

„Blut geleckt?“

Wie wär's mit einem Probestudium? Oder lieber gleich durchstarten?

Mehr Infos gibt's hier:

**Informationen zum Probestudium für Schüler
der Jahrgangsstufen 11 bis 13:**

Prof. Dr. K. Stachelscheid
Tel. 0201 / 183 - 39 86, EMail: Karin.Stachelscheid@uni-duisburg-essen.de

Studienberatung Lehramt:

Prof. Dr. K. Stachelscheid
Tel. 0201 / 183 - 39 86, EMail: Karin.Stachelscheid@uni-duisburg-essen.de

Studienberatung Chemie:

Prof. Dr. M. Ulbricht
Tel. 0201 / 183 - 31 51, EMail: Mathias.Ulbricht@uni-duisburg-essen.de

Prof. Dr. H. W. Siesler

Tel. 0201 / 183 - 29 27, EMail: HW.Siesler@uni-duisburg-essen.de

Studienberatung „Wasser“:

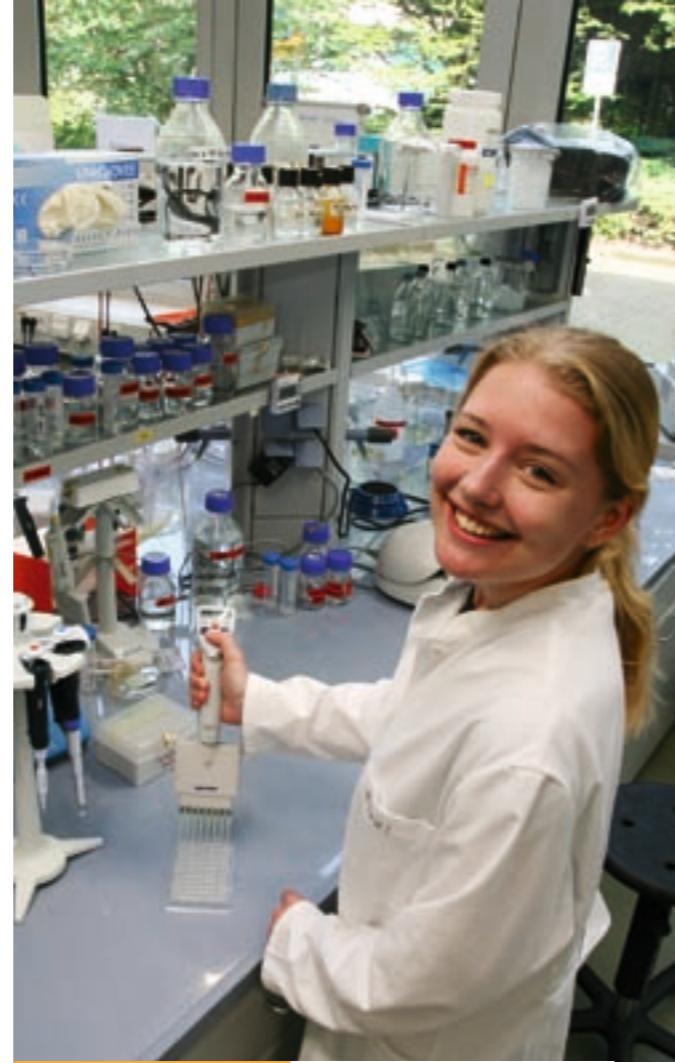
Prof. Dr. Heinz-Martin Kuß
Tel. 0203 / 379 - 25 33, EMail: Kuss@lims.uni-duisburg.de

Foreign students get information here:

Prof. Dr. G. Jansen
Tel. 0201 / 183 - 44 21, EMail: Georg.Jansen@uni-duisburg-essen.de

Oder direkt auf der Homepage der Universität Duisburg-Essen:

<http://www.uni-duisburg-essen.de/>



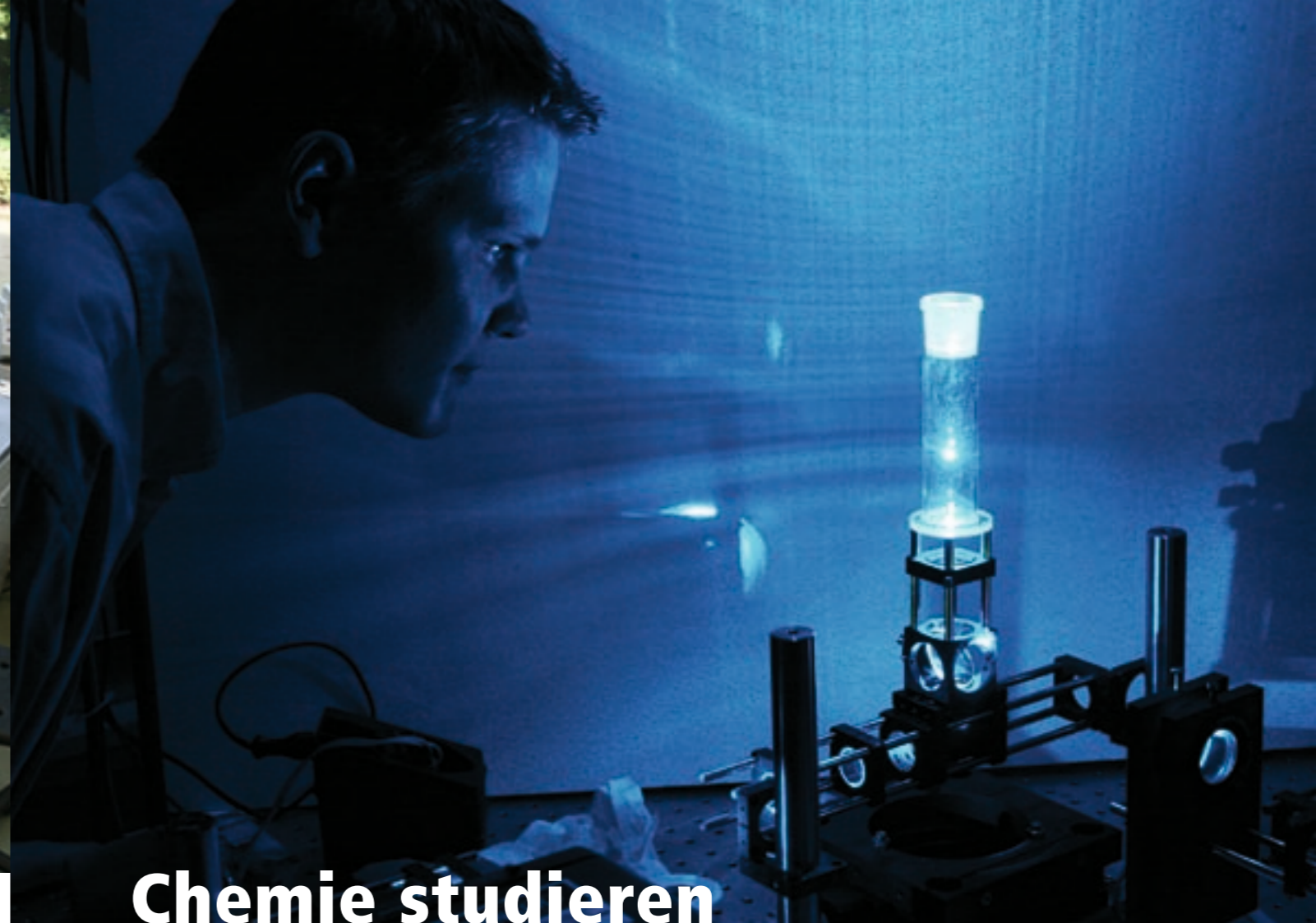
CAMPUS ESSEN
Universitätsstraße 2, 45141 Essen



CAMPUS DUISBURG, M., L und S



Mohrmer Straße/Lahnstraße, 41277 Duisburg



Chemie studieren in Essen und Duisburg:

Neue Werkstoffe

Medizin

Molekülphysik

Wasserwirtschaft

Nanotechnik

Mikrobiologie

Klimaforschung

Informatik

Unterricht

Energiegewinnung

Pharmazie

Spurenanalyse

Kunststoffe

Umweltschutz

Prozesskontrolle

„Willkommen
in der vernetzten
Welt!“

Die Welt verstehen – ohne Chemie? Geht nicht. Im Gegenteil: Wer den Dingen auf den Grund gehen will, stößt irgendwann auf die Wissenschaft, die sich mit den Bausteinen jeder Substanz im Detail auseinandersetzt. Zwangsläufig. Überall. Denn unsere gesamte sichtbare Welt ist nun einmal aus Atomen und Molekülen aufgebaut.



Wissenschaft für eine vernetzte Welt!

Das bedeutet: Hinter dem Begriff „Chemie“ steckt viel mehr als Kunststoffe herzustellen und Pharmazeutika zu synthetisieren. Denn die Chemie ist auch die Basis für das Verständnis ganz anderer Dinge: etwa der „Sprache“ von Mikroben oder des Klimawandels.

Durch das weite Feld, das man mit Hilfe dieser Wissenschaft überblicken kann, lebt die moderne Chemie heute schon lange nicht mehr „für sich“. Sie wächst ganz besonders durch die Zusammenarbeit und den lebendigen Austausch mit anderen Disziplinen wie der Biologie, der Physik, der Mathematik, der Informatik, der Medizin, den Geowissenschaften.

„Lernen, ohne Scheuklappen zu denken“

Deshalb lohnt sich ein Chemiestudium an der Universität Duisburg-Essen.

Denn diese Universität ist erst vor kurzem aus der Fusion der für sich bereits renommierten Universitäten Duisburg und Essen hervorgegangen. Durch diese Zusammenlegung ist im westlichen Ruhrgebiet nicht nur einer der größten Chemie-Fachbereiche der Bundesrepublik entstanden. Sondern auch einer der vielseitigsten, facettenreichsten. Die Arbeitsgruppen, die hier forschen und lehren, sind nicht nur auf so unterschiedlichen Feldern wie Edelgaschemie, Werkstoffkunde, Prozesskontrolle, Didaktik, Katalysator- und Genomforschung zu Hause – um nur einige Beispiele zu nennen. Sondern auch untereinander und international verknüpft und bestens in hochkarätige Forschungsnetzwerke eingebunden. Und vor allem: Ohne Scheuklappen, wenn es um fächerübergreifende Forschung geht.

So werden bei uns Substanzen, die für die moderne Medizin von Interesse sein könnten, nicht nur synthetisiert – sondern am Klinikum Essen auch gleich auf ihre Wirksamkeit untersucht. Nanometergroße Calciumphosphat-Partikel, nach einem aufwändigen Verfahren in der Anorganischen Chemie hergestellt, helfen mit, Knochenbrüche oder Schädelverletzungen zu heilen. Mikrobiologen unseres Fachbereichs untersuchen nicht nur die Stoffwechselprodukte einzelner Organismen, sondern gleich die Genome ganzer Lebensgemeinschaften. Die bemerkenswerte Arbeitsteilung, die man in Biofilmen – regelrechten Bakterien-Städten – nach und nach aufdeckt, könnte die Chemieindustrie revolutionieren. Kann man Bakterien zur Metallgewinnung nutzen? Wie erschließt man bisher ungenutzte Erdgasvorräte – sogenannte Gashydrate? In Duisburg und Essen wird daran geforscht.

Fest steht: Ob in der Nanotechnologie, der Biochemie, den Material- oder den Bildungswissenschaften: Die interessantesten Entwicklungen finden heute in Teams statt, die über den Tellerrand ihres Forschungsgebiets gucken. Und um die Ecke denken können. Genau das wird auch von Arbeitgebern heute gefordert. Und genau das können Sie an der Uni Duisburg-Essen lernen.

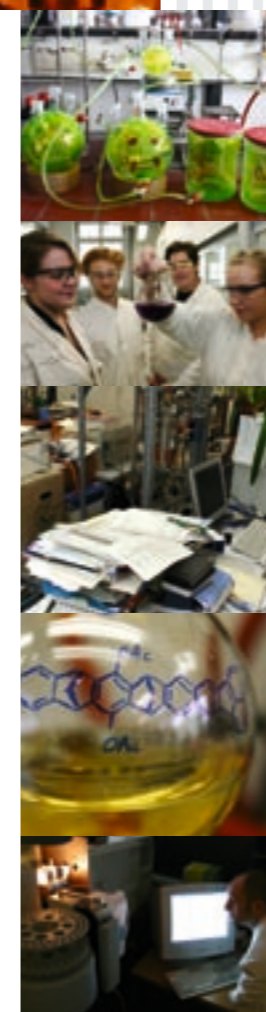
„Die Zukunft der Chemie liegt in den Händen von Teams, die über Fachgrenzen hinweg zusammenarbeiten“

Überzeugen Sie sich davon auf den folgenden Seiten!

Ihr Chemie-Hochschul-Team der Uni Duisburg-Essen

Inhalt

- 2 Der Himmel – ein Chemielabor** Was hat Schwefelsäure mit dem Weltklima zu tun?
- 5 In den Tiefen der Oberfläche** Gold im Argonhagel – und ein Effekt, den niemand auf der Rechnung hatte
- 8 Wie angelt man Moleküle?** Was man mit porösen Folien anfangen kann
- 10 Die Regelbrecher** Edelgase sind sich nicht zu fein, um interessante Verbindungen einzugehen
- 12 Moleküle hinter Gittern** Die Welt der Kristalle – eine Kiste voller Puzzles
- 13 Feuer und Flamme für die Chemie** In der Industrie ist alles ein bisschen größer als im Labor...
- 15 Immer auf Nummer Sicher** Nicht gefährlicher als Fräsen an der Drehbank: Arbeiten im Chemielabor
- 16 Das Atomkern-Orakel** Was kreiselnde Protonen über Moleküle verraten
- 18 Good Vibrations** Synthesefasern und japanische Tempel haben etwas gemeinsam..
- 19 Chemie habe ich noch nie verstanden!?** Chemie kann schwer sein. Sie richtig zu unterrichten nicht.
- 21 Der Computer als Schulmeister?** Kann man Kids mit Computerhilfe Chemie beibringen?
- 22 Überholspur für Generalisten** Chemie studieren in Duisburg und Essen: Willkommen im Netzwerk!



- 26 Neue Ideen für den „Knochenjob“** Was Anorganische Chemie im Operationssaal zu suchen hat
- 29 Wahl-Verwandtschaften** Kein Element ist wie das andere? Nicht ganz...
- 30 Moleküle in der Klemme** Lernen von Enzymen
- 33 Tanzende Moleküle im Computer** Wie ein Benzol-Ballett sechzehn Rechner ein Jahr lang beschäftigt hält
- 34 Dem Geheimnis des Sehens auf der Spur** Ein einziges Photon reicht...
- 35 Wie man Ionen einwickelt** Freie Eisenteilchen können der Zelle schaden. Also: Mantel drum!
- 37 Mit Seifenblasen in die Zelle** Nanokapseln transportieren Medikamente in den Tumor
- 38 Mitten im Leben** Wie man Zellen am Selbstmord hindert
- 40 Filmreif!** Bakterien sind überall!
- 42 In die Vollen greifen** Gene aus dem Gartenteich
- 43 Kupfer auf der Speisekarte** Metall-Erze zum Nachtisch?
- 44 Es liegt was in der Luft** Wie gefährlich sind flüchtige Metallverbindungen?
- 46 Pfeffer und Salz** Wie man Wichtiges von Unwichtigem trennt
- 48 Blick für's Wesentliche** Was MP3-Musik mit Analytischer Chemie zu tun hat

Eigentlich ist die Chemie ja eine Wissenschaft, die sich mit sehr kleinen Dingen und den Vorgängen dazwischen befasst. Aber was sich im Mikrokosmos so abspielt, kann durchaus Einfluss auf weit ausgedehntere Phänomene haben. Beispiel? Gerne. Wie wär's mit dem Ozonloch? Oder dem Klimawandel?

Der Himmel – ein Chemielabor

Reaktionen über den Wolken

„Atmosphärische Vorgänge, die unser Klima oder unser Wohlergehen auf der Erde maßgeblich beeinflussen, sind ohne Chemie nicht zu verstehen“, sagt Reinhard Zellner, Professor für Physikalische Chemie an der Uni Duisburg-Essen. Das inzwischen klassische Beispiel ist der Ozonabbau in der Stratosphäre über den Erdpolen, der einem recht komplexen Drehbuch folgt. Es beginnt in kalten stratosphärischen Wolken, etwa 20 Kilometer über der Erde: Hier werden chlorhaltige Substanzen, die aus den mittlerweile geächteten und weitestgehend verbannten Fluorchlorkohlenwasserstoffen (FCKW) entstanden sind, in einfachere Verbindungen wie zum Beispiel elementares Chlor umgewandelt. Erst diese greifen das stratosphärische Ozon an – aber nur dann, wenn die Sonne am Ende des Polarwinters wieder aufgegangen ist, denn auch sie müssen zuvor durch Licht zersetzt werden.

„Kein Klimamodell ohne Daten aus dem Chemielabor“

Bemerkenswert: Der Hauptakteur, der die Chlorverbindungen ineinander umwandelt und damit die Reaktionskaskade in Gang setzt, ist nichts anderes als Schwefelsäure. „Die kommt in diesen Höhen zwar nicht gerade häufig vor – aber es reichen eben kleine Mengen aus, um die Reaktion anzustoßen.“ Und für Säure-Nachschub ist gesorgt: in Form von Schwefelverbindungen wie SO_2 , die aus der Verbrennung fossiler Brennstoffe stammen – aber auch aus den Ozeanen und aus Vulkanen.

Um zu diesen Erkenntnissen zu gelangen, die der Professor übrigens als Mitglied der Bundestags-Enquete-Kommission „Schutz der Atmosphäre“ lange Zeit auch vor Bundestagsabgeordneten vertrat, ist es allerdings nicht damit getan, sich ein paar „passende“ Reaktionen auf ein Blatt Papier zu schreiben und zu hoffen, dass da oben alles so sauber und geordnet vor sich geht wie im Lehrbuch. Dafür ist das Geschehen im Reaktor über unseren Köpfen viel zu komplex: In der Atmosphäre schwirren Tausende von chemischen Verbindungen umher,

„Hinter der Entstehung von Kondensstreifen steht komplexe Chemie“

die auf vielfältigste Weise miteinander wechselwirken – nicht nur Sauerstoff, Ozon und diverse sauerstoffhaltige Spezies wie Stickoxide, CO und die äußerst aggressiven OH-Radikale, sondern auch zahllose organische Moleküle wie Methan, Formaldehyd oder sogar Isopren. Und die meisten davon werden durch die energiereiche Strahlung über den Wolken noch reaktionsfreudiger gemacht. Hinzu kommt, dass all diese Reaktionen nicht unbedingt wohlgeordnet in der Gasphase stattfinden müssen: Wassertröpfchen und die Oberflächen von Eiskristallen und Rußpartikeln, von Seesalz-Aerosolen und sogar von Flugsand aus der Sahara bieten sich als Heimstatt für eine ganze Reihe von Umsetzungen an, die die Atmosphärenchemie noch ein deutliches Stückchen komplizierter machen.

Tröpfchen schweben auf Laserlicht

Um die feinen Maschen dieses Netzwerks dennoch nach und nach zu entwirren, haben Zellners Mitarbeiter

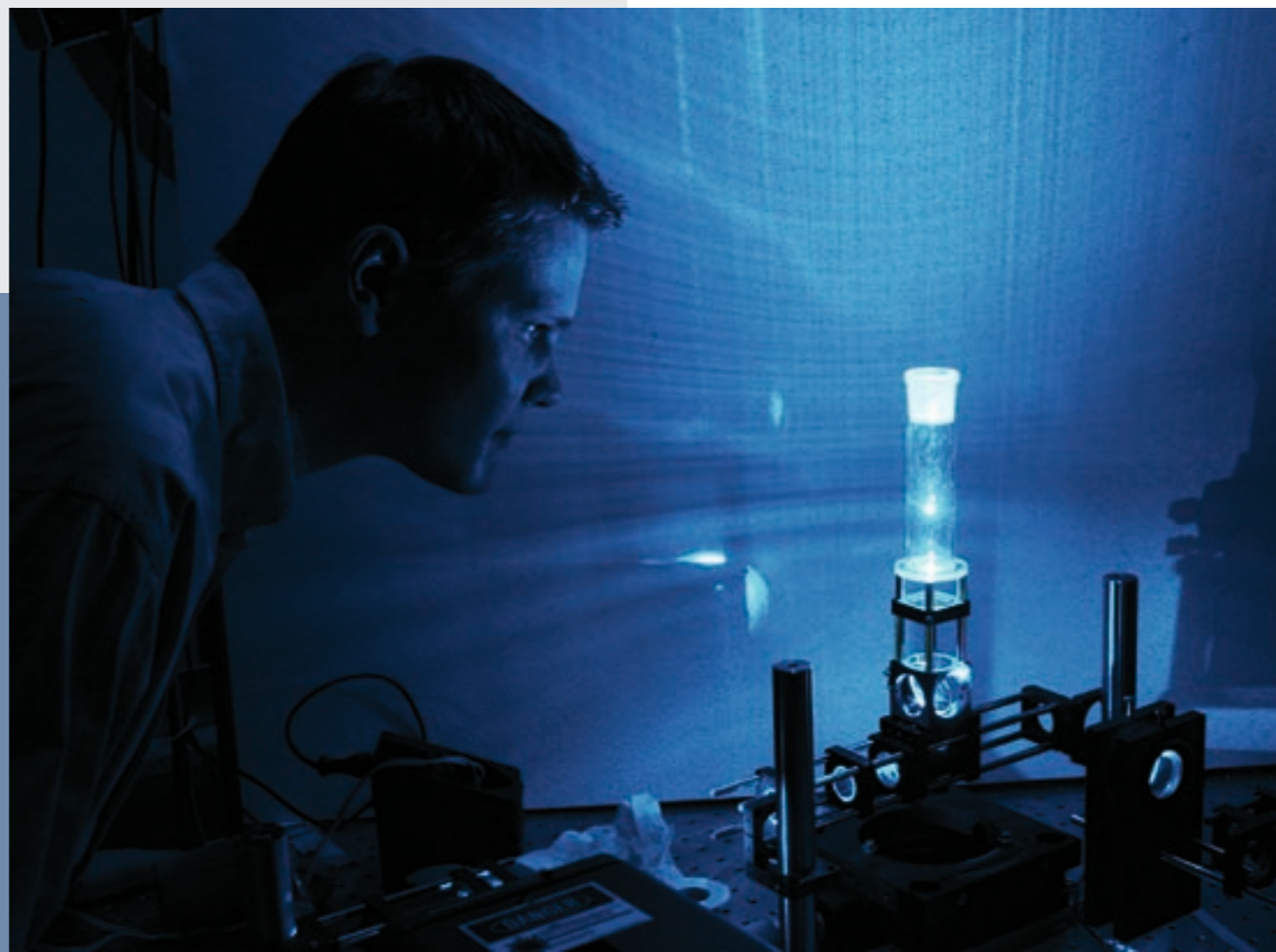
in ihren Laboratorien eine ganze Reihe von komplizierten Laser-Apparaturen aufgebaut, in denen sie ausgewählte Teilaspekte der Atmosphärenchemie gezielt unter die Lupe nehmen. In großen Vakuum-Messkammern beobachten die Chemiker zum Beispiel, was einzelne Moleküle in der Gasphase – also bei hoher Verdünnung und niedrigen Transportraten – im Idealfall überhaupt miteinander anstellen; in kleineren Messkammern, sogenannten „Knudsen-Zellen“ untersuchen die Forscher, wie schnell gasförmige Verbindungen zum Beispiel von Staubteilchen eingefangen werden und welche Reaktionen sich auf diesen abspielen.

Selbst die Vorgänge in Wolken nehmen die Forscher gezielt in den Fokus. Hierzu lassen sie einzelne Flüssigkeitströpfchen auf einem Laserstrahl schweben wie einen Ping-Pong-Ball auf einem Springbrunnen – das intensiv blau leuchtende Kügelchen scheint dann wie von Geisterhand festgehalten mitten im Raum zu hängen. Und kann in aller Ruhe untersucht werden.

Was die Essener Chemiker mit diesen Apparaturen beobachten, kann manchmal verblüffen. „So haben wir uns zum Beispiel gefragt, wie die Kondensstreifen der Düsenflugzeuge entstehen. Bis sich in den Abgasen der Flugzeugtriebwerke die ersten Eiskristalle bilden, vergehen gerade einmal wenige Millisekunden – das ist sehr wenig Zeit“, so Zellner.

Nun weiß man, dass die Entstehung von Wassertröpfchen oder Eiskristallen durch die Gegenwart feiner Feststoffteilchen in der Luft begünstigt wird: Sie dienen dem Wasserdampf praktisch als „Kondensationskeim“. Er erst bringt die in der Gasphase hoch beweglichen Wassermoleküle zur Ruhe und in räumliche Nähe zu einander, so dass sich nach und nach weitere Moleküle darauf ablageren können.

Ein Flüssigkeitströpfchen schwebt auf einem Laserstrahl. So lässt es sich in Ruhe untersuchen



Himmel in der Dose: In der Knudsenzelle herrschen dieselben Bedingungen wie etliche Kilometer über der Erde



Keine Kondensstreifen ohne Schwefelsäure

Nur: die Feststoffpartikelchen in Flugzeugabgasen bestehen in erster Linie aus Ruß. Und der ist im Allgemeinen hydrophob, stößt Wasser also ab, statt es anzulagern. Ruß und Wasserdampf alleine reichen also nicht, die Bildung von Kondensstreifen zu erklären.

Des Rätsels Lösung: Wieder einmal Schwefelsäure. „Die bildet sich dort oben im Nu aus den verbrannten Schwefelanteilen des Flugbenzins. Davon ist im Abgas also immer genug da – und sie lagert sich auf den Rußteilchen ab.“ Denn als zähe Flüssigkeit ist sie längst nicht so flüchtig wie Wasserdampf. Und: „Schwefelsäure ist hydrophil und zieht dadurch wiederum Wasserteilchen an – und zwar sehr schnell.“ Bevor die Rußpartikel also zur Brutstätte für Eiskristalle werden können, müssen sie zuerst von einem dünnen Schwefelsäurefilm überzogen werden – das haben Zellners Doktoranden inzwischen sogar per Computersimulation nachvollziehen können.

Zwar sind Kondensstreifen nur ein kleines Kapitel des viel umfangreicheren Buches „*Wolkenbildung*“. Aber dass die Chemie dahinter ein gutes Stückchen komplizierter ist als zunächst gedacht, dürfte nicht jedem gefallen. „Welche Rolle zum Beispiel die Wolken in unserem Klimasystem spielen, ist erst in Ansätzen bekannt. Daher sind sie ein großer Unsicherheitsfaktor bei der Vorhersage der Klimaentwicklung mit Hilfe von Computermodellen.“

So werfen Zirren und Schäfchenwolken eingestrahlte Sonnenenergie wieder in den Weltraum zurück. Und zwar umso effektiver, je kleiner die Tröpfchen darin sind. Und die Tröpfchengröße in den „Federwolken“ in hohen Atmosphärenschichten – die zu einem nicht unerheblichen Teil aus Kondensstreifen hervorgehen – hängt unter anderem von der Chemie in den Abgasfahnen der Flugzeugtriebwerke ab.

Eigentlich ist also die ganze Welt über unseren Köpfen nichts anderes als ein großes Chemielabor. ◻

An der Grenze zum Weltraum ist es kalt – so kalt, dass die Wolken dort aus Eiskristallen bestehen. Auf der Erde erzeugt man derart tiefe Temperaturen zum Beispiel mit flüssigem Stickstoff.

Lacke sind etwas feines. Sie sehen schick aus, verhindern Korrosion und verleihen manchem Werkstoff ganz neue Eigenschaften: Sie lassen Wasser von Glas abperlen und machen Kunststoffe schmutzabweisend. Trotzdem kann Eckart Hasselbrink über die meisten klassischen Polymerfilme zur Oberflächenveredelung nur lächeln. Denn im Vergleich zu denen, die er und seine Mitarbeiter auf dünnen Siliziumscheibchen aufbringen, sind selbst feinste Polyurethanlacke die reine Materialschlacht: Rund 300 Moleküle dick. Hasselbrink kommt mit einer einzigen Molekülschicht aus. Und trotzdem sind die Substrate, die er beschichtet, danach nicht wiederzuerkennen.

In den Tiefen der Oberfläche

„Eigentlich ist es ganz leicht, Oberflächen mit moleküldünnen Schichten zu versehen“, so der Professor für Physikalische Chemie am Campus Essen. „Silizium-Einkristalle etwa muss man lediglich in Lösungen von Molekülen halten, die mit der Oberfläche des Halbleiters chemisch reagieren.“ Das ist alles: Keine High-tec – nur ein Becherglas, ein Si-Wafer und ein paar Moleküle, die darauf brennen, sich fest an Silizium zu binden.

Proteine auf Silizium verankern

Klingt simpel. Bedeutet aber nicht, dass so modifizierte Siliziumoberflächen langweilig sein müssen. Im Gegenteil: Mit den Molekülen der Beschichtung, die wie Schilfgras auf der Silizium-Oberfläche stehen, kann man eine ganze Menge organischer Chemie betreiben. Man kann die Enden der „Halme“ zum Beispiel mit „klebrigen“ Molekülgruppen versehen, die ihrerseits Goldteilchen an sich binden – für neuartige Sensoren. Oder Proteine, die dann vielleicht einmal Krankheitserreger aus vorbeischwimmendem Blut angeln könnten...

„Mit dem Laser schreiben – im Molekülmaßstab“

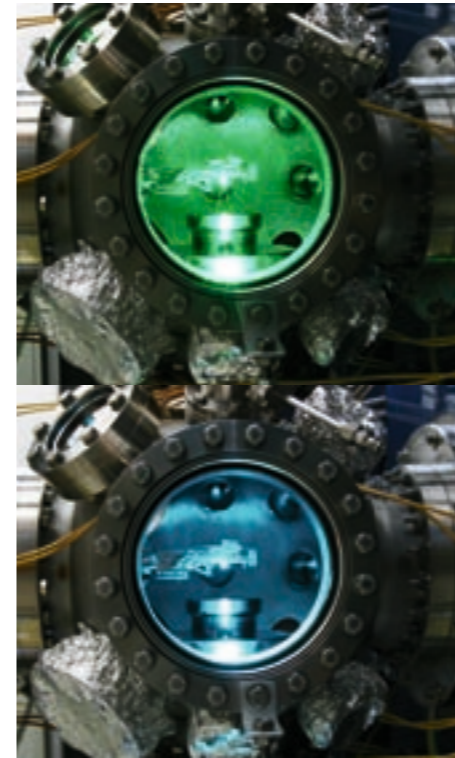
„Viel spannender finden wir derzeit aber die Frage, ob man derart beschichtete Siliziumscheibchen auch strukturieren kann“, sagt Hasselbrink. Denn sogenannte nanostrukturierte Oberflächen sind weltweit gerade absolut en vogue. Man denke nur an den Lotuseffekt: Er beruht auf Oberflächen mit mikroskopisch kleinen Hügeln, auf denen sich kein Schmutzpartikel halten kann.

Und? Kann man beschichtete Silizium-Wafer denn mit einer strukturierten Oberfläche versehen? „Ja. Sogar über ein ganz einfaches Verfahren. Wenn man diese Scheibchen mit Flusssäure behandelt, wird ihre Oberfläche mit Wasserstoff bedeckt. Wo man die nun mit Laserlicht bestrahlt, desorbiert der Wasserstoff jedoch wieder. Gibt man dann Verbindungen hinzu, die mit Wasserstoff reagieren, setzen sich die gezielt dort fest, wo wir mit dem Laser nicht hingeleuchtet haben“, sagt Hasselbrink. Mit entsprechenden Linsensystemen kann man die Furchen, die der Laserstrahl in den Wasserstoff-Film auf der Silizium-Oberfläche pflügt, auf etwa 100 Nanometer Breite beschränken – das entspricht etwa der Größe von Leiterbahnen auf aktuellen Computerprozessoren.

Winzige Strukturen in Siliziumchips brennen: Her mit dem Laser!



Chemie für Physiker?
Physik für Chemiker!



Abfluss-frei für Mikroporen

Was auf Oberflächen so abläuft, ist bei weitem nicht nur für den Grundlagenforscher interessant. Wer sie nach seinen Vorstellungen modifizieren kann, kann auch eine ganze Reihe technischer Verfahren besser in den Griff bekommen. Ein Beispiel: die Mikrofiltration, ein weit verbreitetes Verfahren, bei dem Flüssigkeiten durch Membranen mit mikroskopisch kleinen Poren gedrückt werden.

Das Problem: Auf der Membran können sich Protein-Moleküle ablagern, die die Poren verstopfen – „Fouling“ nennt man diesen Vorgang in der Technik. Beschichtet man diese Membranen jedoch mit Kettenmolekülen, die mit Protein-abstoßenden Baugruppen ausgestattet sind, bleibt das befürchtete Fouling aus. Anders als Lacke, die die Poren ebenfalls zusetzen würden, wirken diese ultradünnen Schichten aus Makromolekülen viel gezielter: sie suchen sich selbst ihren Platz an der Membran-Oberfläche (siehe auch den Beitrag auf den folgenden Seiten). Geringste Mengen an Beschichtungsmaterial genügen – und die Filter-Membran verstopft so schnell nicht mehr.

<http://www.uni-essen.de/tech2chem/index.htm>



Eine Membran mit mikroskopisch kleinen Poren sieht aus wie ein Blatt Papier, kann aber Trinkwasser reinigen

Wasserliebend, wasserabstoßend – und alles dazwischen

„Mit Chipfirmen können wir uns trotzdem noch nicht messen“, räumt der Professor ein. Denn auch wenn der aktuelle Schreiblasen in Hasselbrinks Labor auf der Chipoberfläche pro Stunde eine Strecke von rund einem Kilometer Länge Wasserstoff-frei pusten kann, entspricht dies doch wegen der schmalen Bahnen gerade mal einem

Quadratmeter Silizium-Fläche.

Aber darauf kommt es nicht an:

„Uns interessiert zunächst einmal, ob das Verfahren überhaupt funktioniert und welche Eigenschaften derart strukturierte Oberflächen haben.“

Erste Resultate gibt es schon: So kann man mit der Laser-Methode Silizium – und möglicherweise einmal Glas – auf wasserliebend und auf wasserabstoßend trimmen. Und auf alle Nuancen dazwischen. Und die gelaserten Strukturen sind dabei immer so fein, dass sie durchsichtig bleiben. Ganz im Gegenteil zu den Nanostrukturen, die für den Lotus-Effekt verantwortlich sind.

Nun entscheiden die Grenzflächen von Feststoffen nicht nur über so bemerkenswerte Materialeigenschaften wie den Teflon®- oder Lotus-Effekt. „An Oberflächen spielen sich viele Elementarprozesse der Chemie ab. Zum Beispiel die ‚Entgiftung‘ von Autoabgasen, die Bildung von Ammoniak aus Wasserstoff und Stickstoff oder die Härtung von Pflanzenfett“, so Hasselbrink. „Viele der entscheidenden Schritte dabei sind heute immer noch nicht gut genug verstanden.“ Auch hier versucht Hasselbrinks Team an vorderster Front für Klarheit zu sorgen.

Was zum Beispiel passiert, wenn Gas-Teilchen etwa auf eine Goldoberfläche prallen? Wie viel Energie geben sie bei diesen Crashes an das Edelmetall ab? Was geschieht überhaupt mit der Aufprallenergie? Wird der Metall-Kristall beim Crash deformiert wie eine Stoßstange, fängt er an, wie eine Glocke zu schwingen – oder wird lediglich das Elektronengas zwischen den Atomen etwas durcheinandergewirbelt? „Alle diese Fragen sind sehr wichtig, wenn man klären will, wie viel Energie den Molekülen letztlich für chemische Reaktionen auf der Oberfläche zur Verfügung steht.“

Argon-Hagel im Hochvakuum

Um diesen Elementarprozessen auf die Spur zu kommen, brauchen die Chemiker um Eckart Hasselbrink geradezu detektivischen Spürsinn. Und begnadete Ideen für smarte Experimente. Wie viel Energie auf Gold einprasselnde Argon-Atome dem Metall mitgeben können, kann man zum Beispiel herausfinden, indem man ihre Geschwindigkeit nach dem Abprallen misst. Denn da Atome nicht schwingen oder rotieren können, setzen sie ihre Energie 1:1 in Tempo um. Schießt man also Argon-Atome mit einer bestimmten Geschwindigkeit auf eine Oberfläche und misst die Zeitverzögerung, mit der sie nach dem Gold-Crash an einem Sensor auftreffen, weiß man, wie viel „Schmackes“ sie beim Eindreschen auf die Oberfläche verloren haben.

Und ob die Elektronen im Metall etwas vom Aufprall mitbekommen, kann man herausfinden, indem man auf das Gold als nur wenige Atome dicken Film samt ultradünner Isolierschicht auf ein zweites Metall aufbringt, das Ensemble mit Wasserstoffatomen beschießt und den Strom zwischen den bei-

den Schichten misst. Falls beim Einsetzen des Wasserstoff-Hagels Elektronen in höhere Leitungsbänder der Gold-Schicht spritzen, dürften einige davon auch die Isolierschicht durchdringen und in die nur wenige Atome entfernte zweite Metallschicht geraten. Dann kann zwischen den Metallschichten ein Strom fließen – wenn man eine Spannung anlegt.

Und tatsächlich: „Wir finden einen winzigen Strom von etwa einem Milliardstel Ampere. Das klingt nach sehr wenig, ist aber sehr viel, wenn man die geringe Zahl von Atomen betrachtet, die auftreffen. Damit haben wir erstmals ein Maß dafür, wie viel Energie hierbei auf die Elektronen des Substrats übertragen wird“, fasst Eckart Hasselbrink das Resultat der Versuche zusammen. Bislang hatte diesen Betrag noch niemand auf der Rechnung. Gut möglich, dass jetzt über einige Elementarprozesse von Oberflächenreaktionen neu nachgedacht werden muss. ☺

http://www.phchem.uni-essen.de/photochem/photochem_d.shtml

„Was passiert, wenn Argonatome auf einen Goldfilm crashen?“

Oberflächlich darf ein Naturwissenschaftler eigentlich nicht sein – genau hingucken ist Trumpf. Trotzdem: für die Chemiker in der Arbeitsgruppe von Mathias Ulbricht ist „oberflächlich“ kein Schimpfwort. Im Gegenteil: „In den Materialwissenschaften sind die Grenzflächen fester Körper oft der Ort, an dem die wesentlichen Prozesse ablaufen,“ sagt der Professor, der an der Universität Duisburg-Essen zusammen mit seinem Kollegen Schönbacher das Fach „Technische Chemie“ lehrt. Für ihn ist selbst die Oberfläche simpler Kunststoffe wie Polypropylen oder Polystyrol so interessant wie für Geographen die Karte des Himalaya – kann er Plastik-Folien doch dazu bringen, gezielt Stoffe aus Lösungen zu fischen und vielleicht sogar einmal, noch komplexere Chemie zu betreiben.

Wie angelt man Moleküle?

Maßgeschneiderte „Löcher“ fischen Moleküle aus Lösungen

Einfache Kunststoff-Folien zu leistungsfähigen Pestizid-Fängern zu adeln ist eigentlich gar nicht mal so kompliziert. Vorbild ist hier wie so oft die Natur – in Form von Antikörpern oder Enzymen. Diese extrem effektiven Stoffwechselfaschinen der Zelle sind unter anderem deshalb so effektiv, weil sie Moleküle mit hoher Treffergenauigkeit aus der sie umgebenden Lösung angeln können. Dazu verfügen sie über „Taschen“, in die manche Moleküle besonders gut passen – wie eine Hand in einen Handschuh –, andere wiederum nicht. Wenn man will, dass gewöhnliche Kunststoffe ähnliche Talente an den Tag legen, muss man im Prinzip nur dafür sorgen, dass sich auf der Plastik-Oberfläche ähnliche Taschen ausbilden.

Im Prinzip – im Detail steckt dahinter eine ganze Menge Know-how. „Wir verwenden zur Zeit drei Methoden“, sagt Ulbricht. Die erste: Lange Kettenmoleküle mit „klebrigen“ Enden versehen, also mit Molekülgruppen, die besonders gerne auf Kunststoff-

Oberflächen haften. Hält man zum Beispiel eine Polystyrol-Folie in eine Lösung solcher Moleküle, verankern diese sich im Nu darauf. Der Clou: Anders, als man vielleicht vermuten möchte, bilden diese Makromoleküle dabei keinen dichten „Lack“ auf dem Kunststoff, denn die frisch angehefteten Kettenmoleküle schwingen auf der Oberfläche hin und her – und kicken damit andere Moleküle, die mit ihnen um die Andockplätze konkurrieren, weg. „Dabei entsteht ganz von allein, durch Selbstorganisation, eine Art Teppich, der große, regelmäßig angeordnete Löcher aufweist. Die Größe dieser Löcher können wir sehr gezielt steuern.“ Und damit zum Beispiel so groß ausfallen lassen, dass sie gezielt Proteinmoleküle einer bestimmten Größe oder Form aufnehmen.

Polymere wachsen lassen wie Gras im Frühling

Zweite Methode: Man stattet die Kunststoff-Oberfläche nicht mit vorgefertigten Kettenmolekülen aus, sondern lässt diese von dort aus wachsen wie Gras im Frühling. Wenn man die Bausteine dieser Ketten dann mit speziellen „Andockstellen“ ausstattet, bleiben vorbeischwimmende Moleküle in der dünnen Schicht hängen wie Fliegen

an einem Fliegenfänger. Methode drei – das sogenannte „Molekulare Prägen“: Man gibt Polymerbausteine und die späteren Zielmoleküle gleichzeitig zur Folie, die man zum Molekülfänger machen möchte – dann werden diese „Schablonenmoleküle“ von der allmählich aufwachsenden dünnen Polymerschicht eingewuchert wie ein Inka-Tempel vom dichten Dschungel; spült man die „Schablonen“ dann ab, verbleiben Lücken, die optimal zum Zielmolekül passen. Mit diesem maßgeschneidert „löchrigem“ Film kann man dann gezielt Jagd auf ähnliche Teilchen machen.

Und zwar mit bemerkenswertem Erfolg. Ulbricht: „Zunächst haben wir nur sehr definierte Oberflächen – zum Beispiel Gold oder Silizium – auf diese Weise beschichtet und mit Lasern, Kraftmikroskopen, Mikrowaagen und anderen Instrumenten eingehend untersucht, um herauszufinden, wie die Beschichtungsvorgänge im Detail ablaufen. Inzwischen können wir auch hochporöse Membranen mit mikroskopisch kleinen Poren, wie sie zum Beispiel für die Dialyse verwendet werden, entsprechend behandeln.“ Der Materialaufwand ist verblüffend gering: Ein Gramm einer solchen Membran hat, wenn man die vielen innen liegenden Porenwände

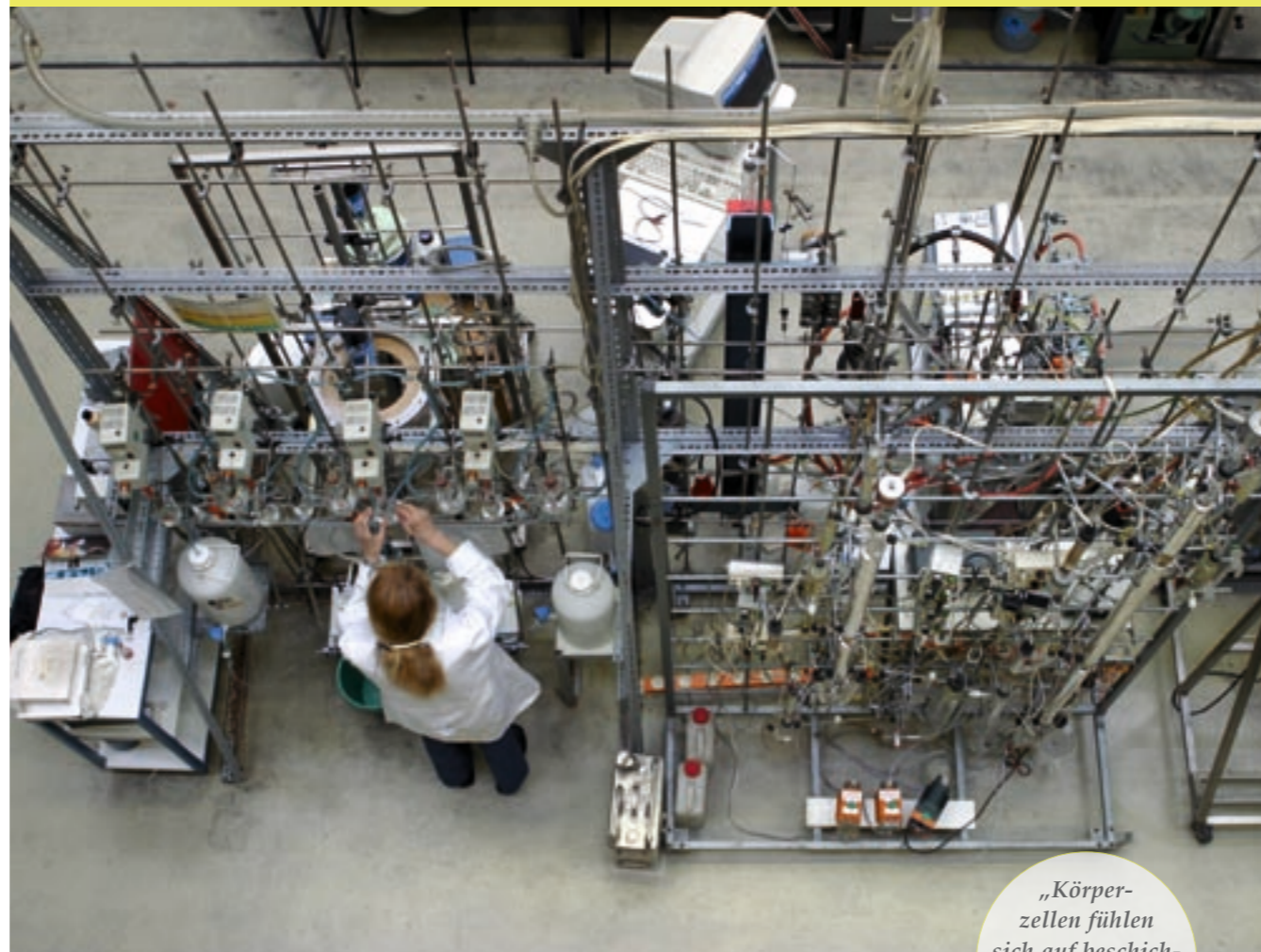
mitberechnet, eine Oberfläche von etwa 50 Quadratmetern. Trotzdem braucht man nur wenige Milligramm Beschichtungsmaterial, um diese Fläche vollständig mit der molekular geprägten Schicht zu überziehen. Damit kann man dann etliche Kubikmeter Trinkwasser von giftigen Pestiziden oder anderen Umweltgiften befreien, denn diese Moleküle bleiben in der Beschichtung hängen, wenn man das Wasser durch die Membran filtriert.

Biokompatible Oberflächen: Bequemer Untergrund für Körperzellen

Andere Kunststoffoberflächen mutieren dank „Lückentechnik“ zu einem bequemen Untergrund für Zellen aller Art – mit einem Bruchteil des Aufwands, den man bisher treiben musste, um Plastik biokompatibel zu machen. Vielleicht ein Verfahren, mit dem man einmal Abstoßungsreaktionen gegenüber künstlichen Organen unterbinden kann?

Natürlich steckt auch hier der Teufel im Detail. So kommt es nicht nur darauf an, die richtige Beschichtungstechnik auszuwählen, sondern

sich auch passende Moleküle auszudenken und diese herzustellen. Nachzuweisen, dass auf der Oberfläche tatsächlich das passiert, was man sich erhofft. Und letztlich auch immer ein Auge auf die Praxis zu haben. „Wir arbeiten in der Technischen Chemie natürlich oft sehr anwendungsnahe“, betont Ulbricht. Das bedeutet: Nicht nur an Molekülen basteln, sondern auch an den technischen Systemen, in denen sie später ihre Arbeit tun. Spatel und Schraubenschlüssel – in der Technischen Chemie gehört beides in den Kittel. ☛



Überblick gefragt:
In der Technischen
Chemie ist alles
ein wenig größer
als anderswo



„Körperzellen fühlen sich auf beschichteten Plastik-Oberflächen wohl.“



„Wir lassen die Moleküle sich ihren Platz auf der Oberfläche selber suchen.“

Manche wissen es, die meisten ahnen es: Vieles von dem, was man in der Schule lernt, kann man an der Uni wieder vergessen. Nicht, weil es falsch war – sondern weil die Natur immer wieder noch ein gutes Stück interessanter ist, als in Schulbüchern steht.

Die Regelbrecher



„Wir gehen an die Grenzen der bisher bekannten Chemie.“

Das gilt natürlich auch für die Chemie – und wird einem an der Uni Duisburg-Essen selten so klar wie im Labor von Hermann-Josef Frohn. Denn er und seine Mitarbeiter basteln an Substanzen, die es eigentlich gar nicht geben dürfte: An chemischen Verbindungen der Edelgase, die doch mit ihren fertig ausgebauten Elektronenhüllen so zufrieden sein sollten, dass sie Reaktionen mit anderen Elementen eigentlich nicht mehr nötig haben – dies ist zumindest der Inhalt der altbekannten „Oktettregel“, mit der man eine ganze Menge chemische Verbindungen erklären kann.

Aber eben nicht alle. Denn Frohns Studenten bringen diese Gase doch noch unter die Haube. „Und dabei lernen wir sogar Dinge über ganz andere Elemente, die man auf anderem Wege nicht so leicht entdecken könnte“, sagt Frohn. Tatsächlich wurde die Tür in die Edelgaschemie erst vor wenigen Jahrzehnten mit lange bestaunten Verbindungen aus Xenon und Fluor aufgestoßen. Und anders als man vielleicht vermuten könnte, ist ihre Herstellung gar nicht so schwer: Um zum Beispiel Xenondifluorid zu erhalten, reicht es, ein mit den beiden Gasen gefülltes Gefäß eine Weile im Sonnenlicht stehen zu lassen.

Aber dass man Edelgase wie Xenon und Argon mit dem ultraaggressiven Element Fluor unter einen Hut bekommt, mag ja noch angehen: Dieses Halogen zerfrisst bekanntlich sogar knackstabile Kunststoffe in Sekunden – warum sollte es nicht auch Edelgase angreifen? Frohn genügt das jedoch nicht: Er entwickelte Tricks, mit denen er inzwischen sogar organische Molekülgruppen wie enge Verwandte des Benzols an die reaktionsträgen Elemente binden kann.

Fluor beim Elektronensaugen helfen

„Das ist im Prinzip ganz einfach. Man muss sich die Moleküle und die chemischen Bindungen darin nur genau angucken und ihre Schwachstellen für sich nutzen“, so Frohn. Ein Beispiel: das oben erwähnte Xenondifluorid. Tatsächlich sind die Fluoratome hier auf recht ungewöhnliche Weise an den „dicken Brummer“ Xenon gebunden: Sie „saugen“ Elektronen aus der weichen, ausgedehnten Ladungswolke um das Xenonatom, ohne sie sich so richtig einverleiben zu können – es entsteht eine sogenannte „Vier-Elektronen-



In der Edelgaschemie finden die entscheidenden Reaktionen in Kunststoffröhrchen statt. Alles andere würde zerfressen

„Diese Verbindung greift alles an, was ihr in die Quere kommt!“

Drei-Zentren-Bindung“: Drei Atome teilen sich vier Elektronen, von denen eigentlich zwei dem Xenon gehören. Der Trick, um daraus neue Moleküle zu machen: Man unterstützt eines der beiden Fluoratome beim „Saugen“ am Elektronenmantel des Xenons, indem man an ihm mit stark „Fluorliebenden“-Verbindungen zieht. Das so unterstützte Fluoratom kann dadurch fester an der Elektronenhülle reißen – so als ob ihm jemand beim Tauziehen zur Hilfe eilt. Dabei entsteht am Xenon eine leicht positive Ladung – und die kann man nutzen, um andere Molekülgruppen mit einer negativen Teilladung daran andocken zu lassen. Und wenn der neue Reaktionspartner erst einmal am Xenon gebunden ist, lässt sich auch das zweite Fluor abtrennen und ersetzen – und den Lehrbuch-Kapiteln zur Edelgas-Chemie müssen wieder neue Seiten angefügt werden.

Wenn man alles richtig macht. „Die Schwierigkeit besteht darin, den Prozess der Fluorid-Abstraktion mit dem gleichzeitigen Angriff des andockenden Moleküls zu koordinieren“, so Frohn. „Wenn man da nicht die richtige Balance findet, entsteht ein Monofluorxenon-Kation, das alles angreift, was ihm in die Quere kommt.“ Diese Balance

haben Frohns Mitarbeiter jedoch inzwischen im Griff. So legen sie ihrem Chef immer wieder neue Substanzen auf den Labortisch, an die noch vor wenigen Jahren kein Chemiker auch nur gedacht hat. Besondere Spezialität: Moleküle mit Kohlenstoff-Xenon-Bindungen, die den Theoretikern der Zunft die Köpfe rauchen lassen. Denn die Elektronenwolken in diesen Molekülen sind oft auf bizarre Weise verzerrt. „Alles verstehen wir da auch noch nicht“, so Frohn, „aber wir lernen hier eine Menge über bislang völlig unbekannte Bindungsformen, die das altbekannte Element Kohlenstoff eingehen kann.“

Glasgefäße? Kann man vergessen

Und nicht nur das. Denn die Methode des „Elektronensaugens“ – Experten sagen: „Polarisation mit Lewis-Säuren“ – hat sich nicht nur bewährt, wenn es darum geht, Edelgasen auf die Sprünge zu helfen. Sie taugt auch, um exotische Verbindungen von Halogenen herzustellen – um zum Beispiel Iodatomen, an deren Elektronenhülle sich bereits fünf Fluoratome festgebissen haben, eine organische Molekülgruppe anzuhängen. Oder an Brom-Kationen nicht einen, sondern gleich zwei organische Reste zu fixieren.

Klar, dass man solch ungewöhnliche Reaktionen nicht in alltäglichen Glaskolben durchführen kann. Als Lösemittel für ihre Moleküle verwenden die Duisburger Extrem-Chemiker auch schon mal tiefgekühlten Fluorwasserstoff – eine Verbindung, mit der man sogar Glas durchätzen kann. Darum bestehen ihre „Kolben“ und „Reagenzgläser“ aus fluorierten Kunststoffen wie Teflon®, in die die Reaktanden nicht einfach hineingegossen, sondern bei tiefen Temperaturen einkondensiert werden.

Und wozu das alles? „Bei unseren Molekülen kommen wir an die Grenzen der bekannten Beschreibungsmodelle, die uns sagen, wie Moleküle aufgebaut zu sein haben“, so Frohn. An der Chemie des Kohlenstoffs wird schon seit Jahrhunderten geforscht, aber in Duisburg findet man immer wieder Verbindungen, die die Chemiker bislang nicht auf dem Plan hatten. Ist das nichts? ☛



Ölpipeline oder längste Kerze der Welt? Boeses Mitarbeiter untersuchen auch, wie man verhindert, dass Paraffine aus Rohöl auskristallisieren und mannschohe Rohrleitungen verstopfen – im Dunkeln, denn Streulicht stört das Messverfahren.



Der Himmel voller Moleküle ist eigentlich nur noch was für Nostalgiker. Heute zeichnet der Computer, was man sich früher mühevoll zusammenstecken musste.

Moleküle hinter Gittern

Warum schmelzen Kristalle eigentlich? Eine gute Frage. Eine leichte Frage. Also: In einem Kristall werden die Moleküle durch gegenseitige Anziehungskräfte an ihrem Platz in einem regelmäßig aufgebauten Gitter gehalten. Erhitzt man ihn, zappeln die Moleküle darin irgendwann so heftig, dass diese Kräfte die Teilchen nicht mehr zusammenhalten können: Wärme ist bekanntlich Bewegung – „heiße“ Moleküle bewegen sich schneller als „kalte“. Folge: Regelmäßige Strukturen lösen sich in der Hitze auf.

Eine sehr viel schwierigere Frage ist: Wann genau setzt der Schmelzprozess ein? Warum schmilzt Eis nicht bei Minus zwanzig Grad Celsius? Auf diese Frage weiß heute auch nach Jahrhunderte langer Forschung immer noch niemand eine exakte Antwort. „Viele andere Substanzeigenschaften, die auf den ersten Blick viel komplexere Ursachen haben, kann man heute berechnen: Ladungsverteilung, chemische Reaktivität, sogar die Farbe eines Moleküls“, beschreibt Roland Boese, gewissermaßen der Kristallexperte des Essener Chemie-Fachbereichs,

den aktuellen Forschungsstand. „Aber ausgerechnet über die Kräfte, die die Schmelztemperatur bestimmen, wissen wir noch viel zu wenig. Dabei ist das die Materialeigenschaft, die am einfachsten zu messen ist!“

Das Problem: Die Anziehungskraft zwischen den Molekülen im Kristall hängt extrem stark davon ab, wie die Teilchen zueinander liegen und wie groß ihre Berührungsflächen sind. „Man weiß zum Beispiel, dass Propan seltsamerweise einen niedrigeren Schmelzpunkt hat als das viel leichtere Methan“, so Boese. Seit fünf Jahren weiß er auch, warum: Die in der Projektion annähernd fünfeckigen Propanmoleküle lassen sich bei weitem nicht so dicht packen wie das tetraedrische Methan, das quaderförmige Ethan oder die annähernd stabförmigen Moleküle der höheren Kohlenwasserstoffe. Dadurch kommen die Kräfte, die den Kristall zusammenhalten, beim Propan nicht so gut zum Zug wie bei anderen Kohlenwasserstoffen.

„Schmelzpunkte kann man sehr leicht messen – aber nicht berechnen!“

Experten für knifflige Strukturfragen

Um dies herauszufinden, haben Boeses Mitarbeiter eigens Propan-Kristalle gezüchtet (Schmelzpunkt $-187,7^{\circ}\text{C}$!) und ihre Detailstruktur mittels Röntgenbeugung untersucht – sie gelten weltweit als Experten für Kristallzucht unter Extrembedingungen. Aber könnte man so etwas wie eine Propan-Packung denn nicht am Rechner simulieren? „Nein“, so Boese, „dafür haben die Moleküle viel zu viele Möglichkeiten, sich zu einem Kristall zusammenzufinden. Aber sowohl über die kooperativen Effekte als auch die Bewegungen beim Zusammenlagern weiß man noch viel zu wenig. Damit sind Computer auf absehbare Zeit überfordert.“

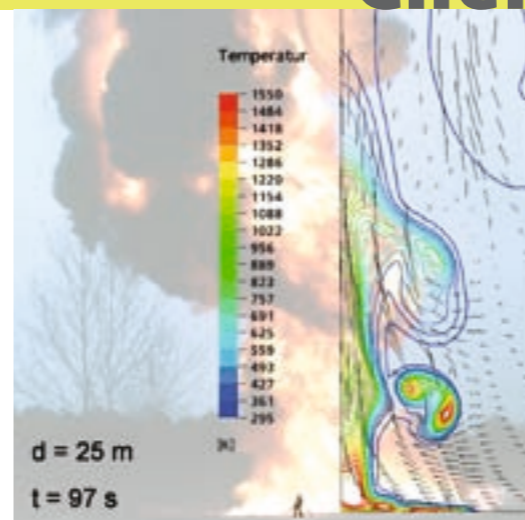
So ist der nur auf den ersten Blick einfache Aufbau selbst simpler Kristalle immer wieder für Überraschungen gut. „Es ist schon vorgekommen, dass wichtige Pharmawirkstoffe plötzlich auf absolut unerwartete Weise auskristallisiert sind und dadurch an Wirksamkeit verloren haben“, so Boese. Warum? Das wollen seine Mitarbeiter derzeit herausfinden.

Außerdem im Fokus der Essener Kristallstruktur-Forscher: Sogenannte Cokristalle aus zwei verschiedenen Molekülen, etwa Ethin und Aceton – in jeder „Acetylen“-Flasche zu finden – oder sogenannte Gashydrate. Das sind Verbindungen aus Methan und Wasser, die nur unter hohem Druck existieren – etwa in der Tiefsee an den Sockeln unserer Kontinente. „Gashydrate könnten helfen, unser Energieproblem zu lösen – wenn sie sich gefahrlos abbauen ließen“, so Boese. Bevor also eine Bohrplattform in einer gigantischen Gasblase aus einem angebohrten Gashydrat-Vorkommen untergeht, schaut man sich diese seltsamen Kristalle, in denen das Methan eingeschlossen ist, zuvor besser einmal im Detail an. ◉

<http://www.structchem.uni-essen.de/index.htm>

Gesetzt den Fall, Sie haben Ihr Studium an der Uni Duisburg-Essen mit viel Spaß absolviert und sind ein guter Chemiker geworden. Sie haben mit Fragestellungen der Chemischen Industrie zu tun – wie etwa 80% Ihrer Kommilitonen. Und Sie entdecken etwas, auf das die Welt gewartet hat – einen unverwüsthlichen Kunststoff oder einen Katalysator, der Aromaten aus Superbenzin eliminiert. Glückwunsch! Aber ob Ihr Produkt jemals hergestellt werden kann – das ist oft eine ganz andere Frage.

Feuer und Flamme für die Chemie



Flammen hat man dank Computer schon ganz gut im Griff. Einfach war das nicht

„Nur ganz selten kann man Reaktionen, die im Forschungslabor, im Reagenzglas klappen, direkt auf große Industrie-Reaktoren übertragen“, sagt Axel Schönbacher, Professor für Technische Chemie an der Uni Duisburg-Essen. Den Grund kennt jeder, der schon mal versucht hat, eine Suppe für 20 Leute zu kochen: Oben ist's kalt, unten brennt's an.

Reaktoren kann man nicht durchschütteln

Ähnlich bei Bayer, BASF & Co.: Selbst mit dem besten Anker-Rührer bekommt man in großen Reaktoren nicht diese optimal gleichmäßige Verteilung aller Reaktionskomponenten hin, die man im kleinen Glaskolben schon mit ein-, zweimal Schütteln gewährleisten kann. Selbst mit ausgeklügelten Wärmetauschersystemen ist fast unmöglich, das Reaktionsmedium überall auf der gleichen Temperatur zu halten. Die Heizung einfach höher zu drehen, ist keine Alternative, da dann direkt an der beheizten Wandung Zersetzungsprozesse drohen.

Selbst die Frage, ob das Reaktionsgemisch im Wärmetauscher immer schön gleichmäßig fließt oder nicht, kann über Wohl und Wehe der Produktion entscheiden: Bilden sich „tote“,

strömungslose Bereiche aus – zum Beispiel in Ecken eines Chemie-Reaktors – kann die Mischung dort lokal überhitzen. Unerwünschte Nebenprodukte sind die Folge. Hinzu kommt: Im Chemie-Reaktor kann es durchaus schon mal ein paar Minuten dauern, bis sich eine viskose Chemikalie restlos im Lösemittel verteilt hat.

„Mit all diesen Problemen setzt sich die Chemie natürlich schon seit Anfang des letzten Jahrhunderts auseinander“, sagt Schönbacher. „Heute werden sie von der Chemischen Verfahrenstechnik und der Technischen Chemie bearbeitet.“ Wobei sich die Verfahreningenieure mit ausgefeilten mathematischen Modellen eher auf Aspekte wie die korrekte Reaktorauslegung und Strömungsvorgänge beschränken, Schönbacher und seine Mitarbeiter dagegen immer auch versuchen, die Chemie hinter den Produktionsprozessen im Auge zu behalten.

Typische Fragen, mit denen er und seine Studenten konfrontiert werden, lesen sich etwa so: Wie laufen Mischungsprozesse ab, wenn sich die Viskosität des Reaktionsmediums im Reaktor ändert – etwa bei Polymerisationsreaktionen? Was

Was geschieht wirklich im Reaktor?

„Vier Fünftel aller Chemiker haben nach dem Studium mit technischen Prozessen zu tun.“

„Die Technische Chemie wird bundesweit oft stiefmütterlich behandelt. In Essen wird sie dagegen groß geschrieben.“



bedeutet das für die wichtigen Diffusionskoeffizienten der Teilchen in der „Brühe“ – und welchen Einfluss haben diese Änderungen auf die Reaktion? Wie viel Katalysator muss – oder darf! – man hinzugeben, damit die Reaktion schnell läuft, aber trotzdem beherrschbar bleibt? „Um hier die richtigen Antworten zu finden, braucht man neben guten Kenntnissen aus der Physikalischen Chemie auch ein gerüttelt Maß an Stoffkenntnissen“, so Schönbucher. So kann es zum Beispiel gefährlich sein, eine „lahm“ anlaufende Reaktion anzukicken, indem man einfach noch eine Schippe „Kat“ hinzugibt: Manche Reaktionen starten erst nach einer Anlaufphase so richtig durch – ist dann zuviel Reaktionsbeschleuniger im „Pott“, kann man sie selbst durch Kühlung mit flüssigem Stickstoff nicht mehr bändigen.



Flammen sind besonders komplexe Reaktionen

Um den Überblick über die komplizierten Reaktionsnetzwerke und Strömungsverhältnisse im Reaktor zu behalten, ist man heute natürlich längst nicht mehr auf Experimente und Modellversuche angewiesen – obwohl die in Essen natürlich nach wie vor durchgeführt werden. Schönbuchers Studenten können ihren Kittel aber oft am Nagel hängen lassen und ihre Versuche auf dem Bildschirm verfolgen. Wie schnell sich ein paar Dutzend Kilogramm Polyacrylsäureester unter Rühren allmählich in drei Kubikmetern Essigsäureethylester auflösen? Das kann man inzwischen mit Hilfe guter Strömungsdynamik-Software im Detail berechnen lassen.

Zu richtig großer Form laufen Computer und Chemiker aber erst auf, wenn es um eine Klasse ganz besonderer „Reaktoren“ geht: Flammen. Schönbucher: „Obwohl sie etwas völlig alltägliches sind, sind sie bislang immer noch wenig erforscht.“

Das hat allerdings einen triftigen Grund. Ob Teelicht oder großes Schadenfeuer beim Brand eines Tanklagers: Die chemischen Abläufe in

Flammen sind ungeheuer komplex. Feuer: Das sind Tausende von Einzelverbindungen, die über hunderte von Elementarreaktionen miteinander verknüpft sind. Dieses Inferno mit der Gleichung „Kohlenwasserstoff plus Sauerstoff gibt Kohlenstoffdioxid plus Wasser“ zu beschreiben, wird dem Vorgang nicht einmal annähernd gerecht.

Feuersäulen im Rechner

Klar ist aber: Nur wer versteht, was in Flammen vor sich geht, kann Katastrophen vermeiden und im Falle des Falles mögliche Schadstoffemissionen vorhersagen. Und da sind die Essener Experten schon ziemlich weit – zum Beispiel durch holographische Untersuchungen an kleineren Laborflammen und detaillierte Simulationen des Reaktionsnetzwerks, der Gasgeschwindigkeiten und der Wärmeverteilung in der Flamme.

Und darin ist so manche Überraschung verborgen: „Für die Wärmestrahlung eines großen Feuers zum Beispiel sind im wesentlichen Rußpartikel verantwortlich, die durch unvollständige Verbrennung entstehen – in Bereichen der Flamme, in denen es nicht genügend Sauerstoff gibt.“ Diese

Wieviel Katalysator darf's denn sein?

Partikelchen glühen wie Grillkohle und halten durch ihre Wärmerückstrahlung auf das brennende Medium den Brand aufrecht. Selbst warum eine breite Flammenwand sich unter Windeinfluss in zwei rotierende Feuersäulen aufspaltet, kann man in Essen mit dem Zeigefinger auf dem Computerbildschirm schon erklären: „Wenn der Wind an der Flamme vorbeiströmt, reißt er sie an ihren Rändern ein Stück mit. Dabei können sich dann zwei gegenläufige Wirbel ausbilden.“

Brennen für die Chemie? Fest steht: Wer mit derart heißen Themen umzugehen gelernt hat, der dürfte später auch mit der Übertragung Ihrer chemischen Neuentwicklung in den technischen Maßstab keine Probleme mehr haben. Dann schafft Ihre Idee es vielleicht doch auf den Markt. Herzlichen Glückwunsch! ☺

<http://www.uni-essen.de/tech1chem/start2.htm>



Immer auf Nummer Sicher

Wer mit seinem wohlverdienten Bachelor- oder Master-Diplom die Uni verlässt, muss mehr können als nur mit Molekülen „auf Du“ zu sein. Chemiker gehören in aller Regel zum Führungspersonal. Sie müssen daher nicht nur in ihrem Fach fit sein, sondern auch Mitarbeiter anleiten und ihr Unternehmen nach außen, zum Beispiel bei Behörden, vertreten können. Beides bedeutet: Verantwortung übernehmen – auch und gerade, was die Sicherheit der Produkte und der Produktion angeht.

Zum Glück wird dabei niemand allein gelassen – es gibt eine ganze Reihe von Gesetzen, Regeln und Vorschriften, die einem helfen, hier immer auf dem Pfad der Tugend zu bleiben. Nur: kennen muss man sie. Mit Kittel, Schutzbrille und gutem Willen allein ist es nicht getan. Sicheres Arbeiten in der Chemie muss gelernt werden.

Darum kümmert sich an der Uni Duisburg-Essen die Chemikerin Monika Seifert. „Wir haben unsere Ausbildung vom ersten Semester an so aufgebaut, dass das sichere Arbeiten so in Fleisch

und Blut übergeht wie das Gurtanlegen im Auto.“ Viele wichtige Regeln, die in der Industrie gelten, müssen nämlich auch im Universitätslabor beachtet werden.

Schon wer in den Grundpraktika zum ersten Mal mit interessanten Chemikalien in Berührung kommt, erfährt, wo er die nötigen Infos für den sicheren Umgang damit findet. Und kriegt dabei ein passantes Wort, was Vokabeln wie AGW und LD₅₀ bedeuten (das erste steht für „Arbeitsplatzgrenzwert“, das zweite ist ein Maß für die Giftigkeit einer Substanz). Dass man von manchen Chemikalien und Reaktionen die Finger lassen sollte – oder sogar muss. Welche Handschuhe wie lange vor welchen Stoffen Schutz bieten. Und was Oxidationsmittel anrichten können, wenn man sie in den falschen Sammelbehälter schüttet.

Zur Abrundung gibt es eigene Vorlesungen in Gefahrstoffrecht und Toxikologie. „Dabei ist uns allerdings wichtig, dass man nicht die Vorschriften auswendig lernt – die

ändern sich ohnehin öfters –, sondern ihren Sinn versteht und Dinge einordnen kann.“ So können sogar die Angaben im Sicherheitsdatenblatt von Kochsalz den Eindruck erwecken, dass es sich dabei um eine gefährliche Substanz handelt, die nur mit dicken Gummihandschuhen gehandhabt werden darf. Im Umgang mit Chemikalien zählt Durchblick also mehr als das Nachbeten von toxikologischen Daten.

„Im Laufe des Studiums entwickelt man nach und nach einen scharfen Blick auch für Sicherheitsaspekte,“ so Seifert. „Man bekommt einerseits ein Auge für gefährliche Situationen im Labor, lernt aber andererseits auch, wie man bei neuen Aufgaben systematisch mögliche Gefährdungen ermittelt und angemessen reagiert.“ Und spätestens, wenn man die ersten Praktikanten bei ihren Versuchen begleitet, lernt man auch, wie man diese Kenntnisse weitergibt. Dann steht auch der Übernahme von Verantwortung im Job nichts mehr im Weg. ☺

Eigentlich ist die Chemie ja die Wissenschaft von der Elektronenhülle der Atome: Denn sie ist der Ort, an dem chemische Reaktionen stattfinden. Paradoxerweise verdanken die Chemiker einen guten Teil ihrer Erkenntnisse aber Forschern, die sich eher auf Atomkerne spezialisiert haben – beziehungsweise auf das Verhalten, das diese Kerne im Magnetfeld an den Tag legen. Denn viele Elemente, mit denen Chemiker täglich umgehen, haben eine seltsame Eigenschaft: Ihre Atomkerne rotieren – vereinfacht gesprochen – um ihre eigene Achse. Rotierende elektrische Ladungen aber erzeugen ein Magnetfeld. „Und anhand der Art und Weise, mit der dieses mit anderen Magnetfeldern wechselwirkt, können wir eine ganze Menge über die Moleküle erfahren, in denen diese Kerne stecken,“ sagt Wiebren Veeman vom Fachbereich Chemie der Universität Duisburg-Essen.



Startschuss zur Atom-Homestory: Das Spektrometer...



...zeigt, wo die Kerne zu Hause sind

Das Atomkern-Orakel

Rotierende Atomkerne für Chemie-Detektive

Tatort der Kern-Spurenuche: Ein kleines, helles Labor im Erdgeschoss des Gebäudes MG des Duisburger Campus. Tatwerkzeug: Ein etwa mannshoher Metallzylinder neben Computern und Tischen, auf denen kleine Glasröhrchen stehen. Der Zylinder hat es in sich: Supraleitende Spulen, in denen bei Temperaturen nur knapp über dem absoluten Nullpunkt hohe Ströme kreisen – und damit ein Magnetfeld erzeugen, das etliche 1000 Mal stärker ist als das der Erde. Besser, man hält in der Nähe dieses Zylinders sein Schlüsselbund fest, sonst ist es weg – und das Messgerät Schrott. Denn genau darum handelt es sich bei dem grau gestrichenen Ding – um ein Messgerät. Eins der vielseitigsten, das man in der Chemie kennt.

„Die Magnetfelder in diesem Zylinder – ein Kernspin-Spektrometer – sind so stark, dass einige der Atomkerne in den Proben, die wir da hineingeben, sich daran ausrichten. Dazu haben sie nur zwei Möglichkeiten: Mit der Feldrichtung oder dagegen. Dann strahlen wir Radiostrahlung ein und erreichen so, dass die Kerne ihre Orientierung im äußeren Feld ändern, also ‚umklappen‘,“ beschreibt Veeman. Der Clou: „Die Energie, die die Kerne für diesen Vorgang benötigen, können wir registrieren. Sie ist absolut charakteristisch für die Umgebung, in der der Kern sich befindet.“ Organische Chemiker erkennen daran zum Beispiel, ob ihre Moleküle etwa Doppelbindungen enthalten – die enthalten viele Elektronen, die die darunter liegenden Atomkerne vom äußeren Magnetfeld abschirmen. Entsprechend hoch – und charakteristisch – ist die Energie, die benötigt wird, um die Kerne darin umspringen zu lassen.

Weicher Kunststoff wird schlagartig spröde

Veeman genügt das aber nicht. „Wir untersuchen mit der NMR-Methode – NMR ist die Abkürzung für den englischen Begriff ‚Nuclear Magnetic Resonance‘ – ganz andere Materialeigenschaften, denen man mit anderen Methoden gar nicht auf den Grund gehen könnte.“

Was passiert zum Beispiel, wenn man ein Stück Kunststoff in die Länge zieht? Einfache Frage, komplexe Antwort. Denn viele Polymere, die in der Technik breiten Einsatz finden, bestehen heute aus mehreren Bausteinen, die sich im Molekül zu Untereinheiten zusammenlagern: die einen bilden auf diesem Wege harte Segmente, die den Kunststoff belastbar machen. Die anderen würden unter einem Mikroskop aussehen wie ein Teller Spaghetti: Ihre Molekülfäden sind zu nahezu unentwirrbaren Knäueln verwickelt, die den Kunststoff elastisch halten. Aber: „Wenn man diese Materialien streckt, ordnen sich diese Fädchenmoleküle parallel zueinander an.“ Ergebnis: auch die vorher weichen Kunststoffbestandteile werden plötzlich fest und spröde. Wie genau, wann und nach welchen Gesetzen, weiß man noch nicht genau. Das macht zum

Beispiel die Crashberechnung von Kunststoffteilen im Computer sehr schwierig.

Veeman und seine Studenten gehen der Sache daher mit ihrem Kernspin-Spektrometer auf den Grund. „Zunächst einmal ändert sich die Umgebung der Atomkerne, die wir mit dem Instrument beobachten, im Zuge des Streckens natürlich. Das können wir direkt messen.“ Aber dann gibt es noch einen weiteren Trick. Hauptdarsteller: Xenon. Dieses Edelgas hat einen riesigen Vorteil: Die äußersten Elektronen seiner ausgedehnten Ladungswolke sind so weit weg vom Xenon-Kern, dass diese sich durch äußere Einflüsse formen lässt wie Zuckerwatte. Damit ändert sich aber auch die abschirmende Wirkung auf den Kern. So kann man an Kernresonanzspektren sehr genau verfolgen, wo das Gas sich in der Probe gerade befindet: Spaghettiknäuel oder Hartsegment. Über einen weiteren Trick können Veeman und seine Mitarbeiter sogar feststellen, wie schnell sich die Xenon-Atome in der Probe bewegen.

Eingeklemmt oder beweglich?

Damit kann man zum Beispiel feststellen, wie hoch der Anteil parallel liegender Ketten im Kunststoff ist.

„Kunststoffe im Crashtest? Einfache Frage, komplexe Antwort.“

Denn während Xenon-Atome in den Spaghetti-Domänen noch eine gewisse Bewegungsfreiheit haben, sind sie zwischen den Molekülen der Hartsegmente, die aneinander liegen wie Heringe in der Dose, eingeklemmt. Mehr noch: Hat man Kunststoff-Mischungen, in denen kleine Einsprengsel eines elastischen Materials wie kleine Stoßdämpfer in einem härteren Polymer verteilt sind – hierzu gehören viele Styrol-Kunststoffe, aus denen zum Beispiel Staubsauger-Gehäuse hergestellt werden – kann die Xenon-Methode helfen, näheres über die Verteilung der elastischen Einheiten zu sagen: die Xenon-Atome geben sich in beiden Phasen des Materials entsprechend ihrer anderen Umgebung durch unterschiedliche Umklapp-Energien zu erkennen.

Mit ähnlichen Verfahren haben Veemans Mitarbeiter auch schon die Beweglichkeit von Wasser in Biofilmen untersucht und Kollegen bei der Entwicklung von Katalysatoren geholfen – denn wenn das Xenon Probleme hat, dort an die wichtigen Stellen zu gelangen, dürfte es den Molekülen, die der Katalysator später einmal verarbeiten soll, genauso gehen.

„Schlüsselbund festhalten, sonst ist es weg!“



Eine besondere Geschichte hat sich Veeman beim Rundgang durch das Labor für den Schluss aufgehoben. „Quantencomputer. Mit Hilfe der NMR-Technik könnte man rein theoretisch heute schon Quantencomputer bauen, die eine Wortbreite von immerhin sieben Bit aufweisen. Das geht momentan mit keiner anderen Technik. Aber ob man damit jemals wird rechnen können? Das ist wirklich noch Zukunftsmusik!“



Per Lichtleiter in den Reaktor: Chemische Reaktionen kann man auch am Computerbildschirm verfolgen. Sogar sehr gut



Good Vibrations

Was hat ein Gewicht an einer Spiralfeder mit Chemie zu tun? Ist das nicht eher Physik? Ja und nein. Denn die Gesetze, die bestimmen, mit welcher Frequenz etwa die Auflage eines Sattelschleppers auf einer holprigen Landstraße auf- und abspringt, gelten auch im kleinen Maßstab. Und helfen mit, mehr über die Natur so unterschiedlicher Dinge wie die Elastizität von Synthesefasern, den Röstzustand von Kaffeebohnen oder Holz in alten japanischen Tempeln zu erfahren.

„Denn genau wie bei Federn, die wir aus dem Alltag kennen, können die Atome an den Enden ihrer Bindungen gegeneinander in Schwingung geraten“, erläutert Heinz Wilhelm Siesler, Professor für Physikalische Chemie an der Universität Duisburg-Essen.

Tatsächlich darf man sich Moleküle nicht wie die bekannten Modelle aus Kügelchen vorstellen, die über starre Stäbchen miteinander verbunden sind – sondern eher als ein äußerst fragiles Gebilde, das ständig in Bewegung ist. Wie ein Mobile im Wind. Der Clou: Die Frequenzen, mit denen die

Atome an ihren Bindungen rütteln, kann man messen. Mehr noch: Sie sind immer charakteristisch für bestimmte Atomkombinationen. „Genau wie bei einer Kugel an einem Gummiband ist die Frequenz dieser Schwingung von den beteiligten Massen und der Federkraft abhängig.“ Schwerer Schwefel zum Beispiel wird sich nun einmal immer langsamer bewegen als ein leichtes Wasserstoffatom.

„Diese Effekte nutzen wir, um eine ganze Reihe von offenen Fragen zu klären“, so Siesler. So kann man mit Hilfe der sogenannten Schwingungsspektroskopie zum Beispiel ergründen, ob die Kettenmoleküle eines Kunststoffes in einer bestimmten Probe eng beieinander liegen oder wirt verknäuel sind.“ „Eng beieinander“ heißt: kristallin und damit hart. „Verknäuel“ bedeutet: amorph und weich. Was genau in der Probe ist und wie sich die Mengenanteile dieser Bereiche verschieben, wenn man

etwa eine Plastik-Folie verstreckt, lässt sich anhand typischer Atom-Schwingungsmuster schnell enttarnen. Siesler und seine Mitstreiter beschränken sich jedoch nicht darauf, Materialproben zu analysieren, die ihnen von der Industrie mit einem Fragezeichen im Begleitschreiben überlassen werden. Sie stecken ihre Nase auch in laufende Prozesse. „Mittels eines Quarz-Lichtleiters können wir auch den Inhalt von Reaktoren oder Extrudern analysieren – während der Produktion, ohne umständlich Proben ziehen zu müssen“, so der Professor. So lässt sich über besonders charakteristische Molekülschwingungen zum Beispiel die Insulin-Konzentration in Injektionslösungen, die ideale Röstdauer von Kaffeebohnen oder der allmähliche Aufbau von Styrol-Butadien-Blockcopolymeren bestimmen.

Und die japanischen Tempel? Hier konnten Siesler und eine japanische Mitarbeiterin in Kooperation mit einem japanischen Gastprofessor tiefere Einsichten über die Alterung von Holz erlangen – indem sie untersuchten, was passiert, wenn man „Schweres Wasser“, D₂O, zu Splintern sehr ehrwürdigen Materials gibt, das sie von einem 1300 Jahre alten Heiligtum bekommen haben. Denn das Deuterium ersetzt nach und nach Teile des Wasserstoffs in den Holzfasern – und das verrät sich im Schwingungsmuster der Probe, denn Deuterium ist doppelt so schwer wie sein leichteres Isotop. Es schwingt also viel langsamer. „Auf diese Weise konnten wir nachweisen, dass die Fasern in Jahrtausende altem, trockenem Holz viel enger beieinander liegen als bei frischem – denn darin läuft der Deuterium-Austausch viel schneller ab.“

„Was passiert in einem Kunststoff kurz vor dem Bruch? Die Schwingungsspektroskopie liefert echte Infos über das, was in vielen Werkstoffen vor sich geht.“

<http://www.uni-essen.de/pc-sa/>

Chemie ist schwer? Manchmal schon! Deshalb hat der Chemielehrer eine ganz besondere Verantwortung. Wer sich vorgenommen hat, seinen Schützlingen die Sache mit den Atomen und Molekülen einmal „richtig beizubiegen“, der hat an der Universität Duisburg-Essen beste Karten: Der Fachbereich Chemie glänzt mit einem eigenen Lehrstuhl für Chemiedidaktik.



Chemie habe ich noch nie verstanden!?

Eingebunden in das bundesweit bisher einzigartige Projekt „Naturwissenschaftlicher Unterricht“ der Deutschen Forschungsgemeinschaft arbeiten hier nicht weniger als 19 Forscher (inklusive Promotionsstipendiaten im Graduiertenkolleg) an der Verbesserung des naturwissenschaftlichen Unterrichts. „Wir betätigen uns aktiv auf dem Gebiet der empirischen Unterrichtsforschung – in enger Zusammenarbeit mit den Schulen der Umgebung“, hebt Elke Sumfleth, Didaktik-Professorin im Fachbereich Chemie hervor. „Davon profitieren natürlich auch diejenigen Lehramts-Studierenden, die ihre Examensarbeit nicht in der Chemiedidaktik schreiben.“

Chemiedidaktik hat in Essen einen hohen Stellenwert

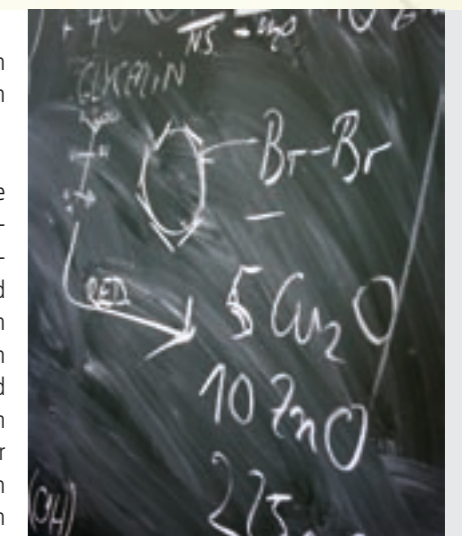
Wer die integrierte Lehrerbildung an der Uni Duisburg-Essen durchläuft – übrigens mit der Möglichkeit, seine Abschlussprüfungen auf das ganze Hauptstudium zu verteilen –, der kann seine Examensarbeit nicht nur in den klassischen Fächern wie Organischer oder Anorganischer Chemie abliefern, son-

dern eben auch in der Chemiedidaktik. Auch eine Promotion in diesem Fach ist in Essen drin.

Denn wie die Kollegen, die ein paar Gebäude weiter im Labor stehen, lernen die Studierenden in Sumfleths Arbeitsgruppe, genau hinzuschauen. Nur eben nicht in Kolben und Messgeräte – sondern gewissermaßen in die Köpfe der Schülerinnen und Schüler, die in Grund- und Hauptschule, am Gymnasium und Berufskolleg über Titrationen, Polymerisationen und den Nutzen von Vitamin C brüten. „Wir beschäftigen uns derzeit besonders mit der Vernetzung von Unterrichtsinhalten und mit der Rolle, die Bilder beim Chemie lernen spielen“, so Sumfleth. „Außerdem setzen wir uns mit den spezifischen Problemen des Experimentierens in Kleingruppen auseinander.“

Denn auch wenn es für viele Schülerinnen und Schüler im Chemieunterricht kaum etwas Spannenderes gibt als das eigenhändige „Panschen“ mit Bürette, pH-Papier und Becherglas – was von den Experimenten hinterher bei den Jugendlichen hän-

„Vati, was ist eigentlich eine Säure?“ Nicht fragen. Selber rausfinden! Mit einem Schüler-Experimentierkoffer aus Essen



Experimente sind gut und schön. Aber ganz ohne „Tafelchemie“ geht es auch nicht



„Chemie in der Realschule
Eins die Erste!“
Mit unauffälligen Kameras wird
der Unterricht mitgeschnitten
und später analysiert

gen bleibt, lohnt oft den Aufwand nicht. „Wir haben den Lernerfolg, der sich nach einem guten Frontalunterricht ergibt, einmal nach wissenschaftlichen Kriterien mit dem verglichen, der nach Experimenten in Kleingruppen gemessen werden kann“ – übrigens nicht nur unmittelbar nach der Unterrichtseinheit, sondern auch langfristig – „und dabei festgestellt, dass der aufwändige Kleingruppenunterricht zwar tatsächlich effektiver war. Aber wir hätten mehr erwartet.“

Mit der Kamera auf der Suche nach neuen Konzepten

Zwar gab es hier durchaus Schülerinnen und Schüler, die von der Gruppenarbeit profitiert haben – die Schlauesten und die, die die meiste Förderung benötigen. „Der klassische Frontalunterricht ist eben auf die ‚Leistungsmittel‘ der Klasse zugeschnitten“, so Sumfleth. Das Bild insgesamt aber: eher mau. Was also tun? Nachgucken, woran’s liegt. Also schwärmten Sumfleths Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter mit unauffälligen Videokameras und nahezu unsichtbaren Wandmikrofonen bewaffnet in die Schulen aus und schnitten Unterrichtseinheiten mit – unter Wahrung der Anonymität natürlich und immer in enger Zusammenarbeit mit den Lehrerinnen und Lehrern vor Ort. „Den Kollegen haben wir ausgesprochen viel zu verdanken“, betont die Professorin, „ohne die Unterstützung hätten wir unsere Ergebnisse nicht erhalten können.“

Und die lassen in der Tat aufmerken. Denn beim Experimentieren in kleinen Gruppen hapert es oft nur an wenigen Dingen. Eine der wesentlichen Fehlerquellen: Wenn es darum geht, eigene Thesen an Hand selbst ausgedachter Experimente zu prüfen – mit Hilfe eigens zusammengestellter Experimentierkoffer der Essener Fachdidaktiker –, neigt mancher Schüler dazu, so fest an seine Theorie zu glauben, dass er sich seine Experimentalbefunde unbewusst



und ohne böse Absicht schönredet. Oder er macht Fehler beim Experiment und verwirft eigentlich richtige Ergebnisse – woher soll der Teenager auch die Erfahrung eines ausgebufften Experimentalprofis haben? Wissen, dass ein pH-Papier zwar Säure-Entwarnung gibt, wenn man einen halben Liter Zuckerlösung zu zwei Millilitern Zitronensaft schüttet, dies aber nicht an der Neutralisation, sondern an der Verdünnung liegt?

Sumfleths Konsequenz ist einfach: „Wir haben den Schülern unter anderem die Möglichkeit eingeräumt, den Lehrern an zwei wesentlichen Stellen des Versuchs zu fragen: ‚Ist der Aufbau OK‘ und ‚hätten Sie dieses Ergebnis erwartet?‘“ Einfach, aber effektiv: Die Antwort des Lehrers stärkt das Vertrauen in die eigenen Fähigkeiten und Resultate. Lernerfolg: deutlich besser, nachweisbar!

Dogmen umstürzen

Kein Wunder, dass Sumfleth und ihre Mitarbeiter den Begriff der „Feedbackkultur“ – was gebe ich meinen Schülern für Antworten“ in Zukunft noch genauer unter die Lupe nehmen wollen. Dennoch: „Experimente sind kein

Allheilmittel“, sagt die Leiterin des Didaktik-Lehrstuhls. „Die machen zwar Spaß, haben aber oft dennoch einen geringen Lernerfolg.“ Der Farbumschlag bei Titrations wird oft noch bestaunt, die Auswertung macht aber den meisten dann doch keinen Spaß mehr. Die Verknüpfung mit Inhaltswissen kommt häufig zu kurz.“

„Experimente sind kein Allheilmittel!“

Damit bricht Sumfleth ganz bewusst mit einem Dogma des Chemie- und Sachkundeunterrichts. Und das ist nicht das einzige. Auch den berühmten „Multimediaeffekt“, von Psychologen immer wieder beschworen „haben wir bislang im Chemieunterricht nicht nachweisen können.“

Ob das daran liegt, dass Bilder, die das Chemielernen unterstützen sollen, oft schwer zu decodieren sind? Ohne tiefes Verständnis des Teilchenmodells bringen Bilder mit Kugeln als Atomen dem jungen Betrachter vielleicht herzlich wenig. Oder sind bei den heutigen Kids die gewohnten Darreichungsformen des Chemieunterrichts zu eingefahren? Auf jeden Fall ein Grund, auch hier einmal genau hinzusehen. ☉

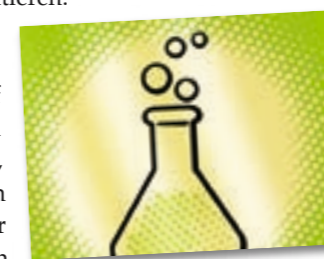
Kids lieben Computer. Zumindest Computerspiele. Kann man die Anziehungskraft der Mattscheibe nutzen, um Schülerinnen und Schüler auch in Chemie fit zu machen? Dieser Frage geht Karin Stachelscheid, Professorin für Chemiedidaktik an der Uni Duisburg-Essen nach.



Der Computer als Schulmeister?

Ihre Aufgabe ist schwieriger, als es zunächst scheint. Denn um beurteilen zu können, was Jugendliche am Bildschirm lernen, muss man zunächst wissen, welches Wissen sie bereits mitbringen, wenn sie sich vor die Tastatur setzen. Bevor Stachelscheid ihre Probanden an die Rechner lässt, dürfen sie also erst einmal zeigen, was sie schon können. „Dazu setzen wir verschiedene Methoden ein – schließlich haben wir es mit Lernenden aller Schulformen und Altersstufen zu tun“, so Stachelscheid. An Stelle von strengen Multiple-Choice-Tests setzt sie jedoch auf smartere, entspanntere Verfahren, die den Wissensstand der Schüler gleichwohl wasserfest dokumentieren.

Etwas auf die Diskussion von Filmen, in die bewusst Fehler eingebaut wurden. Oder auf Begriffsnetze: „Wolken“ von Begriffen auf einem Blatt Papier, die zu einem Thema gehören und durch Linien untereinander verbunden sind. Gelingt es den Lernenden, diese Aspekte und ihre Beziehungen untereinander – zum Beispiel „Säure“, „Base“, „neutralisieren sich“ – korrekt zu beschreiben, dür-



fen sie sich auf die Schulter klopfen. Wenn nicht, wissen Lehrerinnen und Lehrer, woran sie sind – und welche Maschen sie noch knüpfen müssen. Derart auf Herz und Nieren geprüft, geht es dann an die Lernsoftware. Aktuelles Projekt: Sonnenschutz. „Eine WHO-Studie hat enthüllt, dass deutsche Kinder in Sachen Gesundheitsverhalten im Vergleich zu den Jugendlichen anderer Nationen großen Nachholbedarf haben“, so Stachelscheid. Durch ihre Software lernen die Schüler dann zum Beispiel, dass Sonnenbrände gefährlich

„Computer sind nicht die besseren Lehrer“

sind, welche Hauttypen es gibt, dass Sonnenmilch im Wasser abgewaschen werden kann und, je nach Alter auch, wie Zellen durch UV-Licht geschädigt werden oder Sonnenschutzmittel funktionieren. Andere büffeln dasselbe ganz klassisch mit Büchern oder Experimenten. Dann wird verglichen.

Und was kommt raus? Lehrer schlagen den Computer immer noch locker. „Das liegt sehr wahrscheinlich aber auch daran, dass die Schüler die klassische Wissensvermittlung gewohnt sind, also sich darauf noch etwas besser einstellen können.“ Dennoch habe der Rechner durchaus Vorteile: So könne der Lernende vor dem Bildschirm sein Tempo selber bestimmen. „Der Computer ist sicher nicht der bessere Lehrer“, so Stachelscheid, könne aber ergänzend eingesetzt durchaus Sinn machen. „Es muss aber immer Phasen geben, wo der Lehrer die Ergebnisse zusammenfasst. Die Arbeit am Computer kann nur die Ausnahme sein.“ ☉

Auch wer diese Broschüre bis hierhin nur durchgeblättert hat, dürfte bemerkt haben: Die Chemie ist schon lange nicht mehr das gefürchtete Paukfach von früher, sondern eine hochmoderne Wissenschaft mit vielen Berührungspunkten zu anderen, ebenfalls brandaktuellen Disziplinen. Da ist es fast egal, ob die eigenen Interessenschwerpunkte im Bereich der theoretischen Physik oder der Biochemie liegen, ob man neugierig ist auf anspruchsvolle chemische Synthesen, ob man sich für die Hintergründe des Weltklimageschehens interessiert oder lieber Umweltanalytik oder Methodenentwicklung am Computer betreibt: Der Chemie-Fachbereich an der Uni Duisburg-Essen bietet Platz für alle. Und die Chance, mit dem erworbenen Wissen auch in der Industrie zu punkten, denn Chemiker sind bei vielen Arbeitgebern sehr begehrt: als „Generalisten, denen man alles anvertrauen kann“ – so die Meinung vieler Personalchefs.



Ob Mathe-Nerd oder Kolbenschwenker: An der Uni Duisburg-Essen ist für jeden etwas dabei



Chemie an der Uni Duisburg-Essen: Überholspur für Generalisten

Denn der ausgesprochenen Vielseitigkeit der modernen, offenen Wissenschaft Chemie tragen auch die Studiengänge Rechnung, die man am Duisburger und Essener Campus belegen kann. Statt der früher üblichen breiten Einbahnstraße zum Diplom findet man hier gleich eine ganze Reihe von Studiengängen, die auf die Anforderungen auch neuer Berufsfelder bestens abgestimmt sind – und denen, die darauf brennen, mehr über die wahre Natur der Dinge zu erfahren, zugleich einen kompetenten Einstieg in die Grundlagenforschung eröffnen.

„Klassische Chemie durch Mikrobiologie, Toxikologie und Wahlfächer aufgepeppt“

Bachelor of Science: Schnelleinstieg in die Karriere

Wer auf der Suche nach einem schnellen Karrierestart in den „klassischen“ Chemieberufen ist, der ist mit dem **Bachelor of Science in Chemie** bestens bedient. In gerade einmal sechs Semestern erfährt man hier alles, was man braucht, um im späteren Job chemische Fragestellungen im weitesten Sinne kompetent bearbeiten zu können. In den ersten vier Semestern stehen allerlei Grundvorlesungen in den „chemischen“ Hauptfächern wie Physikalischer, Organischer, Technischer und Anorganischer

Chemie auf dem Programm – begleitet von allem, was man als Chemiker an mathematischem und physikalischem Handwerkszeug so braucht. Und natürlich Praktika, in denen man vielen offenen Fragen endlich selbst auf den Grund gehen kann.

Im fünften Semester kommen dann Wahlfächer hinzu – hier kann sich jeder das, was er schon immer wissen wollte, aus der ganzen breiten Angebotspalette der Volluniversität Duisburg-Essen herausuchen und auf solider Basis erkunden – englische Literatur ist als Nebenfach ebenso drin wie Medizin oder Philosophie. Der Besuch jeder Lehrveranstaltung wird mit „Credit-Points“ belohnt – diese „Währung“ macht den Studienverlauf auch für andere Fachbereiche und Universitäten transparent.

Wichtig: Der Bachelor-Studiengang Chemie der Universität Duisburg-Essen ist akkreditiert und international anerkannt. Wer im sechsten Semester seine Abschlussarbeit abgegeben hat und noch keine Lust hat, sein Studium im Job zu Geld zu machen, der kann sich mit der Urkunde in der Tasche an vielen Universitäten weltweit zu einem weiter-

führenden Masterstudiengang anmelden. Natürlich auch an der Uni Duisburg-Essen.

Die Master-Studiengänge machen aus Wissenschaftlern Forscher

Hier hat man sogar die Wahl: Die Uni im Westen des Ruhrgebiets bietet den **Master of Science** – den Abschluss, der am ehesten dem konventionellen „Diplom-Chemiker“ vergleichbar ist – gleich in zweifacher Ausfertigung an. Es gibt einen Zweig **Chemie** und einen Zweig **Medizinisch-biologische Chemie**. Während man im Rahmen des viersemestrigen Chemie-Zweigs gewissermaßen zum grundlagenforschungs-tauglichen Voll-Chemiker wird, werden im medizinisch-biologischen Zweig vor allem die Schnittstellen zu den verwandten Fächern Biologie, Biochemie und Medizin ausgebaut – auch hier jeweils wie schon im Bachelor-Studiengang mit dem Zugriff auf Wahlfächer, mit denen man den Kurs in Richtung des zukünftigen Lieblings-Arbeitsplatzes noch gezielter setzen kann.

„Als Chemiker lernt man, über den Tellerrand zu blicken“

Unter gewissen Voraussetzungen stehen diese Master-Studiengänge übrigens auch Bachelor-Absolventen an-

der Fachbereiche offen; auch wer zuvor die besondere Praxisnähe einer Fachhochschule gesucht hat, kann sein Fach in Essen vier weitere Semester lang genauer unter die Lupe nehmen. Wer dann endgültig Blut geleckt hat, kann sich als „Master of Science“ endgültig einer der vielen renommierten Arbeitsgruppen im Fachbereich anschließen, um sich nach etwa zwei bis drei Jahren Forschung den Doktorhut aufsetzen zu lassen.

Besondere Chancen durch gezieltes Studium

Die „Denke“ in größeren Zusammenhängen zeigt sich bei den Chemikern der Uni Duisburg-Essen auch in einem ganz besonderen Highlight, das es sonst nirgendwo in Deutschland gibt: Dem Studiengang **Wasser – Chemie, Analytik, Mikrobiologie**, der wie die beiden anderen Chemie-Ausbildungswege nach dem Bachelor/Master-Prinzip aufgebaut ist. Hier treten schon in den ersten Semestern des angehenden Bachelors Vorlesungen und Praktika aus den Bereichen Toxikologie, Analytik und vor allem Mikrobiologie an die

Seite der „klassischen“ Chemiefächer. Hier lernt man definitiv alles, was man für den Umgang mit dem „wichtigsten Rohstoff des einundzwanzigsten Jahrhunderts“ braucht: Von der Pestizid-Spurenanalytik bis hin zu tiefen Einblicken in die Natur der Biofilme, der ältesten und zugleich erfolgreichsten Lebensform der Erde – die sind schließlich nahezu allgegenwärtig überall da, wo Wasser ist.

„Das Lebenselixier Wasser: In Duisburg genau unter der Lupe“

Und last but not least: Auch wer sich auf die Fahnen geschrieben hat, das Wissen über die Chemie in all' ihren Facetten nicht nur zu mehr, sondern auch weiterzugeben, findet in Essen beste Startpositionen. Der Fachbereich bietet nicht nur eine integrierte **Lehrerbildung** mit der Möglichkeit, das Staatsexamen studienbegleitend abzulegen: Essener Chemiedidaktiker arbeiten aktiv auf dem Gebiet der empirischen Unterrichtsforschung, verfügen über beste Beziehungen zu den Schulen des Einzugsgebiets und sind – wie übrigens die meisten im Fachbereich angesiedelten Arbeitsgruppen – eng in hochka-

„Eigener Didaktik-Lehrstuhl hält angehende Chemielehrer auf dem aktuellsten Forschungsstand“

rätige Forschungsnetzwerke eingebunden. Dadurch sind in Essen auch die Chemielehrer von morgen immer auf dem neuesten Stand der Wissenschaft.

Lernen, in größeren Zusammenhängen zu denken

Egal also, ob am Ziel des Studiums der „klassische“ oder medizinisch-biologisch arbeitende Chemiker, der mit allen Wassern gewaschene Wasser-Experte oder der kompetente Chemielehrer stehen soll: An der Universität Duisburg-Essen findet man alle Facetten der „Klammerwissenschaft“ Chemie – nicht nebeneinander, sondern in stetigem Austausch miteinander. Und dies ist genau das, was später für den erfolgreichen Job in Industrie und Forschungsinstitut verlangt wird. Chemiker sind Generalisten. Und in Duisburg-Essen finden sie die ganze Breite des Fachs – in schnellen, international anerkannten Studiengängen.

http://www.uni-duisburg-essen.de/studienangebote/chemie_ba.shtml
http://www.uni-duisburg-essen.de/studienangebote/chemie_ma.shtml

<http://www.uni-essen.de/chemiedidaktik/studium/studiengaenge.htm>
<http://studiengang-wasser.de/>

Studiengänge Chemie und Medizinisch-Biologische Chemie

...	Promotion	
10	Masterarbeit	Masterarbeit
9	Vertiefende Ausbildung in den Chemie-Hauptfächern, dazu ab dem 8. Semester Wahlfächer	Organische Chemie, Biochemie, Physiologie (z. T. im Fachbereich Medizin) dazu ab dem 8. Semester Wahlfächer
8		
7		
6	Bachelorarbeit	
5	Vertiefte Ausbildung in einem Wahlpflichtfach	
4	Grundlagen der Chemie Mathematik, Physik, Anorganische, Organische und Physikalische Chemie, Theoretische, Analytische und Technische Chemie, Toxikologie, Gefahrenstoffrechtskunde	
3		
2		
1		



Studiengang „Wasser“

...	Promotion	
10	Master	
9	Vertiefende Ausbildung in: Instrumenteller Analytik, Biotechnologie, Mikrobiologie, Wasserprozesstechnik, Toxikologie, etc. Dazu Wahlveranstaltungen ab dem 8. Semester	MASTER „WATER SCIENCE“
8		
7		
6	Bachelorarbeit	
5	Vertiefte Ausbildung in einem Wahlpflichtfach	
4	Grundlagen der Chemie und Mikrobiologie Mathematik, Toxikologie, Physik, Analytik, Hygiene, Biochemie, Biotechnologie	BACHELOR „WATER SCIENCE“
3		
2		
1		



Lehramtsstudiengänge Chemie

...	Promotion		
9			Examensarbeit
8		Examensarbeit	Chemie-Vertiefung, Anwendungsbezüge
7	Examensarbeit	Examensarbeit	Fachbezogene Module, z.B. Organische Chemie, Zoologie und Humanbiologie, (Biochemie, Umwelt), Chemiedidaktik, Wissenschaftliches Arbeiten, Schulpraktikum
6	Methoden und Anwendungen im Leitfach Chemie, Sachunterricht, Lernbereichsdidaktik, Schulpraktikum	Chemiedidaktik, Chemie in der Lebenswelt, Grundlagen der Naturwissenschaften, Schulpraktikum	Spezielle Organische Chemie, Anwendungsbezüge (Kosmetik, Biochemie, Materialwissenschaften). Mathematik, Fachdidaktik, Wissenschaftliches Arbeiten, Schulpraktikum
5			
4			
ZWISCHENPRÜFUNG			
3	Grundlagen der Naturwissenschaften,	Einführung in die Chemie, Modul	Fachbezogene Module, zum Beispiel Grundlagen der Organischen und Physikalischen Chemie, Gefahrstoffe in der Schule, Lehren als Beruf – Grundlagen der Chemiedidaktik
2	Einführung in die Chemie (Leitfach),	Organische Chemie, Lehren als Beruf,	
1	Lernbereichsdidaktik, Lehren als Beruf	Grundlagen der Chemiedidaktik	
	GRUNDSCHULE	HAUPT- UND REALSCHULE	CHEMIE, CHEMIETECHNIK UND BIOCHEMIE AN BERUFSSKOLLEGS
			GYMNASIUM

„Anorganische Chemie? Klar, das ist doch das Fach, das sich mit toten Materialien beschäftigt. Mineralien, Kristalle, seltene Elemente...“ Völlig richtig – zumindest war es das vor 100 Jahren noch so. Heute sind die Grenzen zwischen „toter“ und „lebendiger“ Materie längst nicht mehr so genau abgezirkelt. Das beste Beispiel hierfür ist die Arbeitsgruppe um Matthias Epple, seines Zeichens Professor für Anorganische Chemie in Essen. Sein Team befasst sich in der Tat hauptsächlich mit Mineralien und Kristallen. Aber solchen, die buchstäblich mitten im Leben stehen: Den anorganischen Grundstoffen, aus denen zum Beispiel unsere Knochen und Zähne bestehen.

Neue Ideen für den „Knochenjob“

Knochen bestehen aus Calciumphosphat

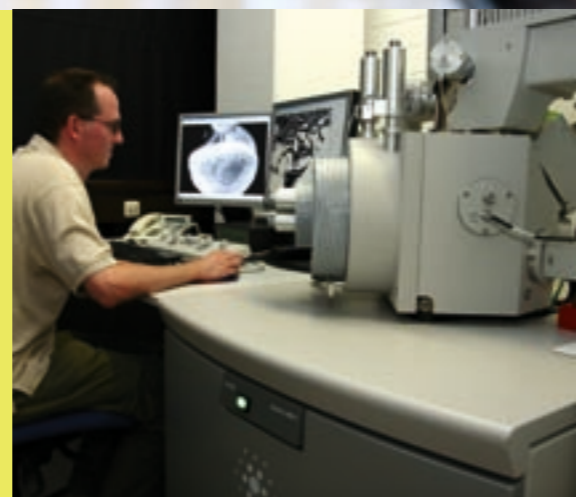
„Ohne anorganische Materialien käme die lebendige Natur nicht weit. Viele Organismen nutzen harte, anorganische Festkörper zur Stabilisierung, als Werkzeug oder um sich vor Feinden zu schützen“, so Matthias Epple. Tatsächlich: Schneckenhäuser, Muschelschalen, Seeigelstacheln, Endo- und Exoskelette von Elefant bis Kellerassel: Die Namen der Mineralien, die diesen „Bauelementen“ der Natur die nötige Härte und Stabilität verleihen, lesen sich, als hätte man ein Chemie- anstelle eines Biologiebuchs vor sich: Calciumcarbonat und Calciumphosphat stehen ebenso im Dienst der Evolution wie Kieselsäure; manche Organismen nutzen sogar Eisenoxide und noch exotischere Stoffe wie Strontiumsulfat zur Nahrungszerkleinerung oder als Skelett-Baustoff.

Seltsam nur: Wie bringt die Natur es fertig, aus anorganischen Stoffen wie etwa Aragonit, Calcit oder Apatit außerordentlich komplexe Dinge wie Haifischzähne, Schneckenhäuser oder Knochen wachsen zu lassen? Wo diese Mineralien von sich aus doch eher bestrebt sind, die Form kantiger Kuben oder Prismen anzunehmen?

Um diese Frage zu beantworten, hilft ein Blick ins Elektronenmikroskop. Denn der Aufbau zum Beispiel eines Zahnes ist sehr viel komplizierter als der eines einfachen Apatit-Kristalls. Wer genau hinsieht, findet hier ganz anders als in einem massiven Apatit-Stück aus dem Bergwerk Unmengen winzigster Kriställchen, die in eine recht flexible Matrix aus Proteinen wie Kollagen eingelagert sind. Dieser Verbund-Aufbau macht Zähne nicht nur überaus hart, sondern zugleich auch elastisch, denn die weichen Proteine zwischen den harten Calciumphosphat-Partikelchen fangen Stöße ab und verhindern die Weiterleitung von feinen Rissen. Und sorgen so dafür, dass der Zahn beim Biss auf einen Stein nicht zerbröckelt wie eine Keramiktafel.

Proteine bestimmen, wo Kristalle weiterwachsen

Genau diese enge Liaison zwischen Biomolekülen und anorganischen Mineralien birgt zugleich das Geheimnis der Gestaltwerdung unserer Knochen und Zähne.



Sehen, was sonst kaum einer zu Gesicht bekommt

„Die Natur hat erstaunliche Wege gefunden, das Wachstum von Apatit-Kristallen in ihrem Sinne zu steuern“, so Epple. „Es gibt zum Beispiel Proteine, auf deren Oberfläche sich die Bestandteile des Calciumphosphats, die Calcium- und Phosphat-Ionen, bevorzugt ablagern. Weitere Biomoleküle können sich auf bestimmte Flächen des darauf entstehenden Kristallits setzen und sorgen so dafür, dass das Mineral nur dort weiter wächst, wo es nötig ist. Schließlich und endlich beherrschen Zellen auch das Kunststück, Kristalle gezielt in gewisse Kompartimente hinein wachsen zu lassen, einfach indem sie nur dort die richtigen anorganischen Bausteine in den nötigen Konzentrationen zur Verfügung stellen. So bestimmt die Natur nicht nur, welche Gestalt das mineralische Bauteil im organisch-anorganischen Verbund hat, sondern auch, welche Position und Ausrichtung es darin einnimmt.“

Um diesen Prozessen detaillierter auf die Spur zu kommen, arbeitet Epple mit Biologen zusammen, die ihm Kandidaten für gestaltbestimmende Proteine liefern – etwa solche, die beim Wachstum von Schneckenhäusern eine Rolle spielen. Damit werden dann

„Die Natur hat erstaunliche Wege gefunden, das Wachstum von Kristallen für ihre Zwecke zu steuern.“

Modelloberflächen beschichtet. Und dann schaut man, was darauf wächst und welche Faktoren wie Konzentration, Temperatur und pH-Wert die Kristallgestalt außerdem beeinflussen.

Was Epples Mitarbeiter dabei unter dem Mikroskop finden, ist erstaunlich: Anstelle reiner Prismen sichten sie zum Beispiel „Flocken“, die bei starker Vergrößerung wie Blätterteigstapel aussehen, ebenso wie seeigelähnliche Gebilde und Kristallite, die an winzige Kürbisse erinnern. „Zähne zu kristallisieren ist aber noch niemandem gelungen. Und das wird auch noch lange so bleiben“, betont Epple. „Die Biomineralisation ist ein äußerst komplexer Vorgang. Wir haben noch lange nicht alles verstanden.“

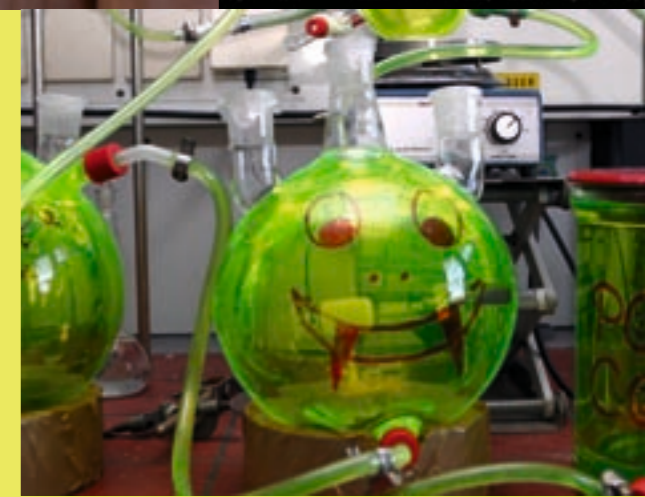
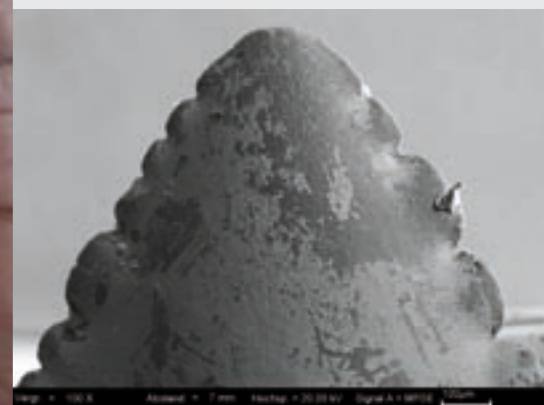
Implantate aus Essen helfen nach der Schädel-OP

Trotzdem tragen die Untersuchungen der Essener Anorganiker heute schon Früchte. Zum Beispiel in Form ultrafeiner Apatit-



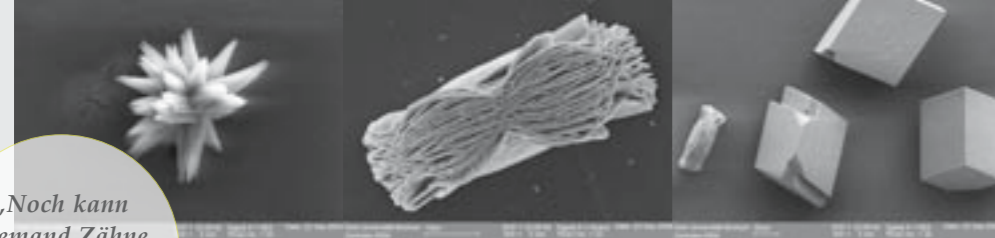
Ein Material, zwei Formen. Wie macht man so was?

Ein Haifischzahn unter dem Mikroskop. Anorganische Chemie live





So unterschiedlich kann Calciumcarbonat aussehen, wenn man die Natur beim Kristallbau stört...



„Noch kann niemand Zähne im Reagenzglas züchten.“

Pulver, die Patienten mit Knochenbrüchen bei der OP in die geflickten Gliedmaßen gelegt werden: Sie dienen den Zellen des Körpers als Rohmaterial für die Synthese „echter“ Knochen. Anderes Beispiel: Ganze Implantat-Platten, mit denen Kranken nach schweren Verletzungen im Schädelbereich wieder zu einem menschenwürdigen Dasein verholfen werden kann. „Diese Implantate bestehen aus winzigen Apatit-Nanokristallen und einem biologisch abbaubaren Polymer, massiv außen, aufgeschäumt innen. Somit sind sie ‚echtem‘ Knochenmaterial auch in Punkto Dichte und Aufbau sehr ähnlich. Im Laufe von etwa zwei Jahren werden diese Platten vom Körper vollständig resorbiert und in stabiles körpereigenes Material umgewandelt.“

Und Epples Nanokristalle vollbringen noch mehr: Da sie bereitwillig von Zellen aufgenommen werden, können sie – mit DNA beschichtet – auf schonendem Wege sogar genetische Informationen transportieren. Und Metalle, die mit einem hauchdünnen, beweglichen Apatit-Schuppenpanzer beschichtet sind, werden vom Körper nicht mehr als „fremd“ eingestuft. „Ich bin sicher, dass es noch eine ganze Reihe von Anwendungen gibt, an die wir jetzt noch nicht einmal denken,“ so Epple.



Ultrabuste „Lackierungen“ für Autos nach dem Hummerpanzer-Prinzip? Abriebfeste Beschichtungen für Industrieanlagen, die bei Bedarf einfach nachwachsen? Warum nicht! „Das Forschungsgebiet ist noch sehr jung“, sagt Matthias Epple, „da ist noch viel drin!“

<http://www.uni-essen.de/akepple/Index>



Calcium statt Titan?
Gute Idee, nur...

...die passenden
Verbindungen gab
es nicht



Manchmal geht das sogar – etwa bei Sjoerd Harder. Er arbeitet an Katalysatoren, die Styrol polymerisieren, diese kleineren Moleküle also zu langen Ketten aneinander reihen. „Und dies nicht einfach so“ beschreibt Harder den besonderen Kniff dahinter, „sondern auch noch besonders gleichmäßig.“ Ziel: Kettenmoleküle, deren Seitengruppen so regelmäßig von der Hauptkette abstehen wie die Zähne eines Reißverschlusses – der Fachbegriff dafür ist „hoch syndiotaktisch“. Diese Eigenschaft ist in der Kunststoff-Industrie gefragt, denn sie macht Polystyrol kristalliner und damit sehr belastbar.

Eine Verbindung, die genau das schon recht gut kann, ist das sogenannte „Cp-Titan-Monochlorid-Kation“. Leider hat dieser „Komplex“ des Übergangsmetalls Titan einen Nachteil: Manchmal springt er mitten in der Polymerisationsreaktion von der wachsenden Polystyrol-Kette ab und fängt eine neue an. „Das Ergebnis sind Styrol-Polymere mit einer relativ breiten Kettenlängenverteilung. In der Technik hätte man aber lieber Polymere mit einer möglichst einheitlichen Moleküllänge“, so Harder. Denn

deren Eigenschaften lassen sich besser kontrollieren.

Deshalbsuchte Harder nach Alternativen. Und die hatte er schnell gefunden: Verbindungen des Erdalkalimetalls Calcium, deren äußerer und elektronischer Aufbau denen ihrer Titan-Pendants beinahe zum Verwechseln ähnlich sieht: Alles darin ist dann fast genauso wie beim Titan-Gegenstück, nur das Metallatom im Innern des Katalysators ist ein anders – und die positive Ladung fehlt.

Zunächst hatte Harder allerdings ein gewichtiges Problem: passende Calcium-Verbindungen gab es noch nicht. Inzwischen hat er sie jedoch synthetisieren können – unter Stickstoff-Atmosphäre, denn in Kontakt mit Luft oder Wasser würden sie wie ihre Titan-Pendants sofort verbrennen.

Und wie sind die neuen Katalysator-Kandidaten? „Sehr vielversprechend! Wie erwartet produzieren unsere Calcium-Verbindungen Polystyrol.“ Und anders als die Titan-„Kats“ lassen Harders Katalysatoren die entste-

hende Kette nie los – sie können also in Ruhe zu mehr oder weniger gleich langen Ketten weiterwachsen, bis das Monomer alle ist. Einen Haken gibt es aber leider doch noch: „Die Syndiotaktizität ist schon gut, aber noch etwas verbesserungsbedürftig...“

Was also tun? Nächster Trick: versuchen, das Calcium-Atom mit Hilfe von organischen Hilfsmolekülen so „einzuwickeln“, dass es die Styrol-Bausteine, die es zum Polymer zusammenfügt, nur noch in einer Art und Weise in die wachsende Kette einbauen kann. „Leider kann das auf Kosten der Reaktivität gehen“, sagt Harder: Wenn die Hilfsmoleküle zu sperrig sind, könnte der Monomer-Nachschub zum Zentrum des Geschehens ins Stocken kommen.

Aber es gibt ja noch eine Alternative: „Das Seltenerdmetall Ytterbium hat unter gewissen Bedingungen eine ganz ähnliche Chemie wie Calcium“, so Harder. „Bis auf Farbe und Dichte gleichen sich viele Verbindungen dieser beiden Elemente wie ein Ei dem anderen.“ Da ist für wählerische Diplomanden also noch einiges zu tun. ●

<http://www.chemie.uni-essen.de/~harder/>



An Luft würden Harders Verbindungen sofort verbrennen. Also ab hinter Glas damit

„Die Lieblings-Currysoße ist ausverkauft? OK, dann nehmen wir eben die Barbequesauce, die im Regal daneben steht – wird auch schmecken.“

Schön, wenn man die Wahl hat! Das denken sich auch Chemiker zuweilen. Zum Beispiel dann, wenn die Reaktion, an der sie arbeiten, zwar im Prinzip ganz gut läuft, aber zum richtigen Durchbruch eben doch noch ein kleines Quäntchen fehlt – mehr Ausbeute, sauberere Produkte... Da wäre es doch schön, wenn man sich mal eben eine Alternative aus dem Chemikalienregal ziehen könnte.

Wahl-Verwandschaften

„Grundverschiedene Elemente können sich überraschend ähnlich sein“

Früher war Chemie nur interessant, wenn es richtig knallte. Zumindest im Reagenzglas. Denn um zwei Stoffe miteinander zur Reaktion zu bringen, musste man ihre Moleküle meist mühsam zu ihrem Glück zwingen. Druck und Hitze waren daher wesentliche Zutaten vieler Umsetzungen: Erst unter diesem äußeren Zwang konnten sich – von Ausnahmen natürlich abgesehen – die Elektronenwolken vieler Moleküle soweit durchdringen, dass alte Bindungen aufgebrochen und neue geknüpft werden konnten.

Moleküle in der Klemme

Kein Wunder, dass da so mancher Schuss daneben ging. Übrigens durchaus buchstäblich gesehen: Denn schon, wenn die schnellen Teilchen im Kolben zwar im richtigen Tempo, aber im falschen Winkel aufeinander prallen, bleibt das erhoffte Ergebnis aus, unerwünschte Nebenprodukte sind die Folge.

Vorbild Enzym

Dass es auch eleganter geht, zeigt wieder einmal die Natur. „Enzyme arbeiten um Größenordnungen effektiver als viele Reaktionen, die wir bis vor zehn, zwanzig Jahren für die Synthese nutzen konnten“, sagt Frank-Gerrit Klärner, Leiter eines Lehrstuhls für Organische Chemie an der Universität Duisburg-Essen. Grund: Diese natürlichen „Reaktionsvermittler“ (auch Katalysatoren genannt) angeln sich die Reaktionspartner gezielt aus der Lösung und führen sie in eigenen „Taschen“ optimal zusammen – viel schonender, als dies der „klassischen“, heißen Chemie möglich ist. Darum laufen chemische Reaktionen in der Zelle nicht nur unter sehr moderaten Bedingungen, sondern meist auch ohne die Bildung nennenswerter Nebenprodukte ab.

„Enzym-Nachbauten stehen für schonende Chemie“

Logisch, dass diese beeindruckenden Fähigkeiten bald auch die Chemiker auf den Plan riefen. Die Marschrichtung war schnell klar: Selbst „Enzyme“ entwickeln. Und zwar bevorzugt solche, die Reaktionen vermitteln können, die die Natur bislang nicht im Repertoire hat. Damit kamen auf die Forscher allerdings etliche neue Fragestellungen zu. Wie zum Beispiel muss man Moleküle konstruieren, die andere aufnehmen sollen? Welche Kräfte treten dabei auf? Wie verhalten sich die aufgenommenen Teilchen?

Genau diese Fragen rief auch die Arbeitsgruppe um Frank-Gerrit Klärner auf den Plan. Sie erforscht seit etwa zehn Jahren, wie man Moleküle zu guten Gastgebern macht. Und zwar anhand zweier Substanz-Familien, die der Professor „Molekulare Pinzetten und Klammern“ nennt.

Die Falle schnappt zu

Diese Namen sind tatsächlich Programm. Denn Klärners Pinzetten sehen nicht nur so aus wie submikroskopisch kleine Gegenstücke der makroskopischen Greifer – sie funktionieren auch genau so. Gibt man zu einer Lösung solcher Pinzettenmoleküle eine Verbindung, die sich als „Gast“ eignet, schnappen die

Schenkel zu und klemmen das Teilchen ein – es entsteht ein Wirt-Gast-Übermolekül, ein sogenannter supramolekularer Komplex. „Diesen Vorgang können wir mit aufwändigen Rechnungen inzwischen sogar am Computer simulieren“, sagt Klärner. „Aber es ist absolut nichts geheimnisvolles dabei. Die Pinzettenenden tragen eine leicht negative Teilladung, der Gast eine leicht positive. So sorgt schon die elektrostatische Wechselwirkung dafür, dass der Gast in die Falle gerät, wenn er in die Nähe der Pinzette kommt. Dort sitzt er dann auch relativ fest.“

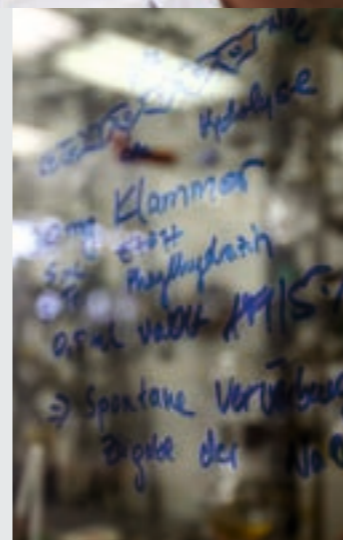
„Relativ fest“ bedeutet: Das eingefangene Teilchen sitzt nicht bewegungslos in der Klemme, sondern schwingt, „wackelt“ und rotiert wie ein Hamster im Rad. „Aber das ist bei natürlichen Enzymen auch nicht viel anders“, betont Klärner. „Wichtig ist die gute Präorganisation: Wir wissen nun sicher, dass unsere Pinzetten andere Moleküle zielgenau aus der sie umgebenden Flüssigkeit aufgreifen können.“

Bislang handelte es sich dabei übrigens in den allermeisten Fällen um organische Lösemittel wie Chloroform. Der Biochemiker wünscht sich aber Wasser. „Inzwischen ist es uns aber auch schon gelungen, unsere

Chemie nach dem Lego-Prinzip



„Übermoleküle‘ aus ‚Wirt‘ und ‚Gast‘“



Pinzetten und Klammern auch in diesem Medium zum Einsatz zu bringen.“ Dazu muss man die kleinen Greifer lediglich mit ‚wasserfreundlichen‘, polaren Molekülgruppen versehen: Für die versierten Synthesechemiker in Klärners Arbeitsgruppe kein Problem. „Auch wenn meine Mitarbeiter zum Beispiel in analytischer Chemie bewandert sein müssen, um unsere supramolekularen Komplexe zu untersuchen, macht die chemische Synthese im Labor etwa zwei Drittel unserer Arbeit aus“, so Klärner.

Dafür beruhen die Baupläne der Molekülfallen aus Essen auf einem einfachen, aber überaus flexiblen Bauprinzip: Wie bei einer Art ‚molekularem Lego‘ können sich die Chemiker ihre Pinzetten aus einem ganzen Pool immer gleicher Bausteine zurechtbauen.

Molekulares Lego

Das erlaubt es, für viele Experimente den optimalen Kandidaten zusammenzustecken. So haben Klärners Mitarbeiter ihre molekulare Klammern zum Beispiel mit fluoreszierenden „Anthracen-Seitenwänden“ ausgestattet. Der Clou: Die Fluoreszenz versiegt, sobald sich ein Gast dazwischen zwängt.

Wie macht man Moleküle zu guten Gastgebern?

Das könnte man nutzen, um Sensoren zu konstruieren. Andere Nano-Pinzetten aus der Angebotspalette der Arbeitsgruppe angeln bereits recht gezielt Koffein aus wässrigen Lösungen – und NAD⁺, einen wichtigen sogenannten „Cofaktor“, ohne den viele natürliche Enzyme nicht arbeiten können. „Wir testen gerade in enger Zusammenarbeit mit einer Arbeitsgruppe am Universitätsklinikum Essen, ob man das nutzen kann, die Aktivität dieser Enzyme zu steuern.“ Möglicherweise – Klärner ist hier noch ganz vorsichtig – könnten gewissermaßen entfernte Neffen seiner Steckenpferde sogar einmal die Parkinson-Behandlung erleichtern. Denn auch hier spielen ähnliche Cofaktoren eine wichtige Rolle im Krankheitsgeschehen.

Sehr viel näher an dem, was heute schon geht, ist dagegen der Versuch, Pinzetten und Klammern als Enzym-ähnliche Katalysatoren – sogenannte ‚Enzymmimetika‘ – für die chemische Synthese einzusetzen. „Die sogenannte Alkylierung von Pyridinderivaten ist dafür ein gutes Beispiel“, sagt Klärner. „Diese Reaktion läuft bei Raumtemperatur sehr, sehr langsam ab. In Gegenwart von Substanzen wie denen, die wir erforschen, reichen ein paar Stunden.“ Der Grund: Im Verlaufe der Reaktion bildet sich zwischen den an der Reaktion beteiligten Molekülen eine positive Ladung aus. Die fühlt sich in der negativ geladenen ‚Tasche‘ der Nano-Pinzetten sehr viel wohler als in der freien Flüssigkeit – dadurch wird die Ladung stabilisiert und die Reaktion erleichtert. Sehr viel anders lesen sich die Rezepte im Enzym-Kochbuch der Natur auch nicht. ●



Moleküle, die zupacken können

Einer der wesentlichen Unterschiede zwischen Naturwissenschaften und esoterischen Geheimlehren: Was man in Lehrbüchern findet, steht dort nicht, weil irgendein Professor das so will, sondern weil Experimente auf den geschilderten Befund hindeuten. Jeder ist eingeladen, das zu widerlegen.

„Schreibt die Lehrbücher um!“

So kann es durchaus ab und zu vorkommen, dass auch dicke „Chemie-Bibeln“ umgeschrieben werden müssen. Wie etwa im Falle der „Oxidation von Hydroarenen durch Chinone“, die laut eines der beliebtesten Textbooks der organischen Chemie über Hydrid-Ionen ablaufen soll – negativ geladene Wasserstoff-Ionen, die von einem Molekül abgelöst werden und sich dann erst ihren Reaktionspartner suchen. So steht es zumindest seit 1954 im Lehrbuch „March's Advanced Organic Chemistry“.

Doktoranden in der Organischen Chemie in Essen kam das spanisch vor. Also machten sie die Nagelprobe: Sollte der vorgeschlagene Reaktionsweg stimmen, müsste die Reaktion unter Druck langsamer laufen – denn das abspringende Hydrid-Ion braucht Platz, und den findet es in einer zusammengepressten Lösung nicht so schnell. Etliche Versuche im Druckreaktor zeigten aber: Bei 3500 bar läuft die Reaktion sogar geringfügig schneller ab. Erklärung: Kein springendes Ion verursacht die Umsetzung – stattdessen findet sie nur statt, wenn sich „Hydroaren“ und „Chinon“ in der Lösung so nahe kommen, dass Wasserstoff-Atome direkt von einem Molekül zum anderen springen können. Dieser Prozess braucht weniger Platz, ist unter Druck also sogar etwas begünstigt.

Zugegeben: ein diffiziler Unterschied. Aber wer die Reaktion für eine Synthese nutzen möchte, muss genau wissen, was in seinem Reagenzglas abläuft. Also werden die Lehrbücher nun eben umgeschrieben: Ein ganz normaler Vorgang. Trotzdem dürften in Essen die Sektkorken geknallt haben. ☉



Gibt es eine chemische Verbindung, die selbstverständlicher wäre als Wasser? Kaum. Trotzdem bereitet diese alltägliche Substanz vielen Chemikern immer noch Kopfschmerzen. Man versteht sie nicht so recht. „Die Wechselwirkungen zwischen den einzelnen Wasserteilchen sind sehr komplex“, sagt Georg Jansen – ein junger Professor, der an der Uni Duisburg-Essen im Fach „Theoretische Organische Chemie“ zu Hause ist. Warum gibt es zum Beispiel dreizehn verschiedene Arten von Wassereis – mindestens? Nach etlichen hundert Jahren Forschung: Immer noch Achselzucken bei den Physikern.

Tanzende Moleküle im Computer



Nun könnte man mit dem Wasser-Rätsel vielleicht leben, wenn das Problem hinter den Fragezeichen nicht viel universeller wäre. „Die Kräfte, die zwischen einzelnen Molekülen wirken, sind extrem schwach. Aber im mikroskopischen Maßstab bestimmen sie nun einmal, ob, wann und wie die Teilchen sich etwa zu einem Kristall zusammenfinden. Und wenn viele Moleküle zusammenkommen, summieren sich die kleinen Kräfte auf und bestimmen zum Beispiel die Zugfestigkeit einer Polymerfaser“, so Jansen.

Beobachten kann man das Wechselspiel dieser diffizilen Kräfte zwischen zwei einzelnen Molekülen nur indirekt – etwa über die Energie, die sie absorbieren müssen, um gegeneinander in Schwingung geraten. Was also tun? Den Computer zum Reagenzglas machen. Denn im Prinzip sollte man die Kräfte zwischen zwei Molekülen doch im Rechner simulieren können – eigentlich handelt es sich dabei ja nur um Elektronen, die nach Art eines komplizierten Mobiles um Atomkerne kreisen. Doch was so simpel klingt, ist in Wirklichkeit extrem aufwändig. „Wegen der winzigen Kräfte müssen wir

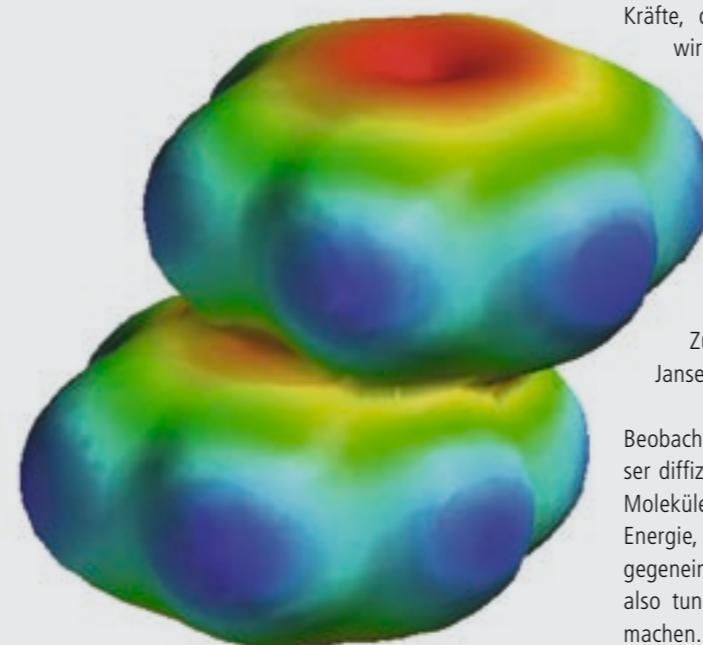
sehr genau rechnen. Und da schlagen dann die Effekte der Quantenmechanik zu Buche“, sagt Jansen. Das Problem: selbst in einfachen Molekülen kann die Bahn jedes einzelnen Elektrons die aller anderen beeinflussen – derartige Mobiles lassen sich mit der heute bekannten Mathematik nicht exakt erfassen.

Also muss man sich dem Problem mit Tricks und Kniffen nähern – also zum Beispiel das Benzolmolekül nicht „von Anfang an“ durchrechnen, sondern als diffuse Elektronenwolke betrachten, die durch einen äußeren Einfluss – die Nähe eines anderen Moleküls etwa – deformiert wird. Denn wird die negativ geladene Wolke auch nur ein wenig vom Gerüst der Atomkerne weggedrückt, wird deren positive Ladung nicht mehr so effektiv abgeschirmt. Dann ziehen sich zwei Moleküle an, wo sie sich doch auf Grund ihrer negativ geladenen Elektronenwolken eigentlich abstoßen müssten. „Für derartige Rechnungen muss man natürlich sehr genau wissen, wo man vereinfachen darf und wo nicht. Dafür brauchen wir Leute, die fit sind in Mathematik, Physik und Informatik“, sagt Jansen. „Angewandte Quantenmechanik ist fast schon eine Kunst.“

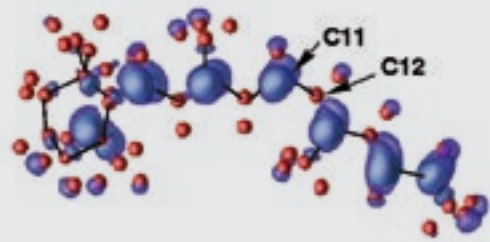
Doch trotz aller Vereinfachungen: Selbst wenn man sich auf zwei simple Benzolmoleküle beschränkt, die im Rechner umeinander gewirbelt werden, ist der Rechenaufwand erheblich.

Ein Array aus 16 High-end-Workstations im klimatisierten Keller des Chemie-Fachbereichs rechnet am Benzol-Ballett locker ein ganzes Jahr, Tag und Nacht. Wie hoch der Aufwand für ein ganzes Wasserglas voller Moleküle wäre? Erstmal nicht dran denken. Aber um zu verstehen, wieso sich DNA ausgerechnet in einer Doppelhelix daherwindet, wieso sich manche Moleküle in die Tasche eines Enzyms einlagern und andere nicht, wieso Kunststoffe versteifen, wenn man sie in die Länge zieht – das wird man mit den aufwändigen Experimenten im Computer ganz allmählich immer besser verstehen. Und irgendwann auch herausfinden, warum Wasser so ist, wie es ist. ☉

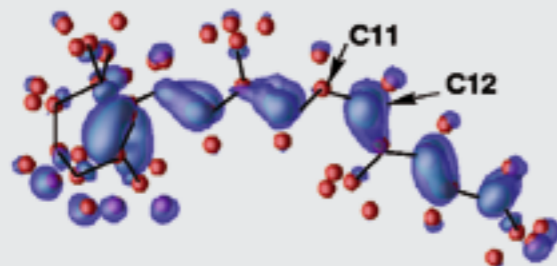
„Quantenmechanik ist eine Kunst“



Ein Benzol-Pärchen, wie der Computer es sieht – nach einem Jahr Arbeit



Komplexe Elektronenrennbahn:
Die „Bläschen“ zeigen, wo das lockerste Elektron des Retinals meistens anzutreffen ist. Springt es vom unteren in das obere Bläschen-Arrangement („Orbital“), muss sich das Molekül umorganisieren



Mit Geheimnissen ist das so eine Sache. Ab und zu gelingt es der Wissenschaft, eines der wirklich großen Rätsel des Lebens zu enttarnen – und dann wirkt das, was dahinter steckt, sogar noch ein wenig geheimnisvoller als das, was man zuerst vor Augen hatte.

Dem Geheimnis des Sehens auf der Spur

Ein gutes Beispiel dafür ist das „Wunder des Sehens“. Zwar weiß man seit einiger Zeit, was dahinter steckt: Ein Molekül mit der Bezeichnung Retinal, das im Innern eines großen Proteins namens Rhodopsin sitzt, nimmt eine andere Form an, wenn es von einem Lichtteilchen getroffen wird. Diese Bewegung wird über diverse „Hebel“ verstärkt. Am Ende der Kaskade schließen sich Millionen Ionenkanäle in der Zellmembran, ein elektrisches Potenzial wird aufgebaut, wir sehen einen kleinen Blitz.

Aber je genauer die Forscher hinsahen, desto verwunderter rieben sie ihre Augen. Die Ursache der Gestaltänderung ist eine Drehung des Sehmoleküls um eine seiner vielen Doppelbindungen, soviel war klar. Die findet statt, weil ein Elektron des Retinals durch das auftreffende Lichtteilchen auf eine höhere Bahn gehoben, „angeregt“ wird. Damit wird nicht nur eine Doppelbindung gelöst: Die Geometrie des „alten“ Moleküls passt nicht mehr zur neuen „Position“ des beförderten Elektrons, das Retinal ist also gezwungen, seine Gestalt

anzupassen. Seltsam nur: Bestrahlt man diese Verbindung einfach nur im Reagenzglas mit Licht, entsteht nicht bloß ein weiteres Isomer, sondern bis zu zehn.

Kaum zu glauben auch die Effizienz, mit der der Drehprozess im lebenden Auge abläuft. Er ist zum Beispiel furcht-erregend schnell: nach weniger als 200 Femtosekunden ist alles passiert. Das ist die Zeit, die Licht braucht, um ein menschliches Haar zu durchqueren.

Für Wissenschaftler wie Volker Buß und seine Mitarbeiter ein Grund, sich das Geheimnis des Retinals noch einmal etwas genauer anzusehen. Nur: Wie soll man einen derart schnellen Prozess im Detail verfolgen? Eine mögliche Lösung: Statt direkt zu beobachten, was beim Photonenaufrall passiert, einfach verfolgen, welchen Weg die Naturgesetze vorschreiben, denen alle Moleküle gehorchen müssen. Also das Retinal im Rechner nachbauen und ihm mit quantenmechanischen Methoden auf die Bindungen rücken.

Das ist allerdings leichter gesagt als getan. Denn man weiß nicht, was genau mit dem Elektron passiert, das durch das Lichtteilchen „angeregt“ wird. „Prinzipiell könnte es sich in jeder freien ‚Bahn‘ des Moleküls bewegen. Und jedes der zurückbleibenden Elektronen kann in die Lücke stürzen, die das angeregte Teilchen hinterlassen hat.“ Bleibt also nur: Alle Alternativen durchrechnen. Und das Ganze mindestens 10.000 mal, denn der ultrakurze Dreh-Vorgang muss in etliche weit kürzere Zeitscheibchen zerlegt werden, damit man die Bewegung des Moleküls anschließend genau genug im Kasten hat. Das ist selbst für schrankgroße Rechnerboliden kein Job, der mal eben an einem Tag verrichtet ist.

Inzwischen, nach monatelanger Rechenarbeit, kann Volker Buß sich aber zurücklehnen. Seinen Laptop aufklappen, auf ein Icon klicken – und schon läuft ein kleiner Film, auf dem genau zu sehen ist, wie das Retinal in seiner Rhodopsin-Umgebung erst ein wenig wackelt – und sich dann, plötzlich und rasant wie eine vorgespannte Feder, um seine eigene Achse dreht.

An manchem Trickfilm mit deutlich mehr Handlung wurde nicht wesentlich länger gerechnet. Trotzdem ist das Resultat bemerkenswert: „Wir können jetzt beweisen, was man vorher nur vermuten konnte: Dass das Retinal sich nur deshalb so effektiv isomerisieren kann, weil es durch das Rhodopsin quasi vorverdrillt wird“, fasst Buß sein wichtigstes Resultat zusammen.

Dieses Rätsel wäre also gelöst. Aber warum ausgerechnet Retinal? Warum geht das mit anderen Molekülen nicht so gut? Hinter dem gelösten Rätsel wartet also bereits das nächste. ◉

„Wir bilden die Natur im Rechner nach, um sie zu verstehen“

Nur versierte Synthese-Experten können dem Eisen in der Zelle auf die Spur kommen

Wer sich ein wenig für Biochemie interessiert, der weiß: Die chemischen Abläufe in der Zelle sind nicht nur ungeheuer komplex – die Moleküle, die das Stoffwechselkonzert dirigieren, sind oft auch ziemlich groß. Enzyme, Ionenkanäle, viele Hormone sind aus Hunderten, wenn nicht gar Tausenden von Aminosäuren aufgebaut.

Wie man Ionen einwickelt

Simple Teilchen – große Wirkung

Das ist jedoch nicht immer so. Auch sehr viel kleinere Teilchen können das Geschehen in der Zelle ganz erheblich mitprägen. Zum Beispiel simple Eisen-Ionen. In dicke Proteinhüllen eingepackt, wirkt dieses Metall in der Zelle sehr segensreich. Keine Atmung ohne Eisen-Ionen, die den Sauerstoff von der Lunge in die Zelle transportieren: Nicht umsonst ist Eisen das häufigste Metall im Körper. Es kann aber auch Probleme bereiten: In freier, quasi „nackter“ Form kann es harmloses Wasserstoffperoxid, das in der Zelle in geringen Mengen immer vorkommt, in gefährliche Hydroxylradikale umwandeln – die sogar DNA zerstören können.

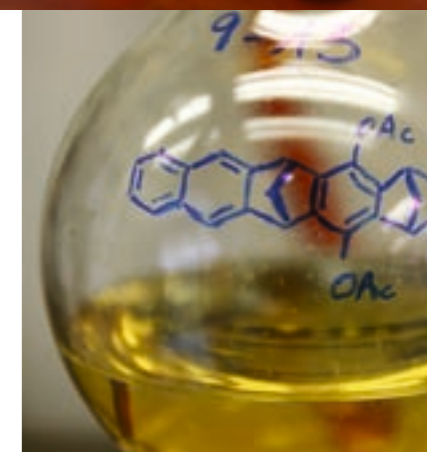
Nun weiß sich die Zelle vor dieser Nebenwirkung in der Regel zu schützen – zum Beispiel, indem sie das zelluläre Eisen in großen Speicherproteinen zwischenspeichert. Aber auf dem Weg von der Membran in die „Packung“ können die entscherten Ionen Schaden anrichten. Erst Recht natürlich gerade dann, wenn die Abwehrmechanismen der Zelle außer Kraft gesetzt sind. Etwa, wenn sie verletzt wurde oder unterversorgt ist – etwa in

Spenderorganen auf dem Weg zu ihrem Empfänger. Hier geht sogar ein großer Teil der auftretenden Zellschäden auf das Konto ungesicherter Eisen-Ionen. „Darum wollen wir herausfinden, wo diese Spezies in der Zelle im Detail vorkommt. Und ob man sie vielleicht unschädlich machen kann“, sagt Reiner Sustmann von der Uni Duisburg-Essen.

So weit so gut. Das Bemerkenswerte: Sustmann ist kein Biochemiker, sondern Inhaber eines Lehrstuhls für Organische Chemie. Dass er in „fremden Gebieten wildert“ überrascht aber nur auf den ersten Blick: Um Eisen-Ionen in der lebenden Zelle sichtbar zu machen, braucht man passende Verbindungen – und die können nur versierte Synthese-Experten herstellen.

Nacktes Eisen einwickeln

Um zum Beispiel herauszufinden, ob das potenziell schädliche, „nackte“ Eisen nicht nur auf dem Weg zur Einpackstation anfällt, sondern auch in den Stoffwechselfabriken der Zellen, den Mitochondrien, vorkommt, braucht man Moleküle, die sich gezielt in



diesen Zellorganellen anreichern und sich das dort eventuell vorhandene „freie“ Eisen packen – ohne sich von anderen Stoffen irritieren zu lassen. Hierzu setzen die Chemiker auf eine Klasse von organischen Molekülen, die Eisen-Ionen gezielt aufgreifen – sogenannte Chelatbildner. Die Bezeichnung „Chelat“ kommt aus dem griechischen und bezeichnet eine „Krebsschere“ – und beschreibt damit ziemlich treffend, was das Molekül in der Zelle mit dem Eisen-Ion anstellt: Es nimmt es fest in die Zange.

„Wer sich mit Biochemikern versteht, hat beste Jobchancen“

Startschuss unter dem Mikroskop

Nicht nur Eisen können die angehenden Chemiker in Sustmanns Team gezielt abfangen. Auch Stickstoffmonoxid, NO, ein kleines Molekül, das in Zellen zum Beispiel ganze Reaktionskaskaden in Gang setzen kann, haben sie sich von den Wunschzetteln der Biochemiker notiert. „NO bewirkt zum Beispiel, dass unsere Adern bei sportlicher Aktivität weiter gestellt werden; in unserem Immunsystem gibt es Zellen, die Eindringlinge mit Hilfe dieses Gases töten – das Stickstoffmonoxid heftet sich wichtige Moleküle in den feindlichen Mikroorganismen und blockiert sie dadurch. Außerdem soll es eine wichtige Rolle bei der Speicherung unserer Erinnerungen spielen“, sagt Professor Sustmann. „Wahrscheinlich wissen wir immer noch nur einen Bruchteil über das, was Stickstoffmonoxid in der Zelle alles tut.“

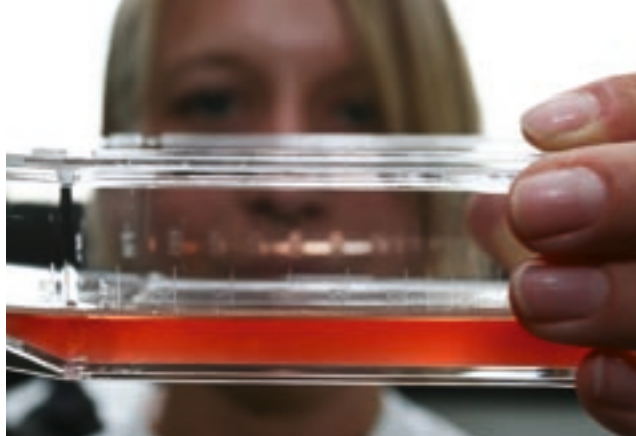
Um noch mehr zu erfahren, müsste man dieses wichtige Gas in der lebenden Zelle sichtbar machen können. Diese Herausforderung haben die angehenden Chemiker in Sustmanns Arbeitsgruppe angenommen – und gewonnen: Sie fanden nach langer Suche einen Fluoreszenzfarbstoff, der mit NO reagiert, durch Zellmembranen transportiert wird und sich auch durch

NO-Abbauprodukte wie Nitrit- und Nitratsalzen nicht irritieren lässt. Damit können Biochemiker am Essener Universitätsklinikum jetzt direkt beobachten, wann und in welchen Situationen Zellen NO herstellen – ganz einfach unter dem Lasermikroskop: Färbt sich die zunächst rot glimmende Zelle blau, wurde die Stickstoffmonoxid-produzierende Maschinerie angeworfen. „Das ist die einzige bisher bekannte Methode, bei der man die zu untersuchenden Zellen nicht erst zerstören muss, um den NO-Gehalt zu bestimmen,“ so Sustmann. ●

●●●● http://www.orgchem.uni-essen.de/AK_Sustmann.html



Spezialfarbstoff gesucht!
Einer von hundert ist vielleicht ein Treffer



Am Essener Klinikum wird untersucht, was in der Organischen Chemie zusammengebraut wird



„Chelatbildner, die für unsere Aufgabe in Frage kommen sollen, müssen mehrere Eigenschaften mitbringen“, so Sustmann. „Sie müssen stärker am Eisen haften als andere Moleküle in der Zelle, zum Beispiel Zitronensäuresalze. Und sich obendrein gezielt in Mitochondrien anreichern.“

„Ohne versierte Synthese-Chemiker geht es nicht“

Moleküle mit dem nötigen „festen Griff“ gibt es im Prinzip viele. Um dafür zu sorgen, dass sie wie gewünscht auch in die Zell-Kraftwerke eindringen, hefteten die Chemiker ihnen nun eine positiv geladene Molekülgruppe an. Da die Mitochondrienmembran leicht negativ geladen ist, wird diese „Eisenklammer“ problemlos in diese Organellen transportiert – und verrät das dort vorhandene freie Eisen durch einen Fluoreszenzeffekt unter dem Lasermikroskop. Übrigens: In Mitochondrien gibt es tatsächlich eine ganze Menge Eisen-Ionen. Sogar überraschend viele.

Zwei Fliegen mit einer Klappe

Nach dem Prinzip Krebschere lässt sich das nackte Eisen aber nicht nur aufspüren und sichtbar machen. Die Idee lässt sich auch ein-

setzen, um das gefährliche Ion unschädlich zu machen. Und – mehr noch: Sogar dafür einspannen, den Stoff, aus dem die gefährlichen Hydroxylradikale entstehen, in ungefährliche Produkte wie Wasser und Sauerstoff zu verwandeln – bevor schlimmeres daraus entsteht.

Hier nehmen sich die Chemiker in Sustmanns Arbeitsgruppe die Enzymfamilie der Katalasen zum Vorbild, deren Mitglieder von der Natur konstruiert wurden, um Wasserstoffperoxid zu „entgiften“. Auch darin arbeitet ein Eisen-Ion – nur eben diesmal in „nützlicher“ Funktion. Sustmanns Mitarbeitern gelang es nun, Moleküle zu konstruieren, die sich wie gewohnt um das freie Eisen-Ion „wickeln“, dabei aber eine Umgebung schaffen, wie sie in ähnlicher Weise auch in Katalasen vorkommt. Resultat: Diese „Katalase-Nachahmer“ zerlegen Wasserstoffperoxid tatsächlich in unschädliche Bausteine. Damit ist der Bildung der gefährlichen Hydroxylradikale der Boden entzogen – ausgerechnet mit Hilfe des Ions, das vorher für ihre Bildung verantwortlich war.

●●●● http://www.orgchem.uni-essen.de/AK_Sustmann.html



Um diesen Erfolg verzeichnen zu können, mussten die Essener Chemiker wieder eine ganze Reihe von Chelat-Kandidaten herstellen und durchtesten. Passen sie durch die Zellmembran? Sind sie kompatibel mit dem Zellmilieu – zum Beispiel dessen pH-Wert? Und: Sind die so hergestellten „künstlichen Enzyme“ wirklich unschädlich – oder ist das Eisen darin so wild auf neue Reaktionspartner, dass es nun seinerseits andere Zellbestandteile angreift?

All diese Eigenschaften lassen sich im Prinzip durch das clevere Design passender Hüllmoleküle steuern – im Prinzip sind die Baugruppen, die die Essener Chemiker auf ihrer Tafel stehen haben, denen der Natur ganz ähnlich. Dennoch ist das Design derartiger Moleküle eine der Hauptaufgaben, der sich die Mitarbeiter in Sustmanns Arbeitsgruppe stellen müssen. Aber bei weitem nicht die einzige: „Bei uns lernt man auch, mit Zellkulturen umzugehen und vor allem: eng mit Biochemikern zusammenzuarbeiten“, betont Reiner Sustmann. „Das macht sich unserer Erfahrung nach auch bei der Jobsuche bemerkbar: Chemiker, die auch etwas von Biochemie und Physiologie verstehen, haben auf dem Arbeitsmarkt beste Chancen!“ ●

Bittere Medikamente packt man am besten in eine süße Hülle – dann ist das Schlucken kein Problem. Das ist in einfachen Worten das Thema, um das die Arbeit von Christian Mayer am Campus Duisburg der Uni Duisburg-Essen kreist.



Mit Seifenblasen in die Zelle

Allerdings ist Mayer kein „Pillendreher“, sondern Professor für Physikalische Chemie. Trotzdem: „Uns geht es darum, Methoden zu entwickeln, mit denen man verschiedenste Wirkstoffe einkapseln und an ihren Wirkort bringen kann – zum Beispiel in Tumorzellen“, so Mayer.

Und die Vehikel, derer er sich für diesen Zweck bedient, erinnern tatsächlich an dragierte Pillen. Sie sind nur sehr viel kleiner: Sogenannte Vesikel, winzige Hohlkugeln, die sich in Wasser durch Selbstorganisation aus amphiphilen Molekülen bilden – also solchen, die aus einer langen, unpolaren Kette und einem polaren Kopf bestehen. Gibt man diese Substanzen – im Prinzip Spülmittel! – mit etwas Öl in Wasser, halten sie beide Flüssigkeiten perfekt auf Distanz: An ihrer gemeinsamen Grenzfläche entsteht eine dünne Membran, in der die unpolaren, hydrophoben Molekülteile des Amphiphils dem Öl, die polaren, hydrophilen dem Wasser zugewandt sind. Mit einer derartigen Hülle umgeben, können winzigste Öltröpfchen im Wasser schwimmen, ohne sich zu größeren Fettaggen zu vereinigen.

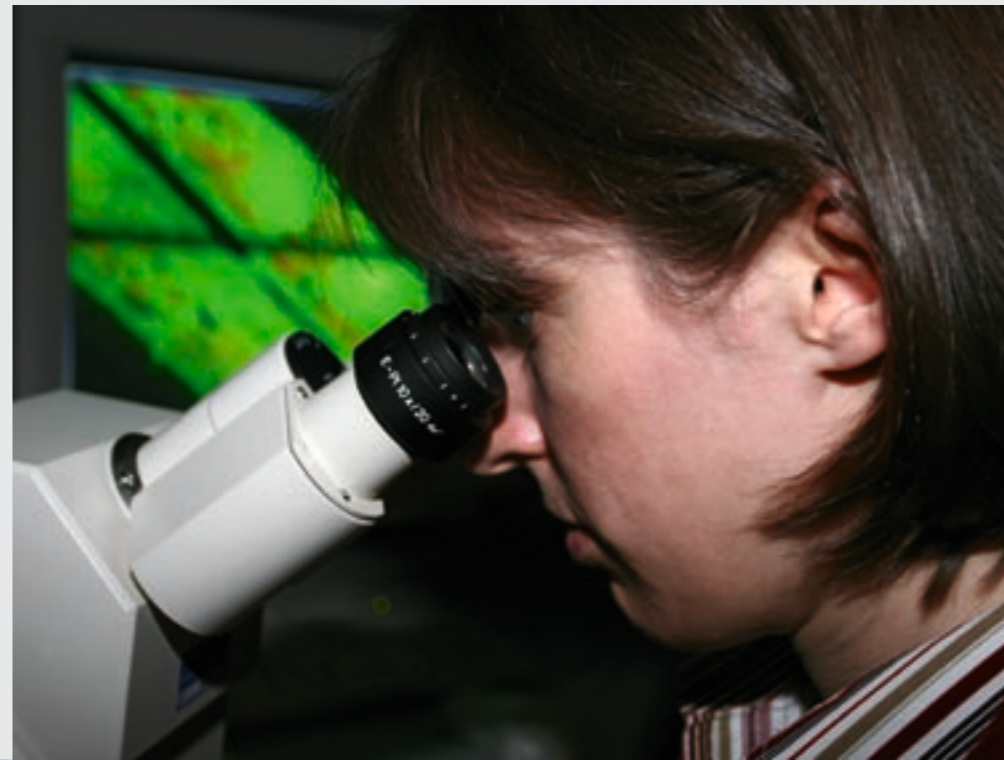
Wie bringt man Pharmawirkstoffe gezielt in den Tumor?

Eigentlich könnte man diese Tröpfchen schon für den Transport von Pharmawirkstoffen nutzen – denn wenn man die dem Öl beimengt, werden sie gleich mit eingeschlossen. „In der Praxis reicht das aber oft noch nicht aus“, so Mayer. Dafür sind die Öltröpfchen mit ihrer dünnen Haut noch zu labil – etwa wie Seifenblasen. Durch einen Trick verhilft Mayer ihnen aber zu einer soliden Wand: „Wir geben Polymerbausteine hinzu, die sich in der dünnen Membran anreichern und dort aushärten.“ Aus den „Seifenblasen“ werden dann praktisch winzig kleine, biologisch abbaubare Plastik-Kügelchen – so genannte Nanokapseln – die es dann durchaus auch durch die Blutbahn bis an ihr Ziel schaffen, ohne sich vorher zu öffnen. Zumindes im Prinzip – wenn man es schafft, diese Nano-Hohlkugeln vor Angriffen durch die Fresszellen



Die Sirene ist schon von weitem zu hören. Nichts wie rechts ran und den Wagen mit dem Blaulicht vorbeirauschen lassen. Dann eine Überraschung: Wie soll in dieses kleine Auto ein Patient reinpassen? Und ein Notarztwagen ist es auch nicht...

Mitten im Leben



Schutzmechanismen
im Spenderorgan auf
Eis gelegt

zum Beispiel die aggressiven OH-Radikale ungebremst austoben. „Außerdem werden Stoffwechsel-Abbauprodukte nicht mehr abtransportiert. Der pH-Wert sinkt, die Zelle übersäuert“, sagt de Groot. Dies alles zusammen führt dazu, dass irgendwann die Zellmembran löchrig wird; das lockt schließlich weiße Blutkörperchen an, die sich daran machen, die Zelle vollends zu zerstören. Was also tun? Alles Wissen zusammennehmen. „Wir versuchen, Krankheiten bis auf ihre molekulare Basis zu verstehen und daraus Therapien abzuleiten“, sagt de Groot. Was das im Falle der vom Zelltod

„Mit einer Kombination aus Chemie, Biologie und Medizin bereiten wir unsere Studenten besser auf ihren Traumberuf vor.“

des Immunsystems zu schützen. Und hier kommt das Know-how der physikalischen Chemie ins Spiel. „Eine Möglichkeit, der Immunantwort zu entgegen ist, die Schale zwar fest, aber nicht zu stabil zu machen. Wenn einige Moleküle darin einem schnellen Austausch mit der flüssigen Phase unterworfen sind, finden die Fresszellen keine Möglichkeit, sich an die Kapseln anzuhängen,“ sagt Mayer. Bei der Suche nach dem optimalen Gleichgewicht zwischen Festigkeit und Labilität hilft die Kernresonanzspektroskopie: Mit ihrer Hilfe kann die Geschwindigkeit, mit der Moleküle zwischen der Vesikelwand und der umgebenden Flüssigkeit hin- und herwandern, genau bestimmt werden. Und nicht nur das: Die Messungen zeigen auch, wie durchlässig die Kapselmembran für alle beteiligten Moleküle sind.

„Winzige ‚Seifenblasen‘ als Schablone für hohle Polymerkügelchen“

„Und die Frage, wo unsere Vesikel ihren Wirkstoff letztlich freisetzen, können wir durch die Auswahl der Hüllmoleküle steuern.“ Mayers Mitarbeiter haben so zum Beispiel Kapseln entwickelt, die besonders gut durch die Poren schnell wachsender Tumorzellen wandern oder sich gezielt in Zellkernen anreichern, wo sie die eingeschlossenen Wirkstoffe dann nach und nach wieder abgeben. „Die Pharmakologen sagen uns, wo sie hinmöchten und wir versuchen, die dafür optimalen Behältnisse zu entwickeln“, sagt Mayer. ◉



Chemie gegen den
Zell-Selbstmord

Schon mal erlebt? Zugegeben: Oft kommen solche eiligen Transporte nicht vor. Aber auch nicht selten. Denn der vorbeirasende Wagen hatte sehr wahrscheinlich ein Spenderorgan an Bord – und in Deutschland wurden im Jahr 2003 gut 4000 Nieren, Herzen, Lungen und Lebern transplantiert.

So weit, so gut. Nur: Warum müssen sie so schnell zum Empfänger gebracht werden? „Weil in Organen, die von der Blutzufuhr abgeklemmt werden, sehr schnell schädigende Prozesse einsetzen“, sagt Herbert de Groot, Professor am Essener Universitätsklinikum. „Da bleibt auch bei guter Kühlung nicht viel Zeit.“

De Groot muss es wissen. Der Mann ist schließlich Arzt. Und er hat sich vorgenommen, etwas gegen die Zerfallsprozesse zu tun. Auch das kann er, denn er ist zugleich Biologe. Und damit bestens im Bilde über die Vorgänge, die etwa ein Herz zerstören können, wenn es nicht rechtzeitig am OP-Tisch ankommt.

Denn was sich darin nach der Trennung vom Körper des Spenders abspielt, ist nicht weniger dramatisch als eine Blaulichtfahrt durch den Feierabendverkehr. Nur weitaus komplexer – hier greifen viele Aspekte ineinander. So fehlt den Zellen ohne Sauerstoffzufuhr der „Treibstoff“, mit dem die Stoffwechselfabriken am Laufen gehalten werden. Dennoch „verhungern“ sie nicht: Sie werden zerfressen. Ohne Sprit stellen nämlich die energiehungrigen Ionenkanäle in der Zellmembran ihre Arbeit schnell ein. Dadurch strömen Calcium-Ionen unkontrolliert in die Zelle – normalerweise ein Signal für diverse Enzyme, tätig zu werden. Nur: Wenn sie ohne Grund aktiviert werden, stürzen sie sich mangels „richtiger“ Substrate unter Umständen auf wichtige Zellbestandteile – und zerlegen dann eben diese, bis auch sie ihre Arbeit einstellen müssen.

Auch die Schutzmechanismen, die einigen Schadmolekülen, die in der Zelle immer vorhanden sind, Paroli bieten, sind auf Eis gelegt – so können sich

bedrohten Organe bedeutet, demonstriert der „chemische Arzt“ an einer harmlos aussehenden Flüssigkeit – einer Entwicklung seiner Arbeitsgruppe. Darin enthalten: Zum Beispiel Glycin – eine Aminosäure, die hilft, die Zellmembran stabil zu halten. Antioxidanzien, die marodierende OH-Radikale einfangen. Und Stoffe, die schädliche Reaktionen, die zum Beispiel durch freie Eisenionen verursacht werden, unterbinden. „Außerdem ist die Lösung extrem arm an Calcium und Natrium, damit diese Ionen nicht in die Zelle wandern können – wir mussten lange nach Ersatz suchen, den wir an ihrer Stelle einsetzen können. Das alles geht nur, wenn Mediziner sehr eng mit Chemikern zusammenarbeiten.“

Mit diesem Cocktail, so hofft de Groot, kann man etwa eine Spenderleber auf dem Weg zu ihrem Empfänger länger intakt halten. Eilig wird's dann immer noch sein. Aber die Chance steigt, dass der riskante Transport nicht umsonst war. ◉

http://www.uni-duisburg-essen.de/phys_chem/phys_chem_07634.shtml



Reden Mikroorganismen eigentlich miteinander?

Hans-Curt Flemming ist fasziniert von Dingen, denen andere am liebsten mit einem Lappen zu Leibe rücken würden: undefinierbare Flöckchen im Zahnputzbecher, schmierige Beläge am Abfluss, trübe Wände im Aquarium. Wie kommt's? Ganz einfach: Flemming interessiert sich für Biofilme – die Lebensgemeinschaften, zu denen sich Bakterien, Pilze und Mikroben immer dann zusammenfinden, wenn das Nahrungsangebot reicht und Wasser in der Nähe ist. „Also praktisch überall in unserer Umwelt: Am Duschvorhang, auf der Kontaktlinse, auf der Haut, auf glitschigen Steinen am Flussufer.“

Filmreif!

Was der Professor, der an der Uni Duisburg-Essen den Studiengang „Wasser“ aus der Taufe gehoben hat, entdeckt, wenn er diese Filme näher unter die Lupe nimmt, ist erstaunlich. „Man kann Biofilme durchaus als die älteste und zugleich erfolgreichste Lebensform auf diesem Planeten betrachten – sie sind überall“ sagt er. Denn Bakterien schlagen sich nicht als Singles durchs Leben – im Gegenteil: Wann immer möglich, bilden sie große, bunt gemischte Gemeinschaften.

nichts anfangen. Fast überflüssig festzustellen, dass man sich auch die Zerlegung von Desinfektionsmitteln teilt.

Der organisierte Widerstand gegen diese Stoffe ist übrigens der Grund, aus dem man vor gut zwanzig Jahren auf diese Lebensgemeinschaften aufmerksam wurde. „Man machte sich Gedanken über das sogenannte Biofouling, also die mikrobielle Kontamination von Wasserleitungen. Damals schauten die meisten Kollegen auf die einzelnen Bakterien, die man im Wasser fand. Irgendwann kam ich auf den Gedanken, das Augenmerk auch einmal auf die Wände der Leitungen zu richten.“ Für Flemming eine Art biologischer Urknall: „Als wir sahen, was da alles passiert, lief es mir kalt den Rücken herunter – das war nicht nur Biofouling, es war eine neue Lebensform. Plötzlich wurde klar, dass man die ganze Mikrobiologie aus einem ganz neuen Blickwinkel betrachten musste.“

Denn als solitäre Wesen nutzen die meisten Bakterien nur einen Bruchteil ihres Potenzials. Wie in jeder Wohngemeinschaft braucht das Zusammenleben Regeln, an die sich alle halten müssen. So weiß man inzwischen, dass die Mitglieder einer Mikrobengemeinschaft über Botenmoleküle miteinander

kommunizieren. Bislang sind nur wenige chemische Vokabeln bekannt. Aber man ahnt bereits, dass Mikroorganismen sehr fleißige Plappermäuler sind: Sie reden nicht nur miteinander, sie hören sich auch gegenseitig ab, senden Störtsignale und zerlegen sogar die Botenstoffe anderer Arten. „Sehr wahrscheinlich haben Krankheitserreger im Laufe der Evolution in Biofilmen gelernt, wie man mit anderen Zellen Kontakt aufnimmt und größere Organismen letztlich infiziert.“

In Biofilmen geht es hoch her

Nicht nur aus diesem Grunde ist es sehr wichtig, die Sprache der Bakterien in Biofilmen zu lernen. Denn unerwünschte Keime können nicht nur Erkältungen und Entzündungen verursachen. Sie richten auch anderswo großen Schaden an – zuweilen sogar an Stellen, wo es niemand vermuten würde. Wenn sie etwa die Wände von Wärmetauschern besiedeln, können sie die Wärmeaufnahme des Bauteils deutlich ändern – und damit sogar großtechnische Prozesse aus dem Ruder laufen lassen. Und die Herstellung von Papier ist immer auch ein Stück weit Bakterienzucht: Ein warmer, gut gerührter



„Die älteste Lebensform auf dem Planeten – und trotzdem kaum erforscht!“

„Wir leben mit Bakterien. Darum müssen wir sie verstehen.“

Brei aus optimal verdaubarer Stärke ist für Mikroben ein Paradies, zu dem sie über Wasser, Luft und Rohstoffe freien Zugang haben. Und die Rolle, die Biofilme in Form biologischer Filter bei der Aufbereitung von Trinkwasser und der Reinigung von Abwasser spielen, füllt ganze Bücher.

Wie das Gesellschaftsleben der allgegenwärtigen Kleinstlebewesen im Detail funktioniert, ist bislang trotz allem erst in Ansätzen verstanden. „Darum ist es auch nicht so einfach, Biofilme einfach mit ‚nützlichen‘ Neuankommelingen anzupflanzen. Manchmal werden die angenommen, manchmal nicht. Die ‚Einheimischen‘ benutzen Neuankommlinge oft einfach als Nahrung“, so Flemming. Warum? Das liegt noch im Dunkeln.

Mit Bakterien ins Gespräch kommen

Um da nach und nach Licht hineinzubringen, machen sich Forscher im Duisburger Biofilm Centre an die gezielte Erforschung der Keimmetropolen – natürlich auch in Arbeitsteilung. Sie lassen auf Standard-Materialien gezielt

Filme wachsen und prüfen, von welchen äußeren Bedingungen der Städtebau abhängt: Temperatur, pH-Wert, Nährstoffangebot. Flemmings Kollegen sehen sich im Detail an, warum und wie lange pathogene (krankmachende) Bakterien in Amöben überleben – diese Organismen weiden Biofilme nämlich ähnlich ab wie Kühe eine Almweide. Manchmal verschlucken sie dann auch Legionellen, die sich dann nicht verdauen lassen, sondern sich in der Amöbe vermehren bis sie platzt – sozusagen eine Amöbenkrankheit. Wieder andere angehende Mikrobiologen beobachten unter einem sogenannten konfokalen Laser-Scanning-Mikroskop 3D-Bilder von „Straßen“, „öffentlichen Plätzen“ und der „Kanalisation“ der Bakterien-Städte – und versuchen zu ergründen, welche Gene für Planung und Errichtung verantwortlich sind. Denn Biofilme sind längst nicht immer massiv wie ein Klotz Butter, sondern sehr häufig porös wie ein Schwamm, damit die nötigen Stoffe an- und abtransportiert werden können.



Manchmal nehmen Biofilme neue Mitbewohner auf, manchmal nicht



Keime im Kühlschrank – nicht zu ändern!



gegen den mikrobiellen Städtebau in der Hand – das ist ein Ansatz, den Flemmings Kollege Wolfgang Streit verfolgt.

So ganz wird man die vielseitigen und allgegenwärtigen Siedler jedoch sicher nie in den Griff bekommen. „Wir müssen damit leben. Das geht aber nur, wenn man sie versteht. Darum habe ich Spaß daran, Biofilme im Alltag aufzuspüren! Denn ich möchte sehen, wie Dinge funktionieren, die direkt vor meiner Nase sind“, sagt Flemming. ●

Vor etwa zehn Jahren kamen sie auf den Wissenschaftsseiten großer Tageszeitungen groß heraus, heute interessiert sich kaum noch eine Agentur dafür: Meldungen des Typs „Genom des Bakterium XYZ vollständig sequenziert“. Kein Wunder: Im Vergleich zu dem, was das Team um Professor Wolfgang Streit an der Uni Duisburg-Essen so macht, sind selbst komplette Genome einzelner Organismen Peanuts. Streit untersucht nicht bloß einzelne Bakterienarten, sondern auch schon mal ein paar hundert auf einen Rutsch.

In die Vollen greifen

Aber nicht, um ins Guinness-Buch zu kommen. Sondern weil es cleverer ist. Denn der Mikrobiologe sucht nach neuen Enzymen, mit denen sich industrielle Synthesen vereinfachen ließen. Und dabei verlässt er sich nicht auf die Stoffwechsellaschinen der etwa 6000 Bakterien, Pilze und Einzeller, die man in den vergangenen 100 Jahren Biologie erforscht hat – oder die 600, die in den vergangenen Jahren bis aufs Genom durchkartographiert wurden. Sondern auf das, was die Natur sonst noch zu bieten hat.

Und das ist eine ganze Menge mehr. „Heute sind höchstens ein Prozent aller Bakterienarten dieses Planeten bekannt. Das liegt unter anderem daran, dass sich die weitaus meisten Mikroorganismen im Labor schlicht und einfach nicht kultivieren lassen“, so Streit. Der Grund: Selten handelt es sich bei dem, was in Erde, Schlamm und Abraumhalde so krecht und fleucht, um Generalisten, die alles können. Die weitaus meisten Mikroorganismen leben in Gemeinschaft mit anderen. Und teilen sich die Arbeit, die mit dem Abbau des Nahrungsangebots verbunden ist: Gib’ mir Dein Enzym, dann geb’ ich Dir meins. Im Labor fehlt dann meist die eine oder andere Zutat auf dem Nährboden – der Organismus, der zusammen mit anderen lebensfähig wäre, stirbt ab.



Nun weiß man, dass Bakterien sogar Erze und Ölfilme verdauen – wie viele dieser Fähigkeiten könnte man für die Menschheit nutzen? Möglicherweise wächst vor unseren Haustüren also ein ungeheures Potenzial an bisher völlig unbekanntem, sanften Chemiefabriken unbeachtet vor sich hin. Darum greifen Streits Mitarbeiter in die Vollen. Wenn sie von ihren Exkursionen in die „Natur“ – das kann auch mal ein Gartenteich sein – zurückkommen, haben sie Boden- und Wasserproben im Gepäck, die nicht selten mehr als hundert Bakterienarten enthalten – alle mit spezifischen Eigenarten, die es zu entdecken gilt.

Damit man dabei nicht ins Schwimmen kommt, gilt es natürlich systematisch vorzugehen. So wird in Streits Labor das genetische Material aller Organismen in der Probe unter anderem in kleine Häppchen zerlegt und Colibakterien eingepflanzt. Diese vervielfältigt man dann – darin hat man schließlich Erfahrung –, setzt sie auf Nährböden und guckt, was sie dank ihres eingeschleusten Erbgut-Schnipsels nun können. Stärke zerlegen? Andere Mikroorganismen auf Distanz halten? Ist etwas interessantes dabei, schaut man sich das neue Gen genauer an. „Metagenomics“ nennt sich der Ansatz, ganze Bakterienpopulation anstelle einzelner Arten zu untersuchen.

„Die Hälfte der Biomasse der Erde besteht aus Bakterien – die allermeisten sind noch völlig unbekannt“

Was im Gartenteich so krecht und fleucht, macht manchen Chemiker neidisch

Und – schon was gefunden? „Ja. Eine Reihe ungewöhnlicher Enzyme, die wir so nicht erwartet hätten. Zum Beispiel eine Esterase mit einem wirklich abgefahrenen Substratspektrum, mit deren Hilfe man zum Beispiel Parfumgrundstoffe herstellen könnte. Oder eine Amylase, die nur in 95%iger Kochsalzlösung arbeitet – die haben wir übrigens ausgerechnet in einem Bakterium entdeckt, das wir in Trinkwasser gefunden haben“ so Streit.

Liegt das Geheimnis für den Pharma-Blockbuster des Jahres 2020 vielleicht in Ihrem Vorgarten? ●

<http://www.genmibio.de/>

Dass man mit Hilfe von Mikroorganismen Brot, Bier und manche Pharmazeutika herstellen kann, dürfte den meisten bekannt sein. Aber dass sie auch mithelfen, Metalle wie Kupfer und Gold zu gewinnen – das klingt nach einem Märchen.

Kupfer auf der Speisekarte

Ist aber keins. Wolfgang Sand, Leiter einer Arbeitsgruppe für Aquatische Biotechnologie an der Uni Duisburg-Essen: „Es gibt eine ganze Reihe von Bakterienarten, die die Energie, die sie für ihr Überleben brauchen, aus dem Abbau von Erzen gewinnen.“ Diese Mikroorganismen ‚verdauen‘ zum Beispiel kupferhaltige Mineralien wie wir Menschen Traubenzucker. „Das nutzt man in der Technik schon seit Jahrzehnten: Rund ein Fünftel der Kupfer-Weltproduktion stammt aus Tanks, in denen Bakterien das Erz Chalkopyrit zersetzen. Auch Gold, das häufig fein verteilt in arsenhaltigen Erzen vorkommt, wird auf diesem Wege gewonnen“, so Sand.

„Wie kann man Bakterien Appetit auf Metall-Erze machen?“

Bemerkenswert ist, dass die Bakterien mit dem seltsamen Appetit auf

Kupfer & Co. nicht gentechnisch erzeugt werden müssen – sie kommen in der Natur überall da vor, wo es geeignete Erzlagerstätten gibt. Allerdings werden sie erst aktiv, wenn man ihnen geeignete Lebensbedingungen verschafft: Wasser brauchen sie, dazu Spurenelemente wie Phosphor und Stickstoff. Und sie sind genügsam: Sie benötigen nur geringe Konzentrationen

ihres Lieblingsmetalls, um ihren Hunger zu stillen. Daher kann man mit ihnen auch Erze ausbeuten, die sich für die klassische – weitaus weniger umweltfreundliche – Verhüttung nicht eignen. Manchmal jedoch werden die Metall-liebenden Bakterien deswegen jedoch auch zum Problem: Finden sie geeignete Lebensbedingungen vor, zum Beispiel in Bergbau-Abraumhalden, zerlegen sie auch die darin lagernden Mineralien. Und schwemmen unter Umständen große Mengen Metallionen und Schwefelsäure – ein Nebenprodukt ihrer Stoffwechsellätigkeit! – in Boden und Grundwasser.

„Aus diesen Gründen erforschen wir, wie genau diese Bakterienarten diese Metallerze angreifen und verarbeiten“, sagt Professor Sand. Denn obwohl man das „Bioleaching“ genannte Abbauprozess mit Mikrobenhilfe schon seit Jahrzehnten kennt und nutzt



Wir alle sind jede Sekunde unseres Lebens von Chemikalien umgeben. Nicht nur Antibiotika und Kunststoffe, auch Baumwolle, Kaffee und Brokkoli bestehen aus Molekülen, die chemischen Umsetzungen unterworfen werden – unsere Verdauung zum Beispiel ist nichts anderes als angewandte Chemie. Trotzdem gibt es eine ganze Reihe von Stoffen in unserer Umwelt, die man in freier Wildbahn eher nicht erwarten würde – zu sehr klingen sie nach Chemiereaktor. Kleiner Test: Cholesterin, Vitamin C, Dimethylquecksilber, Polysaccharide – welcher dieser Stoffe kommt in der Natur nicht vor?

Es liegt was in der Luft

– was dabei im Detail passiert, ist noch unbekannt. Sand und seine Mitarbeiter schauen sich das „Restaurant“ Abraumhalde daher auf chemischem Wege genauer an. So analysieren sie zum Beispiel das sogenannte Exopolymer, EPS genannt, das die Mikroorganismen absondern. Denn das scheint den gefräßigen Zellen gewissermaßen als Besteck zu dienen: darin enthaltene Moleküle, sogenannte Chelate, können einzelne Metallionen förmlich aus der Erdoberfläche herauschneiden. Auch wie sich die Bakterien an das Erz anheften, weiß man inzwischen: dafür sorgen sehr wahrscheinlich elektrostatische Wechselwirkungen. Die Bakterien kleben also am Erzteilchen wie Staub auf einer alten Vinylplatte.

Eines Tages sollen diese und ähnliche Erkenntnisse einmal dazu dienen, den Bioleaching-Prozess zu optimieren oder das unerwünschte „Ausbluten“ von Halden zu verhindern. Bis dahin ist es aber noch ein weiter Weg. Denn das Exopolymer ist extrem schwierig zu untersuchen: Aus zehn Milliarden Bakterienzellen lässt sich zur Detailuntersuchung gerade mal ein Milligramm EPS gewinnen. ●

Falls Sie auf Dimethylquecksilber getippt haben: gute Idee, nur leider falsch. Dieser Stoff wird auch von Mikroorganismen produziert – auf ganz natürliche Weise. Alfred Hirner, Professor für Analytische Chemie am Campus Essen: „Auch wir waren absolut überrascht zu sehen, was für exotische Verbindungen von Bakterien und Pilzen synthetisiert werden können!“ Mikroorganismen besitzen offenbar Enzyme, mit denen sie Methylverbindungen quer durch das ganze Periodensystem herstellen können: Dimethylsulfid, Trimethylarsen, Trimethylbismut, Tetramethylblei – für viele Kleinst-Organismen überhaupt kein Problem.

Mikroben verleihen Metallen Flügel

Diese beeindruckenden Fähigkeiten, vor denen mancher präparativ arbeitende Chemiker seinen Hut ziehen würde, haben diese Einzeller natürlich nicht ohne guten Grund. Hirner: „Viele dieser Metalle sind auch für Mikroorganismen giftig. Also wandeln manche von ihnen sie in die entsprechenden Methylverbindungen um. Diese sind dann in der Regel flüchtig.“ Finden diese Bakterien also gewisse Mengen von Arsen-Ionen in ihrer Umgebung, hängen sie flugs ein paar Methylgruppen dran – dabei entsteht gasförmiges Trimethylarsen, das dann in die Luft



„Kein Grund zur Panik. Aber man sollte wissen, was passieren kann.“

verdampft und den Organismus nicht mehr schädigen kann. Zumindest nicht mehr den von Pilz und Mikrobe – dem Menschen können derartige Verbindungen immer noch gefährlich werden, wenn er sie einatmet. Denn sie können sich im Fettgewebe anreichern und auf die Dauer schädlich wirken.

Zumindest im Prinzip. Denn Panik ist nicht angebracht. „Die Konzentrationen dieser Verbindungen und ihrer Vorstufen, die wir in der Umwelt finden, sind meist ganz außerordentlich gering. In der Regel wenige Milliardstel Gramm in einem Kubikmeter Luft – weit unterhalb der Schwelle, ab der die meisten Stoffe giftig wirken. Trotzdem kann es natürlich ‚Hot Spots‘ geben, an denen die Konzentrationen höher sind.“

Und die zu ermitteln, haben sich Hirner und sein Team auf die Fahnen geschrieben. So ist mit größeren Mengen von Tetramethylzinn & Co. theoretisch überall da zu rechnen, wo Mikroorganismen auf größere Mengen potenziell schädlicher Metalle treffen – zum Beispiel in Müllhalden oder auf altlastenverseuchten Industriebrachen. Darum sind Hirners Doktoranden und Diplomanden dort

gelegentlich mit ungewöhnlichen Apparaturen anzutreffen: Pumpen, die Umgebungsluft durch extrem tiefgekühlte Glaskolben saugen. Alles, was außer Sauerstoff und Stickstoff in der Luft liegt, wird in diesen „Fallen“ ausgefroren und im Essener Labor einer genauen Analyse unterzogen.

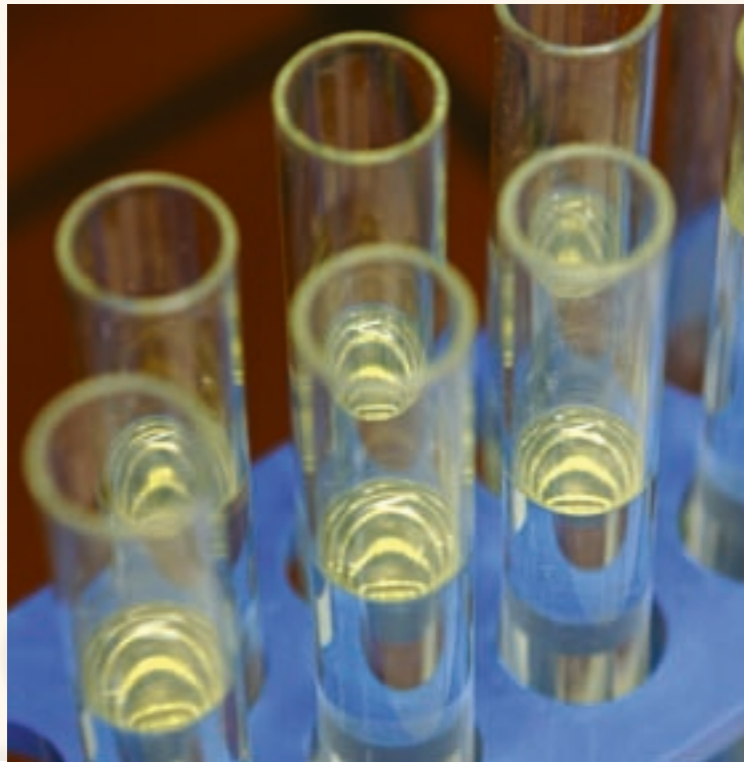
Ionisiert und kleingeschlagen

„Hier verwenden wir unter anderem sogenannte ICP-MS-Massenspektrometer,“ erläutert Hirner. „In diesen extrem empfindlichen Instrumenten werden die ausgefrorenen und wieder aufgetauten Stoffe zunächst durch ein Argon-Plasma geschossen. Darin werden sie ionisiert und anschließend auf die Reise durch eine evakuierte Kammer geschickt, in der ein starkes Magnetfeld herrscht. Anhand der Ablenkung, die die Flugbahn dieser geladenen Teilchen in diesem Feld erfährt, können wir ihre Masse bestimmen.“ Mehr noch: Bei der Ionisierung verlieren die Teilchen ab und an gewisse „Baugruppen“ – es fliegen also auch Ionen durch das Spektrometer, die weniger wiegen als die vollständige Verbindung. „Die Zerfallsmuster sind aber sehr charakteristisch,“ so Hirner. „Damit



Es ist nicht einfach, dem Speiseplan metallfressender Mikroorganismen auf die Spur zu kommen

Können Bakterien
Altlasten sanieren?



können wir auch Informationen über den Aufbau der Moleküle erhalten.“

Manchmal erleben die Chemiker bei ihren Untersuchungen auch Überraschungen: Bei weitem nicht immer findet sich zum Beispiel Dimethylquecksilber-belastete Luft dort, wo am meisten Quecksilber im Wasser ist. Hirner erzählt von einem Fluß, der mit diesem Element extrem belastet war. Trotzdem war darüber kein Dimethylquecksilber zu finden: Die für dessen Herstellung zuständigen Bakterien waren wahrscheinlich alle längst gestorben, die Konzentrationen dieses Schwermetalls waren selbst für sie zu hoch. Erst als der Fluss nach Hunderten von Kilometern seine Mündung erreichte, wurde das Metall so stark verdünnt, das die Mikroben aktiv werden konnten – an einem Ort, wo niemand damit gerechnet hatte. Einen ähnlichen Schrecken erlebten auch Umwelt-Experten in Kanada, als sie ein bis dahin unauffälliges Altlastengebiet fluteten: Erst dadurch schu-

„Überrascht zu sehen, was Bakterien für exotische Verbindungen produzieren“

fen sie einen Lebensraum für methylierende Bakterien, die die Schwermetalle im Boden mobil machten. Kann man diese Organismen denn vielleicht dazu verwenden, Altlasten zu sanieren? „Vielleicht, aber man muss genau wissen, was man tut,“ sagt Hirner. „Wenn man die entstehenden Gase absaugt, könnte es vielleicht klappen. Bei der Kompostierung in geschlossenen Hallen macht man das schon lange – beim Verrotten von Gras entstehen nämlich auch flüchtige Arsenverbindungen“ – die zum Teil hochgradig toxisch sind.

Aber dafür arbeiten die Chemiker, Analytiker und Toxikologen in Hirners Team ja: Herausfinden, was genau in der Natur vorgeht. „Eine globale Gefahr ist das sicher nicht. Aber man sollte wissen, was beim ungünstigen Zusammenwirken mehrerer Faktoren passieren kann, damit man sich rechtzeitig auf eventuelle Probleme einstellen kann.“

Pfeffer & Salz

Man könnte meinen, Heinz-Martin Kuß könnte sich über einen Mangel an Molekülen in den kleinen Plastik-Behältern auf seinem Labortisch nicht beklagen. Eine Billion von was auch immer, also Tausend mal Tausend mal Tausend mal Tausend – das ist doch schon was, oder? „Kommt drauf an“, sagt Kuß. „In einer Bodenprobe oder in einem Gramm Stahl ist das praktisch nichts.“

Denn umgerechnet in Gramm wird winzig, was zuvor gigantisch erschien: Eine Billion Moleküle irgendeines Antibiotikums zum Beispiel wiegen zusammengenommen gerade mal den tausendsten Teil eines Millionstel Gramms: Man bräuchte eine Million mal so viel, um diese Substanzmenge mit bloßem Auge wenigstens als winziges Krümelchen sehen zu können.

Trotzdem begeistert sich Heinz-Martin Kuß für die Jagd nach derart winzigen Substanzspuren. „Wenn es darum geht, zum Beispiel Herbizidrückstände in Wasserproben zu analysieren, hat man es schnell mit derart kleinen Mengen zu tun.“

Ein Problem gibt es allerdings: Die Messverfahren, die sich die Analytische Chemie in den letzten Jahrzehnten erarbeitet hat, sind zwar schon extrem nachweisstark – aber wenn es um derart winzige Mengen geht, müssen auch sie oft passen. „Also versuchen wir die Stoffe, über deren Konzentration wir mehr wissen möchten, anzureichern.“ Bis man in Konzentrationsbereiche kommt, in denen Gaschromatograph und Atomspektrometer zu Hause sind – das kann auch schon mal einen Faktor 5000 bedeuten.

Und dieser Job ist genauso puzzelig, wie er sich anhört. „Im Prinzip ist das so, als würden wir Pfeffer von Salz trennen müssen“, so Kuß, „nur etwas komplizierter.“ Denn bei der Abtrennung des „Salzes“ – also Anreicherung des „Pfeffers“ – kann eine Menge schief gehen: Beim Versuch, die „Matrix“, also den uninteressanten Rest der Probe loszuwerden, darf vom interessierenden Stoff natürlich nichts verloren gehen. Zugleich muss man verhindern, dass Teile der Matrix, die die spätere Analyse stören könnten, mitgeschleppt werden.

Beispiel: Niob. In Spezialstählen wird dieses Element bewusst als Legierungsbestandteil eingesetzt. Es kann aber auch Probleme bereiten: Wenn es nicht erwünscht ist, kann bereits ein Millionstel Gramm Niob pro Gramm Stahl High-tech-Legierungen zu Ausschuss machen. Wer wissen will, wie viel davon in seiner Stahlprobe vorkommt, hat aber ein Problem: Bei der Analyse derart kleiner Mengen Niob stören andere Stahl-Bestandteile wie Eisen, Titan, Chrom, Nickel, Mangan, Wolfram, Molybdän, Titan, Silizium und Phosphor. Wie also holt man das fragliche Metall zu 100% aus der Probe heraus, ohne den störenden Rest mitzuschleppen?

„Indem man sich detailliert mit der Chemie all' dieser Elemente auseinandersetzt. Findet man eine Reaktion, die Niob-Metall in etwas verwandelt, das man von den anderen Bestandteilen trennen kann – etwa, weil es sich besser in Wasser löst –, hat man gewonnen“, so Kuß.

Was dann passiert, ist fast Handwerk und ähnelt tatsächlich der Trennung von Salz und Pfeffer: Gibt man Wasser zu dieser Mischung, löst sich das Salz auf und der Pfeffer schwimmt oben. Auflösen in Alkohol wäre dagegen schlecht, der würde den Pfeffer auslaugen. Wer aber mit dem Wasser-Trick ein einziges Pfeffer-Stäubchen aus einem Gramm Salz birgt, hat schon eine Anreicherung etwa von 1:100.000 geschafft. Es ist also eigentlich ganz einfach – man muss nur wissen, wie's geht.

„Um die gesuchten Moleküle aus ihrer Umgebung zu befreien, muss man in Chemie absolut fit sein“

Bei über 1000 Grad geht jedes größere Molekül kaputt. Dieses Instrument registriert, was drin war – supergenau



Was hat Musikhören mit Analytischer Chemie zu tun? Mehr, als mancher denken mag. Zumindest seit die Einführung der MP3-Kompression simple Hit-Abspielgeräte zu kleinen Computern gemacht hat, in denen echte High-End-Mathematik abläuft. Und ohne die geht es auch in der Spurenanalyse oder in der Kontrolle chemisch-technischer Prozesse nicht.



Blick für's Wesentliche

Denn was früher in aller Ruhe mit Bürette und Becherglas erledigt wurde, übernehmen heute oft Infrarot-Spektrometer, die das Reaktionsgeschehen im Reaktor dank Glasfaseroptik schnell und direkt – „online“ – beobachten. „Das Problem dabei ist, dass diese Geräte meist viel zu viele Informationen liefern“, bemerkt dazu Karl Molt, Analytik-Professor an der Uni Duisburg-Essen. „Die Frage ist: Wie filtere ich aus diesem Wust die Infos heraus, die ich für die quantitative Analyse eines Inhaltsstoffes benötige?“

Wer zum Beispiel bei der Produktion von Nylon über die Konzentration eines der hierbei verwendeten Rohstoffe, nämlich des Hydroxylamins, genau im Bilde sein möchte, hat mit bloßem Auge schlechte Chancen: Die Hauptbestandteile des Reaktionsgemisches – Wasser und Schwefelsäure – dominieren die Messkurve bei weitem, das Signal der gesuchten Komponente geht darin hoffnungslos unter.

Aber nur auf den ersten Blick. Denn mit Computerhilfe lässt sich durchaus noch was machen. Das Geheimnis: Ein mathematisches Verfahren namens „Wavelet-Analyse“. Klingt kompliziert, ist aber eigentlich ganz einfach. So wie sich der komplexe Klang zum Beispiel einer

Gitarre aus einer ganzen Reihe von Obertönen – reinen Sinustönen – zusammensetzt, kann man sich auch kompliziert aussehende Messkurven aus einer breiten Palette deutlich einfacherer mathematischer Funktionen – Wavelets genannt – zusammengesetzt denken.

Also: Computer mit der Messkurve füttern – und ihn anweisen, diese mit Hilfe eines passenden Wavelet-Pools nachzubauen. Dabei wird ihr Verlauf praktisch in eine Wavelet-Tabelle umgerechnet. Will man die Kurve zurück, muss man den Rechner nur diese Bausteine wieder überlagern lassen – und fertig ist der Original-Graph. Mit einstellbarer Genauigkeit übrigens, die von Anzahl und Auswahl der verwendeten Wavelets abhängt. Nach einem ganz ähnlichen Prinzip funktioniert auch die Datenreduktion nach dem MP3-Verfahren!

In der analytischen Chemie ist man allerdings weniger an der Möglichkeit interessiert, komplexe Kurvenverläufe durch platzsparende Datenströme zu ersetzen. „Zur quantitativen Auswertung einer Messkurve betrachtet man den Beitrag derjenigen Wavelets, die man mit der Messgröße korreliert hat“, so Molt. Das bedeutet: Vor der eigentlichen Analyse muss man herausfinden, welche dieser Messkurven-Bausteine für die Rekonstruktion des Kurvenverlaufs wichtiger oder unwichtiger

werden, wenn man die Konzentration des Analyten steigert oder verringert. Anschließend muss man sich aus der Wavelet-Liste, die der Computer bei jeder Analyse blitzschnell berechnet, nur noch die maßgeblichen herausuchen – ihr Anteil am nachgebauten Messsignal entspricht dann der Menge der zu bestimmenden Substanz.

Zumindest in der Theorie. Denn um neue Analyseprobleme mittels Wavelet-Technik anzugehen, ist viel Know-how, Erfahrung und Fingerspitzengefühl nötig – und neben chemischen Grundkenntnissen auch ein gehöriger Schuss Mathe. Molt: „Chemie bedeutet heute schon lange nicht mehr, bloß mit dem Kittel im Labor zu stehen. Auch für Leute, die Spaß an Mathematik und der Lösung abstrakter Problemstellungen haben, gibt es hier eine Menge zu tun!“

http://lims.uni-duisburg.de/index.htm?Forschung/Molt/ag_molt/Molt.htm



Impressum

Herausgeber:
 Fachbereich Chemie, Universität Duisburg-Essen
 Universitätsstr. 5, 45117 Essen
 Dekanatssekretariat Essen
 Tel.: 0201 / 183 - 3194
 Fax: 0201 / 183 2449
 EMail: Dekanat.Chemie@uni-duisburg-essen.de

Text:
 Dr. Stefan Albus
 Landwehrweg 44, 44627 Herne
 Tel.: 02323 / 4 53 45
 EMail: stefan.albus@t-online.de

Gestaltung:
 Birgit Sieckmann
 Sieckmann, Design für Print & Screen
 Hörsterholz 1d, 44879 Bochum
 Tel.: 0234 / 94 42 86 72
 EMail: office@sieckmann.org

Fotografie:
 Ruth Albus
 Mr. Magic Pressedienst GbR
 Zukunftszentrum Herten
 Konrad Adenauer Str. 9-13, 45699 Herten
 Tel.: 02366 / 30 52 25
 EMail: ruth.albus@web.de

Druck:
 Druckzentrum Hußmann
 Kantstr. 5 - 13, 44867 Bochum
 Tel.: 02327 / 307 - 0
 EMail: info@dzhusmann.de

„Chemometrie ist Angewandte Mathematik“