreaktoren zur Energiegewinnung genutzt werden. Dabei soll das Sonnenfeuer in torusförmigen Magnetfeldern eingeschlossen werden. Gezeigt ist der Blick ins Innere einer solchen Fusionskammer. c) Die Fusionsreaktion, die dabei genutzt werden soll, ähnelt der Reaktion in der Sonne. Ein Deuterium- und ein Tritiumkern verschmelzen zu einem Heliumkern, wobei gleichzeitig ein Neutron und eine beträchtliche Energiemenge freigesetzt werden.

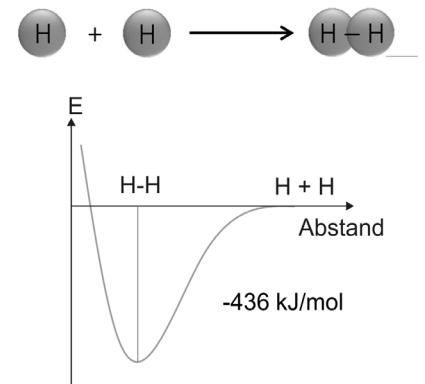
Quellen: eigene Darstellungen und dpa, zusammengesetzt von Carsten Schmuck

eindeutig positiv belegt. Das ist nicht zwangsläufig selbstverständlich. Als Chemiker fällt einem beim Stichwort „Fusion“ zuerst einmal die im Jahre 1989 als Sensation verkündete „Kalte Kernfusion“ ein. Zwei Elektrochemiker aus den USA hatten damals berichtet, dass sie in einer einfachen Elektrolysezelle, wie sie im Prinzip in jedem Labor betrieben werden kann, die Verschmelzung von zwei Wasserstoffatomkernen (genauer gesagt zwischen einem Deuterium- und einem Tritiumkern, zwei schweren Brüdern des normalen „leichten“ Wasserstoffatomkerns, des Protons) zu einem Heliumatomkern beobachtet hätten (Abb. 1c). Die gleiche Reaktion ist für das Feuer der Sonne verantwortlich (Abb. 1a). Bei einer solchen Verschmelzung (= Fusion) von zwei kleinen Atomkernen zu einem neuen, größeren Atomkern werden riesige Energiemengen freigesetzt. Entsprechend groß war die Medienaufmerksamkeit. Die Lösung all unserer Energieprobleme schien zum Greifen nahe. Entsprechend groß war dann auch die Enttäu-

schung (nicht nur in der Fachwelt), als sich bereits vier Wochen später herausstellte, dass die Ergebnisse von anderen Laboren nicht reproduziert werden konnten; der Todesstoß für jedes wissenschaftliche Ergebnis. Denn die Reproduzierbarkeit durch unabhängige Experten ist die Prüfung, die jede neue wissenschaftliche Erkenntnis bestehen muss. Trotz zahlreicher Versuche und Experimente, die seitdem weltweit immer wieder unternommen wurden, auch im Auftrag einer extra eingesetzten Kommission der amerikanischen Regierung, bleibt die Hoffnung auf eine Kalte Fusion bis heute ein unerfüllter Wunschtraum der Menschheit. Lediglich in Hollywood-Blockbustern, die sich mit solchen Themen beschäftigen, gelingt am Ende die rückstandsfreie Erzeugung von Energie quasi aus dem Nichts heraus. Leider ist die reale Wissenschaft oft sehr viel komplizierter als das Kino.

Die Energiegewinnung durch Fusion wird aber nach wie vor weltweit mit riesigem Aufwand

erforscht, allerdings als heiße Fusion in riesigen Reaktoren, bei denen das Feuer der Sonne auf der Erde durch ultrastarke Magnete gebändigt und kontrolliert werden soll (Abb. 1b). Seit 2009 wird beispielweise in Südfrankreich von einem internationalen Konsortium, an dem auch Deutschland beteiligt ist, der so genannte ITER-Kernfusionsreaktor (*international thermonuclear experimental reactor*) gebaut (geschätzte Baukosten ca. 6–7 Mrd. Euro). Die Inbetriebnahme ist für das Jahr 2020 geplant. Bisher war aber für jede Kernfusion im Labor mehr Energie für das Erzeugen und Kontrollieren des Fusionsplasmas notwendig, als bei der eigentlichen Kernverschmelzung dann wieder frei wurde. Von einer selbsterhaltenen Kernreaktion, die kontinuierlich Energie liefert, sind wir also weit entfernt (mal von allen praktischen und technischen Problemen abgesehen, wie man z.B. ein ca. 100 Millionen Grad heißes Plasma, das für die Fusion benötigt wird, dauerhaft erzeugt und in einem Reaktor durch Magnetfelder sicher



(2) Fusion von Atomen: Bei der Fusion von Atomen zu Molekülen unter Bildung einer kovalenten Atombindung, hier gezeigt am Beispiel der Bildung eines H_2 -Moleküls aus zwei H-Atomen, wird ebenfalls Energie frei, aber weitaus weniger als bei der Fusion von Atomkernen. In der Chemie spricht man aber eher von Verknüpfung (Synthese) als von Verschmelzung (Fusion). Das Bilden und Brechen von kovalenten Atombindungen, also die chemische Synthese, steht im Mittelpunkt der Chemie als präparativer Naturwissenschaft.

Quelle: eigene Darstellung

einschließt). Welche unbändigen Energiemengen bei einer Kernfusion frei werden und wie schwierig diese Reaktionen letztendlich zu kontrollieren sind, wurde der Menschheit bei der Zündung der ersten Wasserstoffbombe am 1. November 1952 im Bikini-Atoll in der Südsee auf unrühmliche Weise vor Augen geführt.

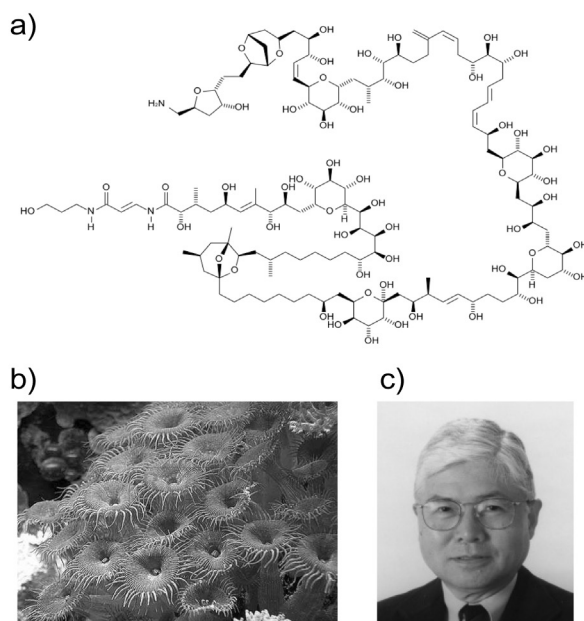
Aber nicht nur Atomkerne können miteinander „fusionieren“, sondern auch ganze Atome (Abb. 2). Dabei entstehen dann Moleküle, die durch eine kovalente Atombindung zusammengehalten werden. Auch bei diesem Vorgang wird Energie frei, aber sehr viel weniger als bei einer Kernfusion. So wird zum Beispiel bei der Bildung eines H_2 -Wasserstoffmoleküls aus zwei Wasserstoffatome ($2 H \rightarrow H_2$), der einfachsten chemischen Reaktion, eine Energiemenge von 436 kJ/mol frei (zum Vergleich: bei der Kernfusion von zwei Wasserstoffatomkernen zu einem Heliumatomkern wird eine ca. 10^{15} -mal größere Energiemenge freigesetzt). Das Bilden und Brechen von solchen kovalenten Atombindungen wie im H_2 -Molekül ist das Kerngeschäft der Chemikerinnen und Chemiker. Aus Atomen werden so Moleküle, aus kleinen Molekülen werden große Moleküle oder Moleküle werden gezielt umgebaut, indem beispielsweise einzelne Atome oder Atomgruppen (sog. funktionelle Gruppen) von einem Molekülgerüst abgespalten und durch andere Atomgruppen ersetzt werden. Wir sprechen dann aber nicht von Fusion, sondern von Synthese, also nicht von „Verschmelzen“ (der Begriff ist in den Naturwissenschaften nun einmal für Atomkerne reserviert) sondern vom „Verknüpfen“ von Atomen.

Synthese von Molekülen

Die Chemie ist per Definition die Naturwissenschaft, die sich mit dem Aufbau, den Eigenschaften und vor allem aber eben der gegenseitigen Umwandlung von Stoffen

beschäftigt. Damit spielt die Synthese von Molekülen eine elementare Rolle innerhalb der Chemie. Nur die Chemie ist als einzige Naturwissenschaft in der Lage, die uns umgebende Materie auf molekularer Ebene gezielt zu verändern und damit neue Stoffe mit neuen Eigenschaften zu erzeugen. Derzeit sind ungefähr 60 Millionen unterschiedliche chemische Verbindungen bekannt und jeden Tag kommen durch die Arbeit der Chemikerinnen und Chemiker weltweit Hunderttausende neu hinzu. Unsere Gesellschaft wäre ohne die Errungenschaften der modernen Chemie nicht denkbar: Kunststoffe, Farben, Lacke, Arzneistoffe, Textilien, Batterien, Brennstoffzellen, LCD-Bildschirme sind nur einige Beispiele für die Allgegenwart der Chemie in unserem täglichen Leben. Und bei der Herstellung dieser und anderer Produkte und Werkstoffe spielt die chemische Synthese, also das Verknüpfen von Atomen und Atomgruppen zu Molekülen, eine entscheidende Rolle. Seit dem Aufkommen der moder-

nen Naturwissenschaften Ende des 19. beziehungsweise Anfang des 20. Jahrhunderts sind unser Wissen und Verständnis in diesem Bereich enorm gewachsen. Auch wenn die Synthese eines komplexen Naturstoffs wie zu dem aus einer Koralle isolierten Palytoxin (Abb. 3) nach wie vor eine Herkulesaufgabe sein kann, so ist die chemische Synthesekunst (also das Fusionieren von Atomen und Atomgruppen miteinander zu Molekülen) mittlerweile so weit entwickelt, dass wir im Prinzip jedes (stabile) Molekül im Labor herstellen können. Es ist letztendlich eine Frage des Aufwandes. An der Synthese von Palytoxin hat zum Beispiel ein Team von zehn bis zwanzig Wissenschaftlern etwa zehn Jahre lang gearbeitet, bis endlich im Jahre 1994 einige Milligramm der Substanz hergestellt waren: bis heute eine Meisterleistung auf dem Gebiet der chemischen Synthese. Die große Herausforderung beim Palytoxin ist, dass es aufgrund seiner besonderen Struktur in über 10^{21} so genannten stereoisomeren Formen vorkommen



(3) (a) Der Naturstoff Palytoxin gilt als das komplizierteste chemische Molekül, das bisher im Labor synthetisiert wurde. b) Es findet sich in Korallen, von denen es als Gift zum Schutz vor Fressfeinden eingesetzt wird. c) Die erfolgreiche Synthese, die etwa 10 Jahre in Anspruch nahm, gelang dem US-amerikanischen Chemiker Yoshito Kishi von der Harvard-Universität zusammen mit einem Team von 10 bis 20 Wissenschaftlern.

Quellen: eigene Darstellungen, Wikipedia, zusammengesetzt von Carsten Schmuck

kann. Dies sind unterschiedliche Verbindungen, in denen die Atome im Molekül zwar in der gleichen Art und Weise miteinander verknüpft sind, die einzelnen Verbindungen unterscheiden sich aber in der genauen dreidimensionalen Anordnung der Atome im Raum. Das bekannteste Beispiel für ein solches Phänomen, das jeder mit sich herum trägt, sind unsere beiden Hände. Sie sind genau gleich aufgebaut, die Abfolge der Finger ist identisch, aber sie sind nicht deckungsgleich, sondern Spiegelbilder voneinander. Dass linke und rechte Hand tatsächlich nicht gleich, sondern verschieden sind, bemerkt man sofort, wenn man einmal seinem Gegenüber die falsche Hand zum Handschlag reicht. Beim Palytoxin ist die Situation unendlich viel komplizierter und die große Herausforderung und Leistung der Synthese, die übrigens von Professor Yoshito Kishi und seinem Team an der Harvard-Universität in den USA bewältigt wurde, lag darin, genau das eine einzige Stereoisomer gezielt herzustellen, das auch in der Natur vorkommt; schwierig, extrem aufwändig aber eben machbar. Fairerweise sollte man hinzufügen, dass eine solche Synthese natürlich keinerlei wirtschaftliche oder praktische Bedeutung hat und auch niemals haben wird. Bei solchen Forschungsprojekten geht es darum zu zeigen, dass die Synthese eines solchen komplexen Moleküls prinzipiell möglich ist.

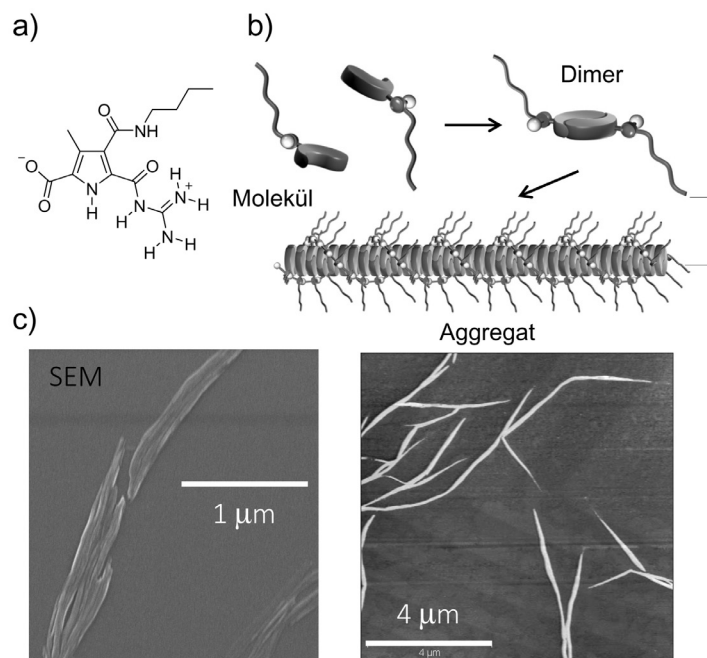
Aggregation von Molekülen

In der Chemie fusionieren also Atomkerne miteinander zu neuen Atomkernen oder ganze Atome zu Molekülen. Ist damit das Ende der Fusion in der Chemie erreicht? Mitnichten, auch ganze Moleküle können miteinander fusionieren und Aggregate bilden, die von einigen wenigen Nanometern ($= 10^{-9}$ m, der Dimension der Moleküle) bis in den makroskopischen Bereich reichen können (Abb. 4). Die Fusion von Molekülen zu solchen größeren

Aggregaten nennt man in der Chemie Selbstassemblierung. Sie gehört zum Teilgebiet der Supramolekularen Chemie (supramolekular = über ein einzelnes Molekül hinausgehend). Und damit ist die Fusion wieder an unserer Fakultät angekommen, denn die supramolekulare Chemie ist einer der großen Forschungsschwerpunkte unserer Fakultät hier an der Universität Duisburg-Essen. Die Moleküle in supramolekularen Aggregaten werden durch sogenannte nichtkovalente Wechselwirkungen zusammengehalten, wie beispielsweise Wasserstoffbrücken, Salzbrücken oder van der Waals-Wechselwirkungen. Diese Wechselwirkungen sind sehr viel schwächer als die kovalenten Atombindungen, die die Atome in den Molekülen selbst aneinander binden. Nichtkovalente Wechselwirkungen sind häufig nur wenige kJ/mol stark, während eine typische Atombindung einige Hundert kJ/mol Bindungsenergie aufweist. Man braucht daher

in der Regel viele solcher schwachen Wechselwirkungen gleichzeitig, um ein stabiles selbstassembliertes Aggregat zu bilden. Man spricht vom so genannten „Gulliver-Effekt“ in Anlehnung an die gleichnamige Erzählung von Jonathan Swift, bei der Gulliver im Lande Liliput von den dort lebenden winzigen Menschen, auf die er wie ein Riese wirkte, trotzdem durch eine Vielzahl dünner und damit schwacher Seile gefesselt werden konnte. Jedes einzelne Seil allein wäre zu dünn gewesen, um Gulliver zu binden, aber gegen Hunderte solcher Seile konnte selbst der Riese Gulliver nichts ausrichten.

Die geringe Stärke der in der supramolekularen Chemie dominierenden nichtkovalenten Wechselwirkungen ist Segen und Fluch zu gleich. Einerseits ist es nach wie vor schwierig bis unmöglich, genau vorherzusagen, welche Aggregate mit welchen Strukturen sich genau durch die Fusion von Molekülen bilden werden. Hierzu ist



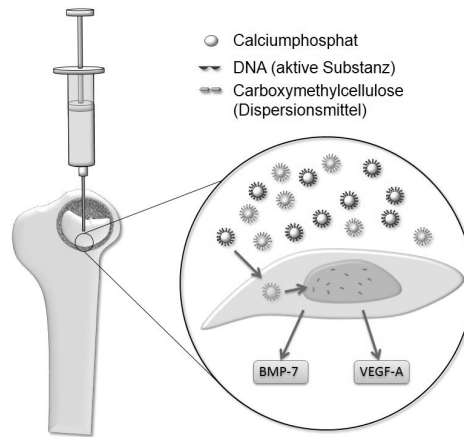
(4) Die Fusion von Molekülen führt zu supramolekularen Aggregaten. a) Das gezeigte Molekül weist gleichzeitig sowohl eine positive wie auch eine negative Ladung auf. Es handelt sich um ein selbstkomplementäres Zwitterion. b) Dieses bildet in Lösung stabile scheibenförmige Dimere. Viele solcher planaren Dimere stapeln sich dann wie Teller übereinander und bilden lange supramolekulare Fasern; ein Prozess, den man als Selbstassemblierung bezeichnet. c) Diese Fasern werden bis zu einigen Mikrometern lang und können durch Elektronenmikroskopie (links) oder Rasterkraftmikroskopie (rechts) beobachtet werden.

Quelle: eigene Darstellung

noch viel Grundlagenforschung zum besseren Verständnis solcher molekularer Fusionsprozesse nötig (und auch solche Forschung wird an unserer Fakultät intensiv sowohl experimentell als auch mit Hilfe theoretischer Computerberechnungen betrieben). Andererseits können nichtkovalente Wechselwirkungen, eben weil sie so schwach sind, auch von außen beeinflusst werden. Die Aggregate „merken“, was um sie herum passiert, und können darauf reagieren. So kann beispielsweise eine Veränderung der Temperatur um wenige Zehn Grad oder des pH-Werts durch die Zugabe geringer Mengen Säure oder Base die Form oder Größe eines supramolekularen Aggregats komplett verändern. Aus Röhren werden Kugeln oder es findet ein kompletter Zerfall der Aggregate wieder in die einzelnen Moleküle statt. Anders als die Aggregate bleiben die Moleküle selbst von solchen Änderungen in ihrer Umgebung in der Regel völlig unbeeindruckt. Sie muss man schon auf mehrere Hundert Grad erhitzen, um die Moleküle auseinander zu brechen. Wenn ein Material einmal und für immer eine bestimmte Eigenschaft haben soll, ist eine solche Stabilität erwünscht. Aber wenn es darum geht, dass ein Material seine Eigenschaften variabel ändern und an die Umgebung anpassen kann, dann kommt man mit einzelnen Molekülen alleine nicht weiter. Für so genannte „responsive Funktionsmaterialien“ greift man daher besser auf selbstassemblierte, supramolekulare Materialien zurück, die eben auch an unserer Fakultät derzeit intensiv erforscht werden. Und die möglichen Anwendungen sind dabei viel breiter und vielseitiger als das immer wieder in diesem Zusammenhang zitierte Beispiel des selbstheilenden Autolacks, der Kratzer selbsttätig verschwinden lässt.

Nanokugeln für die Biomedizin

Wissenschaftler unserer Fakultät beschäftigen sich damit, wie sich anorganische Materialien wie Calciumphosphat (aus dem übrigens auch



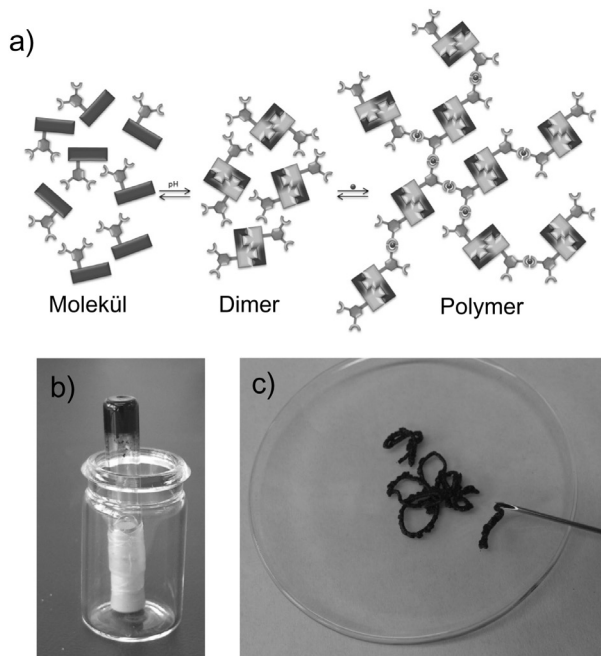
(5) Eine Paste aus Calciumphosphat-Nanopartikeln, die mit Carboxymethylcellulose und DNA umhüllt sind, wird in den Knochen eingebracht. Die Nanopartikel werden von Zellen aufgenommen und bringen die Zellen dazu, ein knochenwachstumsförderndes Protein (BMP-7) und ein Protein (VEGF-A), das die Adernbildung stimuliert, zu synthetisieren. Dadurch wird die Knochenheilung beschleunigt.
Quelle: Matthias Epple

unsere Knochen bestehen) spontan zu Nanopartikeln, also kompakten Kugeln, mit bis zu einigen Hundert Nanometern Größe zusammenlagern. Solche Nanopartikel haben ganz spannende Eigenschaften und können genutzt werden, um andere Moleküle wie Krebsmedikamente oder auch ganze Gene über eine Zellmembran hinweg in eine lebende Zelle einzuschleusen. Solche Transportvorgänge sind für die moderne Biomedizinische Forschung sehr wichtig, da viele Moleküle nicht in der Lage sind, von sich aus über eine Zellmembran hinweg zu gelangen. Die Membranen stellen für sie undurchdringliche Barrieren dar. Das ist auch von der Natur so beabsichtigt, denn dadurch sollen die Zellen vor der schädlichen Einwirkung von Fremdstoffen geschützt werden. Für die Gentherapie oder die Tumorbekämpfung ist es aber wichtig, über Methoden zu verfügen, mit denen Moleküle gezielt in eine Zelle hineingebracht werden können. Calciumphosphat-Nanopartikel sind ein vielversprechendes Transportsystem, das in diesem Zusammenhang bei uns intensiv zusammen mit Arbeitsgruppen aus der Medizin und Biologie erforscht wird. Eine „Nanopaste“ aus solchen selbstassemblierten Partikeln, die zusätz-

lich noch mit einem speziellen Gen modifiziert sind, scheint übrigens auch im Körper das Knochenwachstum anzuregen und könnte damit helfen, Osteoporose oder Knochenverletzungen zu heilen (Abb. 5); wie gesagt, unsere Knochen bestehen aus dem gleichen Material wie diese Nanopartikel.

Maßgeschneiderte molekulare Pinzetten

Die künstliche Gentransfektion steht auch bei anderen Forschungsarbeiten an unserer Fakultät im Mittelpunkt. In einer Arbeitsgruppe synthetisieren die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler maßgeschneiderte zweiarmige molekulare Pinzetten, die mit hoher Affinität an Nukleinsäuren binden. Da man auch heute noch schlecht vorhersehen kann, welche genaue molekulare Struktur diese Pinzetten haben müssen, um möglichst effektiv an eine Nukleinsäure zu binden, verwenden die Wissenschaftler ein Verfahren, das als so genannte Kombinatorische Chemie bezeichnet wird. Dabei wird nach einer speziellen Methode eine Bibliothek von etwa 200 sehr ähnlichen Pinzetten-Molekülen hergestellt, die dann in einem Schnelltest auf ihre Bindungseigen-



(6) a) Die Fusion von Molekülen zu dreidimensionalen Netzwerken kann zur Bildung von supramolekularen Gelen führen; b) Lösungen dieser Substanzen werden ab einer bestimmten Konzentration fest und bilden ein stabiles Gel. Dann kann man das Reagenzglas umdrehen, ohne dass das Gel herunterfließt; c) Da das Gel aber nur durch schwache nichtkovalente Wechselwirkungen zusammengehalten wird, lässt es sich zum Beispiel durch eine Spritze drücken. Unter dem Druck in der Spritze verflüssigt sich das Gel. Die Lösung wird aber beim Austritt aus der Nadel sofort wieder fest.

Quelle: eigene Darstellung

schaften an eine Nukleinsäure überprüft werden. So kann man mit relativ wenig Aufwand schnell und zielstrebig Moleküle mit den gewünschten Eigenschaften finden. Die Herausforderung liegt darin, dass man bereits einiges über die Art und Weise der Wechselwirkung der Pinzetten mit der Nukleinsäure wissen muss, um die Zusammensetzung der Bibliothek gezielt darauf abstimmen zu können. Wir sprechen in diesem Zusammenhang von der molekularen Erkennung der Nukleinsäure durch die Pinzettenmoleküle. Ich muss also in etwa bereits wissen, oder zumindest eine grobe Vorstellung davon haben, wie die Moleküle an die Nukleinsäure binden und welche nichtkovalenten Wechselwirkungen dabei eine Rolle spielen. Dann kann ich eine entsprechende Bibliothek generieren und die Chance, beim Testen eine aktive Verbindung zu finden, ist relativ hoch. Etwas anders formuliert, wenn ich für meinen Fuß einen neuen Schuh suche, macht

es wenig Sinn, Handschuhe auszuprobieren, sondern ich sollte mich auf Schuhe mit etwa der richtigen Größe fokussieren. Dann werde ich auch recht schnell einen passenden Schuh für mich finden. Mit einem solchen kombinatorischen Verfahren haben unsere Chemikerinnen und Chemiker in Zusammenarbeit mit einer Arbeitsgruppe aus der Biologie soeben eine völlig neue Art von künstlichen Gentransfektionsvektoren entdeckt. So nennt man Moleküle, die in der Lage sind, genetisches Material (also Nukleinsäuren wie die DNA) in eine lebende Zelle hinein zu transportieren.

Bei dieser Gentransfektion spielt übrigens wieder eine Fusion eine wichtige Rolle. Zuerst binden die Pinzettenmoleküle nämlich an die DNA und bilden große selbstassemblierte Nanopartikel. Wenn diese Nanopartikel an eine Zelle andocken, kommt es zu einer endosomalen Aufnahme. Dabei werden die Partikel durch die Zellmembran

umhüllt und als Kapseln ins Zellinnere aufgenommen. Normalerweise werden dann alle Stoffe, die sich in so einer Kapsel befinden (Endosom genannt) chemisch zersetzt und abgebaut. Dieses Schicksal würde auch den aufgenommenen Nanopartikeln aus DNA und den molekularen Pinzetten bevorstehen, wenn nicht die Pinzettenmoleküle in der Lage wären, mit der Membran der Endosomen zu „verschmelzen“ (da haben wir wieder die Fusion). Dadurch werden diese Membranen so destabilisiert, dass die Kapseln löcherig werden und die eingeschlossene Nukleinsäure freigesetzt werden kann, bevor sie chemisch abgebaut wird. Die DNA wandert dann in der Zelle bis in den Zellkern und kann dort abgelesen und zur Produktion von Proteinen genutzt werden. Eine erfolgreiche Gentransfektion kann man sehr schön dadurch nachweisen, dass man ein Gen einschleust, das für ein grünleuchtendes Protein codiert. Die Zellen fangen dann bei Betrachtung im UV-Licht grün an zu leuchten, was sich leicht im Experiment beobachten lässt. Zwar sind auch hier noch viele Schritte und Herausforderungen bis zu einer möglichen Anwendung zu meistern, aber die bisherigen Untersuchungen sind vielversprechend. Die neuen Transfektionsvektoren scheinen mindestens ebenso effizient zu sein wie die derzeit in der Molekularbiologie verwendeten Transfektionssysteme wie Lipofectamin® oder PEI (Polyethylenimin), die aus komplexen Mischungen verschiedener Polymere und Lipide bestehen und leider relativ cytotoxisch sind. Die an unserer Fakultät entwickelten Moleküle sind sehr viel kleiner, einfacher und schneller zu synthetisieren und sie sind so gut wie gar nicht cytotoxisch.

Supramolekulare Gele

Als letztes Beispiel erfolgreicher Fusionen an unserer Fakultät soll die Bildung eines supramolekularen Gels dienen. Wir alle kennen Gele aus

dem täglichen Leben. Jeder wird sich sicherlich an den Wackelpudding erinnern, den man als Kind gerne gegessen hat. Solche Gele bestehen aus langen kovalenten Polymeren, also fadenartigen Makromolekülen, in denen viele tausend Atome miteinander verknüpft sind. In der Gelatine ist dies das Protein Kollagen. Ein einzelnes Kollagenmolekül kann bis zu 0,5 µm lang sein (für Moleküle eine riesige Länge). Diese langen Molekülfäden bilden, ähnlich wie ein Knäuel Spaghetti, in Lösung ein verknüftes Netzwerk. Das Besondere an einem Gel ist, das anders als bei den Spaghetti, sich in die Hohlräume des Netzwerkes nun Wassermoleküle einlagern und dort gebunden werden. Dadurch entsteht letztendlich eine Art „fester Lösung“, eben ein Gel. Durch Erwärmen kann das feste Gel wieder aufgebrochen werden. Deshalb löst man Gelatine zuerst in der Wärme in der Flüssigkeit auf, die man gelieren möchte. Beim Abkühlen bildet sich dann der feste Gelzustand. Was hat nun ein Wackelpudding mit der Forschung an unserer Fakultät zu tun? Einer Arbeitsgruppe an unserer Fakultät ist es gelungen, erstmals ein stabiles makroskopisches Gel herzustellen, das nicht bereits wie die Gelatine aus einem schon vorgefertigten Polymer besteht, sondern bei dem sich ein kleines Molekül zuerst durch Selbstassemblierung zu den langen kettenförmigen Aggregaten zusammenlagern muss, die für eine Gelbildung nötig sind. Diese supramolekularen Fäden, die aus vielen Hundert einzelnen Molekülen entstehen, bilden sich zudem nur unter ganz speziellen Bedingungen, nämlich wenn die Lösung weder zu sauer noch zu basisch ist und wenn gleichzeitig Metallkationen wie Eisen(III)-Ionen in der Lösung vorliegen. Die Gelbildung ist somit in mehrfacher Art und Weise schaltbar (man spricht von einem multi-responsiven supramolekularen Gel). Gibt man etwas Säure oder Base zu, wird aus dem festen Gel sofort eine flüssige Lösung. Den gleichen Effekt hat die

Wegnahme des Eisen(III)-Kations. Gibt man dieses dann wieder erneut hinzu, erstarrt die Lösung sofort wieder zu einem festen Gel. Aber auch die klassische Temperaturerhöhung funktioniert genau wie bei der Gelatine. In der Wärme wird das Gel flüssig, beim Abkühlen wieder fest. Das Gel ist zudem mechanisch erstaunlich stabil, auch wenn es durch die Selbstassemblierung von einzelnen Molekülen entsteht, die wie immer in der supramolekularen Chemie nur durch schwache nichtkovalente Wechselwirkungen zusammen gehalten werden und nicht durch starke kovalente Atombindungen wie das Kollagen in der Gelatine.

Schluss

Fusionen spielen also in der Chemie eine vielfältige Rolle. Von der Fusion von Atomkernen sollte man zwar besser die Finger lassen. Die Fusion von Atomen zu Molekülen ist hingegen unser tägliches Brot, denn ohne die Synthese neuer Moleküle geht in der Chemie wenig bis gar nichts. Und die Fusion von Molekülen zu supramolekularen Aggregaten kann zu neuen Materialien mit interessanten und spannenden Eigenschaften führen. Kein Wunder, dass sich unsere Chemikerinnen und Chemiker mit solchen Themen beschäftigen; wir sind eben nicht erst seit der Fusion unserer Universitäten ausgewiesene Experten auf diesem Gebiet.

Summary

Fusion happens everywhere in Chemistry, even though the term “fusion” in natural sciences is used to describe the reaction of two atomic nuclei to form a new, heavier atom accompanied by the release of energy. This type of fusion has been the subject of facts and fictions as it is considered by some to provide

a possible solution to our energy problems. But also atoms or groups of atoms can fuse to form a molecule in which the atoms are held together by a covalent chemical bond. This type of fusion is the bread and butter business of chemists: The synthesis of molecules by the manipulation of chemical bonds. Furthermore, whole molecules can fuse to form aggregates. Within these aggregates the individual molecules are held together by very weak non-covalent interactions which can be easily broken also by changes in the surrounding. This allows such materials to respond to their environment, to sense changes and to adapt their properties to these changes. This is called supramolecular chemistry, one of the main research areas of the faculty of chemistry at our university. And supramolecular materials are promising for future applications as so called smart materials which one day might change our everyday lives.

Der Autor

Carsten Schmuck studierte Chemie an der Ruhr-Universität Bochum und promovierte dort im Jahre 1994 bei Prof. Wolfgang R. Roth mit einer physikalisch-organischen Arbeit zur Gasphasenstabilität organischer Radikale. Anschließend ging er für zwei Jahre als Postdoktorand an die Columbia Universität in New York, um sich bei Prof. Ron Breslow mit bioorganischen Arbeiten zu Enzymmodellen und unnatürlichen Nukleinsäuren zu beschäftigen. Während der Habilitation an der Universität zu Köln, die 2001 abgeschlossen wurde, begann er sich für die supramolekulare Chemie zu interessieren und entwickelte neue Bindungsmotive zur molekularen Erkennung von Anionen in wässriger Lösung. Von 2002 bis 2008 war er Professor für Organische Chemie an der Universität Würzburg, bevor er im Sommer 2008 den Lehrstuhl 2 für Organische Chemie an der Universität Duisburg-Essen übernahm. Seine Arbeitsgruppe beschäftigt sich mit der molekularen Erkennung von Biomolekülen, dem Studium nichtkovalenter Wechselwirkungen sowie der Bildung von schaltbaren Nanostrukturen und supramolekularer Polymere. Er ist Dekan der Fakultät für Chemie.

DuEPublico

Duisburg-Essen Publications online

UNIVERSITÄT
DUISBURG
ESSEN

Offen im Denken

ub | universitäts
bibliothek

Dieser Text wird über DuEPublico, dem Dokumenten- und Publikationsserver der Universität Duisburg-Essen, zur Verfügung gestellt. Die hier veröffentlichte Version der E-Publikation kann von einer eventuell ebenfalls veröffentlichten Verlagsversion abweichen.

DOI: 10.17185/duepublico/70498

URN: urn:nbn:de:hbz:464-20190823-092638-8

Erschienen in: UNIKATE 45 (2014), S. 10-17

Alle Rechte vorbehalten.